



FISICA IV
4º Semestre

Preparatoria
Núm. 15



QC2
.2
.68
C.2

F

V

O

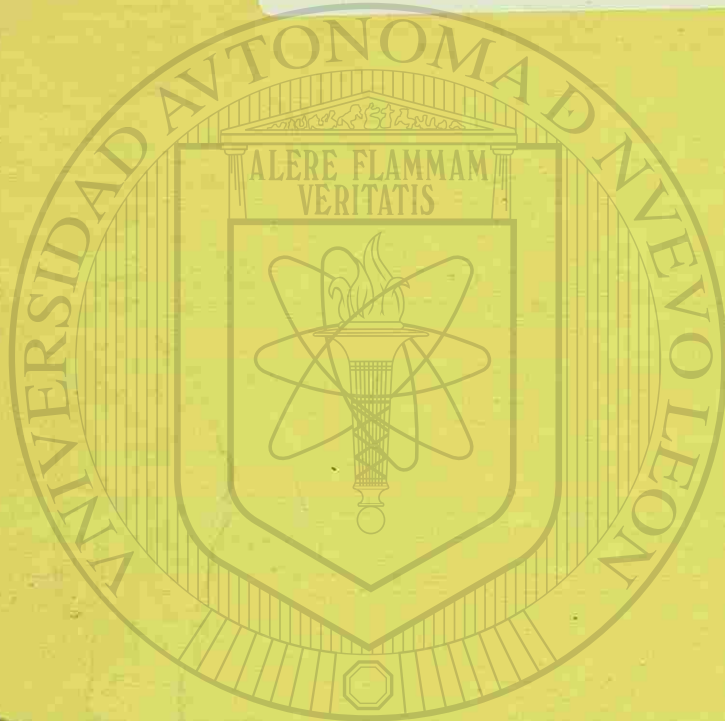
U

40

Semestre

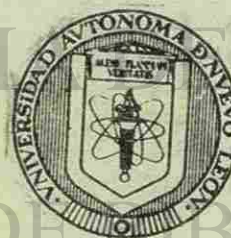


1020115817



U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



FÍSICA IV.

INDICE

PRÓLOGO.

CONTENIDO DEL CURSO.

CONT.

1. CALOR.

1-1	Escalas de temperatura.	2
1-2	Calor.	5
2-1	Fuentes de energía térmica.	6
2-2	Formas como se transmite el calor.	7
2-3	Leyes de la transferencia térmica.	12
2-4	Teoría del intercambio térmico.	13
2-5	Cap.	14
2-6	Auto.	17

Ing. José Luis Gutiérrez Alvarado.
Ing. Juan F. Salazar Rodríguez.

EL CALOR Y SU EFECTO EN LOS CUERPOS.

The image shows a faded, light-colored background that appears to be the cover of a library book. The title "NUEVO LEON" is prominently displayed in large, bold, serif capital letters at the top. Below it, the word "BIBLIOTECAS" is also in large, bold, serif capital letters. The background has a subtle, repeating pattern of text, likely from the book's content, which is mostly illegible due to fading. On the left side, there is a circular logo with a shield in the center. The shield contains a stylized atom or star symbol. The text "NOMIA ENERO" is visible at the top of the shield, and "BIBLIOTECAS" is at the bottom. On the right side, there is another circular logo, partially cut off. It features a stylized figure, possibly a person or a deity, and the letters "UAI" are visible at the bottom. The overall aesthetic is that of a vintage or historical library book cover.

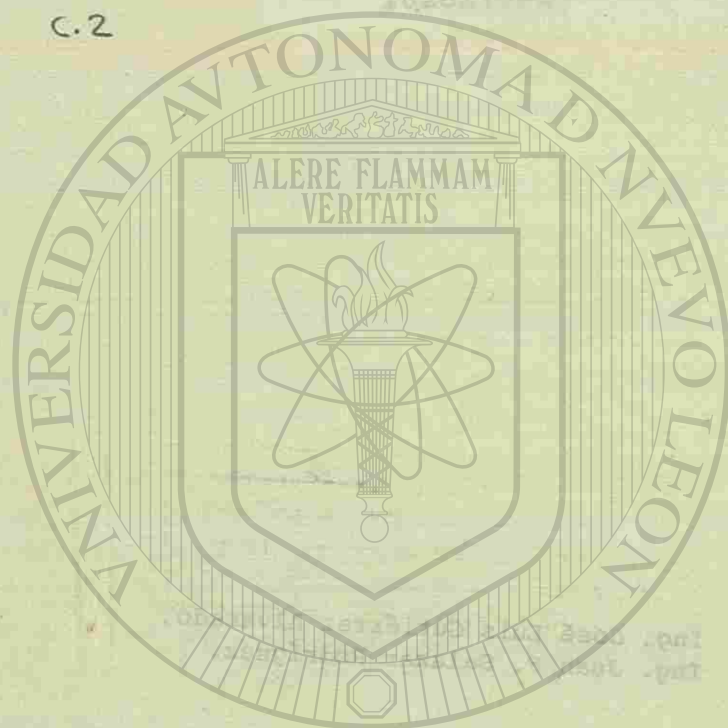
166356

QC21

.2

.G87

C.2



FONDO UNIVERSITARIO

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Í N D I C E.

PRÓLOGO.

OBJETIVOS DEL CURSO.

CAP.

I CALOR.

1-1	Escalas de temperatura.	2
1-2	Calor.	5
1-3	Fuentes de energía térmica.	6
1-4	Formas como se transmite el calor.	7
1-5	Leyes de la termodinámica.	12
1-6	Ley del intercambio térmico.	13
1-7	Capacidad térmica.	14
	Autoevaluación.	19

II CALOR Y CAMBIO DE ESTADO.

2-1	Calor latente de fusión.	21
2-2	Calor de vaporización.	24
2-3	Gráfica: calor vs. temperatura.	26
2-4	Humedad.	31
2-5	Máquinas térmicas.	34
2-6	Máquinas de movimiento alternativo (pistones).	35
2-7	Máquinas rotativas (turbinas).	35
2-8	Motores de reacción.	36
2-9	Una máquina increíble.	36
2-10	Calor de combustión.	38

CAP.

III ESTUDIO DE LAS ONDAS Y EL SONIDO.

PÁG.

3-1	Movimiento armónico simple.	41
3-2	Período y frecuencia de un cuerpo vibrante.	42
3-3	Amplitud y desplazamiento de las ondas.	46
3-4	Resonancia.	48
3-5	Ondas longitudinales y ondas transversales.	50
3-6	Fuentes de ondas.	52
3-7	Longitud de onda.	52
3-8	Efecto doppler.	57
3-9	Interferencia.	58
3-10	Fuentes del sonido.	60
3-11	Transmisión del sonido.	60
3-12	Velocidad del sonido.	61
3-13	Difracción y rarefacción del sonido.	65
3-14	Intensidad del sonido.	66
3-15	Los estampidos supersónicos.	67
3-16	Sonidos ultrasónicos.	69
	Autoevaluación.	82

IV ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.

4-1	Electrostática.	88
4-2	Cargas en movimiento.	92
4-3	Magnetismo.	96
4-4	Leyes del magnetismo.	98
4-5	Ley de Coulomb para los polos magnéticos.	98
4-6	Relación entre la corriente eléctrica y el magnetismo.	101
4-7	Regla de la mano izquierda.	104
4-8	Fuentes de electricidad.	106
4-9	Generadores.	109
4-10	Tipos de generadores.	110
4-11	Corrientes alterna y directa.	111
	Autoevaluación.	116

CAP.

PÁG.

V CIRCUITOS.

5-1	Formas básicas de los circuitos.	120
5-2	Simplificación de un circuito.	122
5-3	Amperímetros y voltímetros.	126
	Autoevaluación.	129

VI ELECTRICIDAD EN MOVIMIENTO.

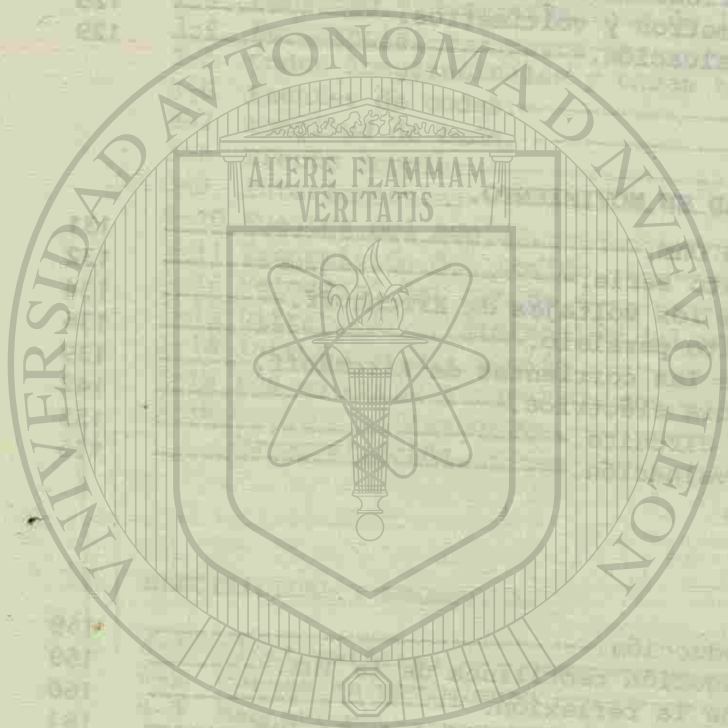
6-1	Ley de Ohm.	131
6-2	Circuito serie.	132
6-3	Ley de los voltajes de Kirchhoff.	134
6-4	Circuito paralelo.	136
6-5	Ley de las corrientes de Kirchhoff.	139
6-6	Potencia eléctrica.	142
6-7	Corto circuito.	153
	Autoevaluación.	156

VII ÓPTICA.

7-1	Introducción.	159
7-2	Propagación rectilínea de la luz.	159
7-3	Ley de la reflexión.	160
7-4	Medición de la velocidad de la luz.	161
7-5	Índice de refracción.	161
7-6	Refracción de la luz.	163
7-7	Dispersión de la luz.	164
7-8	Espectro electromagnético.	165
7-9	Lentes.	170
7-10	Lentes convergentes.	171
7-11	Lentes divergentes.	171
7-12	Localización de las imágenes.	173
7-13	Defectos en las imágenes.	184
7-14	Aberración esférica.	185
7-15	Aberración cromática.	185
	Autoevaluación.	194

BIBLIOGRAFÍA.

199



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Í N D I C E.

UNIDAD 1.	-----	I
UNIDAD 2.	-----	V
UNIDAD 3.	-----	VII
UNIDAD 4.	-----	XI
UNIDAD 5.	-----	XV
UNIDAD 6.	-----	XVII
UNIDAD 7.	-----	XIX





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PRÓLOGO.

Las aplicaciones de la física se han incrementado notablemente en este siglo; basta decir como ejemplo, que los satélites y naves lanzadas a Marte o a la Luna, si esta ciencia no hubiera desarrollado lo que hasta ahora, no habrían llegado a su destino, inclusive ni siquiera pensado en lanzarlas.

Pero el avance en estudios físicos hizo posible un viaje tan largo como el de la Tierra hasta Marte, utilizando como fuente de energía las baterías solares, y todavía mediante la comprobación de algunas reacciones químicas, en un tiempo no muy lejano, sea posible conocer si existe vida o no en algún otro planeta de nuestro Sistema Solar.

Desde luego, que con lo que aquí estudies no vas a llegar a la Luna, pero cuando menos serás capaz de comprender muchos fenómenos, y de adquirir una amplia visión de los avances científicos actuales y futuros.

Es innegable el hecho de que en el transcurso de un solo semestre, no sea posible estudiar con profundidad todas las teorías, leyes y aplicaciones de la física, además de que nosotros (los autores de este material de estudio) no buscamos este fin, sino al contrario, lo que intentamos es únicamente proporcionarte las bases elementales e información suficiente para que estos cursos te sirvan en lo futuro para cualquier profesión que optes por seguir.

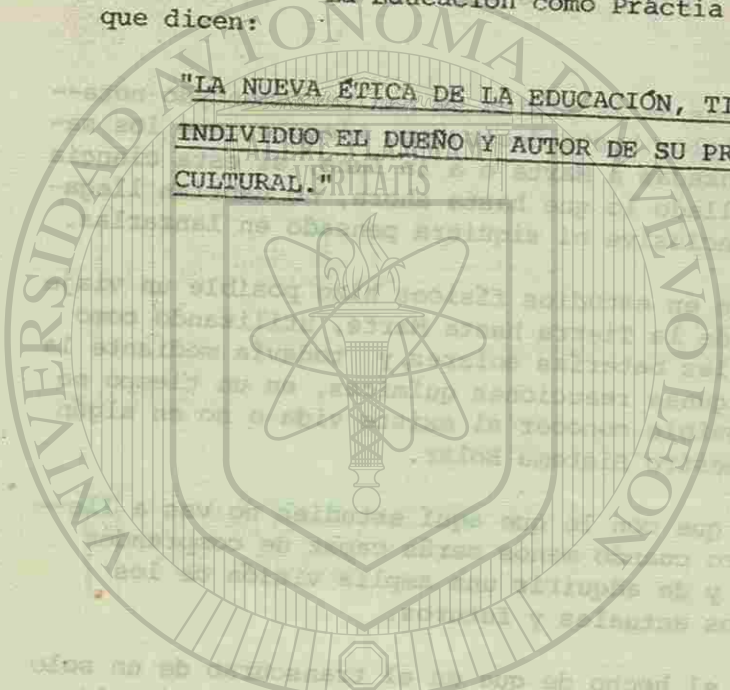
Por ello es que estos cursos son en realidad, introducciones a los campos de las ciencias anteriormente señaladas.

Todo el material que hemos elaborado ha sido diseñado de tal manera de que tú mismo seas el que tengas la información por tu propia cuenta, ya que estamos convencidos de que este es el camino correcto para la mejor formación de un futuro

profesionista.

Por último, queremos dejar grabado en este material y en tu mente, las palabras que Paulo Freire publicó en la edición de su libro "La Educación como Práctica de la Libertad" y que dicen:

"LA NUEVA ÉTICA DE LA EDUCACIÓN, TIENDE A HACER DEL INDIVIDUO EL DUEÑO Y AUTOR DE SU PROPIO PROGRESO CULTURAL."

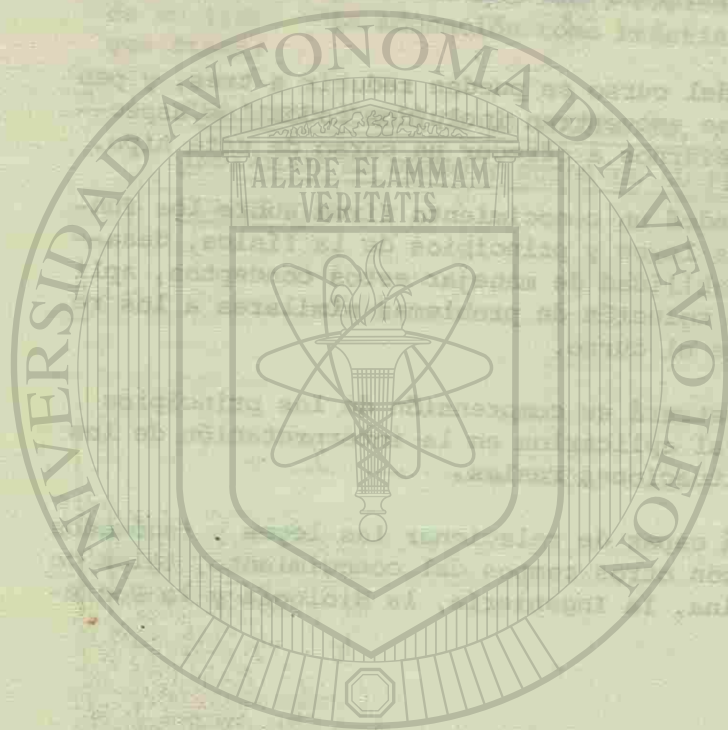


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

OBJETIVOS DEL CURSO.

Los objetivos del curso se pueden reducir a tres, y pensamos que en ellos se encuentran incluidos todos los aspectos que pudieran llevarnos a ofrecer un curso de este tipo.

- 1º El alumno obtendrá un conocimiento firme sobre los fundamentos de las leyes y principios de la física, desarrollando la habilidad de manejar estos conceptos, aplicándolos en la solución de problemas similares a los resueltos durante el curso.
- 2º El alumno demostrará su comprensión de los principios de la física, al aplicarlos en la interpretación de los fenómenos y situaciones reales.
- 3º El alumno será capaz de relacionar las leyes y fenómenos de la física con otros campos del conocimiento, tales como: la Medicina, la Ingeniería, la Biología y la Sociedad.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4o. SEMESTRE.

FÍSICA.

UNIDAD 1.

C A L O R.

Frecuentemente notamos que de una ventana que está bien cerrada y que no tiene intersticios, sopla el viento. Esto parece extraño, pero no tiene nada de particular.

El aire de una habitación casi nunca está en reposo; en él existen corrientes invisibles que se originan por calentamiento y enfriamiento.

Este fenómeno y muchos otros son basados en los problemas causados por el calor. Serán más interesantes al analizarlos por ti mismo cuando hayas terminado esta unidad, ya que serás capaz de:

OBJETIVOS.

- 1.- Definir los enunciados relativos a cada uno de los términos, conceptos, leyes o principios incluidos en este capítulo.
- 2.- Diferenciar entre calor y temperatura.
- 3.- Identificar las diferentes escalas de temperatura.
- 4.- Realizar conversiones de una escala de temperatura a otra.
- 5.- Definir el concepto de calor y las unidades en que se mide.

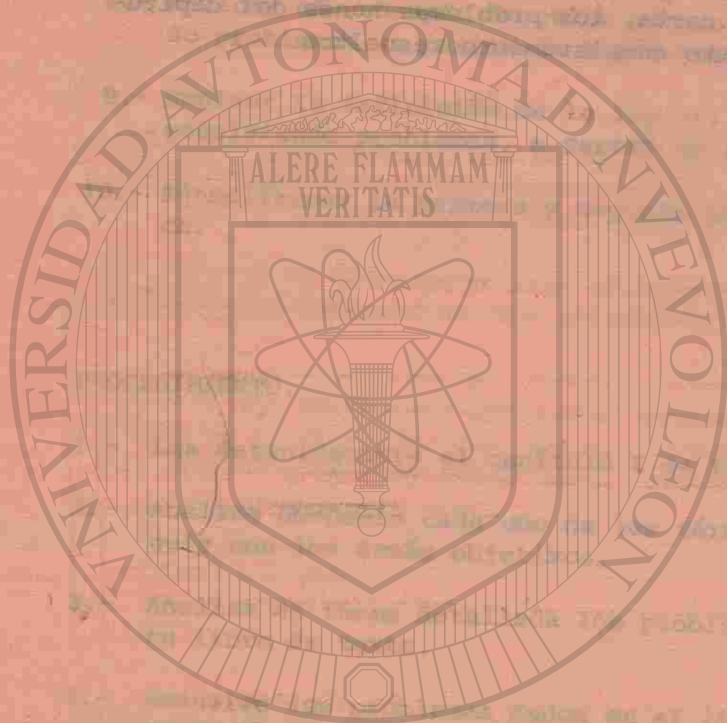
- 6.- Explicar los métodos principales de la transferencia de calor.
- 7.- Transformar de calorías a julios o viceversa.
- 8.- Aplicar el concepto de calor ganado o perdido resolviendo problemas, a partir de los datos apropiados.
- 9.- Emplear la definición de la ley del intercambio térmico resolviendo problemas, a partir de los datos apropiados.
- 10.- Ejemplificar la primera y segunda ley de la termodinámica.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Lee detenidamente el capítulo I de tu libro de texto.
- 2.- Analiza despacio cada uno de los términos, antes de seguir con los demás objetivos.
- 3.- Analiza en forma detallada los problemas resueltos en tu libro de texto.
- 4.- Resuelve los problemas dados en el libro, tratando de obtener las respuestas dadas.
- 5.- Cualquier duda que tengas, coméntala con tus compañeros o si lo prefieres, con tu maestro.
- 6.- Analiza fenómenos de la vida diaria comparándolos con el material que estás estudiando. Te hará más interesante el tema.

PRE-REQUISITO.

Para tener derecho a presentar esta unidad, deberás entregar en hojas tamaño carta, los problemas nores del capítulo I de tu libro de texto completamente resueltos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPÍTULO I.

C A L O R.

En el orden molecular todos los cuerpos tienen una energía interna, la cual es la energía total de las moléculas que integran dicho cuerpo.

En los sólidos y líquidos y algo menos, en los gases, las moléculas también poseen energía potencial, no gravitacional; debido a las fuerzas que existen entre las moléculas. En estos casos, la energía interna es igual a la suma de las energías potencial y cinética de todas las moléculas.

Siempre que se piensa en el calor, se piensa inmediatamente en la temperatura. ¿Será lo mismo temperatura y calor?

El calor es una forma de energía, pero esto no implica necesariamente el conocimiento de la naturaleza del calor. Recuerde que la energía se define como la capacidad para realizar un trabajo; éste a su vez, se define como una fuerza que se mueve a lo largo de una distancia y, por consiguiente, siempre implica movimiento.

Al medir la energía media o promedio de estas moléculas, estamos midiendo la temperatura. El termómetro es el instrumento que se emplea para medir cuantitativamente la temperatura.

Un ejemplo para distinguir la diferencia entre calor y temperatura: Si se tiene un recipiente conteniendo 1 Kg de agua a una temperatura de 35°C , éste tiene una energía total (calor). Al quitar inmediatamente 0.5 Kg de agua, se puede tener la misma temperatura, pero sólo la mitad de energía (calor). Al quitar 250 g de agua, se tiene la misma temperatura, pero ya sólo tenemos la cuarta parte del calor.

1-1 ESCALAS DE TEMPERATURA.

Tomando como base el punto de fusión y el punto de ebullición del agua, se establecieron las escalas de temperatura. Se colocó un termómetro en agua con hielo en equilibrio. Donde quedó el nivel del mercurio en el termómetro se marcó el 0°C ó 32°F . Después se calentó el agua hasta evaporación y se volvió a colocar el termómetro y se marcó el otro punto. En la escala Celsius o centígrados se hicieron 100 marcas de igual magnitud, siendo cada una, un grado centígrado o grado celsius. En la escala fahrenheit se hicieron 180 marcas de igual magnitud, siendo cada una un grado fahrenheit.

Ya que entre los mismos puntos existen 100 grados centígrados y 180 grados fahrenheit, Podemos determinar el valor de cada grado centígrado en grados fahrenheit y viceversa.

Cada grado centígrado equivale a 1.8 grados fahrenheit y cada grado fahrenheit equivale a $5/9$ de grado centígrado. (ver fig. 1).

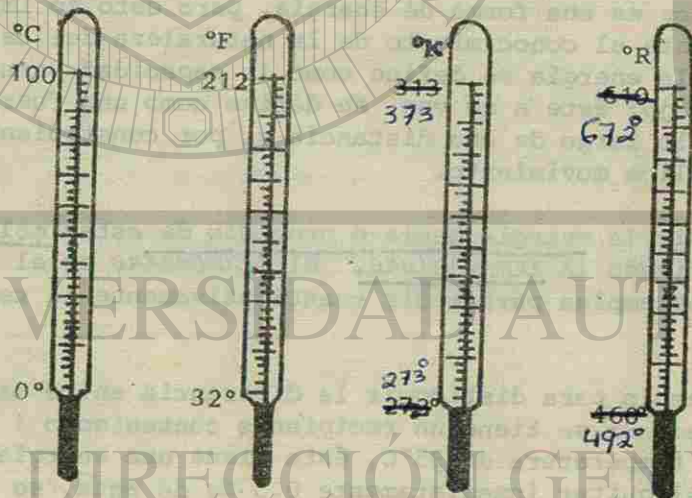


Fig. 1.

Cuando a un cuerpo se le disminuye su energía cinética media, prácticamente se está disminuyendo la movilidad de las moléculas, y por lo tanto, disminuye su temperatura. Se ha llegado a una temperatura a la que las moléculas tienen su mínima energía posible y se encuentra casi en reposo. A esta temperatura se le llama cero absoluto y es -273°C ó -460°F .

La temperatura a que se congela el agua es 0°C , 32°F , 273°K ó 492°R ; a la presión de 760 mm de mercurio o 1 atmósfera de presión.

La temperatura en la que se produce la ebullición del agua es 100°C , 212°F , 373°K y 672°R .

Las temperaturas absolutas empiezan en el cero absoluto y son: grados kelvin ($^{\circ}\text{K}$) cuando la referencia es con respecto a los grados centígrados. En cuanto a su magnitud, $1^{\circ}\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$ ($1^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{K}$ ó $1^{\circ}\text{K}/^{\circ}\text{C}$), pero empiezan con distintos puntos de referencia. La escala kelvin en el cero absoluto y la centígrados en el punto de congelación del agua (0°C). En grados Rankine ($^{\circ}\text{R}$), en la cual el cero está en -460°F . También en la magnitud, cada grado Rankine es igual a un grado fahrenheit ($1^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{R}$ ó $1^{\circ}\text{R}/^{\circ}\text{F}$).

Se puede transformar de una escala a otra.

1.- De grados centígrados a fahrenheit. Ya que 0°C equivalen a 32°F y en magnitud cada grado centígrado equivale a 1.8 grados fahrenheit ($1.8^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C}$), entonces los grados centígrados los multiplicamos por $1.8^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C}$ y le sumamos 32°F .

$$Y^{\circ}\text{F} = X^{\circ}\text{C} \times 1.8^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}\text{F} \quad (1)$$

Ejemplo 1.

Convertir 45°C en grados fahrenheit

$$Y^{\circ}\text{F} = 45^{\circ}\text{C} \times 1.8^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}\text{F}$$

$$= 81^{\circ}\text{F} + 32^{\circ}\text{F}$$

Solución: Por la ecuación 1, tenemos

$$= 113^{\circ}\text{F}$$

2.- Para convertir de grados fahrenheit a grados centígrados. A la cantidad de grados fahrenheit le restamos 32°F y a este resultado lo dividimos entre $1.8^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C}$. Esto, en forma algebraica, nos queda:

$$X^{\circ}\text{C} = \frac{Y^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}}{1.8^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C}} \quad (2)$$

Ejemplo 2.

Convertir 140°F a grados centígrados.

Solución: Por la ecuación 2, tenemos:

$$\begin{aligned} X^{\circ}\text{C} &= \frac{140^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}}{1.8^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C}} \\ &= \frac{108^{\circ}\text{F}}{1.8^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C}} \\ &= 60^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

3.- De grados centígrados a grados kelvin. Ya que en magnitud $1^{\circ}\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$, a los grados centígrados sólo le agregamos 273°K .

$$Z^{\circ}\text{K} = X^{\circ}\text{C} \times 1^{\circ}\text{K}/^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{K}$$

Ejemplo 3.

Convertir 30°C a grados kelvin.

$$\begin{aligned} Z^{\circ}\text{K} &= 30^{\circ}\text{C} \times 1^{\circ}\text{K}/^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{K} \\ &= 30^{\circ}\text{K} + 273^{\circ}\text{K} \\ &= 303^{\circ}\text{K} \end{aligned}$$

4.- Grados kelvin a centígrados. A los grados kelvin los multiplicamos por $1^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{K}$ menos 273°C , o simplemente le restamos 273°C .

$$X^{\circ}\text{C} = Z^{\circ}\text{K} \times 1^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{K} - 273^{\circ}\text{C}$$

Ejemplo 4.

Convertir 390°K a grados centígrados.

$$\begin{aligned} X^{\circ}\text{C} &= 390^{\circ}\text{K} \times 1^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{K} - 273^{\circ}\text{C} \\ &= 390^{\circ}\text{K} - 273^{\circ}\text{C} \\ &= 117^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

5.- De grados fahrenheit a rankine.

$$W^{\circ}\text{R} = Y^{\circ}\text{F} \times 1^{\circ}\text{R}/^{\circ}\text{F} + 460^{\circ}\text{R}$$

Ejemplo 5.

Convertir 180°F a grados rankine.

$$W^{\circ}\text{R} = 180^{\circ}\text{F} \times 1^{\circ}\text{R}/^{\circ}\text{F} + 460^{\circ}\text{R}$$

$$= 640^{\circ}\text{R}$$

6.- De grados rankine a fahrenheit.

$$Y^{\circ}\text{F} = W^{\circ}\text{R} \times 1^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{R} - 460^{\circ}\text{F}$$

Ejemplo 6.

Convertir 1160°R a grados fahrenheit.

$$Y^{\circ}\text{F} = 1160^{\circ}\text{R} \times 1^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{R} - 460^{\circ}\text{F}$$

$$= 700^{\circ}\text{F}$$

Para análisis científico se emplean más comúnmente los grados celsius y grados kelvin.

1-2 CALOR.

Para lograr la disminución de la energía cinética media (temperatura), es necesario que se transfiera energía de este cuerpo a otro. Cuando se transfiere energía de un sistema a otro, debido a la diferencia de temperatura entre los sistemas o al producirse un cambio de estado, se le llama calor.

Las unidades que se emplean para medir el calor son las calorías. La caloría se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua, un grado centígrado. Existe otra unidad que equivale a mil calorías, se le llama kilocaloría o caloría.

kilocaloría = 1000 calorías
= 10^3 calorías

Este tipo de energía también se mide en B.T.U. (unidad térmica británica) y es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua, un grado fahrenheit.

1 B.T.U. = 252 calorías

1-3 FUENTES DE ENERGÍA TÉRMICA.

Calor obtenido de la energía mecánica. - El hacer fuego por frotamiento, al frotar un cerillo para que encienda, un pistón de automóvil, necesita lubricación para que el frotamiento no produzca demasiado calor; las cápsulas espaciales y meteoritas se calientan al penetrar en la atmósfera debido al rozamiento del aire.

Calor obtenido de la energía química. - La combustión, reacción química donde un combustible se combina con el oxígeno para dar calor, es un tipo de oxidación. En una flama, la reacción es muy rápida por lo que se le llama oxidación rápida o combustión.

Una de las más importantes reacciones químicas que produce calor tiene lugar dentro de nuestro cuerpo. El alimento se combina con el oxígeno de las células para suministrar energía a los procesos celulares. Esta oxidación es lenta, no existe flama, pero se desprende calor para que el cuerpo mantenga una temperatura de 36°C .

Calor obtenido de la energía eléctrica. - Las estufas eléctricas, tostadores, secadores, calentadores de baño y cisternas, se calientan con energía eléctrica.

Calor obtenido de la energía nuclear. - Las bombas nucleares producen una gran cantidad de calor, una luz muy intensa, vientos fuertes y otras formas de energía.

La energía nuclear es diferente de la energía química. Las reacciones nucleares tienen lugar en el núcleo del átomo, mientras que las reacciones químicas tienen lugar en los electrones.

Calor obtenido de la energía solar. - La energía del Sol - nuestra principal fuente de energía - es diferente de la energía mecánica, de la química y de la eléctrica, pero no de la energía nuclear. El Sol es un reactor nuclear gigantesco que irradia calor en todas direcciones.

La temperatura en la superficie del Sol es de $6 \times 10^3^{\circ}\text{C}$ aproximadamente y en el núcleo es de $2 \times 10^7^{\circ}\text{C}$ aproximadamente.

1-4 FORMAS COMO SE TRANSMITE EL CALOR.

Conducción. Cuando la transmisión de calor se hace por contacto molecular, se le llama conducción. Un ejemplo fácil de percibir es cuando una cuchara se introduce en agua caliente, poco a poco se va calentando hacia arriba hasta llegar al borde superior de ella.

En este caso, las moléculas calientes del líquido golpean las moléculas de la cuchara que están más en contacto y se ponen en rápida vibración. Estas, a su vez, a las moléculas que le siguen y así sucesivamente hasta que se transfiere el movimiento al otro extremo.

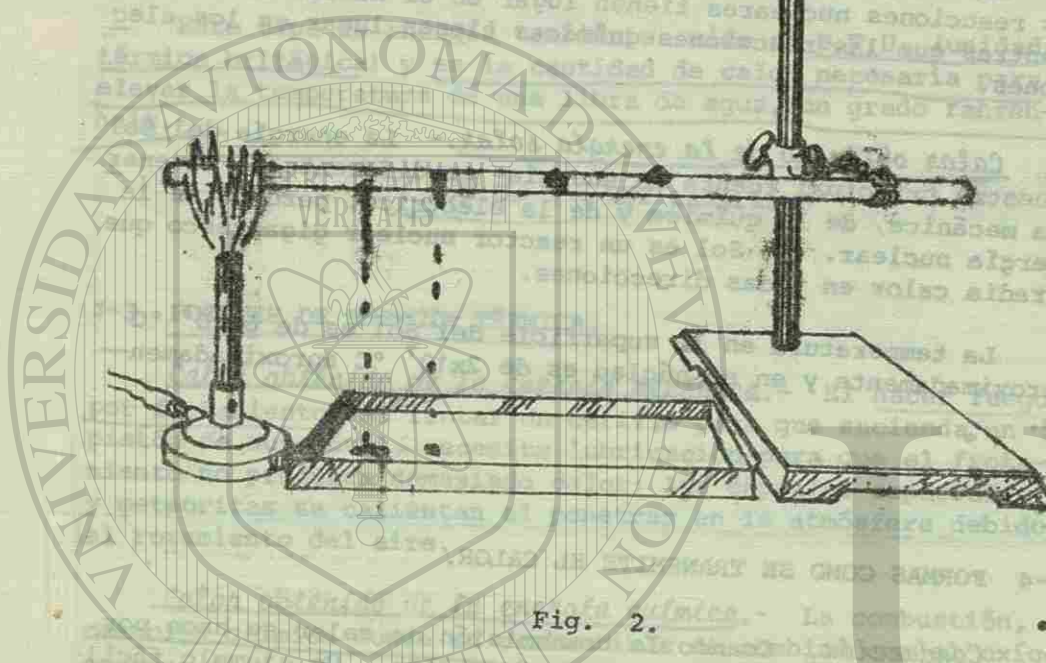


Fig. 2.

Todas las sustancias tienen distintas capacidades para conducir calor. Las que conducen el calor rápidamente, se les llama conductores. Como buenos conductores tenemos: el aluminio, la plata, el hierro, el cobre, etc. Los que transmiten el calor lentamente, se les llama aisladores. Entre los buenos aisladores tenemos: el papel, el agua, el asbesto, etc.

TABLA 1-1. CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS, k en cal cm/seg cm² °C.

Sustancia.	k
Plata.....	0,97
Cobre.....	0,92
Aluminio.....	0,50

Sustancia	k
Latón.....	0,26
Hierro.....	0,16
Plomo.....	0,08
Plata alemana.....	0,10
Mercurio.....	0,02
Azulejo.....	0,002
Vidrio.....	0,0025
Agua.....	0,0014
Madera.....	0,0005
Papel.....	0,0003
Filtro.....	0,00004

Existen otros factores que afectan la rapidez con que el calor es transmitido. Una capa gruesa de cualquier buen conductor, transmite el calor lentamente de una superficie a otra (ver fig. 3).

El área de la superficie también afecta a la velocidad de transmisión de calor.

Se puede calcular el calor transmitido de un extremo a otro por medio de la ecuación:

$$Q = \frac{K (T_1 - T_2) A}{L} t \quad (7)$$

donde K es la conductividad térmica de la sustancia, T₁ es la temperatura de un extremo, T₂ la temperatura del otro extremo, A el área, t el tiempo y L es la longitud del cuerpo.

Ejemplo 7.

Los extremos de una barra de cobre de 50 cm de largo y 4 cm de sección transversal, están a 120°C y 20°C respectivamente. Encontrar la cantidad de calor que fluirá a lo largo de la barra en 2.5 minutos.

Solución: Por la ecuación 7, tenemos:

$$Q = \frac{K(T_1 - T_2)A}{L} t$$

$$Q = \frac{0.92 \frac{\text{cal}}{\text{seg cm}^\circ\text{C}} \times (120^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \times 4 \text{ cm}^2}{50 \text{ cm}} \times 150 \frac{\text{seg}}{\text{seg}}$$

$$= \frac{0.92 \frac{\text{cal}}{\text{seg cm}^\circ\text{C}} \times 100^\circ\text{C} \times 4 \text{ cm}^2 \times 150 \text{ seg}}{50 \text{ cm}}$$

$$= 11.04 \times 10^2 \text{ cal}$$

$$= 1104 \text{ cal}$$

Convección. La transmisión de calor por medio del movimiento de la sustancia se le llama convección.

En este caso, la influencia primordial es el cambio de la densidad de la sustancia, debido al incremento de la temperatura.

Un ejemplo fácil de observar es cuando se pone a calentar agua en un recipiente. El recipiente debe ser buen conductor de calor. El agua en sí es mala conductora de calor.

Al recibir el calor las moléculas que están en contacto más directo con la fuente de calor, aumentan su temperatura y disminuye su densidad. Al suceder esto, las moléculas de en cima, por tener una densidad mayor, bajan a ocupar el espacio de las primeras y éstas suben a la superficie. Esto está sucediendo continuamente hasta que el agua llega a su temperatura.

Los gases y líquidos son las sustancias que transmiten el calor de esta forma.

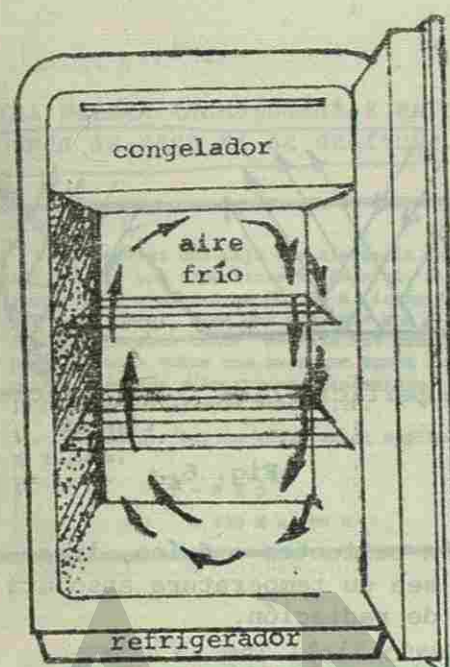


Fig. 3.

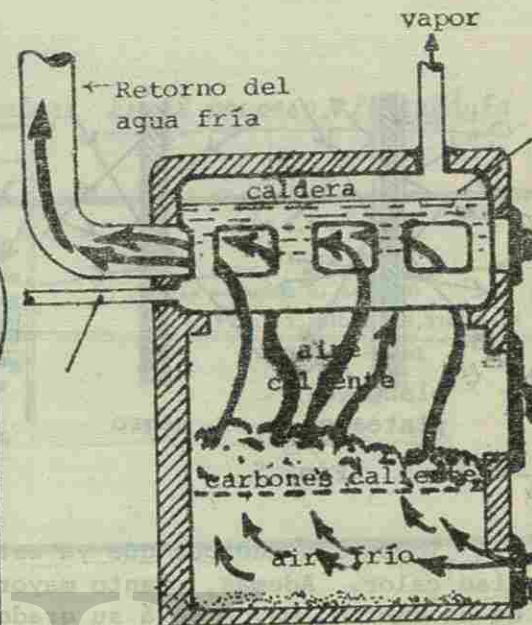


Fig. 4.

Radiación. Todos sabemos que el Sol calienta a la Tierra, él es de hecho, nuestra fuente principal de energía. Fácilmente podemos concluir que el calor del Sol no se transmite a nosotros por conducción ni por convección; no existen esencialmente moléculas en las vastas extensiones del espacio entre el Sol y nosotros. Por lo tanto, la transferencia vibracional por conducción y transferencia circulatoria por convección son imposibles.

Estamos ahora ante un caso de transferencia de calor, es decir, a través de la radiación. Este calor se le llama calor radiante o radiación y viaja a la velocidad de la luz 300,000 Km/seg.

Los rayos de calor radiante, a veces llamados rayos infrarrojos (no son visibles), como la luz visible son ondas electromagnéticas y tienen las propiedades generales de los rayos luminosos.

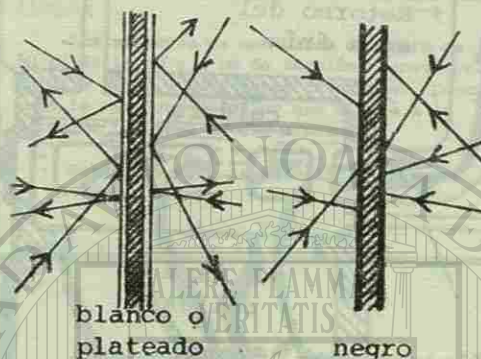


Fig. 5.

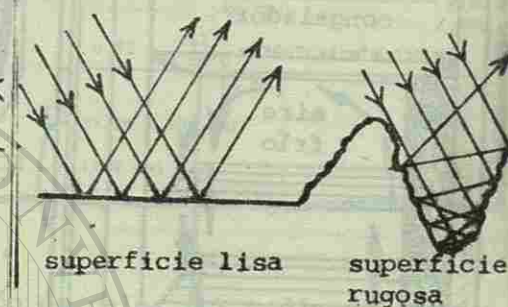


Fig. 6.

Todos los cuerpos que ya estén calientes o fríos, irradian calor. Además, cuanto mayor sea su temperatura absoluta de un cuerpo, mayor será su grado de radiación.

La ley de Prevost del intercambio calorífico estipula que un cuerpo a la temperatura de los alrededores, está radiando y recibiendo calor en la misma proporción.

1-5 LEYES DE LA TERMODINÁMICA.

James P. Joule estableció que para producir una unidad de energía térmica se debe consumir una determinada cantidad de energía mecánica. A esto se le llama equivalente mecánico de calor. El valor práctico del equivalente mecánico de calor es:

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J} \quad (8)$$

$$1 \text{ J} = 0.239 \text{ cal} \quad (9)$$

El establecimiento del equivalente mecánico de calor, trajo consigo el convencimiento de que el calor y la energía mecánica son dos formas de una misma cosa y se estableció lo que se conoce como la primera ley de la termodinámica: El calor puede ser convertido en otras formas de energía, y és-

tas pueden transformarse en calor. En el proceso, la energía nunca se crea ni se destruye.

Ejemplo 8.

Se desliza una caja una distancia de 100 m sobre una superficie horizontal. Si la fuerza de rozamiento es de 120 N, ¿cuánto calor se produce? Para que observes que el rozamiento produce calor, desliza tus manos repetidas veces sobre una mesa que tenga la superficie pulida e incrementa paulatinamente la presión que ejerzas sobre ella.

Solución: Por lo visto en el capítulo 3, tenemos:

$$T = F \times d \\ = 120 \text{ N} \times 100 \text{ M}$$

$$= 1.2 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$= 1.2 \times 10^4 \text{ J}$$

Por la ecuación 9, tenemos:

$$T = 1.2 \times 10^4 \text{ J} \times 0.239 \text{ cal/J}$$

$$= 2.87 \times 10^3 \text{ cal}$$

$$= 2.87 \text{ Kcal}$$

NOTA: Es más fácil convertir trabajo en calor, que calor en trabajo y siempre que la energía térmica se convierte en mecánica, una sustancia se enfría.

La segunda ley de la termodinámica establece: El calor fluye espontáneamente de los cuerpos calientes a los fríos y el proceso puede utilizarse para producir trabajo hasta que la temperatura se iguale.

Además, nunca fluye calor de modo natural de un cuerpo frío a otro caliente, solamente si se suministra calor desde el exterior. En un refrigerador, la energía suministrada es por medio del motor.

1-6 LEY DEL INTERCAMBIO TÉRMICO.

De la segunda ley de la termodinámica podemos establecer: Siempre que el calor es transferido de uno o más cuerpos calientes a uno o más cuerpos fríos la cantidad de calor perdido por los materiales calientes es igual a la ganada por los cuerpos fríos. Esto es lo que se llama ley del intercambio

térmico.

calor perdido = calor ganado

$$Q_P = Q_G$$

Puesto que el agua participa en la mayor parte de las aplicaciones de calor, no es de sorprender el hecho de que la cantidad y unidades de calor, se relacionen de acuerdo con un experimento en el que se encuentra involucrada el agua.

Las unidades de calor son caloría (cal) y la unidad térmica (B.T.U.).

La caloría se define como la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de agua, un grado centígrado. La kilocaloría (Kcal) o caloría es una unidad múltiplo de la caloría.

$$\begin{aligned} 1 \text{ caloría} &= 1 \text{ Kcal} \\ &= 1000 \text{ cal} \end{aligned}$$

El B.T.U. se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua, un grado Fahrenheit.

$$1 \text{ B.T.U.} = 252 \text{ cal}$$

1-7 CAPACIDAD TÉRMICA.

Si tenemos otras sustancias y a todas les aplicamos la misma cantidad de calor y al final les medimos su aumento de temperatura, nos encontramos que es distinta en cada una de ellas. Esto se debe a que cada una de las sustancias tiene su propia capacidad térmica.

La capacidad térmica es la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de un gramo de sustancia, un grado centígrado.

Las unidades de la capacidad térmica nos queda en calorías por cada gramo por cada grado centígrado ($\text{cal/g}^\circ\text{C}$).

TABLA 1-2. CAPACIDADES TÉRMICAS.

Sustancia.	$\text{cal/g}^\circ\text{C}$	Sustancia	$\text{cal/g}^\circ\text{C}$
Agua.	1.00	Madera típica.	0.042
Alcohol de madera.	0.60	Mercurio.	0.033
Aluminio.	0.22	Oro.	0.031
Caucho (sintético).	0.45	Plata.	0.56
Cobre.	0.093	Plomo.	0.031
Glicerina.	0.60	Rocas.	0.18-0.21
Hierro.	0.105	Vapor.	0.5
Latón.	0.092	Vidrio.	0.16
		Zinc.	0.092

A la relación entre la capacidad térmica de una sustancia y la capacidad térmica, pero sin unidades, ya que la capacidad térmica del agua es 1 $\text{cal/g}^\circ\text{C}$.

$$\text{calor específico} = \frac{\text{capacidad T sustancia}}{\text{capacidad T agua}} \quad (10)$$

$$= \frac{\text{cal/}^\circ\text{C}}{\text{cal/}^\circ\text{C}}$$

= sin unidades

La cantidad de calor ganada o perdida por cierta masa de sustancia en las que no existe cambio de estado físico dependerá de la cantidad de masa, del incremento o disminución de la temperatura sin cambio de estado físico.

$$\Delta Q \propto \Delta T$$

Para quitar el símbolo de proporcionalidad, agregamos una constante para este caso la masa multiplicada por la capacidad térmica de la sustancia.

$$\Delta Q = mC\Delta T \quad (11)$$

Ejemplo 9.

Calcular la cantidad de calor ganada por 1 Kg de agua al que se le aumenta la temperatura desde 5°C hasta 42°C.

Datos: $m = 1000 \text{ g}$, $\Delta T = (T_2 - T_1) = (42^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) = 37^\circ\text{C}$, $C = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ según tabla.

Solución: Por la ecuación 11, tenemos:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= mC\Delta T \\ &= 10^3 \text{ gr} \times 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times 37^\circ\text{C} \\ &= 3.7 \times 10^4 \text{ cal} \\ &= 37 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

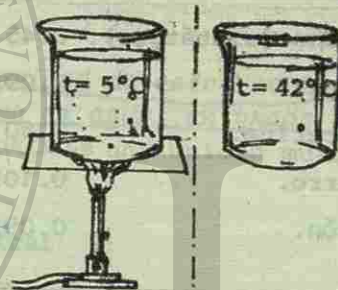


Fig. 7.

Ejemplo 10.

Calcular la cantidad de calor perdido por 500 gr de plomo en los que baja la temperatura de 85°C a 35°C.

Datos: $m = 500 \text{ g}$, $\Delta T = 85^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$, $C = 0.031 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$.

Solución: Por la ecuación 11, tenemos:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= mC\Delta T \\ &= 500 \text{ g} \times 0.031 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C} \\ &= 775 \text{ cal} \end{aligned}$$

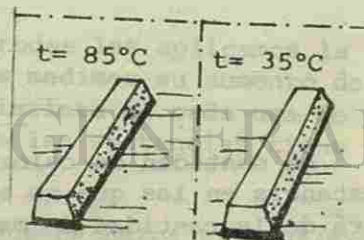


Fig. 8.

Ejemplos para la ley del intercambio térmico.

Ejemplo 11.

Un recipiente de hierro de 800 g a 35°C recibe 200 g de agua a 90°C. ¿Cuál será la temperatura de equilibrio?

Datos:

Hierro: $m_1 = 800 \text{ g}$, $T_1 = (T - 35^\circ\text{C})$, $C_1 = 0.12 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

Agua: $m_2 = 200 \text{ g}$, $\Delta T_2 = (90^\circ\text{C} - T)$, $C_2 = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

Incógnita: $T = \text{temperatura de equilibrio.}$

Solución: En este caso, el hierro aumentará de temperatura al ganar calor. El agua disminuye su temperatura al perder calor. Por lo tanto, la temperatura de equilibrio debe ser un valor intermedio de los valores dados de las temperaturas del agua y el hierro.

Según la ley del intercambio térmico, tenemos:

calor perdido = calor ganado

$$\Delta Q (\text{agua}) = \Delta Q (\text{hierro})$$

$$\Delta Q_2 = \Delta Q_1$$

$$m_2 C_2 \Delta T_2 = m_1 C_1 \Delta T_1$$

$$\begin{aligned} 200 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} (90^\circ\text{C} - T) &= \\ 800 \text{ g} \times 0.12 \text{ cal/g}^\circ\text{C} (T - 35^\circ\text{C}) &= \\ 1.8 \times 10^4 \text{ cal} - 200 (T) \text{ cal/}^\circ\text{C} &= \\ 96 (T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 3360 \text{ cal} &= \\ 1.8 \times 10^4 \text{ cal} + 336 \times 10 \text{ cal} &= \\ 96 (T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} + 200 (T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} &= \\ 2.136 \times 10^4 \text{ cal} = 296 (T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} &= \\ T = \frac{2.136 \times 10^4 \text{ cal}}{296 \text{ cal/}^\circ\text{C}} &= \\ T = 72.16^\circ\text{C} &= \end{aligned}$$

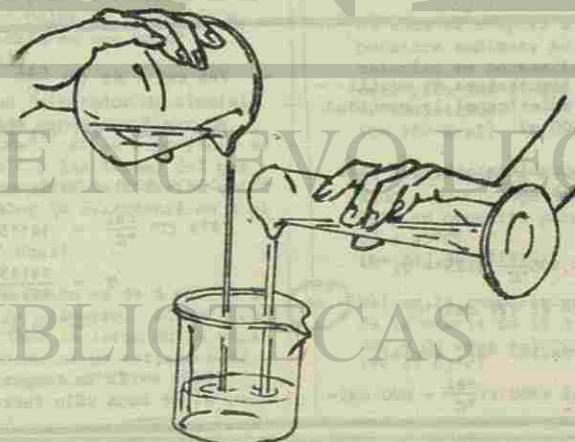


Fig. 9.

Ejemplo 12.

Un recipiente de vidrio de 100 g, contiene 400 g de agua y los dos están a la temperatura de 25°C. Se les agrega 500 g de hierro a 125°C. ¿En qué temperatura se logra el equilibrio?

Datos:

Vidrio: $m_1 = 100 \text{ g}$, $\Delta T_1 = (T - 15^\circ\text{C})$, $C_1 = 0.16 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ Agua: $m_2 = 400 \text{ g}$, $\Delta T_2 = (T - 15^\circ\text{C})$, $C_2 = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ Hierro: $m_3 = 500 \text{ g}$, $\Delta T_3 = (125^\circ\text{C} - T)$, $C_3 = 0.105 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ Incógnita: $T = \text{temperatura de equilibrio.}$

Solución: El vidrio y el agua aumentarán temperatura, por lo tanto, las dos ganarán calor y el hierro bajará la temperatura; es decir, perderá calor.

calor ganado = calor perdido

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = \Delta Q_3$$

$$m_1 C_1 \Delta T_1 + m_2 C_2 \Delta T_2 = m_3 C_3 \Delta T_3 \quad (a)$$

$$m_1 C_1 \Delta T_1 = 100 \text{ g} \times 0.16 \text{ cal/g}^\circ\text{C} (T - 15^\circ\text{C})$$

$$= 16(T) \text{ cal/g}^\circ\text{C} - 240 \text{ cal}$$

$$m_2 C_2 \Delta T_2 = 400 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} (T - 15^\circ\text{C})$$

$$= 400(T) \text{ cal/g}^\circ\text{C} - 6000 \text{ cal}$$

$$m_3 C_3 \Delta T_3 = 500 \text{ g} \times 0.105 \text{ cal/g}^\circ\text{C} (125^\circ\text{C} - T)$$

$$= 6562.5 \text{ cal} - 52.5(T) \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, la ecuación (a), nos queda:

$$16(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 240 \text{ cal} + 400(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 6000 \text{ cal} =$$

$$= 6562.5 \text{ cal} - 52.5(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

Pasando el término que tiene la incógnita (T) a un miembro de esta ecuación y además las calorías al miembro contrario, tenemos:

$$(16 + 400 + 52.5)(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} =$$

$$= (240 + 6000 + 6562.5) \text{ cal}$$

$$468.5(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} = 12802.5 \text{ cal}$$

$$T = \frac{12802.5 \text{ cal}}{468.5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}}$$

$$= 27.32 \text{ cal}$$

Ejemplo 13.

¿Cuál sería la temperatura de equilibrio en el problema anterior si la cantidad de hierro fuera de 600 g?

Solución: Del problema anterior sólo variaría ΔQ_3 , por lo tanto:

$$\Delta Q_3 = m_3 C_3 \Delta T_3$$

$$= 600 \text{ g} \times 0.105 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} (125^\circ\text{C} - T)$$

$$= 7875 \text{ cal} - 63(T) \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Entonces, la ecuación (a), sería:

$$16(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 240 \text{ cal} + 400(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 600 \text{ cal} =$$

$$= 785 \text{ cal} - 63(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

$$(16 + 400 + 63)(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} =$$

$$= (240 + 6000 + 7875) \text{ cal}$$

$$479(T) \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} = 14115 \text{ cal}$$

$$T = \frac{14115 \text{ cal}}{479 \text{ cal/g}^\circ\text{C}}$$

$$= 29.47^\circ\text{C}$$

¿Cuál sería la temperatura de equilibrio, si de agua sólo fueran 300 g?

AUTOEVALUACIÓN.

- 1.- Convertir las siguientes temperaturas a las escalas fahrenheit: a) 80°C , b) -25°C , c) 124°C , d) 750°C , e) 185°C , f) 116°C , g) -40°C , h) -80°C .
 {a) 176°F b) -13°F
 c) 255.2°F d) 1382°F
 e) 365°F f) 240.8°F
 g) -40°F h) -112°F }

- 2.- Convertir las siguientes temperaturas a la escala celsius: a) 80°F , b) -25°F , c) 124°F , d) 750°F , e) 185°F , f) 116°F , g) -40°F , h) -80°F .
 {a) 26.67°C b) -31.67°C
 c) 51.11°C d) 398.89°C
 e) 85°C f) 46.67°C
 g) -40°C h) -62.22°C }

- 3.- Convertir las siguientes temperaturas a la escala kelvin: a) 80°C , b) -25°C , c) 124°C , d) 750°C , e) 185°C , f) 380°C , g) 190°C , h) 273°C .
 {a) 353°K b) 248°K
 c) 397°K d) 1023°K
 e) 458°K f) 653°K
 g) 463°K h) 546°K }

- 4.- Convertir las siguientes temperaturas a la escala celsius: a) 326°K , b) 624°K , c) 116°K , d) 195°K , e) 75°K .
 {a) 53°C b) 351°C
 c) -157°C d) -78°C
 e) -198°C }

- 5.- Un vidrio de una ventana tiene 40 cm de ancho, 60 cm de largo y 0.5 cm de espesor. La temperatura en el exterior es de 0°C y en el interior es de 12°C . ¿Cuánto calor es conducido a través del vidrio en una hora?
 {Q = 518.4 Kcal}

- 6.- El fondo de un calentador de aluminio es de 1.2 mm de espesor y tiene un área de 2500 cm^2 . Si la superficie se mantiene a 50°C y las llamas del gas conservan la superficie inferior a 60°C , ¿cuánto calor lo atravesará en 3 minutos?
 {Q = 1.875×10^4 Kcal}

- 7.- Una varilla de latón es de 5 metros de largo y 5 cm de diámetro. ¿Cuánto calor fluirá a todo lo largo de la varilla en 7 minutos, si un extremo está a -20°C y el otro a 60°C ?
 {Q = 343 cal}

- 8.- El mango de madera de una sartén es de 2 cm de diámetro y 16 cm de largo. Si la temperatura de la sartén es de 150°C y el extremo libre se mantiene a 30°C , ¿cuánto calor fluirá por él en el curso de 8 minutos?
 {Q = 5.65 cal}

- 9.- Convertir los siguientes valores de calor a Julios: a) 600 cal, b) 20 cal, c) 1000 cal, d) 7 Kcal, e) 15 Kcal.
 {a) 2520 J b) 84 J
 c) 4200 J d) 2.3×10^3 J
 e) 6.3×10^3 J}

- 10.- Convertir a calorías los siguientes valores: a) 600 J, b) 20 J, c) 1000 J, d) 7000 J, e) 1.5×10^3 J.
 {a) 142.8 cal b) 4.762 cal
 c) 238.1 cal d) 1666.7 cal
 e) 3.57×10^3 cal}

- 11.- Calcular el calor necesario para subir la temperatura de 35°C a 658°C , de 1.5 Kg de aluminio.
 {Q = 205.59 Kcal}

- 12.- Calcular el calor necesario para subir la temperatura de 40°C a 1530°C de dos toneladas de hierro.
 {Q = 3.129×10^5 Kcal}

- 13.- El oro necesita estar a una temperatura de 1063°C para fundirse. ¿Qué cantidad de calor necesita aplicar para llevar a 0.5 Kg de este material desde 30°C hasta la temperatura de fusión?
 {Q = 16.011 Kcal}

- 14.- El agua se evapora a 100°C . Si la temperatura ambiente es de 28°C , ¿cuántas calorías es necesario aplicar a 5 Kg de agua para que llegue a su temperatura de ebullición?
 {Q = 360 Kcal}

- 15.- Se mezclan 600 g de agua a 25°C con agua a 80°C . ¿Qué cantidad de agua a 80°C se necesita para que la mezcla esté a 45°C ?
 {m = 342.86 g}

- 16.- Hallar la temperatura (T) resultante de la mezcla de 15 g de agua a 0°C y 300 g de agua a 50°C .
 {T = 47.62°C }



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4o. SEMESTRE.

FÍSICA.

UNIDAD 2.

CALOR Y CAMBIOS DE ESTADO.

En el invierno, nos hacen recomendaciones con respecto a los automóviles, de extraerle el agua al radiador o agregarle un anticongelante al agua del mismo.

La respuesta a este hecho y a otros fenómenos relacionados con el calor, las encontraremos después de estudiar esta unidad, ya que serás capaz de:

OBJETIVOS.

- 1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, leyes y principios incluidos en este capítulo.
- 2.- Resolver problemas relacionados al paso del estado sólido al líquido o viceversa (calor latente de fusión).
- 3.- Resolver problemas relacionados al paso del estado líquido al gaseoso o viceversa (calor de vaporización).
- 4.- Describir cada uno de los factores que afectan la rapidez de evaporación.
- 5.- Describir la humedad relativa como factor climático.
- 6.- Clasificar las máquinas térmicas de acuerdo a como se calienta el gas y de acuerdo al modo en que se convierte el calor en energía.
- 7.- Graficar el comportamiento temperatura contra calor, de por lo menos 5 sustancias en que pase por los tres esta-

dos físicos.

- 8.- Calcular el calor total en una sustancia que pasa desde el estado sólido hasta el gaseoso.
- 9.- Calcular el calor de combustión, a partir de los datos apropiados.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Lee detenidamente el capítulo II de tu libro de texto.
- 2.- Extracta y analiza cuidadosamente las definiciones del objetivo 1.
- 3.- Analiza con calma y cuidadosamente los ejemplos que incluye el capítulo.
- 4.- Consulta con tus compañeros o con tu maestro las dudas que tengas, después de haber leído y practicado tus objetivos.
- 5.- Realiza, en tu casa, los ejercicios que vienen al final del capítulo.

PRE-REQUISITO.

Para tener derecho a presentar esta unidad deberás entregar, en hojas tamaño carta, los problemas nores del capítulo II de tu libro de texto, completamente resueltos.

CAPÍTULO II.

CALOR Y CAMBIO DE ESTADO.

2-1 CALOR LATENTE DE FUSIÓN.

Cuando tenemos un pedazo de hielo al cual se le está aplicando calor, vemos que llega a un punto en que la temperatura no aumenta hasta que se ha transformado completamente en líquido. Es decir, llega a su punto de fusión, que se define como la temperatura en la cual una sustancia en estado sólido pasa al estado líquido, o del estado líquido al sólido, sin existir un cambio de temperatura. Pero la aplicación de calor no se detuvo, esto quiere decir que el hielo necesita una cantidad de calor para poderse derretir totalmente, para luego seguir aumentando su temperatura. Esto sucede en todas las sustancias.

A la cantidad de calor necesaria para transformar un gramo de sustancia en estado sólido a un gramo de sustancia en estado líquido o viceversa, sin aumento o disminución de temperatura se le llama calor latente de fusión o calor de fusión.

En la tabla 2-1, también se dan algunos valores de calor latente de fusión. Conociendo el calor latente de fusión y la masa total de un sólido que se quiera fundir, podemos calcular la cantidad necesaria de calor. Para ello utilizamos la siguiente ecuación:

$$AQ = mL_f \quad (1)$$

siendo m la masa de la sustancia y L_f el calor latente de fusión de la misma sustancia.

TABLA 2-1. Punto de fusión, calor latente de fusión, punto de ebullición y calor de vaporización de algunas sustancias corrientes.

Sustancia.	Punto de fusión °C	Calor de fusión cal/g	Punto de ebullición °C	Calor de vaporización cal/g
Agua	0	80	100	540
Aire	-212	5,5	- 191	51
Aluminio	658	77	1800	—
Cobre	1080	42	2310	—
Dióxido de azufre	73	24	- 10	95
Estaño	232	14	2270	—
Helio	-271	—	- 268	6
Hidrógeno	-259	14	- 252	108
Hierro	1530	6	2450	—
Mercurio	- 39	2,8	357	65
Nitrógeno	-210	6,1	- 195	48
Oro	1063	16	2500	—
Oxígeno	-219	3,3	- 184	51
Plata	962	21	1955	—
Platino	1760	27	3910	—
Plomo	327	5,9	1525	—
Silicio	1420	—	3500	—
Wolframio	3400	—	5830	—

Ejemplo 1.

¿Qué cantidad de calor se requiere para fundir 1 Kg. de aluminio en su temperatura de fusión?

Datos: $m = 1000 \text{ g} = 10 \text{ g}$, $T_f = 658^\circ\text{C}$, $L_f = 77 \text{ cal/g}$; incógnita: ΔQ .

Solución: Por la ecuación 1, tenemos:

$$\Delta Q = mL_f$$

$$= 10^3 \text{ g} \times 77 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$= 77 \times 10^3 \text{ cal}$$

$$= 7.7 \times 10^4 \text{ cal}$$

$$= 77 \text{ Kcal}$$

Ejemplo 2.

200 g de hielo a 0°C se deben transformar en agua a 0°C . Calcular la cantidad necesaria de calor.

Datos: $m = 200 \text{ g}$, $T_f = 0^\circ\text{C}$, $L_f = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$; incógnita: ΔQ .

Solución: Por la ecuación 1, tenemos:

$$\Delta Q = mL_f$$

$$= 200 \text{ g} \times 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$= 1.6 \times 10^4 \text{ cal}$$

$$= 16 \text{ Kcal}$$

Ejemplo 3.

Tenemos 500 g de hielo a 0°C , se le agregan $3 \times 10^4 \text{ cal}$. ¿Qué cantidad de hielo se transforma en agua?

Datos: $Q = 3 \times 10^4 \text{ cal}$, $L_f = 80 \text{ cal/g}$; incógnita: m .

Solución: Por la ecuación 1, tenemos:

$$\Delta Q = mL_f$$

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

$$= \frac{3 \times 10^4 \text{ cal}}{80 \text{ cal/g}}$$

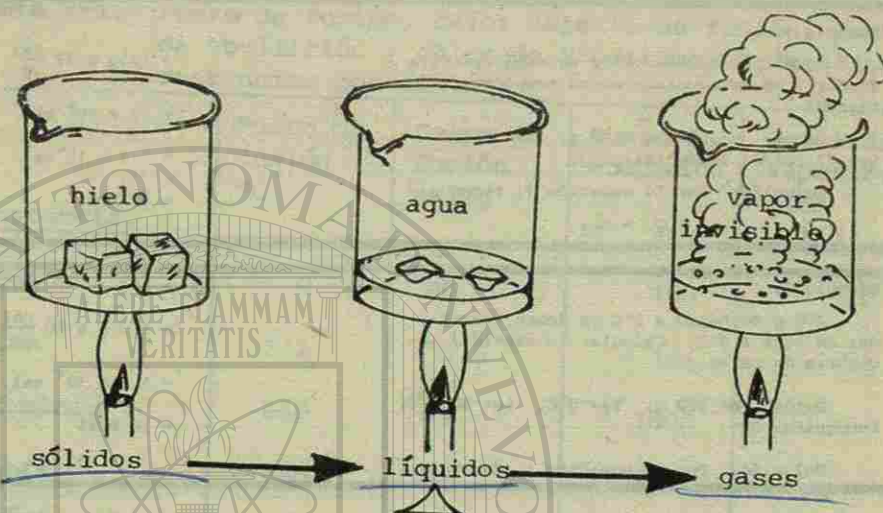
$$= 375 \text{ g}$$

¿Cuál es la diferencia entre hielo sólido a 0° ?

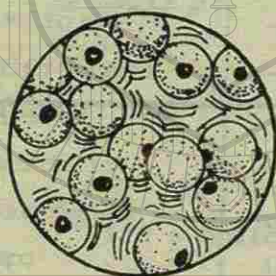
Recuerda que se absorbieron 80 cal de energía térmica por gramo de hielo (a 0°C) para cambiar el hielo en agua a 0°C . De manera que 1 g de agua a 0°C contiene 80 cal más de energía térmica que un gramo de hielo a 0°C .

¿Cómo se almacena esta energía?

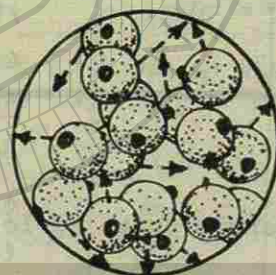
Su almacenamiento no queda indicado por la temperatura porque hay un cambio de estado sin cambio en la temperatura.



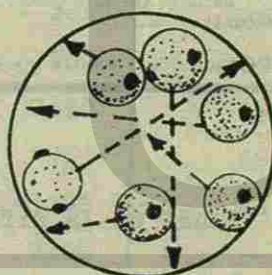
Cambios por calentamiento.



Las moléculas vibran, pero mantienen su posición.



Las moléculas se mueven libremente, pero no se alejan.



Las moléculas se separan moviéndose rápidamente en completa libertad.

Imagen molecular.

Fig. 1.

2-2 CALOR DE VAPORIZACIÓN.

Cuando el agua llega a su punto de ebullición, temperatura en la cual, una sustancia en estado líquido pasa al estado gaseoso o viceversa, sin existir un cambio de temperatura, se le sigue agregando calor sin tener aumento de temperatura. Este calor añadido no se retiene por el líquido sino que se va con el vapor a través del proceso de ebullición.

La cantidad necesaria de calor para transformar un gramo de sustancia en estado líquido en un gramo de sustancia en estado gaseoso o viceversa, sin cambio de temperatura, se le llama calor de vaporización.

Los calores de vaporización de algunas sustancias se dan en la columna 4 de la tabla 2-1, aclarando que en los metales con punto de fusión muy alto, el calor de vaporización nunca ha sido medido.

Al igual que con el calor latente de fusión, con el calor de vaporización podemos calcular la cantidad necesaria de vapor para transformar una determinada masa de sustancia líquida en gaseosa o viceversa, por medio de la ecuación:

$$\Delta Q = mL_v \quad (2)$$

Ejemplo 4.

Calcular la cantidad necesaria de calor para convertir 600 g de oxígeno a -181°C en estado líquido en 600 g de oxígeno en estado gaseoso.

Datos: $m = 600 \text{ g}$, $L_v = 51 \text{ cal/g}$; incógnita: ΔQ .

Solución: Por la ecuación 2, tenemos:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= mL_v \\ &= 600 \text{ g} \times 51 \text{ cal/g} \\ &= 3.06 \times 10^4 \text{ cal} \\ &= 30.6 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

2-3 GRÁFICA: CALOR VS. TEMPERATURA.

La combinación de las tres ecuaciones:

$$\Delta Q = mc\Delta T$$

$$\Delta Q = mL_f$$

$$\Delta Q = mL_v$$

es de gran utilidad para resolver problemas y establecer la gráfica, en el caso de que una sustancia pase del estado sólido hasta el gaseoso o del gaseoso hasta el sólido.

Ejemplo 5.

Se tienen 1800 g de hielo a -30°C . ¿Qué cantidad de calor se requiere para llevarlos a vapor a 150°C ?

1er. Paso.

Hay que llevar el hielo desde -30°C hasta 0°C .

Datos: $m = 1800\text{ g}$, $T = 0^\circ\text{C} - (-30^\circ\text{C}) = 30^\circ\text{C}$, $C = 0.5\text{ cal/g}^\circ\text{C}$, incógnita: ΔQ_1 .

Solución: Por la ecuación 6, tenemos:

$$\Delta Q = mc\Delta T_1$$

$$= 1800\text{g} \times 0.5\text{ cal/g}^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C}$$

$$\Delta Q_1 = 2.7 \times 10^4\text{ cal}$$

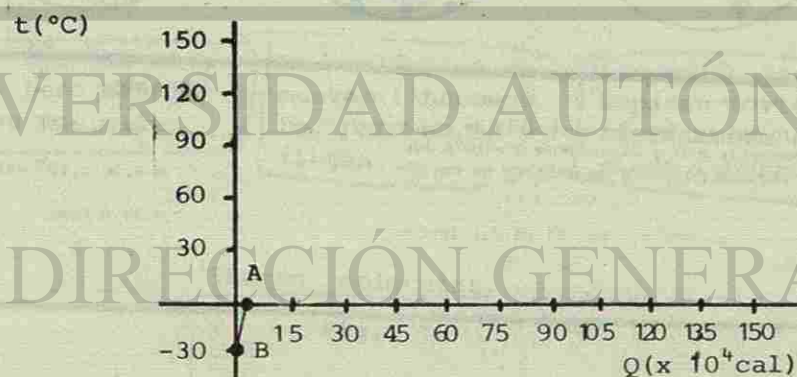


Fig. 2.

Segundo paso.

Debemos calcular el calor necesario para pasar el hielo a 0°C hasta agua a 0°C .

Datos: $m = 1800\text{ g}$, $L_f = 80\text{ cal/g}$, incógnita: ΔQ_2 .

Solución: Por la ecuación 7-1, tenemos:

$$\Delta Q_2 = mL_f$$

$$= 1800\text{ g} \times 80\text{ cal/g}$$

$$= 14.4 \times 10^4\text{ cal}$$

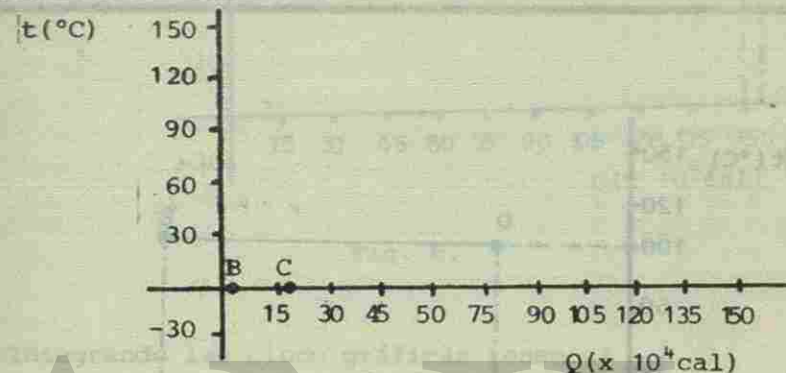


Fig. 3.

Tercer paso.

Llevar el agua desde 0°C hasta su punto de ebullición de 100°C .

Datos: $m = 1800\text{ g}$, $c = 1\text{ cal/g}^\circ\text{C}$, $\Delta T_3 = (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 100^\circ\text{C}$, incógnita: ΔQ_3 .

Solución: Por la ecuación 4, tenemos:

$$\Delta Q_3 = mc\Delta T_3$$

$$= 1800\text{g} \times 1\text{ cal/g}^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C}$$

$$= 18 \times 10^4\text{ cal}$$

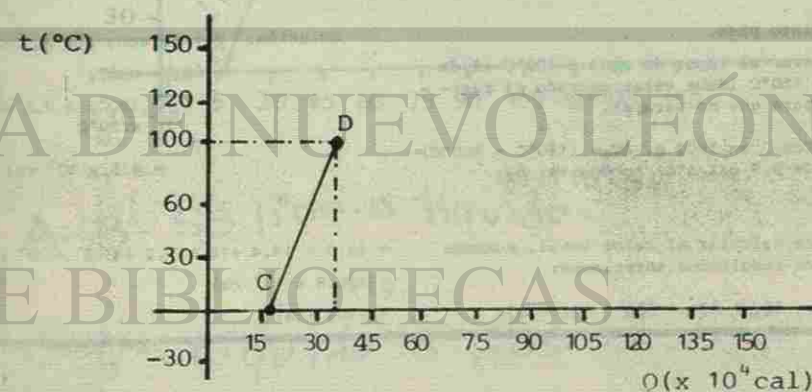


Fig. 4.

Cuarto paso.
Transformar de agua a 100°C en vapor a 100°C.

Datos: $m = 1800 \text{ g}$, $L_v = 540 \text{ cal/g}$, incógnita: ΔQ_4 .

Solución: Por la ecuación 7-2, tenemos:

$$\begin{aligned}\Delta Q_4 &= mL_v \\ &= 1800 \text{ g} \times 540 \text{ cal/g} \\ &= 97.2 \times 10^4 \text{ cal}\end{aligned}$$

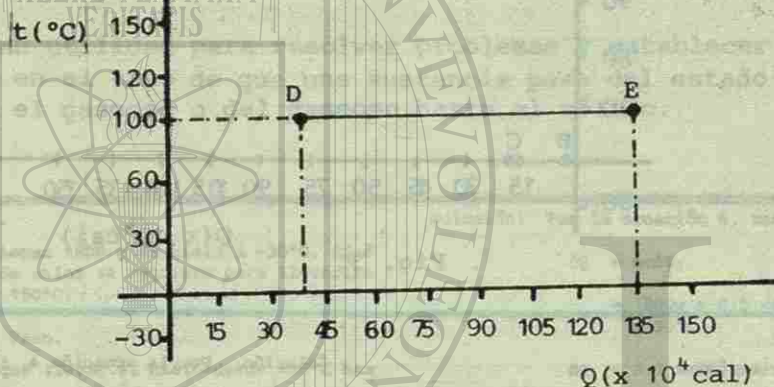


Fig. 5.

Quinto paso.
Llevar el vapor de agua a 100°C al de vapor a 150°C (debe estar cerrado el recipiente para que no escape).

Datos: $m = 1800 \text{ g}$, $\Delta T_5 = (150^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}) = 50^\circ\text{C}$, $C = 0.5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$; incógnita: ΔQ_5 .

Solución: Por la ecuación 4, tenemos:

$$\begin{aligned}\Delta Q_5 &= mC\Delta T_5 \\ &= 1800 \text{ g} \times 0.5 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \\ &\quad \times 50^\circ\text{C} \\ &= 4.5 \times 10^4 \text{ cal}\end{aligned}$$

Para calcular el calor total, sumamos los cinco resultados anteriores:

$$\Delta Q_{\text{total}} = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 + \Delta Q_5 = (2.7 + 14.4 + 18 + 97.2 + 4.5) \times 10^4 \text{ cal} = 136.8 \times 10^4 \text{ cal} = 1368 \text{ Kcal}$$

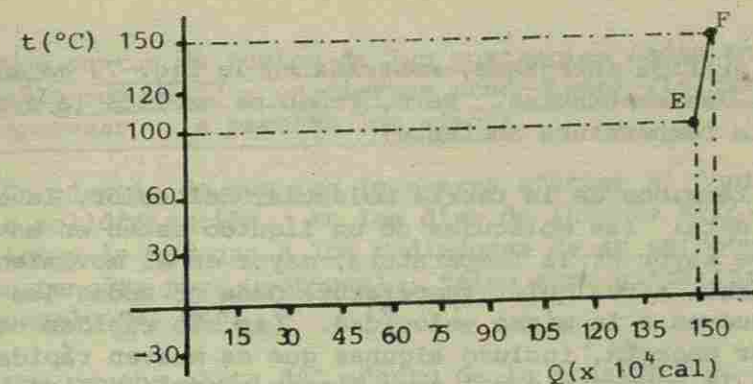
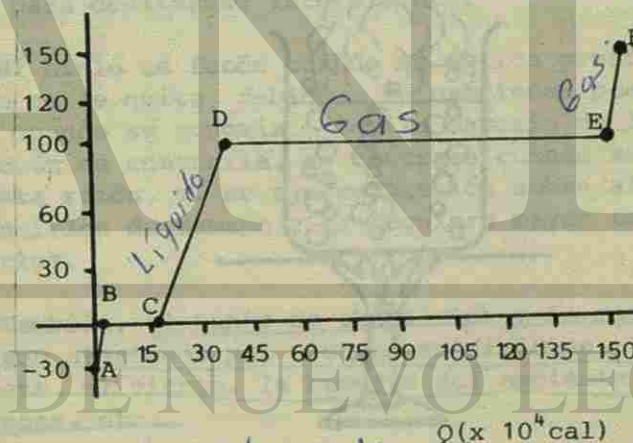


Fig. 6.

Integrando las cinco gráficas tenemos:



A-B- Sólido a líquido.

C-D- Líquido a Gas.

D-E- Gas.

E-F- Gas.

Fig. 7.

La gráfica integrada, mostrada en la fig. 7, es similar en todas las sustancias. Pero, ¿cómo se explica la evaporación a la temperatura ambiente?

En términos de la teoría molecular del calor, la explicación es esta: las moléculas de un líquido están en movimiento; entre mayor es la temperatura, mayor es el movimiento. Sin embargo, a cualquier temperatura dada no todas las moléculas se mueven a la misma velocidad. Las más rápidas contienen mayor energía, incluso algunas que se mueven rápidamente cerca de la superficie del agua tienen energía suficiente como para vencer la fuerza de cohesión de las otras moléculas y escapar hacia el aire. Si en esta forma se escapa un gramo de moléculas, entonces se ha evaporado un gramo de agua.

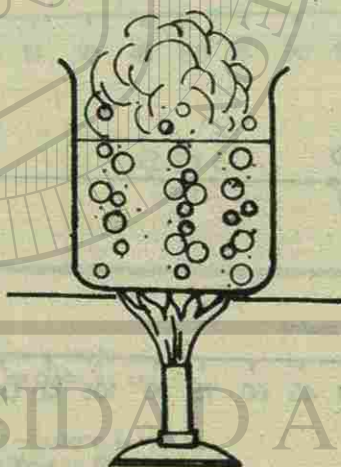


Fig. 8.

La gráfica de una sustancia a otra varía en que tienen distinto punto de ebullición, de fusión, calor específico, calor latente de fusión y calor de vaporización, pero la trayectoria es similar.

Los puntos de fusión de las sustancias dadas en la tabla 2-1, sólo son válidas en ciertas condiciones físicas, ya que las impurezas y la presión los afecta.

Un ejemplo de que las impurezas afectan al punto de fusión o solidificación. En los días de intenso frío, los automovilistas le agregan a los radiadores de su automóvil algunas sustancias para protegerlo, tales como glicerina, alcohol, anticongelante, etc.

Una prueba clara del efecto de la presión sobre el punto de fusión, la tenemos en el patinaje sobre líquido. El patinador ejerce presión sobre el hielo y lo funde temporalmente. Éste se desliza así sobre una delgada capa de agua. Si los patines están afilados, el peso del patinador se distribuye sobre una área muy pequeña, por lo que la presión aumenta, lo que hace bajar aún más el punto de fusión y los patines penetran más en el hielo. Por esta razón, el patín es poco apropiado para deslizarse lateralmente.

El hielo se funde cuando se aplica presión y se congela cuando se le quita, debido a su propiedad poco usual de dilatarse cuando se congela. Con la mayoría de los materiales la situación es contraria, se contraen cuando se solidifican. Por esta razón, si se ejerce presión sobre ellos, se tiende a disminuirlos de tamaño y se requiere mayor temperatura para fundirlos.

También, el punto de ebullición y la rapidez de evaporación son afectados por algunas condiciones, tales como la temperatura, el viento, la humedad del ambiente, la presión, las impurezas, etc.

2-4 HUMEDAD.

Cuando las moléculas del agua se escapan por evaporación de la superficie libre del líquido, se mezclan con las moléculas del aire que están encima, es decir, forman una mezcla de

Humedad absoluta: Cantidad de vapor de agua presente en un metro cúbico de aire

Humedad Relativa.-

Relación entre la cantidad de vapor de agua realmente presente en algún volumen de aire y la cantidad requerida para saturar el mismo volumen de aire a la misma Temperatura.

La cantidad de vapor de agua presente en el aire se le llama humedad absoluta

la humedad relativa. La humedad es la cantidad de vapor de agua en un volumen de aire y la cantidad requerida para saturar el mismo volumen de aire a la misma temperatura.

LA 2-2.

VAPOR DE AGUA.		
0°C	6	32°F
5°C	6	41°F
10°C	6	50°F
15°C	6	59°F
20°C	6	68°F
25°C	6	77°F
30°C	6	86°F
35°C	6	95°F
		4,8 g/m ³
		6,8 "
		9,3 "
		12,7 "
		17,1 "
		22,8 "
		30,0 "
		39,2 "

Ejemplo 6.

En cierto momento, la temperatura es de 30°C y la cantidad de vapor de agua es de 9 g/m³. Calcular la humedad relativa.

Datos: T = 30°C, vapor de agua = 9 g/m³, vapor para saturar = 30 g/m³; incógnita: humedad relativa.

Solución: Por definición, tenemos:

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{vapor de agua presente}}{\text{saturación a } 30^{\circ}\text{C}} \times 100$$

$$= \frac{9 \text{ g/m}^3}{30 \text{ g/m}^3} \times 100$$

$$= 30.00 \%$$

411386

Mientras más alta sea la humedad relativa, más se dificulta la evaporación, hasta que está saturado el ambiente, es decir, la humedad relativa es de 100 %. Prácticamente ya no existe evaporación. La cantidad de moléculas que salen del líquido es igual a la cantidad de moléculas que entran al líquido.

También, como en el caso del punto de fusión, el aumento de presión provoca que el punto de ebullición aumente. Ver tabla 2-3.

TABLA 2-3.

Temp., °C	Presión, cm Hg.	Temp., °C	Presión, cm Hg.
0	0,458	70	23,37
5	0,654	75	28,37
10	0,921	80	35,51
15	1,28	85	43,36
20	1,75	90	52,58
25	2,37	95	63,39
30	3,18	100	76,00
35	4,22	110	107,4
40	5,53	120	148,9
45	7,19	130	202,6
50	9,25	140	271,1
55	11,80	150	357,0
60	14,94	160	463,6
65	18,75		

Las impurezas como el azúcar, revueltos con el agua, ocasionan un aumento en la temperatura de ebullición.

2-5 MÁQUINAS TÉRMICAS.

Las máquinas térmicas son sistemas que transforman energía térmica en energía mecánica. Esto lo hace en la proporción de 4.2 J por cada caloría transformada. Para llevar a cabo esto, todas las máquinas térmicas aplican la expansión de los gases.

Las máquinas térmicas son de varios tipos: según como se calienta el gas, éstas pueden ser: máquinas de combustión interna, en que el combustible se quema dentro de la cámara donde tiene lugar la expansión. Por ejemplo: los coches, los motores de gasolina (autos, motocicletas) y los motores Diesel. Máquinas de combustión externa, en las cuales se calienta fuera de la cámara de expansión. Son ejemplos de éstos, la máquina de vapor de movimiento alternativo y la turbina de vapor.

Las máquinas también pueden ser clasificadas de acuerdo a la forma en que el calor se convierte en energía mecánica: tipo de pistón o de movimiento alternativo. En éstos, el gas caliente utilizado se dilata empujando el pistón en un cilindro. Por ejemplo: máquinas de vapor, motores de automóviles, algunos motores de aviones.

Tipo rotativo o de turbina. El gas caliente utilizado se dilata y empuja unas paletas unidas a un eje central. El eje rotativo se mueve más allá de la turbina y puede servir para hacer girar otras máquinas.

Motores de reacción. El gas al dilatarse es expulsado a través de una abertura en uno de los extremos del motor y la reacción envía a este en sentido opuesto. Ejemplos: aviones de propulsión a chorro, cohetes y en algunos botes de motor de gran velocidad.

2-6 MÁQUINAS DE MOVIMIENTO ALTERNATIVO: (CON PISTONES).

Motor de gasolina. La gasolina se mezcla con el aire en el carburador. La mezcla entra al cilindro y se comprime. Una chispa eléctrica enciende la mezcla. Los gases calientes que se forman por la combustión, se dilatan empujando al pistón.

Motor diesel. El aire entra al cilindro y es altamente comprimido, elevándose la temperatura. El aceite combustible se pulveriza dentro del cilindro, encendiéndose espontáneamente cuando se encuentra al aire caliente. Los gases calientes que se forman por la combustión, se dilatan empujando al pistón.

Máquina de vapor alternativa. La combustión del carbón, aceite o algún otro combustible en un hogar calienta vapor de agua en una caldera. El oxígeno se obtiene del aire. El vapor se lleva al cilindro donde se dilata y empuja al pistón. Unas válvulas permiten que el vapor penetre en el cilindro, primero por un lado del pistón y después por el otro.

2-7 MÁQUINAS ROTATIVAS (TURBINAS).

Turbina de vapor. Puede utilizar la combustión de carbón, aceite o gasolina. Algunos utilizan reactores radiactivos para calentar agua comprimida, que a su vez calienta más en un intercambiador de calor. En este caso no se necesita oxígeno. El vapor se dilata impulsando las paletas de una turbina obligándolas a girar.

Turbina de gas. Se enciende una mezcla de aire comprimido y combustible en una cámara de combustión. Los gases de escape hacen girar la turbina al dilatarse. La reacción de éstos puede servir también como una fuente de potencia, cuando esta máquina se usa en aviación.

2-8 MOTORES DE REACCIÓN.

Propulsión a chorro. El aire de la atmósfera se comprime y luego se combina con el combustible (queroseno) en una cámara de combustión. Una chispa enciende el combustible. Los gases calientes de escape se dilatan saliendo hacia atrás a alta velocidad. La reacción envía el motor hacia delante.

Cohete de combustible líquido. Transporta tanques de un propulsor líquido (queroseno, gasolina, anilina, alcohol, etc.) y tanques de oxígeno líquido u otro oxidante que se inyectan a la vez en una cámara de combustión, siendo ésta frecuentemente espontánea. Puede funcionar fuera de la atmósfera terrestre. Los gases calientes de escape se dilatan saliendo hacia atrás a alta velocidad. La reacción envía al motor hacia adelante.

Cohete de combustible sólido. La cámara de combustión se llena con una mezcla de un oxidante sólido y de un combustible sólido (en general, varias resinas orgánicas). Se necesita encendido. La combustión tiene lugar en la superficie y su velocidad se controla con la forma de dicha superficie. Puede funcionar fuera de la atmósfera terrestre. Los gases calientes de escape se dilatan saliendo hacia atrás a alta velocidad. La reacción envía el motor hacia delante.

2-9 UNA MÁQUINA INCREÍBLE.

Para trabajar los músculos, igual que el motor de un coche, necesitan tanto el combustible como la chispa que libere la energía del mismo. Hay dos clases de combustible para el organismo: los carbohidratos (almidones y azúcares y las grasas). Las vitaminas B son la chispa necesaria para liberar la energía del combustible. De la misma manera que un motor no puede utilizar la energía de la gasolina sin usar bujía, el cuerpo no puede utilizar la energía de los alimentos sin las vitaminas B.

El azúcar más simple, el que los músculos usan directamente, es la glucosa o dextrosa. Se encuentra en las frutas y se le llama también azúcar de uva. Todos los carbohidratos que comemos y absorbemos finalmente se convierten en glucosa, que es el azúcar de la sangre, un tipo de carbohidrato que circula en la corriente sanguínea, por todas las partes del cuerpo.

Las grasas son combustible más concentrado que los carbohidratos, puesto que, mientras que éstos últimos proporcionan energía a razón de 4 Kcal/g, las grasas lo hacen a razón de 9 Kcal/g.

Además de ser un alimento concentrado, las grasas representan una manera económica de almacenar combustible. Todo sobrante de alimento, en cualquier forma que se ingiera, se almacena en el cuerpo como grasa, formando una capa bajo la piel.

Nuestro cuerpo necesita combustible para desempeñar las actividades diarias. Pero aún cuando descansamos, o dormimos, nuestro cuerpo sigue usando combustible para que el corazón siga latiendo, para mantener el tono muscular y para conservarnos calientes. Por lo tanto, nuestras necesidades de combustible se pueden dividir en dos grupos: las requeridas cuando estamos en reposo completo (metabolismo basal) y las que se requieren para realizar cualquier actividad (calorías para el trabajo).

Siguiendo adelante con la analogía del coche, la cantidad de combustible depende de la masa (la tasa de metabolismo basal depende del tamaño del cuerpo) y la distancia recorrida (las calorías para el trabajo dependen de la cantidad de trabajo efectuado). En el coche podemos llegar hasta el tanque lleno (no podemos almacenar más combustible). En las personas sí se consume más combustible, en forma de alimentos que la que gastan, almacenan el sobrante y en forma de grasa empiezan a abultarse.

Es sorprendente saber lo pequeña que es la proporción de nuestro gasto diario de calorías requeridas para el trabajo. En todas las personas, con excepción de los que realizan trabajos pesados, el gasto para el metabolismo basal constituye la mayor parte del total. Tomemos por ejemplo una mujer que pesa 57 Kg, mide 1.58 m y desempeña un trabajo ligero; su metabolismo basal necesita 1,400 Kcal y todas sus actividades tales como estar de pie, caminar, vestirse y trabajar sólo requieren 700 Kcal adicionales.

Para un equipo de competencias en bote de remo, después de remar hasta agotarse, es desagradable oír que un amigo no atlético puede gastar más calorías en una tarde dedicada a la jardinería que cuando ellos reman en el río (sencillamente porque él lo hace durante más tiempo). El remar es un ejercicio sumamente agotador y requiere unas 1,000 Kcal por hora, pero como las competencias de remo duran 20 minutos, el gasto total sólo es de 330 Kcal. La jardinería es una ocupación mucho más tranquila y únicamente significa un gasto de 200 Kcal por hora, pero si la labor dura tres horas, el total es de 600 Kcal.

2-10 CALOR DE COMBUSTIÓN.

Para el funcionamiento de estas máquinas, necesitamos una fuente de calor. A estas fuentes de calor se les llama combustibles.

Cada combustible tiene un poder calorífico por unidad de masa. El calor de combustión de un combustible se define como la cantidad de calor obtenida al quemar un gramo de masa de dicho combustible. El calor de combustión se expresa en Cal/g. (Calorías por gramo).

TABLA 2-4. CALOR DE COMBUSTIÓN DE ALGUNOS COMBUSTIBLES.
(Valores aproximados).

Combustible.	Cal/g.
Alcohol desnaturalizado.....	6500
Carbón.....	6-8000
Petróleo crudo.....	10500
Aceite diesel.....	10800
Aceite combustible.....	10500
Gasolina.....	11500
Queroseno.....	11000

Para calcular el poder de combustión de una masa determinada de combustible, multiplicamos la masa por el calor de combustión.

$$Q = mq \quad (9)$$

Ejemplo 7.

Calcular el poder calorífico de 5 litros de gasolina (3.35 Kg).

Datos: $m = 3.35 \text{ Kg}$, $q = 11500 \text{ cal/g}$; incógnita: Q .

Solución: Por la ecuación 9, tenemos:

$$Q = mq$$

$$= 3.35 \times 10^3 \text{ g} \times 11500 \text{ cal/g}$$

$$= 3.8525 \times 10^7 \text{ cal}$$

$$= 3.8525 \times 10^4 \text{ cal}$$

AUTOEVALUACIÓN.

- 1.- Se desea fundir 400 g de plomo que se encuentran en su temperatura de fusión. Calcular la cantidad de calor necesario. $\{Q = 2360 \text{ cal}\}$
- 2.- 250 g de agua se encuentran a una temperatura de 100°C . ¿Qué cantidad de calor se necesita para evaporar únicamente 200 g de esa agua? $\{Q = 108,000 \text{ cal}\}$
- 3.- ¿Cuánto calor se necesitará agregar a un trozo de hielo de 70 g de masa que está a una temperatura de -16°C y se quiere pasar a agua a 40°C ? $\{Q = 3960 \text{ cal}\}$
- 4.- Se tiene un cubo de cobre de 8 Kg de masa a una temperatura de 320°C . ¿Cuánto calor disipará si la temperatura final del cubo es de 32°C ? $\{Q = 214,272 \text{ cal}\}$
- 5.- ¿Qué cantidad de plomo se podrá fundir si está a la temperatura de fusión y se le agregan 6.4 Kcal? $\{m = 1084.7 \text{ g}\}$
- 6.- ¿Qué cantidad de calor se necesita para transformar 90 g de hielo a 60°C en agua a 85°C ? $\{Q = 17500 \text{ cal}\}$
- 7.- Se tiene una masa de agua en la temperatura de ebullición. ¿Cuánta masa se evaporará si le agregamos 11 Kcal? $\{m = 20.37 \text{ g}\}$
- 8.- ¿Cuánto calor se necesita agregar para transformar en vapor 110 g de hielo que están a una temperatura de 40°C abajo de su punto de fusión? $\{Q = 81,400 \text{ Kcal}\}$
- 9.- Se tiene una masa de 135 g de hielo a una temperatura de 8°C bajo cero. ¿Cuánto calor se necesitará agregar para convertir el hielo en: a) agua a 0°C , b) agua a 20°C , c) agua a 80°C , d) agua a 100°C , e) todo en vapor?
 $\{a) Q = 11340 \text{ cal} \quad b) Q = 14040 \text{ cal}$
 $\{c) Q = 22140 \text{ cal} \quad d) Q = 24840 \text{ cal}$
 $\{e) Q = 97740 \text{ cal}\}$
- 10.- Una determinada cantidad de vapor se condensa al extraérsele 15.4 Kcal. ¿Cuál será la cantidad de vapor que se logra condensar? $\{m = 2952 \text{ g}\}$
- 11.- Construir una gráfica de temperatura contra calor del problema # 9.
- 12.- ¿Qué cantidad de calor se necesita quitarle al agua del problema # 10 para que se convierta en hielo a 6°C bajo cero? $\{Q = 20618 \text{ cal}\}$
- 13.- Calcular la humedad relativa que existe en determinado lugar si en cierto momento la temperatura es de 35°C y la cantidad de vapor es de 12g/m. $\{3\% \}$
- 14.- Si la humedad relativa en un determinado lugar es de 65 %, calcular la cantidad de agua que contiene la atmósfera si la temperatura es de 30°C . $\{m = 19.5 \text{ g/m}\}$
- 15.- Calcular el poder calorífico de 1.5 Kg de carbón. El calor de la combustión del carbón es de 6500 cal/g. $\{E = 9.75 \times 10^5 \text{ cal} = 9.75 \times 10^3 \text{ Kcal}\}$
- 16.- 4 litros de gasolina (2.68 Kg) se quemaron totalmente. Encontrar la energía liberada. Si no se perdiera absolutamente nada de energía, ¿cuánta agua a 50°C se podría evaporar con los 4 litros de gasolina? $\{m = 52.24 \text{ g}\}$

40. SEMESTRE.

FÍSICA.

UNIDAD 3.

ESTUDIO DE LAS ONDAS Y DEL SONIDO.

Alguna vez habrás observado lo que sucede cuando se arroja una piedra al agua de un río o cualquier estanque, o el movimiento vibrante de las cuerdas de una guitarra, o el de un resorte que es estirado y después trate de volver a su posición original adquiriendo también un movimiento muy particular. Todos éstos son ejemplos de ondas, como lo son también el sonido, las ondas de radio que no son visibles pero que tienen características comunes a las anteriores.

OBJETIVOS.

- 1.- Definir los términos, conceptos, principios y leyes incluidas en este capítulo.
- 2.- Explicar ampliamente el concepto de movimiento armónico simple.
- 3.- Calcular, a partir de los datos apropiados el período y la frecuencia de vibración de una onda y de un péndulo.
- 4.- Diferenciar entre onda longitudinal y onda transversal.
- 5.- Calcular la longitud de onda, a partir de los datos apropiados.
- 6.- Explicar ampliamente el efecto Doppler.
- 7.- Explicar por qué el sonido no se propaga en el vacío.
- 8.- Calcular, a partir de datos apropiados, la velocidad

AUTOEVALUACIÓN.

- 1.- Se desea fundir 400 g de plomo que se encuentran en su temperatura de fusión. Calcular la cantidad de calor necesario. $\{Q = 2360 \text{ cal}\}$
- 2.- 250 g de agua se encuentran a una temperatura de 100°C . ¿Qué cantidad de calor se necesita para evaporar únicamente 200 g de esa agua? $\{Q = 108,000 \text{ cal}\}$
- 3.- ¿Cuánto calor se necesitará agregar a un trozo de hielo de 70 g de masa que está a una temperatura de -16°C y se quiere pasar a agua a 40°C ? $\{Q = 3960 \text{ cal}\}$
- 4.- Se tiene un cubo de cobre de 8 Kg de masa a una temperatura de 320°C . ¿Cuánto calor disipará si la temperatura final del cubo es de 32°C ? $\{Q = 214,272 \text{ cal}\}$
- 5.- ¿Qué cantidad de plomo se podrá fundir si está a la temperatura de fusión y se le agregan 6.4 Kcal? $\{m = 1084.7 \text{ g}\}$
- 6.- ¿Qué cantidad de calor se necesita para transformar 90 g de hielo a 60°C en agua a 85°C ? $\{Q = 17500 \text{ cal}\}$
- 7.- Se tiene una masa de agua en la temperatura de ebullición. ¿Cuánta masa se evaporará si le agregamos 11 Kcal? $\{m = 20.37 \text{ g}\}$
- 8.- ¿Cuánto calor se necesita agregar para transformar en vapor 110 g de hielo que están a una temperatura de 40°C abajo de su punto de fusión? $\{Q = 81,400 \text{ Kcal}\}$
- 9.- Se tiene una masa de 135 g de hielo a una temperatura de 8°C bajo cero. ¿Cuánto calor se necesitará agregar para convertir el hielo en: a) agua a 0°C , b) agua a 20°C , c) agua a 80°C , d) agua a 100°C , e) todo en vapor?
 $\{a) Q = 11340 \text{ cal} \quad b) Q = 14040 \text{ cal}$
 $\{c) Q = 22140 \text{ cal} \quad d) Q = 24840 \text{ cal}$
 $\{e) Q = 97740 \text{ cal}\}$
- 10.- Una determinada cantidad de vapor se condensa al extraérsele 15.4 Kcal. ¿Cuál será la cantidad de vapor que se logra condensar? $\{m = 2952 \text{ g}\}$
- 11.- Construir una gráfica de temperatura contra calor del problema # 9.
- 12.- ¿Qué cantidad de calor se necesita quitarle al agua del problema # 10 para que se convierta en hielo a 6°C bajo cero? $\{Q = 20618 \text{ cal}\}$
- 13.- Calcular la humedad relativa que existe en determinado lugar si en cierto momento la temperatura es de 35°C y la cantidad de vapor es de 12g/m. $\{3\% \}$
- 14.- Si la humedad relativa en un determinado lugar es de 65 %, calcular la cantidad de agua que contiene la atmósfera si la temperatura es de 30°C . $\{m = 19.5 \text{ g/m}\}$
- 15.- Calcular el poder calorífico de 1.5 Kg de carbón. El calor de la combustión del carbón es de 6500 cal/g. $\{E = 9.75 \times 10^5 \text{ cal} = 9.75 \times 10^3 \text{ Kcal}\}$
- 16.- 4 litros de gasolina (2.68 Kg) se quemaron totalmente. Encontrar la energía liberada. Si no se perdiera absolutamente nada de energía, ¿cuánta agua a 50°C se podría evaporar con los 4 litros de gasolina? $\{m = 52.24 \text{ g}\}$

40. SEMESTRE.

FÍSICA.

UNIDAD 3.

ESTUDIO DE LAS ONDAS Y DEL SONIDO.

Alguna vez habrás observado lo que sucede cuando se arroja una piedra al agua de un río o cualquier estanque, o el movimiento vibrante de las cuerdas de una guitarra, o el de un resorte que es estirado y después trate de volver a su posición original adquiriendo también un movimiento muy particular. Todos éstos son ejemplos de ondas, como lo son también el sonido, las ondas de radio que no son visibles pero que tienen características comunes a las anteriores.

OBJETIVOS.

- 1.- Definir los términos, conceptos, principios y leyes incluidas en este capítulo.
- 2.- Explicar ampliamente el concepto de movimiento armónico simple.
- 3.- Calcular, a partir de los datos apropiados el período y la frecuencia de vibración de una onda y de un péndulo.
- 4.- Diferenciar entre onda longitudinal y onda transversal.
- 5.- Calcular la longitud de onda, a partir de los datos apropiados.
- 6.- Explicar ampliamente el efecto Doppler.
- 7.- Explicar por qué el sonido no se propaga en el vacío.
- 8.- Calcular, a partir de datos apropiados, la velocidad

del sonido en diferentes sustancias.

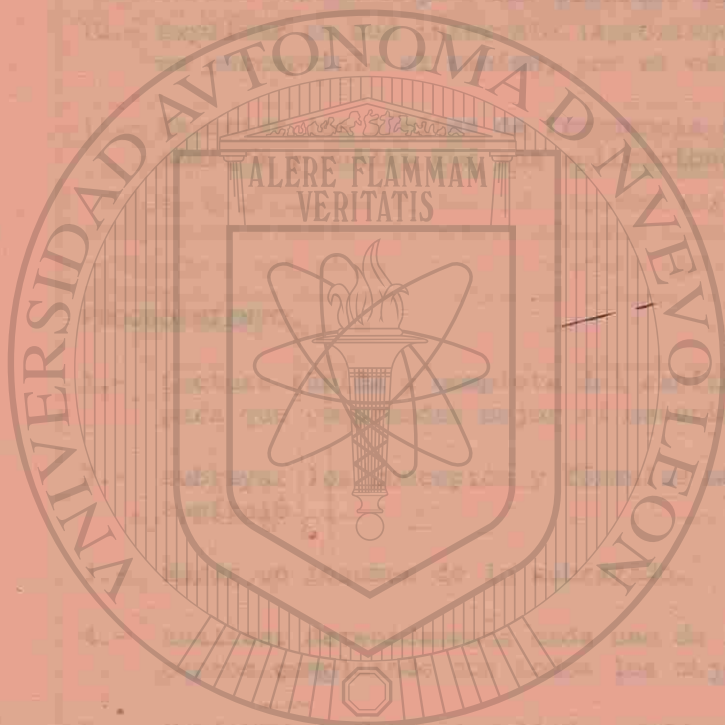
- 9.- Explicar ampliamente los conceptos de difracción y refracción del sonido.
- 10.- Explicar en qué intervalo (aproximado) de frecuencias es perceptible el sonido, por el oído humano.
- 11.- Enunciar los límites de frecuencia de los sonidos ultrasónicos y cuáles son sus aplicaciones.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Lectura rápida y completa del capítulo III de tu libro para que comprendas mejor el material de esta unidad.
- 2.- Subrayar los conceptos y fórmulas más importantes del capítulo.
- 3.- Hacer un resumen de lo subrayado.
- 4.- Analizar detenidamente cada uno de los términos y conceptos cumpliendo con todos los objetivos.
- 5.- Analizar en forma detallada, cada uno de los ejemplos resueltos en tu texto.
- 6.- Resolver los problemas de autoevaluación, tratando de obtener las respuestas incluidas al final de cada problema.
- 7.- Resolver problemas de otros textos de física, ya que la práctica en tu material es lo que hará que obtengas mejores resultados.
- 8.- Cualquier duda que tengas no te quedes con ella, consulta con tus compañeros o con tu maestro.

PRE-REQUISITO.

Para tener derecho a presentar la evaluación de esta unidad, deberás entregar, en hojas tamaño carta, los problemas de autoevaluación del capítulo III completamente resueltos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL

CAPÍTULO III.

ESTUDIO DE LAS ONDAS Y EL SONIDO.

Todos hemos observado un péndulo de reloj y hemos visto que éste recorre una determinada distancia y luego retorna a su lugar de origen, siempre con una velocidad que aparentemente es constante, pero analizando este movimiento notamos que en un extremo la velocidad del péndulo es nula; o sea que parte desde el reposo y a medida que va recorriendo distancia va aumentando su velocidad, siendo ésta mayor en la parte central del recorrido; al pasar de la parte central la velocidad empieza a disminuir hasta llegar a ser cero en el otro extremo del recorrido. Al retornar se repite el proceso, o sea que aumenta la velocidad hasta llegar al punto central de la trayectoria del péndulo y después empieza a disminuir de nuevo hasta llegar a ser nula en el punto del que originalmente partió.

3-1. MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE.

A todo cuerpo que tenga un movimiento de vaivén se le llama cuerpo vibrante.

El movimiento del péndulo es muy parecido al movimiento armónico simple, siempre y cuando el ángulo barrido no sea mayor de 15° . El movimiento de un resorte es otro tipo de movimiento también considerado como movimiento armónico simple.

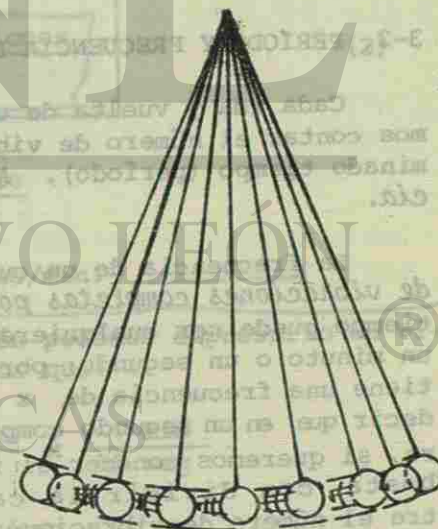


Fig. 1.

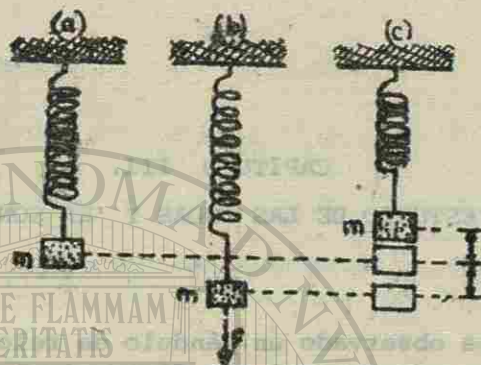


Fig. 2.

En el caso del resorte, éste está sometido a una fuerza de restitución que es directamente proporcional al recorrido del cuerpo desde su posición de equilibrio.

La definición exacta del movimiento armónico simple es la siguiente: es aquel movimiento en que la aceleración está apuntando siempre hacia la posición de equilibrio y es directamente proporcional al desplazamiento.

3-2 PERÍODO Y FRECUENCIA DE UN CUERPO VIBRANTE.

Cada ida y vuelta de un cuerpo es una vibración y podemos contar el número de vibraciones de un cuerpo en un determinado tiempo (período). A esta cuenta le llamaremos frecuencia.

La frecuencia de un cuerpo está definida como el número de vibraciones completas por unidad de tiempo. La unidad de tiempo puede ser cualquiera que sea conveniente, una hora, un minuto o un segundo; por ejemplo, al decir que un cuerpo tiene una frecuencia de x vibraciones por segundo queremos decir que en un segundo completó x vibraciones completas. Ahora, si queremos conocer el tiempo que tarda una vibración, basta con dividir la cantidad de tiempo empleado entre el número de vibraciones ocurridas en ese intervalo de tiempo. Al intervalo de tiempo para una vibración completa

se le llama período y se representa como (T) .

El período, por lo tanto, es lo inverso que la frecuencia:

$$T = \left(\frac{1}{f}\right)$$

(1)

Ejemplo 1. Un cuerpo vibra constantemente a razón de 600 vibraciones por minuto. Calcular la frecuencia con que vibra el cuerpo.

Datos:

No. = 600 vibraciones

$T = 1$ minuto

Como la frecuencia es el número determinado de vibraciones por unidad de tiempo, tenemos que:

$$f = \frac{\text{No. de vibraciones}}{\text{tiempo}}$$

(2)

$$= \frac{600 \text{ vibraciones}}{1 \text{ minuto}}$$

$$= 600 \text{ vibraciones/min.}$$

Pero este resultado también podemos expresarlo en vibraciones por segundo. Así, tenemos que:

$$f = \frac{600 \text{ vibraciones}}{1 \text{ minuto}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$= 10 \text{ vibraciones/seg}$$

Frecuentemente encontramos que la frecuencia está expresada en ciclos/seg, o en hz/seg (hertz por seg.). Las estaciones radiodifusoras transmiten sus programas en kilociclos. Así, por ejemplo, el resultado del problema anterior será:

Puesto que 1 ciclo = 1 vibración completa
entonces, $f = 10$ ciclos/seg
1 kilociclo = 1000 ciclos

Entonces, el resultado del problema expresado en kilociclos/seg, será:

$$f = 10 \text{ ciclos/seg} \times \frac{1 \text{ kilociclo}}{1000 \text{ ciclos}} = 0.01 \text{ kilociclos/seg}$$

Ejemplo 2. Un cuerpo vibra a razón de 40,000 veces por minuto. Encontrar la frecuencia en kilociclos con la que vibra dicho cuerpo y el período del cuerpo.

Datos:

$$\begin{aligned} \text{No.} &= 40,000 \text{ vibraciones} \\ &= 40,000 \text{ ciclos} \end{aligned}$$

$$T = 1 \text{ min} = 60 \text{ seg}$$

$$f = \frac{40,000 \text{ ciclos}}{60 \text{ seg}}$$

$$= 666.67 \text{ ciclos/seg}$$

$$= 666.67 \text{ ciclos/seg} \times \frac{1 \text{ kilociclo}}{1000 \text{ ciclos}}$$

$$= 0.66667 \text{ kilociclos/seg}$$

$$T = 1/f$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{666.67 \text{ ciclos/seg}} \\ &= 0.0015 \text{ seg/ciclos} \end{aligned}$$

o sea que el tiempo usado para una sola vibración es de 0.0015 seg.

Cuando observamos el péndulo notamos en cada vibración, que al principio la velocidad es más fuerte que al final, también la distancia recorrida es más grande al principio que al final y lógicamente la frecuencia también cambiará. La frecuencia (F) de un péndulo como el de la figura 1 depende de la longitud de la cuerda (l) y de la aceleración de la gravedad (g), pero no de la masa del péndulo.

Para un péndulo, tenemos:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g/l} \quad (3)$$

Así tenemos que el período para un péndulo será:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi} \sqrt{g/l}}$$

de donde:

$$T = 2\pi \sqrt{l/g} \quad (4)$$

Ejemplo 3. Un péndulo tiene una cuerda de 0.60 m de largo. Calcular: a) la frecuencia; b) su período de vibración.

Solución:

Primeramente hay que anotar los datos del problema.

Datos:

$$l = 0.60 \text{ m}$$

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

Por la ecuación (3), tenemos:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g/l}$$

Sustituimos los datos:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9.8 \text{ m/seg}^2}{0.60 \text{ m}}}$$

$$= \frac{1}{6.2832} \sqrt{\frac{16.333}{\text{seg}^2}}$$

$$= 0.643 \text{ ciclos/seg}$$

Para calcular el período del péndulo, por la ecuación 4, tenemos:

$$T = 2\pi \sqrt{l/g}$$

Sustituyendo datos:

$$T = 2(3.1416) \sqrt{\frac{0.60 \text{ m}}{9.8 \text{ m/seg}^2}}$$

$$T = 1.554 \text{ seg}$$

NOTA IMPORTANTE:

En este problema se tomó la gravedad como 9.8 m/seg^2 porque la longitud de la cuerda del péndulo está expresada en metros (se usa el sistema M.K.S.).

3-3 AMPLITUD Y DESPLAZAMIENTO DE LAS ONDAS.

Todos los cuerpos vibrantes poseen amplitud, esto es, el desplazamiento máximo que recorre el cuerpo y es medido desde la posición de equilibrio. La distancia que hay en un instante dado de la posición de equilibrio a la del cuerpo que oscila se llama desplazamiento o elongación.

Se puede construir un péndulo que trace su propia gráfica, esto se logra de la siguiente manera. A un cono que está lleno de arena fina se le corta su extremo inferior y se le pone a oscilar; al estar perforado, la arena empezará a salir y ésta caerá en una cartulina negra o de color oscuro que estará en movimiento tal y como lo muestra la figura 3. El movimiento de la cartulina debe de ser lento, pero uniforme, de tal manera que al caer la arena, ésta no se derrame y así se pueda ver el patrón de desplazamiento del péndulo. La arena al caer forma una línea ondulada que es el producto o mezcla de dos movimientos (el del péndulo y el de la cartulina). A este tipo de onda se le llama onda senoide o senoide porque es similar a la gráfica de la función trigonométrica seno.

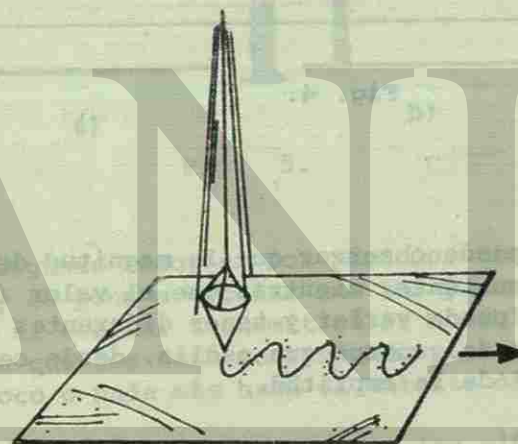


Fig. 3. En esta gráfica se verá el valor variable de las elongaciones del péndulo según cambia el tiempo. Como se nota en la figura 4 donde se ilustra una onda senoide con las distancias de amplitud y elongación indicadas como "a" y "e" respectivamente.

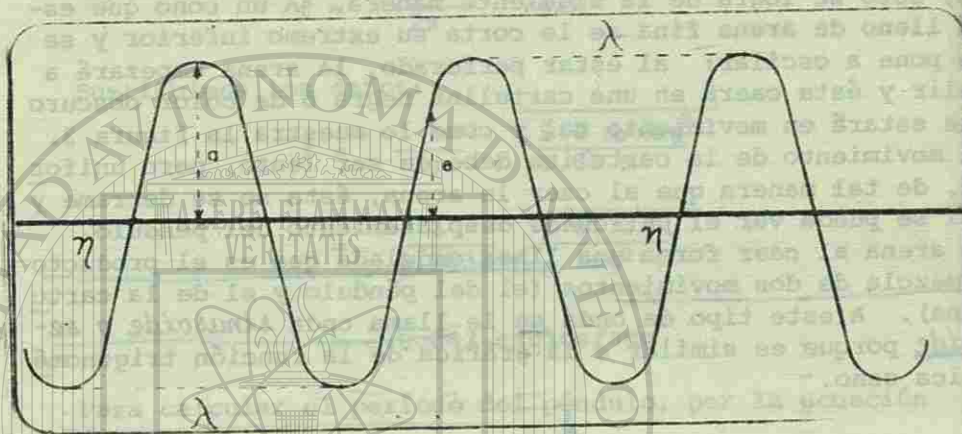


Fig. 4.

También se puede observar que la magnitud de la amplitud siempre es constante, mientras que el valor (o magnitud) de la elongación puede variar y tener diferentes magnitudes según la posición del cuerpo que oscila, desde cero hasta un valor igual al de la amplitud.

3-4 RESONANCIA.

Si ponemos dos péndulos en una varilla, tal y como lo muestra la figura 5-a, ambos con una longitud en la cuerda igual, si se ponen a oscilar juntos y tienen la misma frecuencia natural, permanecerán unidos y en caso de que no sea así, se ajusta una de las cuerdas hasta que las frecuencias sean iguales. En este momento se detienen ambos péndulos y se pone a oscilar solo uno; al poco tiempo oscilará el otro

también. Al aumentar la vibración del segundo cuerpo, disminuye la del primero demostrando así que la energía es transmitida de un cuerpo a otro.

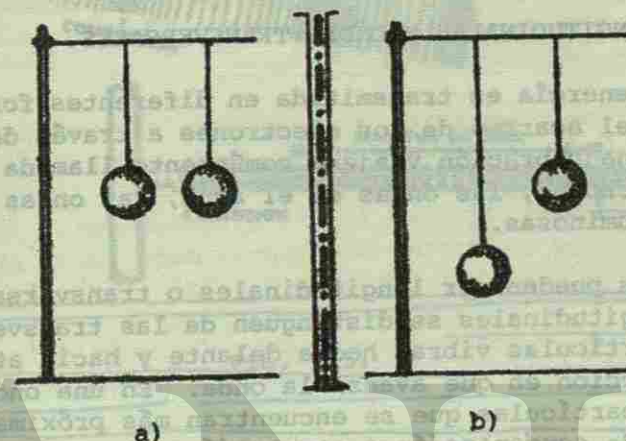


Fig. 5.

En el segundo caso, si dos péndulos tienen diferente frecuencia y se pone a oscilar uno tal y como lo indica la figura 5-b, al oscilar transmitirá el movimiento de su masa a la varilla que los está sosteniendo y el segundo péndulo se moverá poco o nada más hará el intento de moverse.

Este principio es muy usado por los niños que se divierten en los columpios de los parques, saben que si se impulsan en el momento oportuno, aumentarán la frecuencia del columpio y éste aumentará su velocidad, pero si fallan en el impulso reducirán considerablemente tanto la velocidad como la frecuencia del columpio.

Quando un cuerpo en vibración transmite su frecuencia a otro, la vibración del segundo cuerpo se dice que es una vibración forzada, pero cuando un cuerpo tiene la misma frecuencia natural que otro y le transmite movimiento, puede obligarlo a vibrar con una amplitud creciente; esto es el resultado de la suma de las dos vibraciones. A esta respuesta

ta se le llama resonancia.

3-5 ONDAS LONGITUDINALES Y ONDAS TRANSVERSALES.

Toda la energía es transmitida en diferentes formas, por ejemplo, el acarreo de los electrones a través de un conductor, por una vibración viajera comúnmente llamada onda, las ondas de choque, las ondas en el agua, las ondas sonoras y las ondas luminosas.

Las ondas pueden ser longitudinales o transversales. Las ondas longitudinales se distinguen de las transversales porque las partículas vibran hacia delante y hacia atrás en la misma dirección en que avanza la onda. En una onda longitudinal, las partículas que se encuentran más próximas, forman la parte de condensación o compresión, mientras que las que están más separadas forman la parte de dilatación o rarefacción. Las ondas sonoras en líquidos y gases son ondas longitudinales, o sea que las partículas vibran hacia adelante y hacia atrás mientras pasa la onda.

El otro tipo de ondas, donde las partículas vibran en ángulo recto con respecto a la propagación de la onda, se le llama onda transversal, la cual se ilustra en la fig. 4.

Las gráficas de ondas longitudinales se muestran en la fig. 5, donde podemos ver también las zonas de expansión (o dilatación) y compresión (o condensación) que ya fueron explicadas y la distancia de la longitud de onda que se explicará en el punto 3-7.

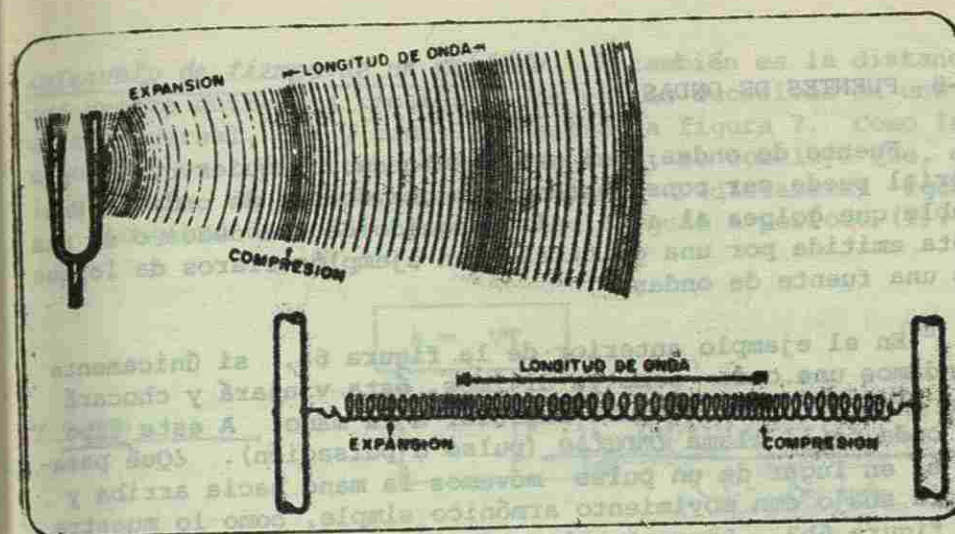


Fig. 5.

Cuando atamos a un árbol una cuerda, tal y como lo muestra la figura 6, si sacudimos violentamente la cuerda, produciremos una onda que viajará a través del cordel hasta chocar con el árbol y luego regresar a la mano. A la parte de onda que sobresale le llamaremos cresta y a la parte más baja le llamaremos valle.

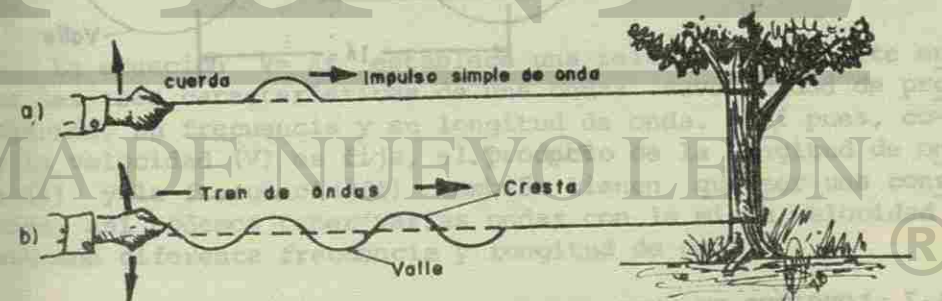


Fig. 6.

1020115817

3-6 FUENTES DE ONDAS.

Fuente de ondas: el movimiento de cualquier cuerpo material puede ser considerado como una fuente de ondas. Una tabla que golpea al agua, el chasquido de los dedos o de una nota emitida por una guitarra, son ejemplos claros de lo que es una fuente de ondas.

En el ejemplo anterior de la figura 6a, si únicamente mandamos una onda como ya dijimos, ésta viajará y chocará con el árbol para después regresar a la mano. A este tipo de onda se le llama impulso (pulso o pulsación). ¿Qué pasará si en lugar de un pulso movemos la mano hacia arriba y hacia abajo con movimiento armónico simple, como lo muestra la figura 6b? Lo que realmente pasará es que vamos a generar un conjunto de ondas que viajarán a través del cordel. A este tipo de ondas les llamaremos tren de ondas.

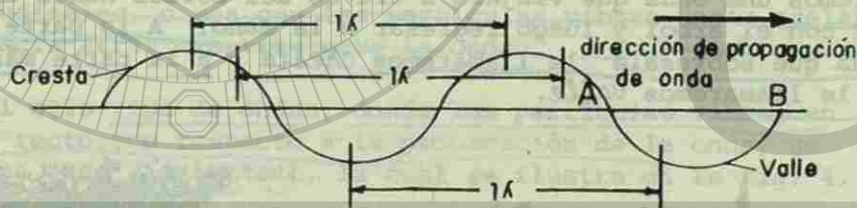


Fig. 7.

3-7 LONGITUD DE ONDA.

Otra característica importante de las ondas es su longitud de onda representada por la letra griega λ (lambda), representa la distancia recorrida desde un pulso durante el

intervalo de tiempo de un período. λ también es la distancia que existe entre dos crestas o dos valles sucesivos en una onda transversal, tal y como lo muestra la figura 7. Como la velocidad es constante en un medio dado, se concluye que, de la ecuación $d = vt$, obtenemos, haciendo d (distancia) igual a λ (longitud de onda) y t (tiempo) igual a período (T):

$$\lambda = VT \quad (5)$$

y como:

$$T = \frac{1}{f}$$

sustituyendo en la ecuación 5, tenemos:

$$= (V) \left(\frac{1}{f} \right) \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

Longitud de onda.

despejando V , nos queda:

$$V = \lambda f \quad (7)$$

La ecuación $V = \lambda f$ establece una relación importante entre las tres características de una onda: su velocidad de propagación, su frecuencia y su longitud de onda. Así pues, como la velocidad (V) es fija, el producto de la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) también tienen que ser una constante; así podemos tener varias ondas con la misma velocidad pero con diferente frecuencia y longitud de onda.

Otra de las importancias que tiene la ecuación $V = \lambda f$, es que se aplica por igual a todas las ondas de radiodifusión,

Longitud de onda:
Distancia entre 2 expansiones ó 2 compresiones consecutivas.

a las ondas luminosas, ondas sonoras, o las ondas mecánicas en sólidos y líquidos.

Ejemplo 4. Una radiodifusora transmite con una frecuencia de 690 Kc (kilo ciclos), ¿cuál será la longitud de onda que emite?

Solución:

Analizando el problema nos damos cuenta que únicamente nos dan como dato la frecuencia (f), pero sabemos también que las ondas de radio viajan a una velocidad que es igual a la de la luz; o sea, 300,000 Km/seg. Como ya tenemos la velocidad, ahora sí podemos resolver el problema.

Datos:

$$f = 690 \text{ Kc/seg}$$

$$V = 3 \times 10^5 \text{ Km/seg} \times \frac{1 \times 10^3 \text{ m}}{1 \text{ Km}}$$

$$= 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

como:

$$1 \text{ Kc/seg} = 1000 \text{ ciclos/seg}$$

$$f = 690,000 \text{ ciclos/seg}$$

$$= 6.9 \times 10^5 \text{ ciclos/seg}$$

de la ecuación $V = \lambda f$, despejamos λ :

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{6.9 \times 10^5 \text{ ciclos/seg}}$$

$$= 4.347 \times 10^2 \text{ m/ciclo}$$

$$\lambda = 434.7 \text{ m/ciclo}$$

o sea, que por cada ciclo, la onda recorre 434.7 m.

Ejemplo 5. Una onda viaja con una velocidad de 130 Km/seg. Si su longitud de onda es de 340 m/ciclo, encontrar: a) el período de la onda, b) la frecuencia de la onda en kilociclos.

Solución:

La velocidad de la onda está expresada en Km/seg. Para mayor comodidad la transformaremos a m/seg y utilizaremos las mismas unidades de la longitud de onda.

$$130 \text{ Km/seg} = 130,000 \text{ m/seg}$$

$$= 1.3 \times 10^5 \text{ m/seg}$$

Datos:

$$V = 1.3 \times 10^5 \text{ m/seg}$$

$$\lambda = 340 \text{ m/ciclo}$$

a) De la ecuación $\lambda = VT$, despejamos T :

$$\begin{aligned} T &= \frac{\lambda}{V} \\ &= \frac{340 \text{ m/ciclo}}{1.3 \times 10^5 \text{ m/seg}} \\ &= 2.615 \times 10^{-3} \text{ seg/ciclos} \end{aligned}$$

El tiempo de cada vibración (ciclo) es de 0.002615 seg.

b) De la ecuación $V = \lambda f$, despejamos f :

$$\begin{aligned} f &= \frac{V}{\lambda} \\ &= \frac{1.3 \times 10^5 \text{ m/seg}}{340 \text{ m/ciclo}} \\ &= 3.823 \times 10^2 \text{ ciclos/seg} \end{aligned}$$

Pero como nos piden la frecuencia en Kc y sabemos que:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kc} &= 1000 \text{ ciclos} \\ f &= 382.3 \text{ ciclos/seg} \times \frac{1 \text{ Kc}}{1000 \text{ ciclos}} \\ &= 0.3823 \end{aligned}$$

Este valor se puede comprobar tomando cualquiera de los valores ya sea del período o de la frecuencia. Si tomamos el período como $T = 2.615 \times 10^{-3}$ seg/ciclo.

De la ecuación (3):

$$T = \frac{1}{f}$$

despejando f :

$$f = \frac{1}{T}$$

sustituyendo los datos:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{0.002615 \text{ seg/ciclo}} \\ &= 382.4 \text{ ciclos/seg} \end{aligned}$$

(que es aproximadamente igual al resultado anterior).

3-8 EFECTO DOPPLER.

Al presenciar una carrera de automóviles, notamos que el ruido que producen éstos al aproximarse a nosotros, es diferente que el que producen al alejarse, lo mismo pasa -- con un vehículo que pasa frente a nosotros accionando su -- claxon. Al analizar esto realmente nos hemos dado cuenta de lo que es el efecto doppler.

Explicación

Con estas dos observaciones puede verse que la frecuencia de una onda, desde el punto de vista del observador, -- aumenta cuando la fuente de ondas se acerca y también aumenta cuando el observador se acerca a la fuente. Por otro lado, la frecuencia disminuye cuando el observador se aleja de la fuente de ondas o cuando la fuente de ondas se aleja del observador.

Cuando suena el claxon un vehículo parado. Todos los observadores escucharán el mismo tono del claxon. O sea, -- que las ondas se propagan con la misma velocidad en todas las direcciones; pero cuando está en movimiento el vehículo, éste se desplaza alejándose de las ondas que se desplazan hacia atrás y se nota que las ondas están considerablemente alargadas mientras que las ondas del frente están acortadas debido a la velocidad del vehículo tal y como lo muestra la figura 8.

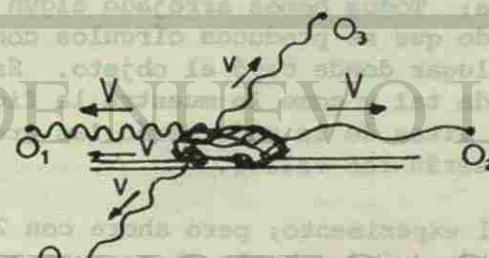


Fig. 8.

Para los observadores que están situados en ángulo recto y a una distancia considerable, percibirán la misma cantidad de ondas por cada segundo, o sea que la frecuencia no cambiará.

En general, la frecuencia aumenta cuando la fuente y el receptor se aproximan y disminuye cuando se alejan. El corrimiento de la frecuencia de una onda, debido al movimiento relativo entre la fuente y el receptor, se llama efecto doppler.

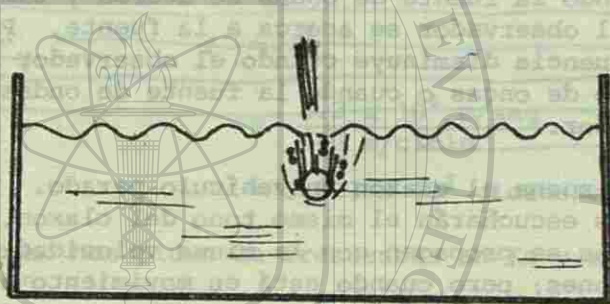


Fig. 9.

3-9 INTERFERENCIA.

Interferencia: Todos hemos arrojado algún objeto al agua y hemos notado que se producen círculos concéntricos con centro en el lugar donde cayó el objeto. Estos círculos tienen una onda tal y como lo muestra la figura 9 donde las partes más altas de la onda serán las crestas y las partes más bajas serán los valles.

Si hacemos el experimento, pero ahora con 2 piedras, notamos que las ondas viajan hasta chocar una con la otra. Cuando los dos grupos de ondas se cruzan se producen ciertos sitios en que parecen anularse. Si se miden las ondas en los lugares donde no se anulan, se encontrarán las crestas más altas que las de una onda sola. Cuando se combinan dos o más ondas nos da una amplitud diferente a cualquiera de ellas. El resultado de la combinación de dos o

o más ondas se llama interferencia.

¶ Cuando las ondas se unen cresta con cresta o valle con valle los vectores del desplazamiento apuntan siempre en el mismo sentido. En consecuencia, el desplazamiento es mayor que cualesquiera de las ondas que la componen. Esta combinación con el resultado de una amplitud aumentada, se llama interferencia constructiva. Algunas veces la combinación de ondas es tal que la cresta de una onda se encuentra empalmada con la cresta de otra onda y los valles de ambas están también empalmados, a este fenómeno se le llama que "están en fase".

Por otro lado también hay ondas que se encuentran combinadas de tal manera que las crestas de una onda, están sobre los valles de la otra, si las ondas son de la misma amplitud éstas se anularán una con otra y el resultado será que todo el movimiento de la onda cesará.

Cuando las amplitudes no tienen el mismo valor, o sea que una onda es menor que la otra, el resultado de las ondas será una onda tal que tendrá una amplitud menor que cualquiera de las ondas que la forman. A esta combinación de ondas con una amplitud reducida se llama interferencia destructiva. Todas las ondas que se encuentran con las crestas de una sobre los valles de la otra estarán desfasadas 180° o en "oposición de fase".

3-10 FUENTES DEL SONIDO.

Todo el sonido proviene de un cuerpo en vibración, por ejemplo, una cuerda de piano o de guitarra. En ellas puede verse como una línea borrosa cuando son accionadas, indicando que vibran. También podemos darnos cuenta que la voz es un sonido, por lo tanto, será producido por un cuerpo en vibración. En este caso el cuerpo en vibración serán las cuerdas bucales.

En los ejemplos anteriores los cuerpos en vibración son las fuentes de sonido. Pero no sólo los cuerpos sólidos producen sonido. En el tubo de un órgano musical o en un silbato vibra una columna de aire y aquí el aire en vibración será la fuente de sonido. Algunas veces las vibraciones producidas por la fuente de sonido son ondas simples o muy sencillas que se pueden considerar como del movimiento armónico simple, pero existen ondas producidas por la fuente que son muy complicadas y para facilitar su estudio se pueden descomponer en ondas de movimiento armónico simple.

3-11 TRANSMISIÓN DEL SONIDO.

La transmisión del sonido desde un lugar a otro, requiere de un medio material que lo propague; este medio puede ser cualquiera de los tres estados de la materia. Esto se puede demostrar con un ejemplo sencillo. Se coloca un timbre eléctrico en el interior de un recipiente de vacío, a medida que el aire es extraído lentamente, el sonido se recibe con menor intensidad y así se va reduciendo el sonido cada vez más hasta que al obtenerse un buen vacío, entonces, cesará el sonido y nunca podrá escucharse. (Ver la figura 10.)

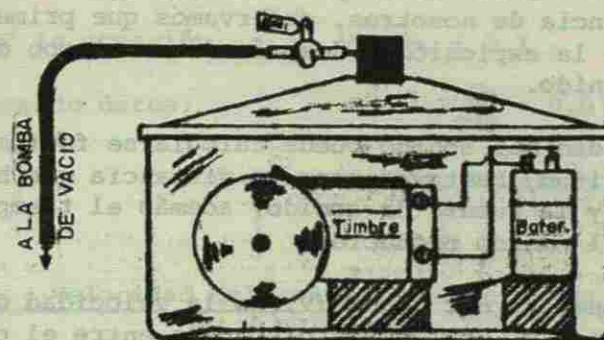


Fig. 10.

Si abrimos una válvula para que entre aire, el sonido empezará a escucharse de nuevo. Esto se debe a que las moléculas de aire chocan con el metal, estas moléculas chocan con las moléculas adyacentes y éstas a su vez, con otras moléculas del aire. Al llegar a las paredes, las moléculas transmiten el movimiento al recipiente, el cual se pone a vibrar. Esta vibración es transmitida a su vez al aire que rodea al recipiente y al llegar éste al oído del observador, golpea al tímpano y lo pone en movimiento.

Al transmitir la vibración del timbre a las moléculas de aire, éstas obtienen una energía mecánica en forma de pulso. Éstas a su vez transmiten su energía mecánica a otras, y éstas a otras a su vez. Las vibraciones son transmitidas de un medio a otro por medio de ondas mecánicas llamadas ondas sonoras.

Las ondas sonoras, ya sea que se propaguen en sólidos, líquidos o gases, son de carácter longitudinal, por eso la energía es transmitida de molécula en molécula, como compresiones y rarefacciones que avanzan a través del medio.

3-12 VELOCIDAD DEL SONIDO.

Cuando oímos a una persona, creemos que el sonido es instantáneo, porque apenas mueve los labios, y el sonido llega a nuestros oídos. Analizando otros fenómenos nos damos cuenta de que nuestro punto de vista es incorrecto. Por

ejemplo, cuando observamos un petardo que explota en el cielo a cierta distancia de nosotros, observamos que primero llega el destello de la explosión y después de un tiempo determinado llega el sonido.

La velocidad del sonido puede calcularse fácilmente y con gran exactitud, basta conocer la distancia que hay entre el observador y la fuente de sonido, además el tiempo que tarda en llegar el sonido producido.

Sabemos que $V = d/t$ donde (V) es la velocidad del sonido que es constante y (d) es la distancia entre el observador y la fuente, (t) es el tiempo transcurrido para que llegue el sonido al observador. La velocidad del sonido varía también con la temperatura del medio ambiente. Esta variación se puede medir, ya que por cada grado de elevación de la temperatura la velocidad en el aire aumenta a razón de 0.61 m/seg por cada °C. La fórmula que sirve para calcular la variación de la velocidad es:

$$V = v_0 + \psi \tau \quad (8)$$

donde V es la velocidad final del sonido, v_0 es la velocidad del sonido en el aire en m/seg a 0°C, τ es la temperatura en grados centígrados y ψ es la constante de variación de 0.61 m/seg °C.

Como regla general, el sonido se propaga más rápidamente en sólidos y líquidos que en los gases. Esto se ilustra por las velocidades medias en laboratorios para varias sustancias que se indican en la tabla 1.

Ejemplo 6. Un vehículo que se encuentra estacionado en una carretera, acciona su claxon. Si la temperatura es de 38°C, ¿a qué velocidad viajará el sonido?

Solución:

Tenemos como datos la velocidad del sonido en el aire a 0°C y la temperatura del medio ambiente = 38°C.

Por la ecuación

$$V = v_0 + \psi \tau$$

sustituyendo datos:

$$= 331 \frac{\text{m}}{\text{seg}} + 0.61 \text{ m/seg}^\circ\text{C}(38^\circ\text{C})$$

$$= 354.18 \text{ m/seg}$$

TABLA 1. Velocidad del sonido en diferentes sustancias.

SUSTANCIA	VELOCIDAD m/seg	VELOCIDAD Km/hr
Aire (a 0°C)	331	1191.6
Hidrógeno	1269	4568.4
Agua	1435	5166
Alcohol	1215	4374
Hierro	5132	18475
Acero (a 20°C)	4990	17964
Vidrio	5000	18000

Ejemplo 7. En una noche de lluvia se observó el destello de un relámpago y escuchó el estruendo 15 segundos después. Calcular la velocidad con que viajó el sonido si la temperatura era de 20°C y la distancia a la que cayó el rayo.

Solución:

a) Por la ecuación 8, tenemos:

$$V = v_0 + \psi \tau$$

$$= 331 \text{ m/seg} + 0.61 \text{ m/seg}^\circ\text{C} \times 20^\circ\text{C}$$

$$= 343.2 \text{ m/seg}$$

- b) Como ya sabemos la velocidad a la temperatura de 20°C, y sabemos también que la velocidad a la que viaja el sonido es constante, podemos calcular la distancia por medio de la ecuación:

$$d = vt \quad (9)$$

$$= 343.2 \text{ m/seg} \times 15 \text{ seg}$$

$$= 5148$$

o sea, que el rayo cayó a una distancia de 5.148 Km del observador.

Ejemplo 8. Dos buzos se encuentran bajo el agua separados una distancia de 600 m. Uno de ellos golpea una piedra con otra para producir un sonido. Calcular el tiempo que tardará en llegar al otro buzo.

Solución:

Por la ecuación 9, tenemos:

$$d = vt$$

despejando: $t = d/v$

Y de la tabla 1, "v" en el agua = 1435 m/seg)

$$= \frac{600 \text{ m}}{1435 \text{ m/seg}}$$

$$= 0.418 \text{ seg}$$

3-13 DIFRACCIÓN Y RAREFACCIÓN DEL SONIDO.

Las ondas características de las notas de tonos altos tienden a viajar en línea recta; sin embargo, los sonidos de tonos bajos de las ondas más largas, tienden a curvarse en las esquinas, a este efecto se le llama difracción.

Es muy notable donde se toca un conjunto de campanas, al dar una vuelta en un edificio cercano, se aprecia muy bien una reducción brusca de la intensidad de sonido en las campanas de tono alto, mientras que las campanas de tono bajo continúan escuchándose normalmente.

La desviación de las ondas sonoras en las capas de aire a diferente temperatura se llama refracción. Este fenómeno se puede observar de diferentes maneras y se debe a la mayor velocidad del sonido en aire caliente que en el frío. Por este motivo, los sonidos se escuchan más fuertes en la noche cuando el aire se enfría, quedando en la parte de arriba las capas de aire caliente tal como se muestra en la figura 9.

Observando la siguiente figura, vemos que al pasear en lancha por un lago o un río, la música de un radio se puede escuchar de noche, pero no de día. Esto se debe a que por las noches el aire cercano al agua está más frío que el situado más arriba, que al estar caliente refracta o desvía las ondas sonoras hacia abajo. De día sucede lo contrario, el aire caliente cercano al agua refracta las ondas sonoras hacia arriba, como se muestra.

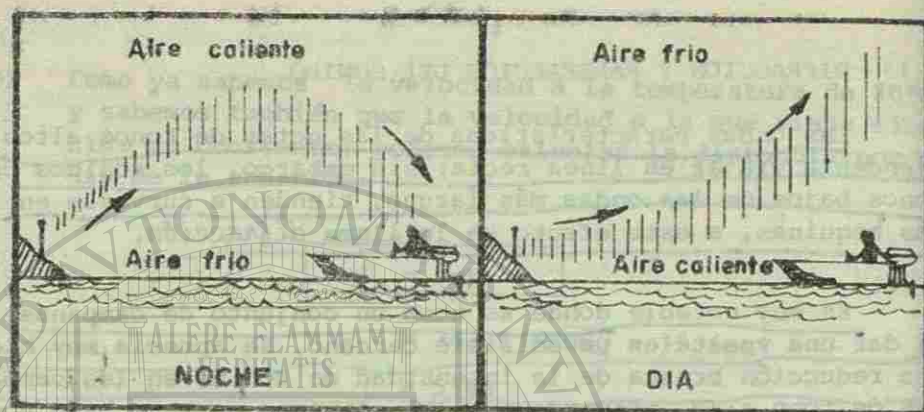


Fig. 11.

3-14 INTENSIDAD DEL SONIDO.

Existen tres características fundamentales de todos los sonidos:

OBJETIVA

Intensidad
Frecuencia
Forma de la onda

SUBJETIVA

Sonoridad
Tono
Timbre

La *intensidad* del sonido está caracterizada por la sonoridad y se mide por la cantidad de energía en un volumen dado de espacio donde se propaga el sonido. Expresado en forma diferente: las ondas constituyen un flujo de energía a través de la materia.

La *sonoridad* es una medida subjetiva de la potencia del sonido y por lo tanto, es una magnitud sensorial. Por otra parte la intensidad es una medida objetiva de la potencia liberada del sonido.

La intensidad está definida como la potencia que fluye a través de la unidad de superficie tomada normal a la dirección de las ondas.

El oído humano puede escuchar sonidos que varían desde 20 cps hasta 20000 cps (cps= ciclos por segundo). Este valor da una idea de lo sensible que es el oído humano, pues percibe sonidos desde muy baja frecuencia hasta sonidos que producen una sensación dolorosa por su alta frecuencia. Cabe mencionar que los límites de audibilidad se refieren a la frecuencia de las ondas y no a su amplitud.

Cuando se grita en un juego de béisbol o fútbol, se necesita energía para producir los sonidos, tal como se gasta energía para correr, patear una pelota, pero gritar agota por sí mismo. ¿Cuánta energía se emplea en un buen grito? Los científicos han encontrado que con un grito se lanza una energía con una potencia de unos 0.001 (10^{-3}) watts. ¡Con esta proporción se necesitaría estar gritando sin parar unas 25,000 personas para mantener encendido un foco de 25 watts.

Conociendo la potencia relacionada con el sonido se confirma el hecho de que el oído humano es un instrumento admirable. La potencia sonora de un cuchicheo es la millonésima parte de la de un grito. Es tan sensible el oído humano que puede percibir incluso los murmullos.

3-15 LOS ESTAMPIDOS SUPERSÓNICOS.

Cuando un avión vuela sobre un observador que lo contempla desde el suelo, si viaja a mayor velocidad que la velocidad del sonido, el observador no lo oye acercarse, sino hasta después de que el avión ha pasado por encima de su cabeza empieza a percibir el sonido, después llegan dos violentos estampidos sónicos.

Los estampidos sónicos ocurren siempre que un avión "rompe la barrera del sonido." Esta barrera está tomada como la velocidad límite del sonido, o sea 340 m/seg. Cuando el avión se mueve a una velocidad mayor que la del sonido, se está moviendo más aprisa que la perturbación que se crea. Así, la perturbación sigue al avión y toma la forma de varias

ondas de choque, tal como se muestra en la figura 12.

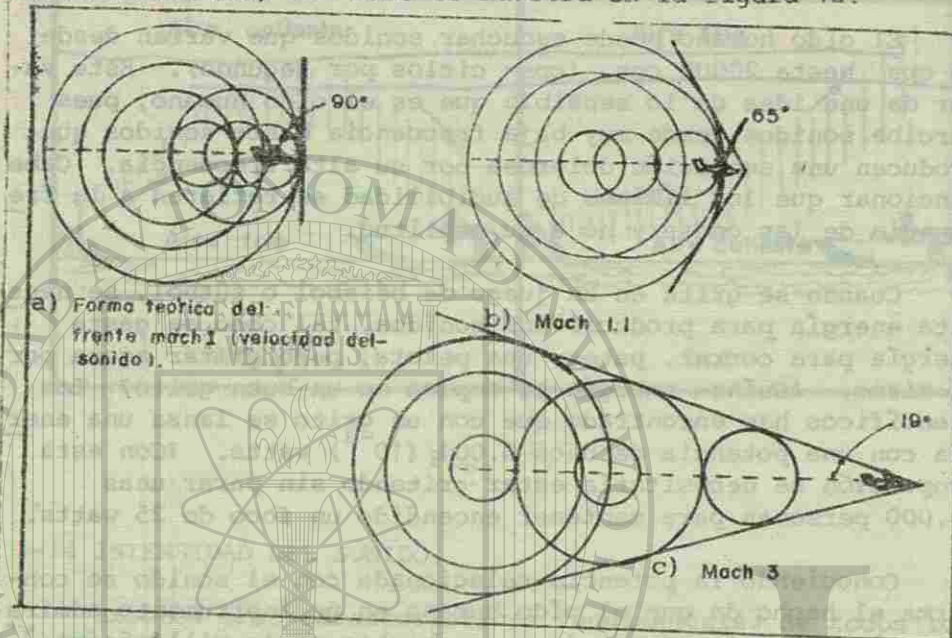


Fig. 12.

Las ondas de choque son producidas por la compresión del aire que está en la punta del avión, mientras el de la cola estará enrarecido. Esto sucede por muy aerodinámica que pueda ser su estructura. Las perturbaciones en los extremos son del mismo género que las perturbaciones sonoras.

Como regla general, siempre que el avión viaje a una velocidad mayor a la del sonido, el avión viajará delante de esa onda que él mismo produce, figuras 12b y 12c. Es por esto que en los aviones modernos primero se ve el cuerpo del avión, y después se escucha el sonido que él mismo produce. Si el cuerpo no viaja a la velocidad del sonido, viajará dentro de la onda producida, figura 12a.

La velocidad supersónica de los aviones es muy común expresarla en números de Mach, que es la relación que existe entre la velocidad de un cuerpo y la velocidad del sonido. Expresado matemáticamente:

Número de Mach (N) = $\frac{\text{velocidad del cuerpo}}{\text{velocidad del sonido}}$

$$N = \frac{V_c}{V_s} \quad (10)$$

Ejemplo 9. Un avión lleva una velocidad de 3 Mach. Calcular la velocidad en m/seg y en Km/hr.

Solución:

Por la ecuación 10 tenemos:

$$\begin{aligned} V_c &= NV_s \\ &= 3 \times 340 \text{ m/seg} \\ &= 1020 \text{ m/seg} \\ &= 3672 \text{ Km/hr.} \end{aligned}$$

3-16 SONIDOS ULTRASÓNICOS.

En temas anteriores se estableció que la frecuencia es una propiedad de las ondas sonoras, ésta no depende de la localización del oyente o incluso si existe éste o no. El tono por otro lado es una característica psicológica sensorial. Si "no se tiene oído" para distinguir los tonos, de todas formas existirá la diferencia de frecuencia.

Se estableció que el oído humano puede distinguir desde 20 cps hasta 20000 cps, pero este límite va disminuyendo con la edad. Entre mayor sea la frecuencia del sonido se va perdiendo la capacidad de distinguir diferencias de tono.

A los sonidos que pasan del límite superior de audibilidad son llamados sonidos ultrasónicos.

Algunos animales pueden escuchar sonidos ultrasónicos. Por ejemplo: el perro, los ratones y el murciélago. Los murciélagos volando en la obscuridad evitan chocar con los objetos, emitiendo sonidos cortos de alta frecuencia. Al escuchar el eco de estos sonidos en los objetos próximos, los murciélagos pueden saber donde están dichos objetos y modificar su vuelo para eludirlos. Algunos cazadores usan silbatos de alta frecuencia para llamar a sus perros, éstos al escuchar obedecen, mientras las personas que están con el cazador, no escuchan nada.

Las ondas ultrasónicas tienen muchas aplicaciones prácticas. La onda de sonido producido por el equipo de sonar de algunos barcos y submarinos, posee una frecuencia de hasta 26000 cps, cuya longitud de onda llega a ser de pocos centímetros. En la industria se utiliza para limpiar los objetos delicados, como las piezas de reloj o para acelerar la limpieza de objetos muy grandes. En la medicina se emplean ultrasonidos que puedan variar mucho de frecuencia. Cuando se utilizan sonidos ultrasónicos "de débil frecuencia" (por abajo de los 35000 cps) el examen de ultrasonido es biológicamente inofensivo.

Al igual que en la radioscopia clásica, el examen ultrasónico requiere de un emisor y un receptor, así los sonidos emitidos por el emisor son reflejados de forma diferente por los huesos y diferentes músculos y fibras nerviosas o incluso cuerpos extraños alojados en el cuerpo, tales como balas, agujas, etc. Los ecos son recibidos por un micrófono especial y la señal es enviada a una pantalla de televisión. Así se obtiene una imagen ultrasónica, tan clara para los especialistas, como una radiografía.

Además el método ultrasónico es empleado también para tratamientos terapéuticos en algunas enfermedades rebeldes al tratamiento clásico.

En el hogar los ultrasonidos son empleados para abrir las puertas de cocheras desde el propio coche. También en algunas máquinas lava trastes, etc.

La física y las técnicas modernas tienen medios de producir "sonidos silenciosos" cuyas frecuencias son mucho mayores que las que se han mencionado anteriormente. El número de vibraciones de estos "ultrasonidos" puede llegar hasta 10^{14} por segundo. La frecuencia máxima que se ha conseguido obtener es igual, actualmente, a 10^9 vibraciones por segundo.

Uno de los procedimientos para obtener vibraciones ultrasónicas se basa en la propiedad que tienen las láminas de cristal de cuarzo cortadas de una manera especial, de electrizarse superficialmente cuando se comprimen (piezo electricidad). Por el contrario, si las superficies de una de estas láminas se cargan periódicamente, bajo la acción de las cargas eléctricas la placa se contrae y se dilata sucesivamente, es decir, vibra. La lámina se carga con un generador de haz electrónico como los que se usan en radiotecnica cuya frecuencia se regula de acuerdo con el llamado período propio de las vibraciones de la lámina. Los cristales de cuarzo son fuentes de ultrasonido que resultan demasiado caras y poco potentes, por lo que se emplean principalmente en los laboratorios. En la técnica se emplean materiales sintéticos artificiales, como la cerámica de titanato de bario.

Aunque los ultrasonidos son silenciosos para nosotros, su acción se revela por medio de otras manifestaciones bastante apreciables. Así, por ejemplo, si una lámina vibrante se sumerge en una vasija de aceite, en la superficie del líquido sometido a las vibraciones ultrasonoras se levanta una prominencia de 10 cm de altura y las gotitas de aceite se proyectan hasta una altura de 40 cm. Si en este baño de aceite se introduce el extremo de un tubo de vidrio de un metro de largo sentiremos que la mano que sostiene el otro extremo se quema. En la piel quedarán huellas de esta quemadura. Si el extremo del tubo que se encuentra en estado vibratorio se pone en contacto con un trozo de madera, producirá en ella un orificio quemado. Tenemos, pues, que la energía del ultrasonido se transforma en calorífica.

El ultrasonido se está estudiando más minuciosamente. Estas vibraciones ejercen acciones muy enérgicas sobre los organismos vivos, las fibras de las algas se rompen, las

células animales revientan, los glóbulos de la sangre se destruyen, los peces y las ranas sometidos a la acción del ultrasonido durante 1 ó 2 minutos mueren. La temperatura del cuerpo de los animales de experimentación se eleva, por ejemplo, la de los ratones llega a 45°C. Las vibraciones ultrasonoras se emplean en medicina; los ultrasonidos comparten de esta forma la suerte de los rayos ultravioleta invisible sirviendo de agentes terapéuticos.

El ultrasonido se utiliza muy eficazmente en la metalurgia para describir heterogeneidades, sopladuras, grietas y otros defectos que pueda haber dentro del metal. El procedimiento que se sigue para obtener la "radiografía" ultrasonora del metal consiste en lo siguiente: el metal que se ensaya se moja en aceite y se somete a la acción de las vibraciones ultrasonoras; las partes no homogéneas del metal difunden el sonido y producen una especie de sombras sonoras, con lo cual la configuración de los defectos se dibuja tan claramente sobre el fondo de las ondulaciones uniformes que cubren la capa de aceite, que la figura que se obtiene se puede hasta fotografiar.

Con el ultrasonido se pueden examinar por transparencia capas metálicas de más de un metro de espesor, cosa imposible de realizar con los rayos X, con la particularidad de que pueden descubrirse fallas muy pequeñas (de hasta 1 mm).

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

- 1.- Un cuerpo vibra a razón de 200 ciclos por cada segundo. Calcular su período.

Datos:

$$f = 200 \text{ ciclos/seg}$$

$$T = ?$$

$$T = 1/f$$

$$T = \frac{1}{200 \text{ ciclos/seg}}$$

$$= 0.005 \text{ seg/ciclo}$$

El resultado obtenido nos indica que el cuerpo tarda 0.005 (una fracción) de segundo para completar un ciclo.

- 2.- Calcular la frecuencia de un cuerpo vibrante que tarda 2 segundos en completar un ciclo.

Datos:

$$T = 2 \text{ seg/ciclo}$$

$$f = ?$$

$$f = 1/T$$

$$= \frac{1}{2 \text{ seg/ciclo}}$$

$$= 0.5 \text{ ciclo/seg}$$

Lo que nos indica que el cuerpo vibra a razón de 0.5 (1/2) ciclo por segundo.

- 3.- Se tiene un péndulo con una longitud de la cuerda de un metro. ¿Cuál será su frecuencia si la aceleración debida a la gravedad es de 9.8 m/seg^2 ?

Datos:

$$l = 1 \text{ m}$$

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

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g/l}$$

$$= \frac{1}{2(3.1416)} \sqrt{\frac{9.8 \text{ m/seg}^2}{1 \text{ m}}}$$

$$= 0.498 \text{ ciclos/seg}$$

Obtenemos que el péndulo oscila 0.498 o aproximadamente 0.5 (1/2) ciclo por cada segundo.

- 4.- Calcular la longitud que deberá tener la cuerda de un péndulo para un reloj de pared si se quiere que tarde un segundo por cada oscilación completa del péndulo. (Tomar $g = 9.8 \text{ m/seg}^2$).

Datos:

$$T = 1 \text{ seg/ciclo}$$

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

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}$$

$$T^2 = 4\pi^2(l/g)$$

$$T^2 g = 4\pi^2 l$$

$$l = \frac{T^2 g}{4\pi^2}$$

$$= \frac{(1 \text{ seg/ciclo})^2 (9.8 \text{ m/seg}^2)}{4(3.1416)^2}$$

$$= 0.248 \text{ m}$$

Por lo que la longitud de la cuerda resulta ser de 0.248 m, que transformada a centímetros será:

$$l = 0.248 \text{ m} (100 \text{ cm/m}) = 24.8 \text{ cm.}$$

- 5.- Una radiodifusora transmite con una frecuencia de 600 Kc (kilociclos) por segundo. Calcular la velocidad de las ondas de radio si la longitud de onda es de 500 m/ciclo.

Datos:

$$f = 600 \text{ Kc/seg}$$

$$\lambda = 500 \text{ m/ciclo}$$

Primero tenemos que expresar la frecuencia en ciclos/segundo:

$$f = 600 \text{ Kc/seg} \times 1000 \text{ ciclos/Kc}$$

$$= 600,000 \text{ ciclos/seg}$$

$$= 6 \times 10^5 \text{ ciclos/seg}$$

Después, pasamos a resolver el problema:

$$v = \lambda f$$

$$= 500 \text{ m/ciclo} (6 \times 10^5 \text{ ciclo/seg})$$

$$= 3000 \times 10^5 \text{ m/seg}$$

$$= 300,000,000 \text{ m/seg}$$

$$3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

Así, hemos demostrado que la velocidad de las ondas de radio es de $3 \times 10^8 \text{ m/seg}$, que es igual a la velocidad de la luz.

- 6.- Si la velocidad de las ondas de radio, en lugar de ser igual a la velocidad de la luz, tuviera el mismo valor de la velocidad de las ondas sonoras que en el aire es de 331 m/seg, ¿cuál será la longitud de onda si la frecuencia continúa siendo de 600 Kc?

Datos:

$$V = 331 \text{ m/seg}$$

$$f = 600 \text{ Kc}$$

Primero, tenemos que expresar la frecuencia en ciclos/segundo:

$$\begin{aligned} f &= 600 \text{ Kc/seg} \times 1000 \text{ ciclos/Kc} \\ &= 600 \times 10^3 \text{ ciclos/seg} \end{aligned}$$

Después, pasamos a resolver el problema:

$$V = \lambda f$$

$$\lambda = V/f$$

$$= \frac{331 \text{ m/seg}}{600 \times 10^3 \text{ ciclos/seg}}$$

$$= 0.55 \times 10^{-3} \text{ m/ciclo}$$

$$= 0.00055 \text{ m/ciclo}$$

O sea que la distancia que existe entre dos crestas o valles sucesivos en una onda, para este caso es de $5.5 \times 10^{-4} \text{ m/ciclo}$.

- 7.- Si en el problema 5 la longitud de onda aumentara al doble, ¿cuál será la frecuencia si se toma la velocidad real de las ondas de radio de $3 \times 10^8 \text{ m/seg}$?

$$\text{Ahora, la longitud de onda es } \lambda = 2(500 \text{ m/ciclo})$$

$$= 1000 \text{ m/ciclo,}$$

por lo que la solución del problema es:

Datos:

$$\lambda = 1000 \text{ m/ciclo}$$

$$V = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

$$f = ?$$

$$V = \lambda f$$

$$f = V/\lambda$$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{1000 \text{ m/ciclo}}$$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{1 \times 10^3 \text{ m/ciclo}}$$

$$= 3 \times 10^5 \text{ ciclos/seg}$$

$$= 300,000 \text{ ciclos/seg}$$

El resultado también se puede escribir como:

$$= 300 \times 10^3 \text{ ciclos/seg}$$

$$300 \text{ Kc/seg}$$

NOTA:

Deberá notarse al analizar estos problemas que "los ciclos" no se toman como unidades. Por ejemplo, el resultado del problema 3 podría haberse escrito como $f = 0.498 \text{ 1/seg}$, $f = 0.498/\text{seg}$ o en el problema 4, $T = 1 \text{ seg/ciclo}$ puede escribirse simplemente como $T = 1 \text{ seg}$, y no alteraría en nada el

análisis de unidades, por lo que los ciclos son añadidos a las unidades de frecuencia y de período únicamente para aclarar el concepto de éstos.

- 8.- En un estadio de fútbol, se escucha el alto parlante que se encuentra a 180 m de un aficionado. Si la temperatura es de 25°C, ¿cuál será el tiempo que tarda en llegar el sonido del alto parlante?

Datos:

$$d = 180 \text{ m}$$

$$t = 25^\circ\text{C}$$

Además, sabemos que el sonido se transmite en el aire y que (de la tabla 1), la velocidad en el aire a 0°C es de 331 m/seg. Ahora podemos utilizar la ecuación:

$$v = v_0 + \psi t$$

donde $\psi = 0.61 \text{ m/seg}^\circ\text{C}$

y sustituyendo

$$v = 331 \text{ m/seg} + 0.61 \text{ m/seg}^\circ\text{C}(25^\circ\text{C})$$

$$= 331 \text{ m/seg} + 15.25 \text{ m/seg}$$

$$= 346.25 \text{ m/seg}$$

que es la velocidad del sonido, que al ser constante con respecto al tiempo, se puede utilizar la fórmula de velocidad constante:

$$v = d/t$$

despejando

$$d = vt$$

$$t = d/v$$

y sustituyendo: $= \frac{180 \text{ m}}{346.25 \text{ m/seg}}$

obtenemos:

$$t = 0.5198 \text{ seg}$$

O sea, que el sonido tarda 0.5198 seg o aproximadamente 0.52 seg en llegar al aficionado.

- 9.- Suponiendo que las vías del ferrocarril fueran de una sola pieza, ¿cuál será la distancia que recorrería el sonido en 20 seg? Suponer que las vías son de acero y la temperatura es de 20°C.

Solución:

De la tabla 1, la velocidad en el acero a 20°C es de 4990 m/seg, y además, tenemos como dato que el tiempo es de 20 seg, por lo que utilizando la fórmula de velocidad constante:

$$v = d/t$$

despejando

$$d = vt$$

sustituyendo

$$= 4990 \text{ m/seg} (20 \text{ seg})$$

obtenemos

$$= 99,800 \text{ m}$$

Transformando la distancia a kilómetros:

$$d = \frac{99800 \text{ m}}{1000 \text{ m/Km}}$$

$$= 99.8 \text{ Km}$$

De esta manera encontramos que el sonido recorre casi 100 Km. ®

- 10.- En la figura 12b se muestra la forma de las ondas de choque para un avión que se mueve a velocidad mach 1.1. ¿Cuál será su velocidad en m/seg y en Km/hr?

Solución:

Como dato tenemos que $N = 1.1$ y sabemos que la velocidad del sonido es 340 m/seg (V_s). Con la siguiente fórmula podemos obtener la velocidad del cuerpo, o del avión en este caso (V_c).

$$N = V_c / V_s$$

despejando

$$V_c = N V_s$$

sustituyendo

$$= 1.1(340 \text{ m/seg})$$

obtenemos

$$= 374 \text{ m/seg}$$

Transformando

$$V = 374 \text{ m/seg a Km/hr, tenemos:}$$

$$V = 374 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times \frac{3600 \text{ seg/hr}}{1000 \text{ m/Km}}$$

$$= 1346.4 \text{ Km/hr}$$

- 11.- En un intento por romper el récord de velocidad en tierra, un automóvil especial para esas competencias desarrolla una velocidad de 1000 Km/hr. ¿Cuál será su velocidad expresada como número de mach?

Solución:

Tenemos los siguientes datos:

$$V_c = 1000 \text{ Km/hr}$$

y sabemos que la velocidad del sonido es:

$$V_s = 340 \text{ m/seg}$$

Notamos que una velocidad (V_c) está en Km/hr y la otra (V_s) está en m/seg, por lo que tenemos que transformar la velocidad del automóvil a m/seg:

$$V_c = 100 \text{ Km/hr} \times \frac{1000 \text{ m/Km}}{3600 \text{ seg/hr}}$$

$$= 277.7 \text{ m/seg}$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$N = V_c / V_s$$

$$= \frac{277.7 \text{ m/seg}}{340 \text{ m/seg}}$$

$$= 0.8167$$

Se nota que N es menor que 1, porque la velocidad del cuerpo es menor que la del sonido.

NOTA:

En el problema No. 9, no utilizamos la fórmula $v = v_0 + \psi t$ ($\psi = 0.61 \text{ m/seg}^\circ\text{C}$), porque de la tabla 1, ya teníamos el valor de velocidad a la temperatura de 20°C , que es la misma que nos había dado como dato el problema.

Requisito 10-Abril-86

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO III.

- 1.- Un cuerpo tiene una frecuencia de 3000 ciclos/seg. ¿Cuál será su período?
{ $T = 3.33 \times 10^{-4}$ seg/ciclo}
- 2.- Si la frecuencia de una onda es de 3×10^6 ciclos/seg, ¿cuál será el valor de su período?
{ $T = 3.3 \times 10^{-7}$ seg/ciclo}
- 3.- Un cuerpo está vibrando con una frecuencia determinada. Si el tiempo que tarda cada vibración es de 0.0060 seg, ¿cuál es la frecuencia del cuerpo a) en ciclos/seg y b) en Kc?
{ $f = 166.66$ ciclos/seg = 0.166 Kc/seg}
- 4.- Calcular la frecuencia de un diapason que tiene un período de 0.0345 seg.
{ $f = 28.98$ ciclos/seg}
- 5.- Un péndulo de 40 cm de longitud oscila con un determinado período. ¿Cuál será el valor del período?
{ $T = 1.27$ seg/ciclo}
- 6.- Calcular el período y la frecuencia de un péndulo de 70 cm de largo.
{a) $T = 1.68$ seg/ciclo, b) $f = 0.595$ ciclos/seg}
- 7.- El péndulo de un reloj tarda 1 seg en dar una oscilación. ¿Cuál será la longitud del péndulo?
{ $\ell = 0.248$ m = 24.8 cm}
- 8.- Si el péndulo de un reloj tarda en oscilar una vez 0.65 seg, calcular la longitud del péndulo.
{ $\ell = 0.1048$ m = 10.48 cm}
- 9.- Si se construye un péndulo que oscile 6 veces cada segundo, ¿qué longitud deberá tener la cuerda?
{ $\ell = 0.00689$ m = 0.689 cm}

- 10.- Si al péndulo del problema 8 se le agregan 10 cm de longitud, ¿cuál será el valor de a) la frecuencia, b) el período?
{a) $f = 1.1$ ciclos/seg, b) $T = 0.908$ seg/ciclo}
- 11.- Un reloj tiene un péndulo de 35 cm de largo. a) ¿Cuál es la frecuencia con la que oscila? b) ¿Cuál es el período que tiene dicho péndulo?
{a) $f = 0.842$ ciclos/seg, b) $T = 1.187$ seg/ciclo}
- 12.- Un sistema automático está gobernado por un péndulo. ¿Cuál debe ser la longitud del péndulo para que oscile 2 veces por segundo?
{ $\ell = 0.062$ m = 6.2 cm}
- 13.- Un niño se columpia en un parque de juegos. Si el tiempo que tarda en columpiarse una vez es de 1.6 seg, calcular la longitud del columpio.
{ $\ell = 0.635$ m = 63.5 cm}
- 14.- Una onda viaja a una velocidad de 30 m/seg. ¿cuál será la longitud de onda si la frecuencia es de 80 ciclos por segundo?
{ $\lambda = 0.375$ m/ciclo}
- 15.- Una onda viaja a 240 m/seg y tiene una frecuencia de 60 ciclos/seg. ¿Cuál será su longitud de onda?
{ $\lambda = 4$ m/ciclo}
- 16.- ¿Cuál será el período de una onda que tiene una frecuencia de 1330 Kc/seg si viaja a la velocidad de la luz como las ondas de radio?
{ $T = 7.5 \times 10^{-4}$ seg/Kc = 7.5×10^{-7} seg/ciclo}
- 17.- ¿Cuál será la longitud de onda del problema anterior?
{ $\lambda = 225$ m/ciclo}
- 18.- Una onda que viaja a la velocidad de la luz tiene una longitud de 0.0004 m ¿Cuál es la frecuencia a la que está vibrando?
{ $f = 7.5 \times 10^{11}$ ciclos/seg = 7.5×10^8 Kc/seg}

19.- La estación radiodifusora X.E.T. transmite con una frecuencia de 99 Kc. Si las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz, ¿cuál será la longitud de la onda generada?
{ $\lambda = 3030$ m/ciclo}

20.- Si la radiodifusora X.E.N.L. transmite con una frecuencia de 860 Kc, ¿cuál será su longitud de onda y su período?
{a) $\lambda = 348.8$ m/ciclo, b) $T = 1.16 \times 10^{-6}$ seg/ciclo}

21.- Un petardo se encuentra a 662 m de distancia de un observador. Si el petardo explota y el sonido tarda 2 seg en llegar, ¿a qué velocidad se propagó el sonido si la temperatura era de 0°C ?
{ $v = 331$ m/seg}

22.- Un cañón dispara un proyectil a un blanco que está situado a 2600 m. Si el proyectil viaja a la velocidad del sonido cuando la temperatura es de 30°C , calcular: a) la velocidad del proyectil, b) el tiempo que tardará en llegar el proyectil al blanco.
{a) $v = 349.3$ m/seg, b) $t = 7.44$ seg}

23.- La explosión de un barreno en un día frío se ve y el sonido tarda 6 seg en llegar al observador. ¿Cuál será a) la velocidad con que se propaga el sonido si la temperatura es de 4°C , b) a qué distancia se encuentra el observador?
{a) $v = 333.44$ m/seg, b) $d = 2000.64$ m}

24.- Un leñador que está en la montaña golpea su hacha y 1.2 seg después se oye el impacto. a) ¿A qué distancia se encuentra el leñador si la temperatura es de 0°C ? b) Si la temperatura aumenta hasta 32°C , ¿cuánto tardará el sonido en llegar al observador?
{a) $d = 397.2$ m, b) $t = 1.13$ seg}

25.- Un tubo de hierro de 5 Km de longitud es golpeado en uno de sus extremos. Si un observador se pone en el otro extremo, ¿cuánto tardará en escuchar el sonido?
{ $t = 0.974$ seg}

26.- El sonar de un submarino detecta un barco hundido a 28 seg. ¿A qué distancia está el barco?
{ $d = 40, 180$ m = 40.18 Km}

27.- Un alambre de acero es golpeado. Si el alambre tiene una longitud de 1400 m, ¿cuánto tiempo tardará en escucharse en el otro lado el sonido producido por el golpe? (Suponer una temperatura de 20°C).
{ $t = 0.28$ seg}

28.- En un estadio de fútbol se truenan unos petardos al ganar el equipo local. Si los petardos explotan a 20 m de distancia de un locutor que transmite por radio el juego, ¿quién escuchará primero los petardos: un radio escucha que se encuentra a 30 Km de distancia o una persona que se encuentre a 500 m del estadio?
(Tomar en cuenta que las ondas de radio viajan a $300,000$ Km/seg y suponer una temperatura en el estadio de 0°C).
{Para el radioescucha $t = 0.0605$ seg,
Para la otra persona $t = 1.5$ seg}

29.- En un lago se encuentran dos lanchas distantes una de otra. Si el sonido de una tarda en llegar 1.6 seg, a la otra y la temperatura es de 10°C , a) ¿cuál es la distancia que hay entre las dos lanchas? b) Si el sonido se propaga por el agua, ¿cuánto tiempo tardaría en llegar de una lancha a otra?
{a) $d = 539.6$ m, b) $t = 0.376$ seg}

30.- Un barco pasa a 940 m de un buzo que se encuentra sumergido bajo el agua. a) ¿Cuánto tiempo tardará en llegarle el sonido? b) Si el buzo sale a la superficie y escucha los motores del barco en el aire, ¿cuánto tiempo tardará nuevamente en llegarle los sonidos si la temperatura es de 22°C ? (Suponer en b) que se encuentra a la misma distancia).
{a) $t = 0.655$ seg, b) $t = 2.81$ seg}



ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.

Hasta hace menos de 150 años los científicos estaban convencidos de que no había ninguna relación entre el magnetismo y la electricidad ya que no existía ninguna prueba de lo contrario. Posteriormente el conocimiento de estas relaciones han llevado a la construcción de electroimanes, motores generadores, sistemas telegráficos y telefónicos y muchos otros aparatos.

OBJETIVOS.

- 1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes incluidas en este capítulo.
- 2.- Describir las partes del átomo que tienen carga positiva y negativa respectivamente.
- 3.- Enunciar las principales formas de electrificar los cuerpos.
- 4.- Enunciar las conclusiones que se obtienen cuando se interaccionan dos cargas eléctricas.
- 5.- Aplicar, resolviendo problemas, la definición algebraica de la ley de Coulomb.
- 6.- Expresar la teoría que explica cómo actúan las fuerzas magnéticas y que responden al comportamiento de los imanes.
- 7.- Enunciar los factores de los cuales depende la resistencia de una sustancia y resolver problemas a partir de

los datos apropiados.

9.- Calcular, a partir de los datos apropiados, la inducción magnética o densidad de flujo en un conductor rectilíneo en una espira o bobina circular o en un solenoide rectilíneo.

10.- Enunciar las diferentes fuentes de electricidad.

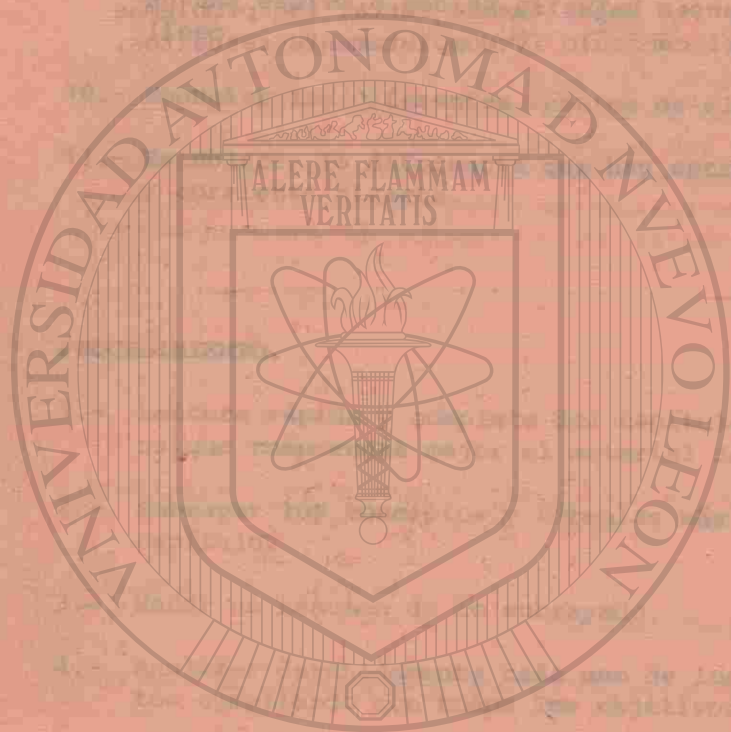
11.- Establecer la diferencia que hay entre corriente alterna y corriente directa.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Lectura rápida y completa del capítulo IV del texto, para que comprendas mejor el material de esta unidad.
- 2.- Subrayar los conceptos y fórmulas más importantes del capítulo.
- 3.- Hacer un resumen de lo subrayado.
- 4.- Analizar detenidamente cada uno de los términos y conceptos cumpliendo con todos los objetivos.
- 5.- Analizar en forma detallada, cada uno de los ejemplos resueltos en tu texto.
- 6.- Resolver los problemas de autoevaluación, tratando de obtener las respuestas incluidas al final de cada problema.
- 7.- Resolver problemas de otros textos de física, ya que la práctica en tu material es lo que hará que obtengas mejores resultados.
- 8.- Cualquier duda que tengas no te quedes con ella, consulta con tus compañeros o con tu maestro.

PRE-REQUISITO.

Para tener derecho a presentar la evaluación de esta unidad, deberás entregar en hojas tamaño carta, los problemas de autoevaluación del capítulo IV completamente resueltos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL

CAPÍTULO IV.

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.

Los científicos han descubierto que los átomos se componen de partículas diminutas de electricidad. El centro de cada átomo, llamado núcleo, contiene partículas eléctricas cargadas positivamente, denominadas protones, así como también partículas neutras (sin carga) llamadas neutrones. Estas forman la mayor parte de la masa o el peso del átomo. En torno al núcleo y describiendo órbitas con mucha rapidez, hay partículas eléctricas de carga negativa que se conocen como electrones.

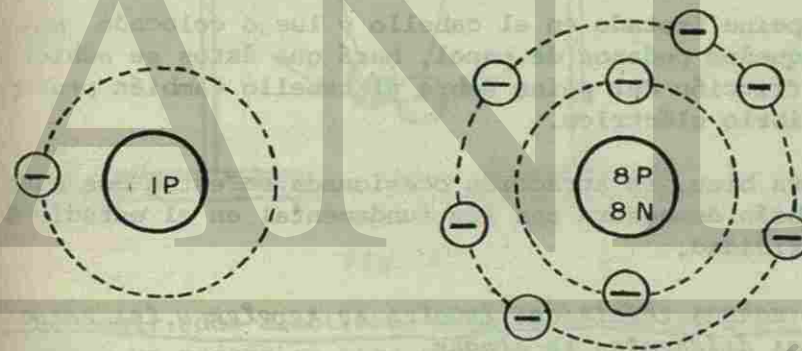


Fig. 1.

Generalmente, un átomo permanece en su estructura normal, pero al añadirse cualquier tipo de energía, ya sea calorífica, de fricción o de bombardeo por medio de otros electrones, los electrones débilmente afianzados al átomo, en sus órbitas exteriores, pueden abandonarlo. Los electrones que abandonan el átomo le producen un desequilibrio eléctrico. En este caso se dice que está ionizado.

El átomo al perder electrones (cargas negativas) y considerando que el átomo en su forma normal tiene la misma cantidad de electrones y protones, estará cargado positivamente (ión positivo). Pero si el átomo gana electrones estará cargado negativamente (ión negativo).

4-1 ELECTROSTÁTICA.

La electrostática es la electricidad en reposo. Esta se demuestra de muchas formas. Al frotarle el pelaje a un gato, se notará que los pelos del gato tenderán a ser atraídos por la mano, cuando se pase sobre el animal. Lo que sucede, es que la fricción de la mano sobre el pelaje del animal excita los átomos que quedan en desequilibrio eléctrico.

Un peine frotado en el cabello y luego colocado muy cerca de pequeños pedazos de papel, hará que éstos se adhieran a él. La fricción del peine sobre el cabello también provoca desequilibrio eléctrico.

Ahora bien, la atracción ocasionada en estos dos ejemplos también demuestra una ley fundamental en el estudio de la electricidad.

Las cargas eléctricas iguales se repelen y las cargas eléctricas diferentes se atraen.

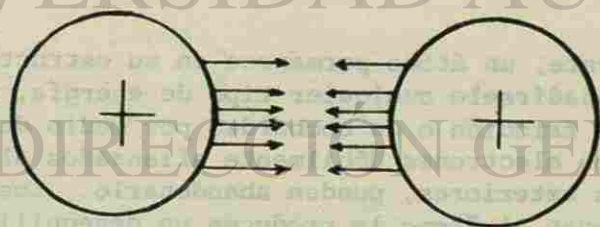


Fig. 2.

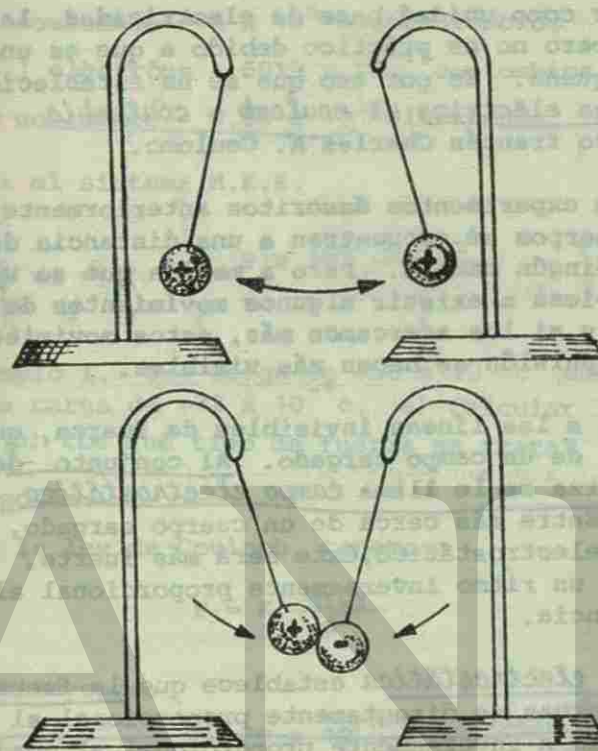


Fig. 3.

Es decir: dos electrones o dos protones se repelen y un electrón y un protón se atraen entre sí.

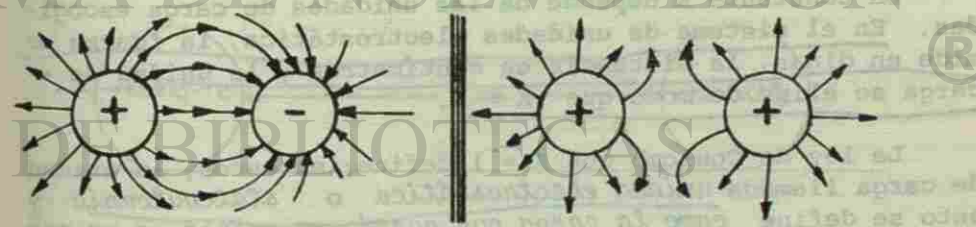


Fig. 4.

Podemos usar como unidad base de electricidad, la carga de un electrón, pero no es práctico debido a que es una unidad demasiado pequeña. Es por eso que se ha establecido como unidad de carga eléctrica el coulomb o coulombio en honor del científico francés Charles A. Coulomb.

Al hacer los experimentos descritos anteriormente, notamos que si los cuerpos se encuentran a una distancia determinada, no sufre ningún cambio. Pero a medida que se van acercando, ya empieza a existir algunos movimientos de atracción o repulsión y si los acercamos más, estos movimientos de atracción o repulsión se hacen más visibles.

Esto se debe a las líneas invisibles de fuerza, que existen alrededor de un campo cargado. Al conjunto de estas líneas de fuerza se le llama campo electrostático o campo dieléctrico. Entre más cerca de un cuerpo cargado, se analice el campo electrostático, éste será más fuerte. Este campo disminuye a un ritmo inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

La ley de la electrostática establece que la fuerza que actúa entre dos cargas es directamente proporcional al producto de las mismas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.

Algebráicamente:

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \quad (1)$$

La constante K depende de las unidades de carga escogidas. En el sistema de unidades electrostática, la fuerza se mide en dinas, la distancia en centímetros y la unidad de carga se elige de modo que $K = 1$.

La ley de Coulomb con $K = 1$ define; entonces, la unidad de carga llamada unidad electrostática o statcoulombio y esto se define como la carga que cuando se coloca a un centímetro de una carga equivalente ejerce sobre ella una fuerza de una dina.

$$1 \text{ coulombio} = 3 \times 10^9 \text{ statcoulombios}$$

$$\text{carga de 1 electrón} = 1.6019 \times 10^{-19} \text{ coulombios}$$

$$1 \text{ coulombio} = 6.24 \times 10^{18} \text{ electrones.}$$

Para el sistema M.K.S.

$$K = 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

Ejemplo 1. Una carga de $+50 \times 10^{-9} \text{ C}$ está colocada a 5 cm de una carga de $-72 \times 10^{-9} \text{ C}$. a) Calcular la fuerza entre ellas. b) ¿De qué tipo de fuerza se trata?

Solución:

a) Por la ley de Coulomb, tenemos:

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

sustituyendo:

$$\begin{aligned} F &= 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \times \frac{(50 \times 10^{-9} \text{ C})(-72 \times 10^{-9} \text{ C})}{(5 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \\ &= -1296 \times 10^{-5} \text{ N} \\ &= -1.296 \times 10^{-2} \text{ N} \end{aligned}$$

b) El signo negativo indica que la fuerza es de atracción.

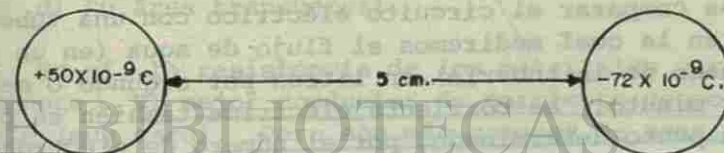


Fig. 5.

4-2 CARGAS EN MOVIMIENTO.



Fig. 6

Definiremos la corriente eléctrica como el flujo de electrones a través de un conductor. Es decir, que la corriente fluye cuando un conductor une dos puntos, uno de los cuales es más negativo que el otro o de regiones más negativas a regiones menos negativas (o positivas), siempre y cuando exista un conductor que pueda llevarlas.

Los electrones seguirán fluyendo, hasta que el número de electrones de cada región sean iguales (que ya no exista diferencia de electrones entre ellos).

La fuerza que hace que esos electrones se muevan se le llama fuerza electromotriz o diferencia de potencial o tensión. Esta tensión se mide en voltios.

Podemos comparar el circuito eléctrico con una tubería para agua, en la cual mediremos el flujo de agua (en un punto determinado de la tubería) en litros por segundo o metros cúbicos por minuto. La corriente eléctrica también se puede medir en un punto determinado, por el número de electrones que pasan por segundo. Como ya está definido el coulombio, definiremos la unidad de medida de la corriente eléctrica, el amperio. El amperio es el flujo de coulombios por segundo, sobre un punto determinado de un circuito.

Algebraicamente:

$$I = Q/t$$

$$Q = It$$

(2)

donde:

Q = carga en coulombios (c)

I = corriente en amperios (A)

t = tiempo en segundos (seg).

En este texto consideraremos que la corriente fluye del polo negativo al positivo.

Si se conecta un dispositivo a una fuente de potencial eléctrico, por ejemplo, una lámpara, por medio de cables de cobre, los electrones fluirán o serán conducidos de la terminal negativa de la fuente, a través de la lámpara y de regreso a la terminal positiva de dicha fuente. Los cables de cobre son la trayectoria por la que fluye la corriente eléctrica. A este cable se le llama conductor.

No existen conductores perfectos a las temperaturas ordinarias. Todas las sustancias, inclusive el cobre y otros metales, presentan cierta resistencia u oposición al flujo de corriente. Dicha resistencia real depende de 4 factores:

- a) La naturaleza del material usado como conductor.
- b) La temperatura.
- c) La longitud del conductor.
- d) Su área transversal.

En sí, la resistencia de los materiales varía considerablemente. El mejor conductor de corriente conocido es la plata (muy caro). Pero son más comunes de usar el cobre y el aluminio. A estos propiamente se les llama conductores.

Algunas sustancias como el germanio y el silicio, ofrecen una resistencia mayor a la corriente que los conductores, pero todavía la permiten. Por esa característica a estos materiales especiales se les denomina semiconductores

y se usan en la fabricación de rectificadores y transistores.

Existen además otros materiales que se conocen con el nombre de aisladores, ya que es tan alta su resistencia que prácticamente eliminan el flujo de corriente. Los más conocidos son: el caucho, la madera, el plástico, la bakelita, etc.

Los factores que afectan la resistencia de un material, se pueden relacionar en la siguiente ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3)$$

donde:

R = resistencia en ohmios (Ω).

ρ = resistencia específica o resistividad a la temperatura dada ($\Omega\text{-m}$)

L = longitud del conductor (m)

A = área de la sección transversal (m^2).

Tabla 4-1. Resistividad de algunos metales ρ , en $\Omega\text{-m}$.

Aluminio	3.2×10^{-8}
Bismuto	119×10^{-8}
Cobre	1.72×10^{-8}
Hierro	15×10^{-8}
Mercurio	94.1×10^{-8}
Plata	1.05×10^{-8}
Platino	11×10^{-8}
Tungsteno	5.5×10^{-8}

Ejemplo 2. Hallar el número de electrones que atraviesan por segundo una sección recta de un alambre por el que circula una corriente de 1 A de intensidad.

Solución:

Por la ecuación (2), tenemos:

$$\begin{aligned} Q &= It \\ &= 1 \text{ A} \times 1 \text{ seg} \\ &= \frac{1 \text{ c}}{\text{seg}} \times 1 \text{ seg} \\ &= 1 \text{ c} \times 6.24 \times 10^{18} \frac{\text{elec}}{\text{c}} \\ &= 6.24 \times 10^{18} \text{ electrones} \end{aligned}$$

Ejemplo 3. Por un alambre fluye una corriente de 0.25 A. Calcular el número de coulombios por segundo que fluyen a lo largo del alambre.

$$\begin{aligned} Q &= It \\ &= 0.25 \text{ A} \times 1 \text{ seg} \\ &= \frac{0.25 \text{ c}}{\text{seg}} \times 1 \text{ seg} \\ &= 0.25 \text{ c.} \end{aligned}$$

Ejemplo 4. Un fino alambre de platino de 0.4 mm de diámetro y 200 cm de largo se usa como elemento sensible en un termómetro de resistencia eléctrica. Encontrar su resistencia.

Solución:

Como datos tenemos: $d = 0.4 \text{ mm} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$, $L = 200 \text{ cm} = 2 \text{ m}$.

Y para el platino, tenemos de la lectura de la tabla 4-1: $\rho = 11 \times 10^{-8} \Omega\text{-m}$

Calcularemos la resistencia por la ecuación (3):

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

pero tenemos que calcular primero el área:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.1416 (4 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4}$$

$$= 1.256 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

sustituyendo datos:

$$R = \frac{11 \times 10^{-8} \text{ m (2m)}}{1.256 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 0.0175 \Omega$$

4-3 MAGNETISMO.

Los antiguos navegantes chinos descubrieron que un pedazo de una piedra especial, sujeta a una cuerda, se volvía siempre hacia el Norte. A estas piedras de mineral de hierro los griegos las llamaron *magnetita*, ya que se descubrieron cerca de Mangesia, en el Asia Menor. Los marinos las usaron para orientarse y por eso las llamaron "piedras guía". Fueron las primeras formas de los imanes naturales.

El *imán* puede definirse como un material o sustancia que tiene la propiedad de atraer al hierro, al acero y a otros materiales magnéticos.

Gran cantidad de pruebas mostraron que la mayor fuerza de atracción aparece en los extremos del imán. A esas concentraciones de fuerza magnética se les llama *polos magnéticos*, y cada imán tiene un *polo norte* y un *polo sur*. Entre el polo norte y el polo sur existen muchas líneas invisibles de fuerza magnética, cada una de las cuales es dependiente y no se cruza ni se toca con ninguna otra.



Fig. 7.

Cada línea de fuerza va del polo Norte al polo Sur, a través del espacio y regresa al polo Norte a través del imán. A estos lazos cerrados del campo magnético se le denomina *circuito magnético*, y pueden compararse con los circuitos eléctricos, del mismo modo que la fuerza magnética puede compararse con el voltaje y las líneas magnéticas con la corriente.

La Tierra es un gran imán en el que el norte magnético se encuentra cerca del sur geográfico y el sur magnético cerca del norte geográfico, por esta razón todos los imanes son atraídos a través de su norte magnético hacia el sur magnético de la tierra, que como ya se mencionó, indica geográficamente el norte.

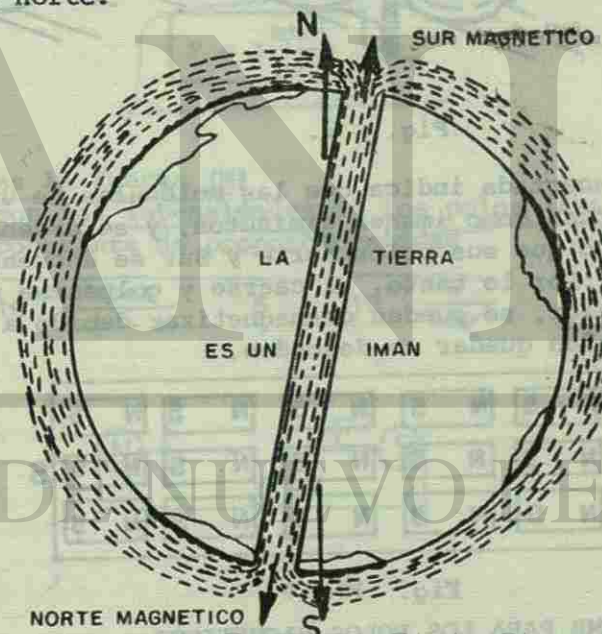


Fig. 8.

4-4 LEYES DEL MAGNETISMO.

Los polos iguales se repelen y los polos distintos se atraen.

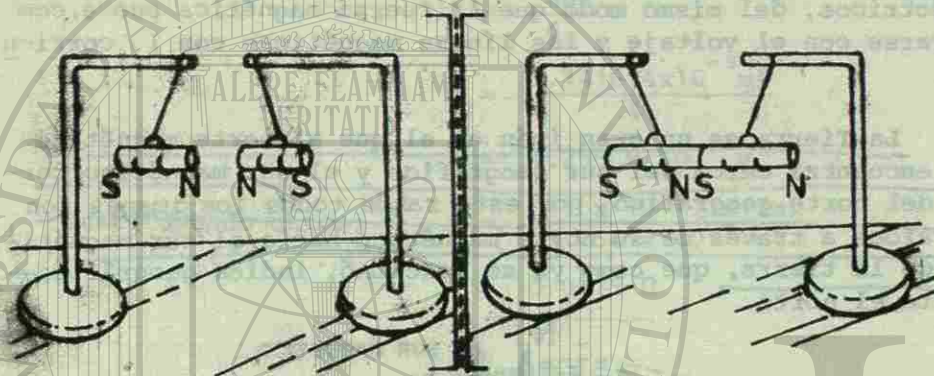


Fig. 9.

Una teoría aceptada indica que las moléculas de una barra imantada, actúan como imanes diminutos, y se ordenan en línea, de tal modo que sus polos Norte y Sur se encuentran juntos (fig. 6). Por lo tanto, al caerse y golpearse un imán o al aplicarle calor, se pueden desmagnetizar debido a que las moléculas pueden quedar en desorden.

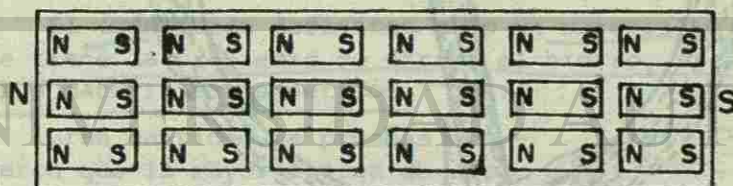


Fig. 10.

4-5 LEY DE COULOMB PARA LOS POLOS MAGNÉTICOS.

Para un estudio de la ley de la fuerza entre los polos, se usan imanes especialmente diseñados. La necesidad de esto se recuerda que los polos magnéticos sueltos no pueden aislarse por rotura de un imán en dos. Los imanes especiales consisten en varillas delgadas de acero de unos 45 cm de lar-

go, con una pequeña bola de acero en cada uno de los polos. Cuando se magnetizan, los polos N y S se concentran en las bolas de acero como se muestra en la fig. 11.

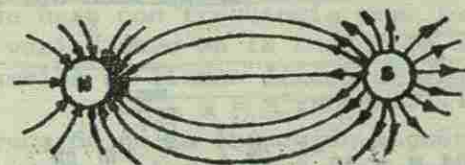


Fig. 11.

Coulomb fué el primero en encontrar que la fuerza que actúa entre dos polos magnéticos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos.

$$F = X \frac{m m^1}{d^2}$$

(4)

donde:

F = es la fuerza (N)

$m m^1$ = son las intensidades de los polos (Amp - m)

X = constante de proporcionalidad

$$= 10^{-7} \frac{\text{Weber}}{\text{Amp} - \text{m}} \quad 6 \quad 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{Amp}^2}$$



Fig. 12

Si comparamos esta fórmula con la que expresa la ley de la electrostática, veremos que son análogas, esto es, que expresan lo mismo: si aumenta la distancia entre los polos magnéticos, disminuye la fuerza de atracción de repulsión entre ellos.

Ejemplo 5. Dos polos magnéticos S de igual intensidad ejercen una fuerza de 0.04 N uno sobre el otro cuando están separados 8 cm. Encontrar la intensidad del polo.

Solución:

Por la ecuación 4, tenemos: $F = x \frac{mm^1}{d^2}$

$$0.04 \text{ N} = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{Amp}^2} \times \frac{m \cdot m^1}{(8 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

Pero como los dos polos son iguales:

$$0.04 \text{ N} = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{Amp}^2} \times \frac{m^2}{(8 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$m^2 = \frac{0.04 \text{ N} \times (8 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2 \text{ Amp}^2}{10^{-7} \text{ N}}$$

$$m^2 = 2560 \text{ Amp}^2 \text{ m}^2$$

$$m = 50.6 \text{ Amp m}$$

Las numerosas líneas invisibles de fuerza magnética que rodean a un imán recibe el nombre de flujo magnético. Si es un imán potente, las líneas serán más densas. Así, la potencia de un campo magnético puede determinarse por su densidad de flujo, o el número de líneas por pulgada cuadrada o por centímetro cuadrado.

La densidad de flujo se expresa por medio de la ecuación:

$$B = \phi / A \quad (6)$$

donde:

B = densidad de flujo ($\frac{\text{webers}}{\text{m}^2}$) ó ($\frac{\text{maxwells}}{\text{cm}^2}$)

ϕ = número de líneas de fuerza magnética.

A = área de la sección de corte transversal (m^2 o cm^2)

Para especificar la intensidad de campo magnético en cualquier punto del espacio, se designa la cantidad vectorial, llamada inducción magnética B. Puesto que las líneas de fuerza se usan con frecuencia como representaciones gráficas de las variaciones en la inducción magnética de un punto al otro, también se llaman líneas de inducción.

La dirección de la inducción magnética B en cualquier punto es tangente a la línea de inducción que pasa por ese punto y su magnitud está dada por el número de líneas por unidad de superficie. Dicha unidad está escogida de modo que incluya al punto en cuestión y en cualquier lugar es perpendicular a todas las líneas que la atraviesan.

En el sistema MKS, una línea de inducción equivale a un weber, mientras que en el sistema cgs equivale a un maxwell.

$$\frac{1 \text{ maxwell}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ gauss}$$

$$\frac{1 \text{ weber}}{\text{m}^2} = 10^4 \frac{\text{maxwells}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ gauss.}$$

4-6 RELACIÓN ENTRE LA CORRIENTE ELÉCTRICA Y EL MAGNETISMO.

El físico danés Hans Christian Oersted descubrió que existía un campo magnético en torno a un conductor que lleva corriente eléctrica y además que la dirección del campo magnético depende de la dirección del flujo de la corriente.

El campo magnético de un conductor rectilíneo de gran longitud a una distancia r, perpendicular al conductor por el que circula una corriente de intensidad I, tiene un módulo.

$$B = x \frac{2I}{r} \quad (6)$$

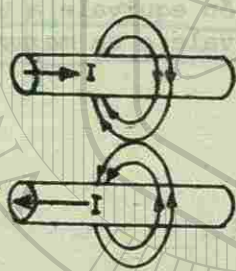


Fig. 13.

Ejemplo 6. Hallar la inducción magnética (o densidad de flujo) en un punto del aire a 5 cm de un conductor rectilíneo por el que circula una corriente de 15 A de intensidad.

Solución:

Por la ecuación 6, tenemos:



$$\begin{aligned} B &= \mu_0 \frac{I}{2\pi r} \\ &= 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{A m}} \times \frac{30 \text{ A}}{5 \times 10^{-2} \text{ m}} \\ &= 6 \times 10^{-5} \text{ wb/m}^2 \\ &= 6 \times 10^{-5} \text{ Teslas.} \end{aligned}$$

Fig. 14.

El campo magnético de una espira circular plana de radio r recorrida por una corriente de intensidad I , en el centro de la misma:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2r} \quad (7)$$

y si se trata de una bobina constituida por N espiras, el módulo de la inducción magnética, en su centro es:

$$B = \mu_0 \frac{N I}{2r} \quad (8)$$

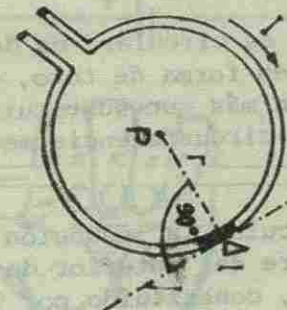


Fig. 15.

Ejemplo 7. Una bobina circular, constituida por 40 espiras de conductor, tiene un diámetro de 32 cm. Hallar la intensidad de corriente que debe circular por ella para que la inducción magnética en su centro sea de 3×10^{-4} Teslas (T).

Solución:

Por la ecuación 8, despejando de $B = \mu_0 \frac{N I}{2r}$

$$\begin{aligned} I &= \frac{B r}{\mu_0 N} \\ I &= \frac{3 \times 10^{-4} \text{ wb/m}^2 \times .16 \text{ m}}{2 \times 3.14 \times 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{A m}} \times 40} \end{aligned}$$

$$I = 1.9 \text{ A}$$

En el caso de un solenoide rectilíneo de longitud ℓ , constituido por N espiras por las que circula una corriente de intensidad I , el módulo del vector inducción magnética, en cualquier punto de su eje, vale:

$$B = \mu_0 \frac{N I}{\ell} \quad (9)$$

Si el solenoide es circular, es decir, N espiras arrolladas sobre un núcleo en forma de toro, es válida la misma expresión anterior, sin más que sustituir la longitud ℓ por la correspondiente a la circunferencia media del toro.

Ejemplo 8. Calcular la inducción magnética en el centro del núcleo de aire del interior de un solenoide rectilíneo de gran longitud, constituido por 9 espiras de conductor por centímetro recorridas por una intensidad de 6 A.

Solución:

Por la ecuación 9, tenemos:

$$\begin{aligned} B &= \mu_0 \times \frac{4 \pi N I}{\ell} \\ &= 4 \pi \times 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{Am}} \times \frac{9 \text{ espiras}}{10^{-2} \text{ m}} \times 6 \text{ A} \\ &= 6.8 \times 10^{-3} \text{ wb/m}^2 \\ &= 6.8 \times 10^{-3} \text{ Teslas.} \end{aligned}$$

4-7 REGLA DE LA MANO IZQUIERDA.

La regla de la mano izquierda para un conductor puede usarse para determinar la dirección del campo. Simule tomando el conductor con la mano izquierda, extienda el pulgar en la dirección en que circula la corriente. Sus otros dedos indicarán la dirección circular del campo magnético.

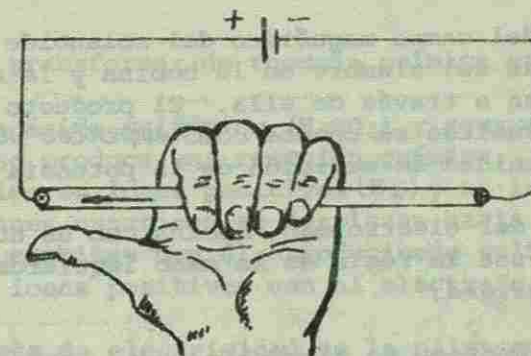


Fig. 16.

El conocimiento de este principio es sumamente importante en los circuitos eléctricos, cuando los cables conducen corrientes alternas. En ese caso, la colocación de los conductores tienen cierta influencia en el comportamiento del circuito.

Cuando se devana un conductor portador de corriente para formar una bobina o solenoide, los campos magnéticos individuales que rodean a los conductores tienden a mezclarse o unirse. Un solenoide aparecerá como un campo magnético con un polo N magnético en un extremo y otro S en el opuesto. La regla de la mano izquierda para una bobina puede usarse para determinar su polaridad. Tome o simule la bobina con la mano izquierda, de tal modo que sus dedos la rodeen en el mismo sentido que el flujo de corriente. Entonces, su dedo pulgar extendido señalará en dirección al polo norte de la bobina.

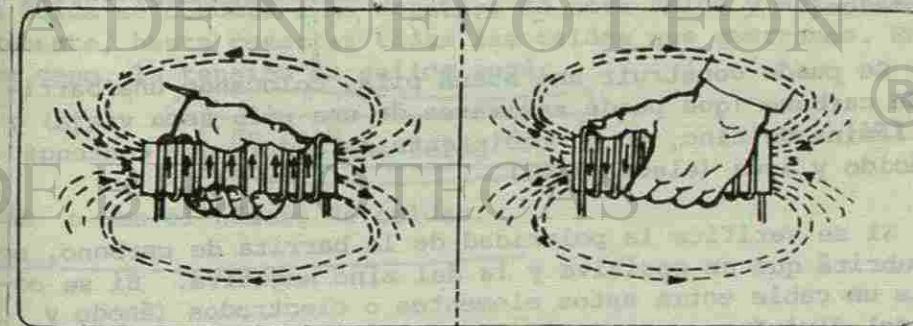


Fig. 17.

La fuerza del campo magnético del solenoide depende del número de vueltas del alambre en la bobina y la corriente en amperios que pasa a través de ella. El producto de los amperios por las vueltas se conoce como amperios-vuelta de una bobina y es la unidad de medición de la potencia del campo.

En el caso del electroimán, bobina con un núcleo de hierro, también se usa la regla de la mano izquierda para determinar su polaridad.

Un campo magnético no tiene límites. Para los alumnos principiantes, es difícilmente comprensible el hecho de que la fuerza de un imán atravesará cualquier tipo de material, aunque sea una pared de cemento armado, vidrio, madera o cualquier otro material que se imaginen. Pero puede protegerse un instrumento o un circuito de las líneas de fuerza magnética, mediante la aplicación de la permeabilidad de ciertos materiales. La permeabilidad es la capacidad de una sustancia o material para conducir líneas de fuerza magnética.

4-8 FUENTES DE ELECTRICIDAD

Una de las fuentes más conocidas de tensión o potencial eléctrica son las baterías. Alessandro Volta, científico italiano, inventó la pila eléctrica más conocida en su honor, como celda o pila voltaica. Volta descubrió que cuando dos elementos distintos se colocaban en un medio químico que actuaba sobre ellos, se establecía entre ambos un potencial eléctrico.

Se puede construir una buena pila, colocando una barrita de carbono (que puede retirarse de una pila seca vieja) y una lámina de zinc, en un recipiente de vidrio que contenga un ácido y agua (electrolito).

Si se verifica la polaridad de la barrita de carbono, se descubrirá que es positiva y la del zinc negativa. Si se conecta un cable entre estos elementos o electrodos (ánodo y cátodo) fluirá una corriente. En sí, una celda voltaica es

un medio para transformar de energía química en eléctrica.

Si se usa ácido sulfúrico (H_2SO_4) y agua (H_2O) como electrolito, se produce una reacción química. El ácido sulfúrico se divide en iones positivos (H^+) y en iones negativos (SO_4^{2-}). Los iones negativos se desplazan hacia el electrodo del zinc y se combinan con él, produciendo sulfato de zinc ($ZnSO_4$) y los iones positivos van al electrodo del carbono.

Otra fuente de electricidad es la pila seca, que consiste en un recipiente de zinc que actúa como electrodo negativo. En su centro se encuentra una barrita de carbono, que es el electrodo positivo. Alrededor de la barrita de carbono existe una pasta de carbono molido, dióxido de manganeso (MnO_2) y sal de amoníaco (cloruro de amonio). El MnO_2 actúa como despolarizador y el carbono molido aumenta la efectividad de la pila seca, al reducir su resistencia interna.

Existen algunas novedades, tales como la pila de mercurio y las pilas recargables de níquel y cadmio.

Además, es muy común las pilas simples llamadas baterías. En realidad una batería consiste en dos o más celdas que se mencionan en un receptáculo.

Es importante saber y comprender la finalidad y los resultados de conectar las celdas en grupos.

En una conexión serie de celdas, la terminal positiva de una celda se conecta a la negativa de otra celda y así sucesivamente, hasta conectar todas las celdas que querramos. En este caso, la tensión de salida será:

$$E_s = E_{\text{una celda}} \times n$$

(10)

donde n es el número de celdas.

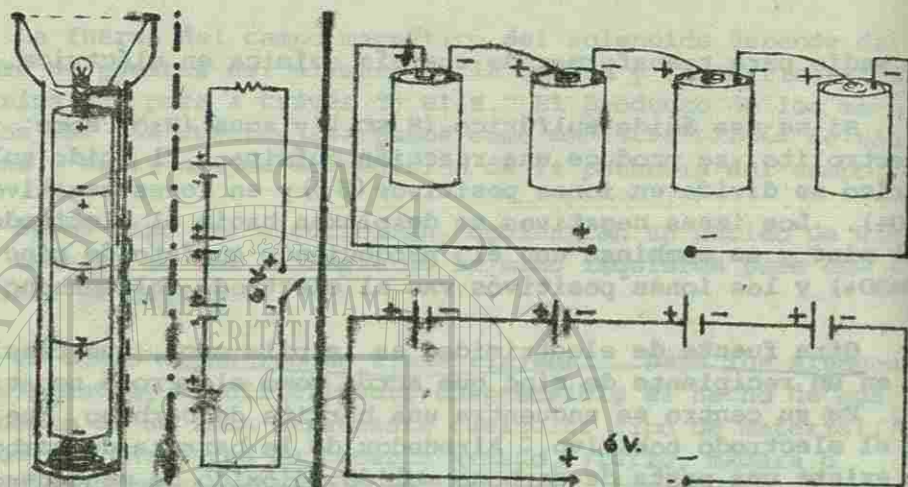


Fig. 18.

$$E_{\text{total}} = 1.5 \text{ V/celda} \times 4 \text{ celdas} \\ = 6 \text{ volts.}$$

En la conexión en paralelo, se unen todos los negativos y todos los positivos, como se muestra en la figura 14, y se obtiene el voltaje de una de ellas, pero tiene más durabilidad.

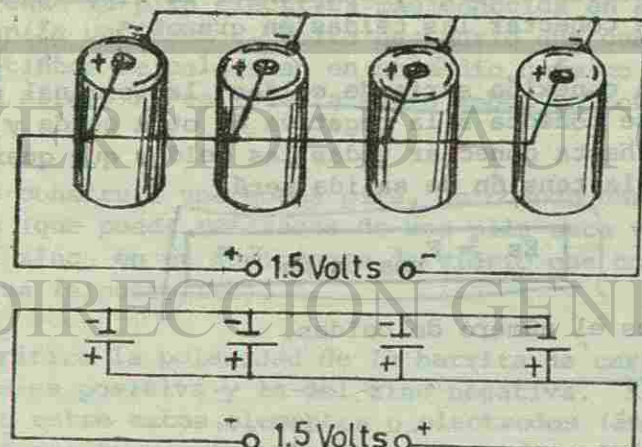


Fig. 19.

Se tienen otras fuentes, tales como los acumuladores de los automóviles (celdas de plomo y ácido), las foto-celdas (transforman la luz en corriente eléctrica), termopares (energía calorífica en corriente eléctrica) y el origen de la electricidad por medio de la distorsión mecánica de un cristal, *efecto piezo eléctrico*. Y las fuentes más importantes la transformación de energía mecánica en eléctrica, por medio del dínamo y el generador.

4-9 GENERADORES.

Si la electricidad produce magnetismo, ¿podrá el magnetismo producir electricidad? Gracias a las investigaciones y descubrimientos del Sr. Michael Faraday, se desarrolló el dínamo eléctrico.

Con el fin de producir una corriente eléctrica, debe existir un campo magnético, un conductor y movimiento relativo entre el campo y el conductor. Un generador es un dispositivo que transforma la energía mecánica en eléctrica. El método más conveniente y práctico para producir un movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor, es suspender una bobina giratoria dentro del campo. A dicha bobina se le llama *armadura* del generador.

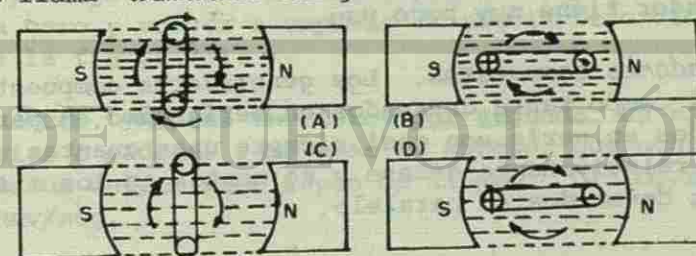


Fig. 20.

En cada caso (fig. 20), la corriente inducida en el conductor forma un campo magnético en torno a él, que se opone al campo fijo o es repelida por éste. Esta oposición al conductor en movimiento debe de existir y es preciso aplicar una forma de fuerza mecánica para vencer esa oposición. En las grandes centrales de energía eléctrica se utiliza la

fuerza hidráulica o de vapor para hacer girar a los generadores.

La potencia del voltaje inducido en una bobina giratoria depende de:

- 1.- El número de líneas magnéticas de fuerza a las que toca la bobina.
- 2.- La velocidad a la cual el conductor se mueve a través del campo.

4-10 TIPOS DE GENERADORES.

Generador en paralelo. El inconveniente de tener que disponer de una fuente separada de corriente directa para la excitación del campo, condujo al desarrollo del generador en paralelo, en el que una parte de la corriente generada se usa para excitar los campos. Los devanados están formados por muchas vueltas de alambre relativamente delgado y en realidad, se utiliza solo una parte de la corriente generada. Es un ejemplo, el generador de un automóvil.

Generador en serie. Los devanados de campo de un generador puede conectarse en serie con la armadura y la carga. Este generador tiene muy poco uso.

Generadores compuestos. Los generadores compuestos utilizan en el campo tanto devanados en serie como en paralelo. Los devanados en serie son casi siempre unas cuantas vueltas de alambre relativamente grueso y se montan en los mismos polos que los devanados en paralelo.

4-11 CORRIENTES ALTERNA Y DIRECTA.

Si comparamos la corriente alterna con la corriente directa, ésta última fluye en una sola dirección en un circuito mientras que la primera invierte periódicamente su dirección de flujo.

En la corriente directa, el voltaje de la fuente no cambia de polaridad y en la corriente alterna, cambia periódicamente entre positiva y negativa. En la gráfica de la figura 21 se ilustra lo anterior. Comenzando en cero, el voltaje aumenta al máximo en la dirección positiva y vuelve a cero; a continuación sigue bajando, en la parte negativa del diagrama y vuelve otra vez a cero.

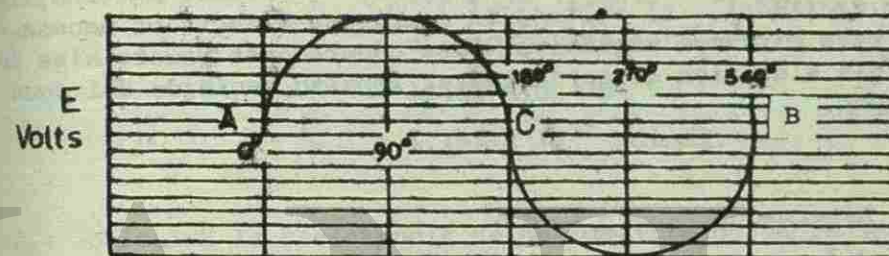


Fig. 21.

Con la misma gráfica, podemos establecer lo siguiente:

Ciclo. Es una secuencia o cadena de sucesos que van en determinados lapsos de tiempo. Para nuestro caso, es la realización de la trayectoria de cero a máximo positivo, de este a cero y luego de cero a máximo negativo, para llegar otra vez a cero y volver a empezar el siguiente ciclo. (Sección AB de la figura 21).

Frecuencia. Medida en ciclos por segundo, es el número de secuencias o cadenas completas de sucesos que ocurren en el curso de un determinado lapso de tiempo. Ciclos/seg, Rev/min, Rev/seg, ®

Período. El espacio de tiempo de un ciclo.

Amplitud. Elevación máxima de la onda.

Generador de corriente alterna.

El generador de corriente alterna es similar en muchos aspectos al de corriente directa, con una salvedad, se omite el conmutador. Las terminales de las bobinas de la armadura se conectan a anillos deslizantes.

El campo giratorio se excita por medio de los anillos deslizantes y escobillas, gracias a un generador externo, llamado *excitador*. El voltaje en corriente directa es necesario para el campo magnético. Los generadores comerciales de energía eléctrica giran debido al impulso recibido del agua o vapor.

Alternador.

En algunos modelos de automóviles, el generador de corriente directa, ha sido reemplazado por un generador de corriente alterna, llamado *alternador*. En la salida de la corriente alterna se *rectifica*, transformándose en corriente directa para cargar la batería y otros dispositivos eléctricos del automóvil. Según los fabricantes se cuenta con un mayor rendimiento a velocidades más bajas y un mantenimiento carente de problemas.

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

- 1.- El núcleo del átomo de helio tiene una carga de $+2e$ y el del neón de $+10e$. Hallar la fuerza de repulsión entre ambos núcleos situados a una distancia de 2 milimicras. (1 milimicra = 1×10^{-9} m).

Solución:

Por la ecuación 1, tenemos:

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{\text{N-m}^2}{\text{c}^2} \times \frac{2 \times 10e}{(2 \times 10^{-9} \text{ m})^2}$$

$$= 4.5 \times 10^{28} e^2 \text{ N/c}^2$$

pero $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ c}$, entonces tenemos:

$$= 4.5 \times 10^{28} (1.6 \times 10^{-19} \text{ c})^2 \text{ N/c}^2$$

$$= 4.5 \times 10^{28} \times 2.56 \times 10^{-38} \text{ c}^2 \text{ N/c}^2$$

$$= 1.152 \times 10^{-9} \text{ N}$$

$$= 1.152 \times 10^{-4} \text{ dinas.}$$

- 2.- Calcular la resistencia de una varilla de cobre de 4m de largo y 10 mm de diámetro. $\rho_{\text{cu}} = 1.756 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

Solución:

Por la ecuación 4, tenemos:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Dado que el área de un círculo es: $A = 7.854 D^2$

$$= \frac{1.756 \Omega \cdot \text{m} \times 4 \text{ m}}{7.854 \times (.01 \text{ m})^2} \times 10^{-8}$$

$$= 8.94 \times 10^{-4} \Omega$$

- 3.- Calcular el tiempo necesario para que pase una carga eléctrica de 36000 c a través de una celda electrolítica que absorbe una corriente de 5A de intensidad.

Solución:

Por la ecuación 2, tenemos:

$$t = Q/I$$

$$= \frac{36000 \text{ c}}{5 \text{ A}}$$

$$= \frac{36000 \text{ c}}{5 \text{ c/seg}}$$

$$= 7200 \text{ seg}$$

$$= \frac{7200 \text{ seg}}{3600 \text{ seg/hr}}$$

$$= 2 \text{ hr.}$$

- 4.- Dos polos magnéticos S de 50 A - m cada uno, situados a 10 cm uno del otro. ¿Qué fuerza ejercerían?

Solución:

Por la ecuación 5, tenemos:

$$\begin{aligned} F &= x \frac{\text{mm}^1}{d^2} \\ &= 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \times \frac{50\text{A-m} \times 50\text{A-m}}{(.1 \text{ m})^2} \\ &= \frac{2.5 \times 10^{-4} \text{ N} - \text{m}^2}{10^{-2} \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$= 2.5 \times 10^{-2} \text{ N}$$

- 5.- Calcular la inducción magnética en un punto del aire a 8 cm de un conductor rectilíneo por el que circula una corriente de 10 A de intensidad.

Solución:

Por la ecuación 6, tenemos:

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \\ &= 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{A-m}} \times \frac{2 \times 10 \text{ A}}{0.08 \text{ m}} \\ &= 250 \times 10^{-7} \text{ wb/m}^2 \\ &= 2.5 \times 10^{-5} \text{ Teslas} \end{aligned}$$

- 6.- Calcular la inducción magnética en el centro del núcleo de aire del interior de un solenoide rectilíneo de gran longitud, constituido por 12 espiras de conductor por centímetro, recorridas por una intensidad de 8 A.

Solución:

Por la ecuación 9, tenemos:

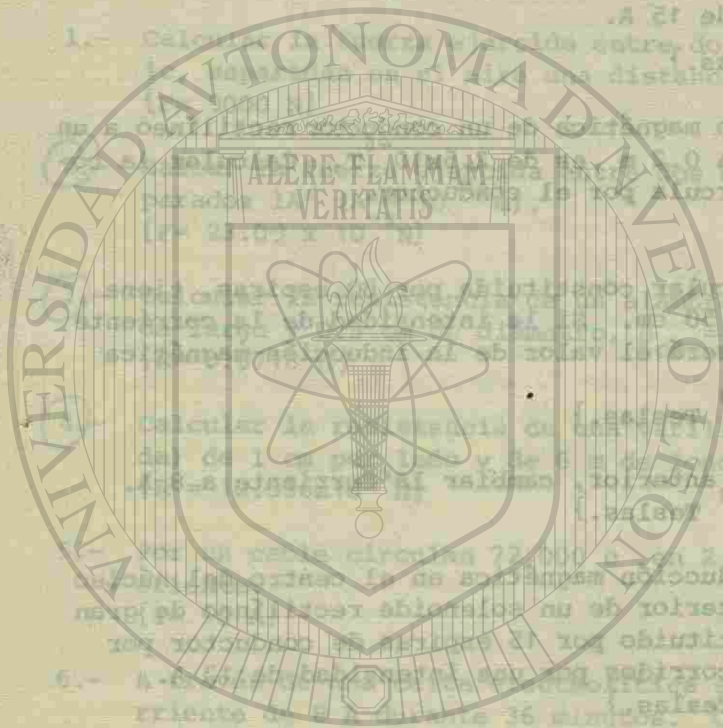
$$\begin{aligned} B &= x \frac{4\pi NI}{\ell} \\ &= 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{A-m}} \times \frac{4\pi \times 12 \text{ espiras} \times 8 \text{ A}}{10^{-2} \text{ m}} \\ &= 1.206 \times 10^{-2} \text{ T} \end{aligned}$$

Requisito.

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO IV.

- 1.- Calcular la fuerza ejercida entre dos cargas iguales de 1c , separadas en el aire una distancia de 1 Km .
{ $F= 9000\text{ N}$ }
- 2.- Hallar la fuerza ejercida entre dos electrones libres separados 1A° ($\text{A}^\circ = 10^{-10}\text{ m}$).
{ $F= 23.09 \times 10^{-9}\text{ N}$ }
- 3.- Calcular la resistencia de un alambre de cobre de 80 m de largo y 0.5 cm de diámetro. $\rho_{\text{cu}} = 1.756 \times 10^{-8}\ \Omega\text{-m}$.
{ $R= 0.0716\ \Omega$ }
- 4.- Calcular la resistencia de una varilla de cobre (cuadrada) de 1 cm por lado y de 6 m de longitud.
{ $R = 10.536 \times 10^{-4}\ \Omega$ }
- 5.- Por un cable circulan $72,000\text{ c}$ en 2 hr . Calcular la corriente.
{ $I= 10\text{ A}$ }
- 6.- A través de una celda electrolítica se absorbe una corriente de 8 A durante 36 minutos . Calcular la carga eléctrica.
{ $Q= 17,280\text{ c}$ }
- 7.- Dos polos magnéticos N de 80 A-m cada uno, ejercen una fuerza de repulsión de 0.5 N . Calcular la distancia a que se encuentran.
{ $d = 35.77 \times 10^{-3}\text{ m}$ }
- 8.- Dos polos magnéticos S , ejercen una fuerza de 0.06 N estando a una distancia de 0.08 m . Calcular los A-m de cada polo.
{ $m = m^1 = 61.96\text{ A-m}$ }
- 9.- Calcular la inducción magnética en un punto en el aire a 15 cm de un conductor rectilíneo por el que circula una corriente de 15 A .
{ $B= 2 \times 10^{-5}\text{ Teslas.}$ }
- 10.- Si la inducción magnética de un conductor rectilíneo a un punto situado a 0.2 m es de $2.5 \times 10^{-6}\text{ T}$. Calcular la corriente que circula por el conductor.
{ $I= 2.5\text{ A}$ }
- 11.- Una bobina circular constituida por 80 espiras, tiene un diámetro de 50 cm . Si la intensidad de la corriente es 5 A , ¿cuál será el valor de la inducción magnética en su centro?
{ $B= 1.0053 \times 10^{-3}\text{ Teslas.}$ }
- 12.- En el problema anterior, cambiar la corriente a 8 A .
{ $B= 1.6085 \times 10^{-3}\text{ Teslas.}$ }
- 13.- Calcular la inducción magnética en el centro del núcleo de aire del interior de un solenoide rectilíneo de gran longitud, constituido por 15 espiras de conductor por centímetro, recorridos por una intensidad de 12 A .
{ $B= 2.262 \times 10^{-3}\text{ Teslas.}$ }

Requisito



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

¿Cuánto cuesta un rayo? En la época en que los rayos se atribuían a los "dioses", esta pregunta hubiera parecido una profanación. Pero ahora, cuando la energía eléctrica se ha convertido en una mercancía que se mide y se tasa lo mismo que otra cualquiera, no puede parecer absurdo que queramos saber lo que vale un rayo. El problema consiste en determinar la energía eléctrica necesaria para que se produzca una descarga atmosférica y calcular su precio de acuerdo a la tarifa establecida.

OBJETIVOS.

- 1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes incluidos en este capítulo.
- 2.- Explicar los efectos de la corriente eléctrica.
- 3.- Dados los datos apropiados, establecer el diagrama de un circuito serie y un circuito paralelo.
- 4.- Diferenciar un circuito serie de un circuito paralelo.
- 5.- Calcular, a partir de los datos apropiados, la resistencia equivalente en un circuito serie, en un circuito paralelo y en un circuito mixto.
- 6.- Explicar el funcionamiento del amperímetro y el voltímetro.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Lectura general del capítulo V de tu libro de texto.
- 2.- Realiza un resumen con todas las definiciones de este capítulo.
- 3.- Analiza detenidamente los problemas resueltos de este capítulo.
- 4.- Resuelve los problemas de la autoevaluación.
- 5.- Tus dudas debes de aclararlas con tus compañeros o con tu maestro, si lo prefieres.

PRE-REQUISITO.

Entregar resueltos completamente, los problemas de la autoevaluación, en hojas tamaño carta.

CAPÍTULO V.

C I R C U I T O S.

Antes de hablar de la ley de Ohm, debemos de conocer el concepto de resistencia. La resistencia es la oposición que un conductor o elemento ofrece a la circulación de un fluido.

La circulación de fluido se establece cuando existe una diferencia de potencial o de voltaje entre dos puntos y además, existe un conductor entre esos dos puntos.

Aunque no son idénticos, podemos comparar el circuito eléctrico con un circuito hidráulico.

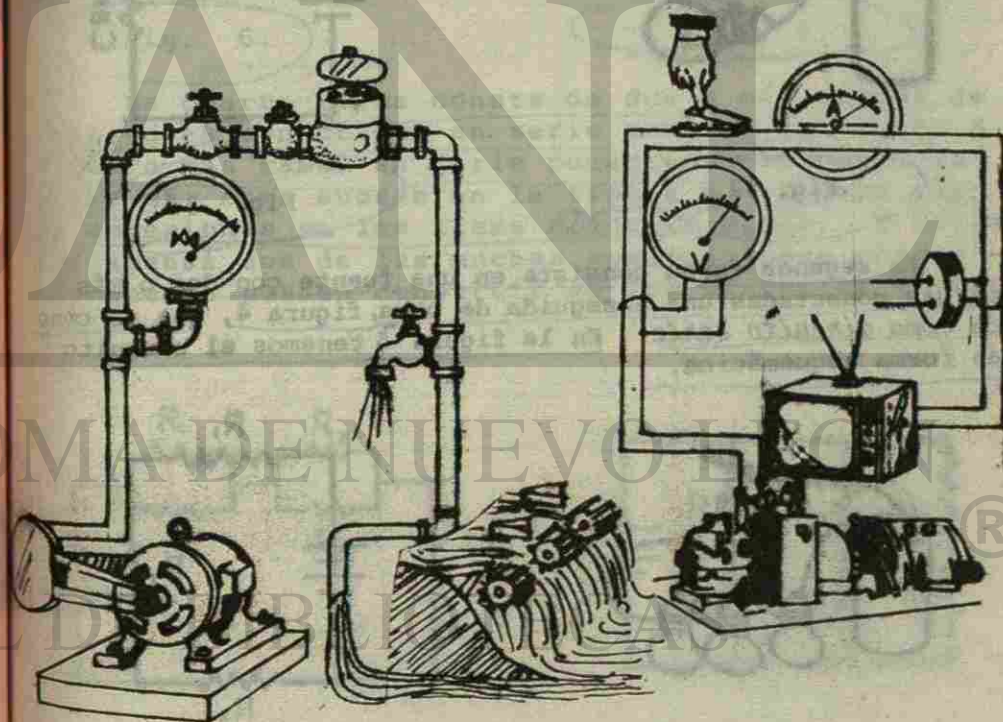


Fig. 1.

5-1 FORMAS BÁSICAS DE LOS CIRCUITOS.

La primera y más sencilla de las formas de un circuito eléctrico consta de una fuente, una carga y alambres de conexión, como se observa en la figura 2. (Se puede agregar un dispositivo de control, en este caso un interruptor). A esta forma se le denomina circuito simple. En la figura 3 tenemos el circuito en forma esquemática.

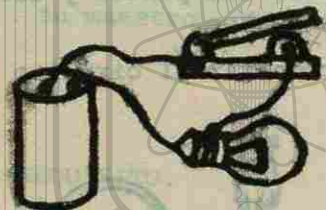


Fig. 2.

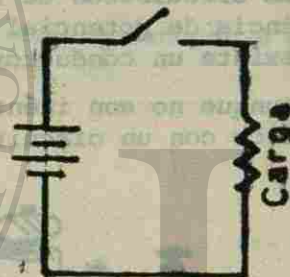


Fig. 3.

La segunda forma consiste en una fuente con dos o más cargas conectadas una en seguida de otra, figura 4, que se conoce como circuito serie. En la figura 5 tenemos el circuito en forma esquemática.

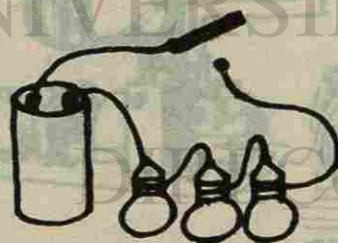


Fig. 4.

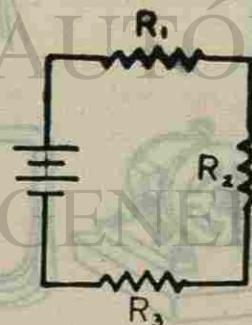


Fig. 5.

La tercera forma de circuito consta de dos o más cargas conectadas directamente a una fuente o de un punto (figura 6), que se le denomina circuito paralelo. En la figura 7 tenemos el circuito en forma esquemática.

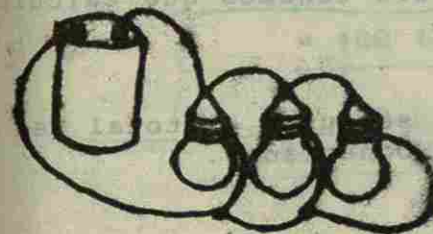


Fig. 6.

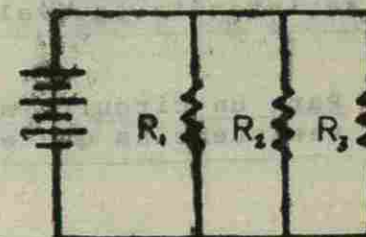


Fig. 7.

La cuarta forma consta de dos o más grupos de resistores conectados en serie como en la figura 8, o dos o más ramas en serie conectados en paralelo entre sí, como sucede en la figura 9. A este tipo de conexiones se les llama circuito mixto. Y éstas son apenas dos de las muchas combinaciones complejas que se pueden construir en los circuitos mixtos.

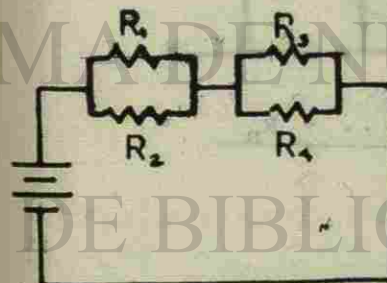


Fig. 8.

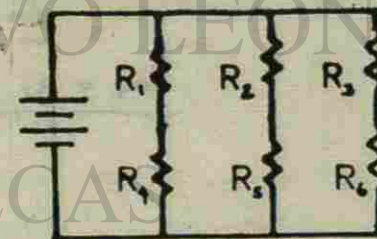


Fig. 9.

5-2 SIMPLIFICACIÓN DE UN CIRCUITO.

Si tenemos un circuito con dos o más cargas y que estén en cualquiera de las formas: serie, paralelo o mixto, los podemos simplificar. Es decir, los podemos reducir a un circuito simple como el mostrado en la figura 10. Pero tenemos que calcular una resistencia equivalente.

1ª Para un circuito serie se suman el total de resistencias que estén conectadas.

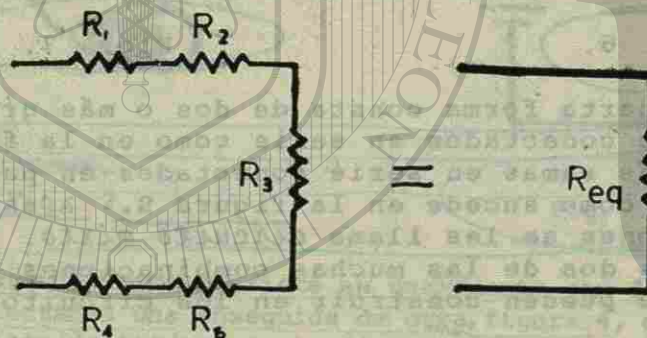


Fig. 10.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Ejemplo 1. Si en la figura 9 tenemos: $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 50\Omega$, $R_3 = 40\Omega$, $R_4 = 30\Omega$ y $R_5 = 40\Omega$, calcular la R_{eq} .

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$= 10\Omega + 50\Omega + 40\Omega + 30\Omega + 40\Omega$$

$$= 170\Omega$$

2ª Para un circuito paralelo. El inverso de la resistencia equivalente es igual a la suma de los inversos de todas las resistencias colocadas en paralelo.

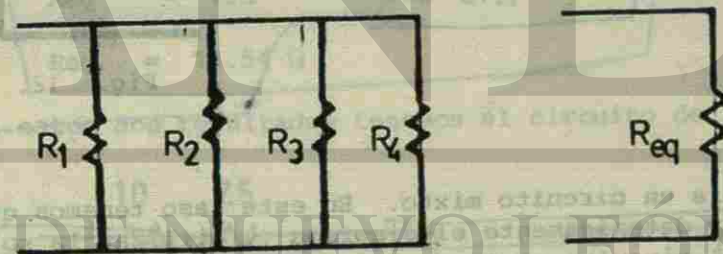


Fig. 11.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Ejemplo 2. Si en el diagrama de la figura 10 tenemos: $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$, $R_3 = 25\Omega$ y $R_4 = 50\Omega$, calcular la R_{eq} .

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$\frac{1}{R_{eq}}$	$= \frac{1}{10\Omega}$	$+ \frac{1}{20\Omega}$	$+ \frac{1}{25\Omega}$	$+ \frac{1}{50\Omega}$
$\frac{1}{R_{eq}}$	$= \frac{0.1}{\Omega}$	$+ \frac{0.05}{\Omega}$	$+ \frac{0.04}{\Omega}$	$+ \frac{0.02}{\Omega}$
$\frac{1}{R_{eq}}$	$= \frac{0.21}{\Omega}$			
R_{eq}	$= \frac{\Omega}{0.21}$			
	$= 4.76$			

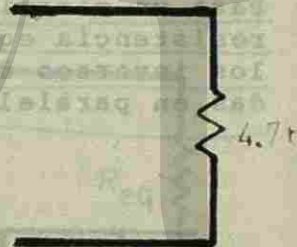


Fig. 12.

3ª Para un circuito mixto. En este caso tenemos que analizar detenidamente el diagrama y utilizar la solución del circuito serie y el circuito paralelo, hasta reducir al circuito simple. Como estos circuitos son muy variados, también las soluciones son muy variadas.

Ejemplo 3. Si las resistencias del circuito de la figura 12 son: $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$, $R_3 = 30\Omega$, $R_4 = 20\Omega$, $R_5 = 15\Omega$, $R_6 = 50\Omega$. Calcular la resistencia equivalente.

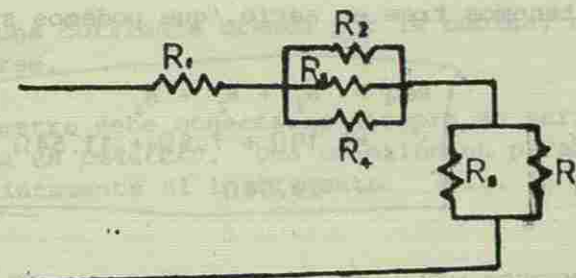


Fig. 13.

Solución:

Primero vamos a reducir los circuitos formados por R_2 , R_3 y R_4 , y por R_5 y R_6 , que son dos conexiones en paralelo.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{30\Omega} + \frac{1}{20\Omega}$$

$$R_{eq} = 7.5 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{15\Omega} + \frac{1}{50\Omega}$$

$$R_{eq} = 11.54 \Omega$$

Con estos dos resultados tenemos el circuito de la fig. 13.

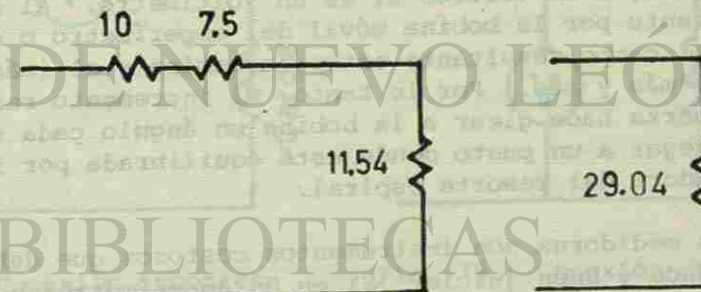


Fig. 14.

Ahora tenemos tres en serie, que podemos sumar fácilmente.

$$\begin{aligned} R_{eq} &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 10\Omega + 7.5\Omega + 11.54\Omega \\ &= 29.04\Omega \end{aligned}$$

5-3 AMPERÍMETROS Y VOLTÍMETROS.

Los instrumentos diseñados para medir una corriente eléctrica se llaman amperímetros y los proyectados para medir la diferencia de potencial se denominan voltímetros.

Una bobina de alambre fino de cobre está montado entre los dos polos de un imán permanente y su rotación, como se muestra en la figura 15, está restringida por un resorte espiral. Cuanto más gire la bobina desde su posición de equilibrio o posición cero, es mayor la fuerza restauradora. A esta bobina está sujeta una larga aguja al final de la cual hay una escala fija que da lecturas en amperios si es un

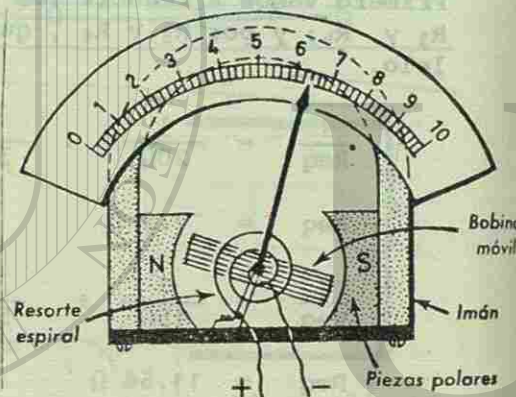


Fig. 15.

amperímetro, o en voltios si es un voltímetro. Al aumentar la corriente por la bobina móvil del amperímetro o del voltímetro, el campo resultante entre la bobina y el imán se distorsiona más y más. Por lo tanto, el incremento resultante de la fuerza hace girar a la bobina un ángulo cada vez mayor, hasta llegar a un punto donde esté equilibrada por la fuerza restauradora del resorte espiral.

Los medidores son instrumentos costosos que deben usarse con cuidado y buen juicio. Si en un amperímetro se permitiera

que pasara una corriente grande por la bobina, no tardaría mucho en quemarse.

Un amperímetro debe conectarse siempre en serie con un circuito, *nunca en paralelo*. Una conexión en paralelo puede destruir inmediatamente al instrumento. (Fig. 16 y Fig. 17).

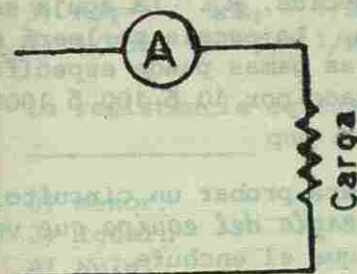


Fig. 16. Conexión correcta.

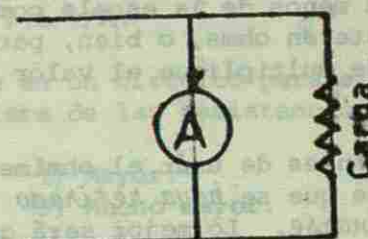


Fig. 17. Conexión incorrecta.

Un voltímetro se conecta siempre en paralelo con el circuito, *nunca en serie*. Para medir el voltaje, el circuito debe romperse. Ver figuras 18 y 19. Al medir un voltaje desconocido, comience siempre con la escala más elevada.

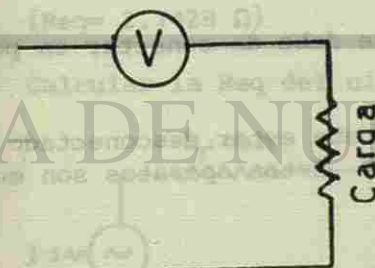


Fig. 18. Conexión incorrecta.

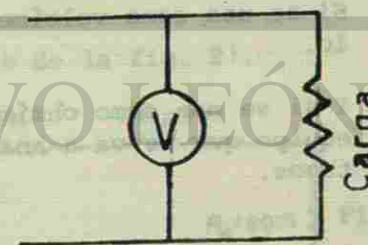


Fig. 19. Conexión correcta.

A un aparato utilizado para medir el valor de una resistencia desconocida se le llama *ohmímetro*.

Para usar el medidor, se ponen en corto circuito las terminales de prueba. Esto equivale a una resistencia cero y la aguja del medidor se desvía de la izquierda a la derecha. Se ajusta la aguja a cero. A continuación, se coloca entre las terminales una resistencia desconocida, R_x . La aguja se desviará menos de la escala completa. La escala se leerá directamente en ohms, o bien, para otras gamas puede especificarse que se multiplique el valor indicado por 10 ó 100 ó 1000, etc.

Antes de usar el ohmímetro para probar un circuito, asegúrese que se haya retirado la energía del equipo que vaya a examinarse. Lo mejor será que saque el enchufe.

Los instrumentos modernos usados por los técnicos, incluyen, por lo regular, un voltímetro, un amperímetro y un ohmímetro en una sola caja. Estos contienen un sistema interruptor apropiado para cambiar la gama y la función del medidor, a estos aparatos se les llama *multímetros*.

Al usar un multímetro hay que recordar:

- 1.- Si se usa como amperímetro, se debe conectar en serie al circuito.
- 2.- Si se usa como voltímetro se debe de conectar en paralelo.
- 3.- Y si se usa como ohmímetro debe estar desconectado el equipo que se va a analizar. Estos aparatos son muy costosos.

AUTOEVALUACIÓN.

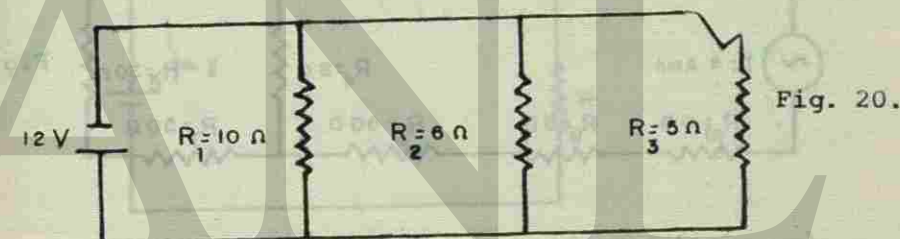
- 1.- Es la fórmula que se utiliza para calcular la resistencia equivalente en un circuito paralelo:

- 0) $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$
- 1) $1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$
- 2) $1/R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
- 3) $R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$
- 4) $1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$

- 2.- La resistencia equivalente en un circuito paralelo es _____ que cualquiera de las resistencias.

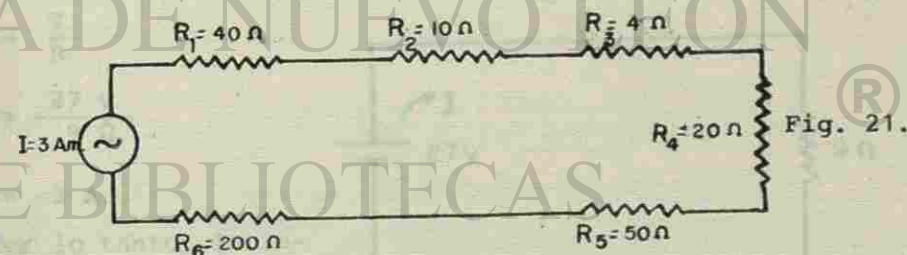
- 0) Menor.
- 1) Mayor.
- 2) Igual.
- 3) Mucho mayor.
- 4) Nula.

- 3.- Calcular la R_{eq} del circuito de la fig. 20.



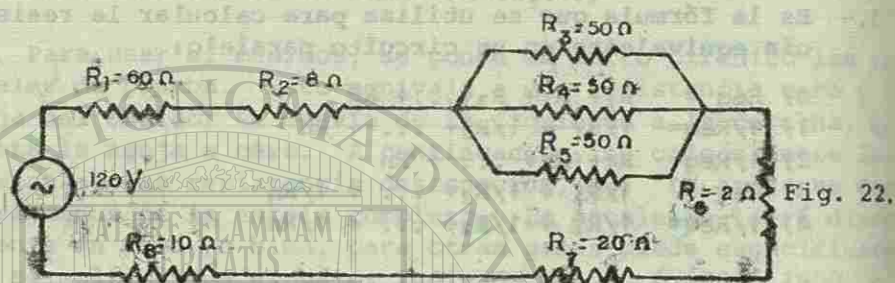
$$\{R_{eq} = 2.1428 \Omega\}$$

- 4.- Calcular la R_{eq} del circuito de la fig. 21.



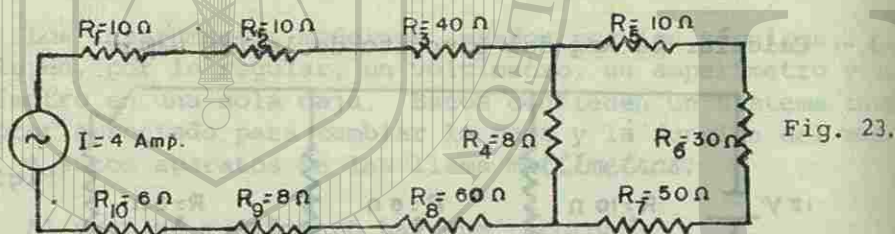
$$\{R_{eq} = 324 \Omega\}$$

5.- Calcular el Req del circuito de la fig. 22.



$$\{Req = 116.66 \Omega\}$$

6.- Del circuito de la fig. 23, calcular la Req.



$$\{Req = 141.347 \Omega\}$$

CAPÍTULO VI.

ELECTRICIDAD EN MOVIMIENTO.

6-1 LEY DE OHM.

La intensidad de corriente en un circuito eléctrico es directamente proporcional a la diferencia de potencial (voltaje) e inversamente proporcional a la resistencia.

Esto, representado algebraicamente:

$$\text{Intensidad (I)} = \frac{(V)}{(R)} \quad \frac{\text{Voltaje (volts)}}{\text{Resistencia en ohmios } (\Omega)} \quad (1)$$



Fig. 1.

Ejemplo 1. Se conectan varias baterías en serie y se obtiene un voltaje de 27 V y se conecta una resistencia de 9. Calcular la intensidad de la corriente en el circuito.

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{27 \text{ V}}{9 \Omega} \\ &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la intensidad de la corriente será de 3 amperios.



Fig. 2.

6-2 CIRCUITO SERIE.

Un *circuito serie* es un circuito en el que las resistencias están unidas directamente unas con otras a través de sus positivos y sus negativos.

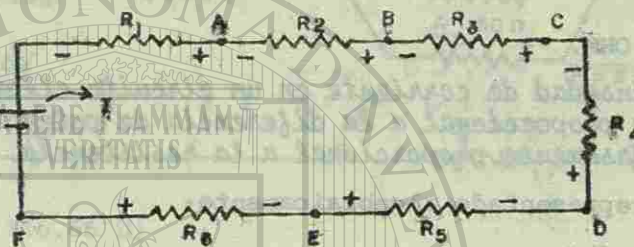


Fig. 3.

En el circuito mostrado en la figura 4, está circulando una corriente I . Para calcular esta corriente, tenemos que transformar el circuito (simplificar) a un circuito similar al mostrado en la figura 4. Como las resistencias están en serie, es necesario obtener una resistencia equivalente.

Esta resistencia equivalente se puede calcular sumando todas las resistencias que están en serie.

Es decir:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2)$$

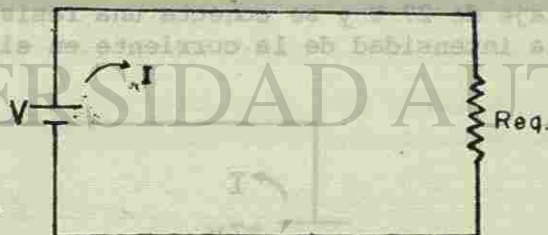


Fig. 4.

Siendo R_n , el valor de la última resistencia conectada.

ELECTRICIDAD EN MOVIMIENTO.

El primer sistema comercial de energía eléctrica, desarrollada por Thomas Alva Edison, era estrictamente un sistema de corriente continua. La mayoría de los científicos estaban convencidos que la corriente alterna no era segura ni práctica para uso comercial y que no tenía ninguna ventaja compensadora. Ahora, sin embargo, los sistemas de energía eléctrica están basados casi exclusivamente en corriente alterna.

OBJETIVOS.

- 1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes incluidos en este capítulo.
- 2.- Aplicar la ley de Ohm, resolviendo problemas a partir de los datos apropiados en el circuito serie, circuito paralelo y circuito mixto.
- 3.- Resolver problemas aplicando la ley de los voltajes de Kirchhoff.
- 4.- Resolver problemas aplicando la ley de las corrientes de Kirchhoff.
- 5.- Calcular la potencia eléctrica, a partir de los datos apropiados.
- 6.- Calcular el costo de la energía que se consume diariamente en el hogar, tomando como base las lecturas del medidor.

6-2 CIRCUITO SERIE.

Un *circuito serie* es un circuito en el que las resistencias están unidas directamente unas con otras a través de sus positivos y sus negativos.

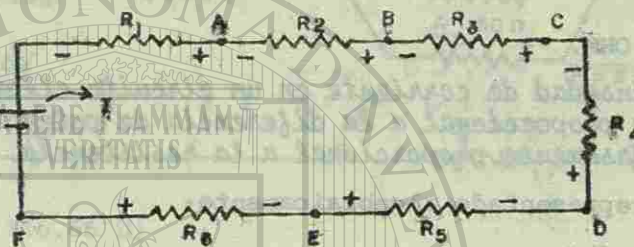


Fig. 3.

En el circuito mostrado en la figura 4, está circulando una corriente I . Para calcular esta corriente, tenemos que transformar el circuito (simplificar) a un circuito similar al mostrado en la figura 4. Como las resistencias están en serie, es necesario obtener una resistencia equivalente.

Esta resistencia equivalente se puede calcular sumando todas las resistencias que están en serie.

Es decir:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2)$$

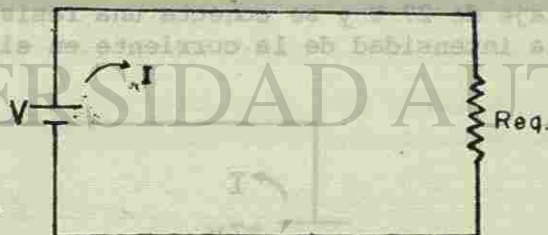


Fig. 4.

Siendo R_n , el valor de la última resistencia conectada.

ELECTRICIDAD EN MOVIMIENTO.

El primer sistema comercial de energía eléctrica, desarrollada por Thomas Alva Edison, era estrictamente un sistema de corriente continua. La mayoría de los científicos estaban convencidos que la corriente alterna no era segura ni práctica para uso comercial y que no tenía ninguna ventaja compensadora. Ahora, sin embargo, los sistemas de energía eléctrica están basados casi exclusivamente en corriente alterna.

OBJETIVOS.

- 1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes incluidos en este capítulo.
- 2.- Aplicar la ley de Ohm, resolviendo problemas a partir de los datos apropiados en el circuito serie, circuito paralelo y circuito mixto.
- 3.- Resolver problemas aplicando la ley de los voltajes de Kirchhoff.
- 4.- Resolver problemas aplicando la ley de las corrientes de Kirchhoff.
- 5.- Calcular la potencia eléctrica, a partir de los datos apropiados.
- 6.- Calcular el costo de la energía que se consume diariamente en el hogar, tomando como base las lecturas del medidor.

- 7.- Explicar en qué consiste un "corto-circuito" y sus efectos, tanto en un circuito serie como en un circuito paralelo.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Lectura general del capítulo VI de tu libro de texto.
- 2.- Realiza un resumen de todas las definiciones de este capítulo y analízalas antes de seguir con los demás objetivos.
- 3.- Analiza minuciosamente los problemas resueltos en tu libro de texto.
- 4.- Resuelve los problemas de la autoevaluación.
- 5.- Consulta tus dudas con tu maestro o con tus compañeros más avanzados.

PRE-REQUISITO.

Entregar completamente resueltos, los problemas de la autoevaluación, en hojas tamaño carta.

Ejemplo 2. Se conectan en serie 4 focos de 5Ω cada uno. Si el voltaje de la fuente es de 125 V. ¿Cuál es la corriente del circuito?

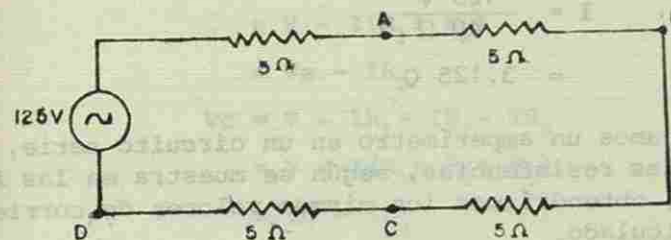


Fig. 5.

Necesitamos la resistencia equivalente.

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 5 \Omega + 5 \Omega + 5 \Omega + 5 \Omega \\ &= 20 \Omega \end{aligned}$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{125 \text{ V}}{20 \Omega} \\ &= 6.25 \text{ A.} \end{aligned}$$

Ejemplo 3. Si se conecta al circuito anterior una plancha que tiene una resistencia de 20Ω . ¿Cuál será la nueva corriente del circuito?

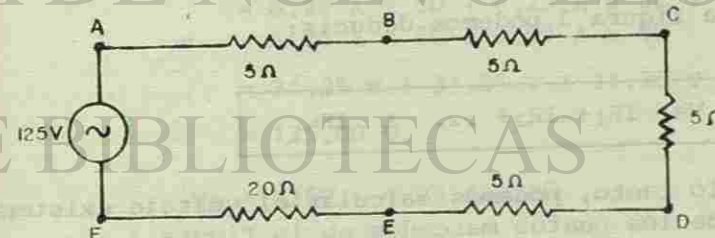


Fig. 6.

$$R_{eq} = 5\Omega + 5\Omega + 5\Omega + 5\Omega + 20\Omega$$

$$= 40\Omega$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

$$I = \frac{125\text{ V}}{40\Omega}$$

$$= 3.125\text{ A}$$

Si colocamos un amperímetro en un circuito serie, entre cada una de las resistencias, según se muestra en las figuras 7a y 7b, obtendríamos los mismos valores de corriente que hemos calculado.

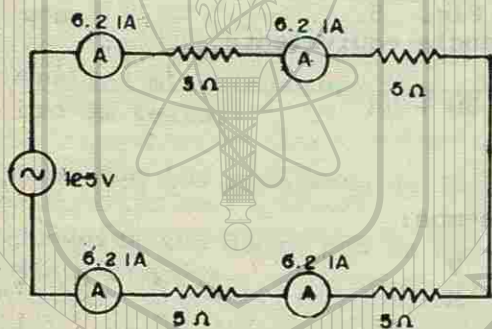


Fig. 7a.

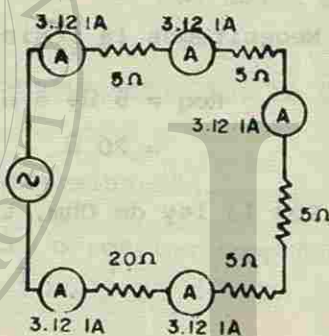


Fig. 7b.

6-3 LEY DE LOS VOLTAJES DE KIRCHHOFF.

La ley de los voltajes de Kirchhoff establece que la suma de las caídas de voltaje en cada una de las resistencias conectadas en serie, es igual al voltaje total.

De la figura 3 podemos deducir:

$$V = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n$$

Por lo tanto, podemos calcular el voltaje existente en cada uno de los puntos marcados en la figura 3.

$$V_a = V - IR_1 \quad (IR_1 = \text{caída de voltaje en la resistencia 1})$$

$$V_b = V - IR_1 - IR_2$$

$$= V - I(R_1 + R_2)$$

$$= V_a - IR_2$$

$$V_c = V - IR_1 - IR_2 - IR_3$$

$$= V - I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$= V_b - IR_3$$

$$V_d = V - IR_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4$$

$$= V - I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

$$= V_c - IR_4$$

$$V_e = V - IR_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4 - IR_5$$

$$= V - I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)$$

$$= V_d - IR_5$$

$$V_f = V - IR_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4 - IR_5 - IR_6$$

$$= V - I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6)$$

$$= V_e - IR_6$$

Ejemplo 4. Del ejemplo 2, demostrar la primera ley de Kirchhoff y calcular los voltajes en los puntos A, B, C y D.

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4$$

$$= 6.25\text{ A} \times 5\Omega + 6.25\text{ A} \times 5\Omega +$$

$$6.25\text{ A} \times 5\Omega + 6.25\text{ A} \times 5\Omega$$

$$= 31.25\text{ V} + 31.25\text{ V} + 31.25\text{ V} + 31.25\text{ V}$$

$$= 125.00\text{ V.}$$

$$V_a = 125\text{ V} - 6.25\text{ A} \times 5\Omega$$

$$= 93.75\text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 V_D &= 93.75 \text{ V} - 6.25 \times 5 \\
 &= 62.5 \text{ V} \\
 V_C &= 62.5 \text{ V} - 6.25 \text{ A} \times 5\Omega \\
 &= 31.25 \text{ V} \\
 V_D &= 31.25 \text{ V} - 6.25 \text{ A} \times 5\Omega \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

PROBLEMA. Demuestre que en el ejemplo 3, los siguientes voltajes son correctos:

$$\begin{aligned}
 V_a &= 125 \text{ V} & V_b &= 109.375 \text{ V} & V_c &= 93.75 \text{ V} \\
 V_d &= 78.125 \text{ V} & V_e &= 62.5 \text{ V} & V_f &= 0 \text{ V}
 \end{aligned}$$

6-4 CIRCUITO PARALELO.

Un *circuito paralelo* es un circuito en el que las resistencias que lo componen están unidas a través de nodos, formando ramas entre sí.

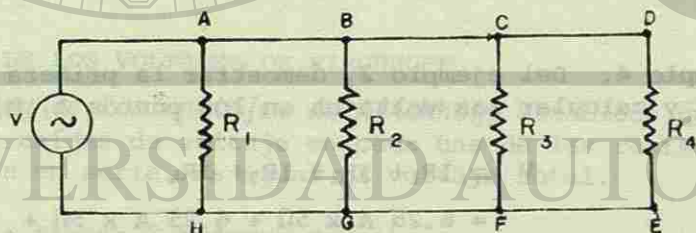


Fig. 8.

También en este caso, tenemos que simplificar el circuito, hasta que nos quede similar al mostrado en la figura 9.

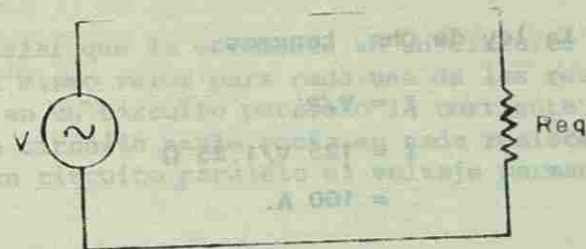


Fig. 9.

Para el circuito paralelo, la resistencia equivalente de todos los elementos conectados en paralelo, es igual a la inversa de la suma de las inversas de cada una de las resistencias.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Ejemplo 5. Se conectan en paralelo 4 focos de 5Ω una toma de 125 V. Calcular la resistencia equivalente y la corriente máxima del circuito.

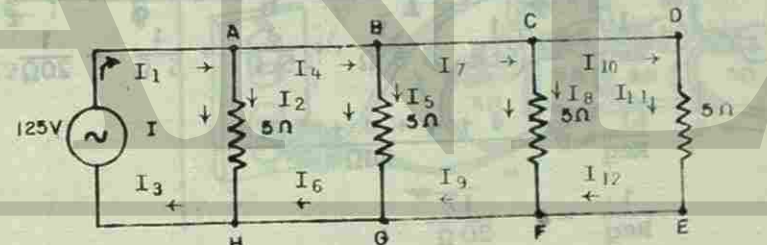


Fig. 10.

Por la ecuación 4, tenemos:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{5\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1+1+1+1}{5\Omega} \quad (5\Omega \text{ es el común denominador})$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{R_{eq}} &= \frac{4}{5\Omega} \\
 R_{eq} &= 5\Omega / 4 \\
 R_{eq} &= 1.25\Omega
 \end{aligned}$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

$$I = V/R$$

$$I = 125 \text{ V} / 1.25 \Omega$$

$$= 100 \text{ A.}$$

Ejemplo 6. Si se conecta al circuito anterior una placa de 20Ω , también en paralelo, calcular la corriente máxima.

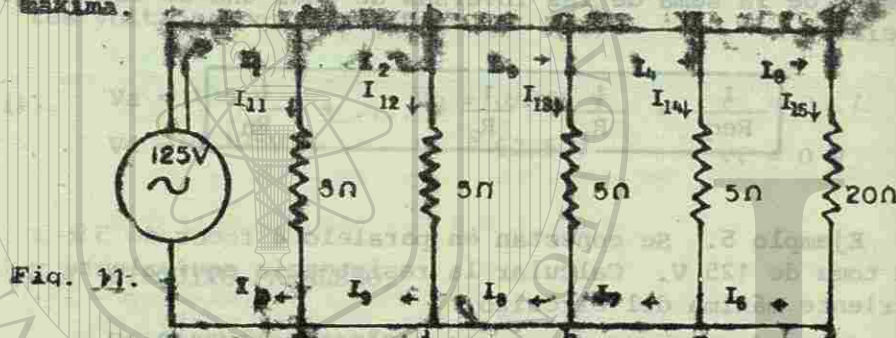


Fig. 11.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{5 \Omega} + \frac{1}{5 \Omega} + \frac{1}{5 \Omega} + \frac{1}{5 \Omega} + \frac{1}{20 \Omega}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{4 + 4 + 4 + 4 + 1}{20 \Omega}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{17}{20 \Omega}$$

$$R_{eq} = 20 \Omega / 17$$

$$R_{eq} = 1.177 \Omega$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

$$I = V/R$$

$$= 125 \text{ V} / 1.177 \Omega$$

$$= 106.25 \text{ A}$$

Cabe señalar que la corriente en un circuito serie, siempre tendrá el mismo valor para cada una de las resistencias; mientras que en un circuito paralelo la corriente varía. El voltaje en un circuito serie varía en cada resistencia, mientras que en un circuito paralelo el voltaje permanece constante.

$$V_T = V_{ah} = V_{bg} = V_{cf} = V_{de}$$

6-5 LEY DE LAS CORRIENTES DE KIRCHHOFF.

La ley de las corrientes de Kirchhoff establece que la suma de todas las corrientes que fluyen hacia cualquier punto de unión es igual a la suma de todas las corrientes que fluyen hacia afuera del mismo.

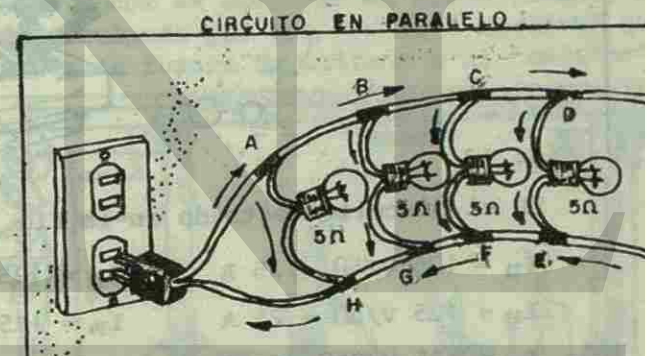


Fig. 12.

En el circuito anterior, (figura 10), por la ley de las corrientes de Kirchhoff, tenemos:

Nodo a $I_1 = I_2 + I_4$

Nodo b $I_4 = I_5 + I_7$

Nodo c $I_7 = I_8 + I_{10}$

Nodo d $I_{10} = I_{11}$

Nodo e $I_{11} = I_{12}$

Nodo f $I_9 = I_{12} + I_8$

Nodo g $I_6 = I_9 + I_5$

Nodo h $I_3 = I_6 + I_{12}$

191

$$I_1 = V_{ah}/R_1 = V_T/R_1$$

$$I_8 = V_{cf}/R_3 = V_T/R_3$$

$$I_S = V_{bg}/R_2 = V_T/R_2$$

$$I_{11} = V_{de}/R_4 = V_T/R_4$$

Ejemplo 7. De la figura 13, calcular la corriente que circula por cada uno de los alambres.

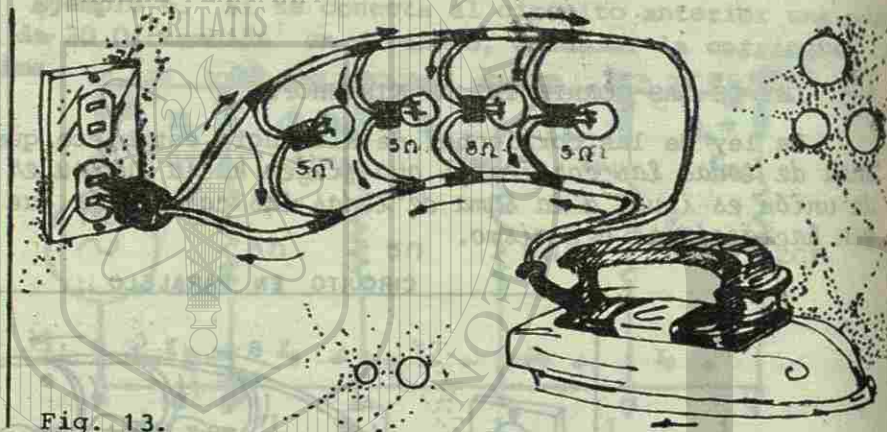


Fig. 13.

En el circuito mostrado en la fig. 11, tenemos:

$$I_{11} = 125 \text{ V} / 5\Omega = 25 \text{ A}$$

$$I_2 = 125 \text{ V} / 5\Omega = 25 \text{ A}$$

$$I_{13} = 125 \text{ V} / 5\Omega = 25 \text{ A}$$

$$I_{14} = 125 \text{ V} / 5\Omega = 25 \text{ A}$$

$$I_{15} = 125 \text{ V} / 20\Omega = 6.25 \text{ A}$$

Nodo e $I_5 = I_{15} = 6.25 \text{ A}$

Nodo f $I_6 = I_{15} = 6.25 \text{ A}$

Nodo d $I_4 = I_5 + I_{14} = 6.25 \text{ A} + 25 \text{ A} = 31.25 \text{ A}$

Nodo g $I_7 = I_6 + I_{14} = 6.25 \text{ A} + 25 \text{ A} = 31.25 \text{ A}$

Nodo c $I_3 = I_4 + I_{13} = 31.25 \text{ A} + 25 \text{ A} = 56.25 \text{ A}$

Nodo h $I_8 = I_7 + I_{13} = 31.25 \text{ A} + 25 \text{ A} = 56.25 \text{ A}$

Nodo b $I_2 = I_3 + I_{12} = 56.25 \text{ A} + 25 \text{ A} = 81.25 \text{ A}$

Node i $I_9 = I_8 + I_{12} = 56.25 \text{ A} + 25 \text{ A} = 81.25 \text{ A}$

Nodo a $I_1 = I_2 + I_{11} = 81.25 \text{ A} + 25 \text{ A} = 106.25 \text{ A}$

Nodo j $I_{10} = I_9 + I_{11} = 81.25 \text{ A} + 25 \text{ A} = 106.25 \text{ A}$

Si comparamos la I_1 e I_{10} de este ejemplo con la I calculada en el ejemplo 6, son exactamente iguales, ya que es la parte más cercana a la fuente de voltaje y es donde existe la máxima intensidad de la corriente.

OBSERVACIÓN:

El problema del ejemplo 5 nos dió una corriente de 100 A y en ejemplo 6, al mismo circuito se le agregó una resistencia de $20\ \Omega$ y la corriente aumentó a 106.25 A. Este es el caso más frecuente en tu hogar (se funden los fusibles o la cubierta del conductor se empieza a quebrar), cuando se empiezan a encender aparatos y focos al mismo tiempo. Mientras más aparatos y focos se conectan al mismo tiempo, más corriente estará circulando por los cables o alambres que estén más cercanos a la fuente de voltaje o al "medidor".

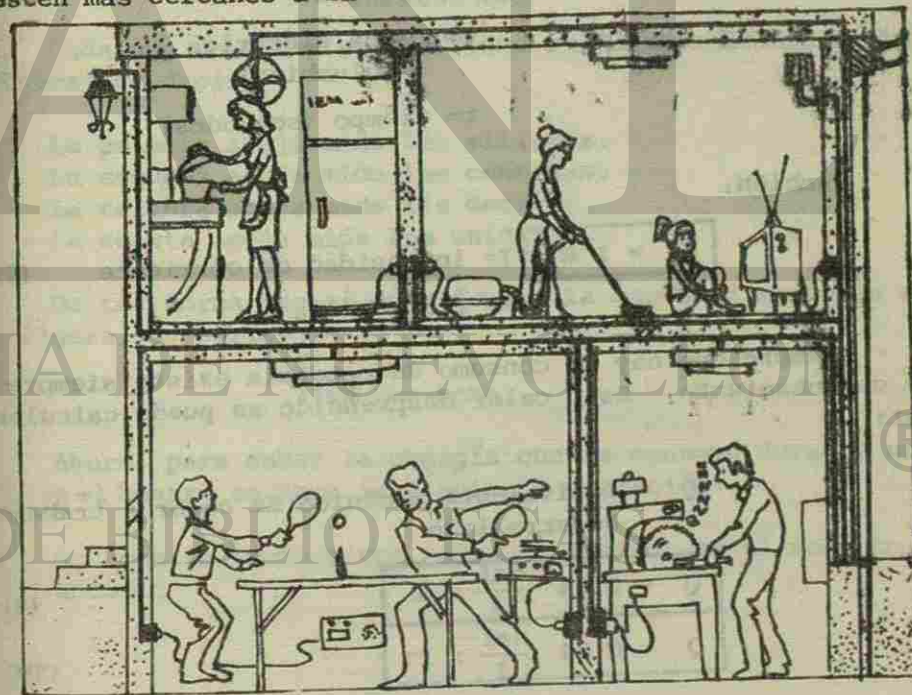


Fig. 14.

6-6 POTENCIA ELÉCTRICA.

La potencia eléctrica es la rapidez con que se efectúa trabajo, o bien, es la energía que consume una máquina o cualquier aparato eléctrico en cada segundo. La potencia eléctrica se expresa en watts (vatios).

La ley de Watt establece que la potencia en un circuito eléctrico es igual al producto de la intensidad de la corriente por la diferencia de potencial.

$$\begin{aligned} \text{Potencia (P)} &= \text{voltaje (V)} \times \text{intensidad de corriente (I)} \\ &= V \text{ (voltios)} \times I \text{ (amperios)} \end{aligned}$$

$$P = V I \quad (6)$$

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

V= diferencia de potencial en voltios
Q= carga eléctrica (coulumbios)
t= tiempo (segundos)

(7)

También:

$$P = I^2 R \quad I = \text{intensidad de corriente} \quad (8)$$

R= resistencia

Siempre que hay un consumo de potencia existe siempre un calentamiento. Este calor desprendido se puede calcular por:

$$Q = \text{equivalente mecánico de calor} \times \text{trabajo desarrollado}$$

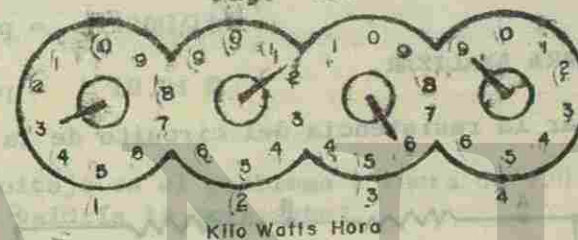
$$Q = 0.24 \frac{\text{cal}}{\text{J}} \times T \quad (9)$$

$$Q = 0.24 \frac{\text{cal}}{\text{J}} \times Pt \quad (10)$$

La energía consumida en el hogar se puede calcular fácilmente, ya que la C.F.E. vende al público la energía eléctrica consumida en forma de trabajo por cada hora. El trabajo total, la compañía lo determina por medio de un "medidor" que marca el número de Kws-hora consumidos durante un tiempo determinado. Es fácil de leer en la carátula de ese "medidor".

En la carátula del "medidor" existen 4 agujas que giran de acuerdo con la figura siguiente:

Fig. 15.



Cada una de estas agujas tiene su función dentro de la lectura, es decir:

- La primera aguja mide los millares.
- La segunda aguja mide las centenas.
- La tercera aguja mide las decenas.
- La cuarta aguja mide las unidades.

De tal forma que si quisiéramos la cantidad mostrada en la figura 15, sería:

3159 Kws-hora.

Ahora, para saber la energía que se consume durante un mes en el hogar, se hace la siguiente operación:

1º Se toma la lectura que marca el medidor en el momento actual.

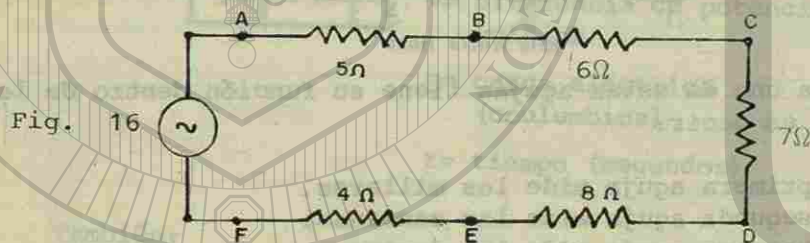
el recibo que manda bimestralmente la C.F.E. viene la lectura anterior, o sea la lectura que tenía el medidor cuando se hizo el pago correspondiente.

- 3.- La energía total consumida será la diferencia de la lectura actual y la lectura anterior.

Si queremos obtener el precio de ese consumo, sólo multiplicamos esta diferencia por la tarifa por Kw-h.

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

- 1.- Calcular la resistencia del circuito de la figura 16.



Dado que el circuito es serie:

$$R_{eq} = 5\Omega + 6\Omega + 7\Omega + 8\Omega + 4\Omega \\ = 30\Omega$$

- 2.- Calcular la resistencia del circuito mostrado en la figura 17.

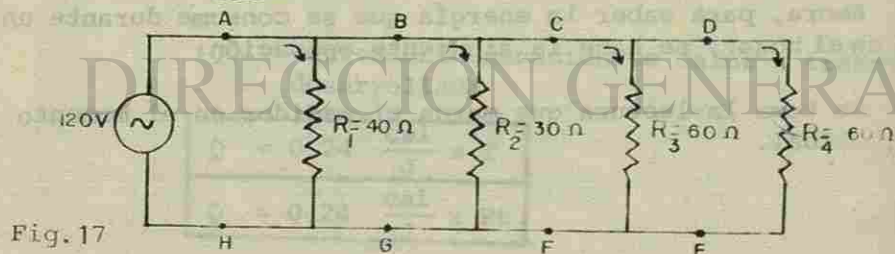


Fig. 17

Este es un circuito paralelo.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{40\Omega} + \frac{1}{30\Omega} + \frac{1}{60\Omega} + \frac{1}{60\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{3 + 4 + 2 + 2}{120\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{11}{120\Omega}$$

$$R_{eq} = 120\Omega/11$$

$$R_{eq} = 10.91\Omega$$

- 3.- Si el voltaje en el problema 1 fuera de 120 voltios. ¿Cuánto valdría la corriente?

$$I = V/R$$

$$I = \frac{120 \text{ voltios}}{30\Omega}$$

$$I = 4 \text{ amperios ó } 4 \text{ A.}$$

- 4.- Si en el problema 2, el voltaje fuera de 120 voltios. ¿Cuál sería la corriente total?

$$I = V/R$$

$$I = \frac{120 \text{ voltios}}{10.91\Omega}$$

$$I = 11 \text{ A}$$

Esta sería la corriente que pasaría por los puntos y H de la figura 17.

- 5.- ¿Cuál será el voltaje de los puntos A, B, C, D, E, F del problema 1?
El voltaje del punto A sería de 120 V con respecto al lado contrario de la fuente, ya que es el mismo que el de la salida de la fuente.

$$V_b = 120V - 5\Omega \times 4A = 120V - 20V = 100V$$

$$V_c = 100V - 6\Omega \times 4A = 100V - 24V = 76V$$

$$V_d = 76V - 7\Omega \times 4A = 76V - 28V = 48V$$

$$V_e = 48V - 8\Omega \times 4A = 48V - 32V = 16V$$

$$V_f = 16V - 4\Omega \times 4A = 16V - 16V = 0$$

Diferencia total de voltaje:

$$120V - 4A \times 30\Omega = 120V - 120V = 0 \text{ en el punto f.}$$

- 6.- Calcular la resistencia equivalente del circuito de la figura 18 a.

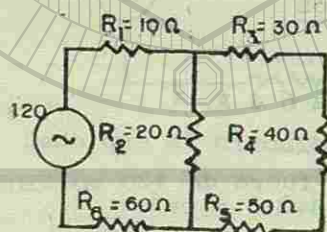


Fig. 18 a.

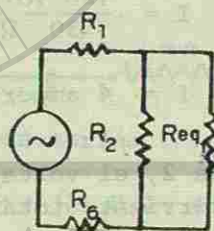


Fig. 18 b.

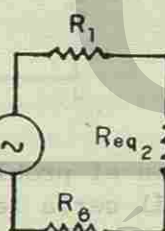


Fig. 18 c.

Este circuito es mixto, ya que tiene resistencias en paralelo y en serie.

Primero obtenemos la resistencia equivalente de R_3 , R_4 y R_5 . Si separamos esta sección del circuito, nos damos cuenta que estas resistencias están en serie. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} Req_1 &= 30\Omega + 40\Omega + 50\Omega \\ &= 120\Omega \end{aligned}$$

Con esta resistencia se reduce nuestro circuito al mostrado en la figura 18b. Una vez calculada la Req_1 , procedemos a calcular la resistencia equivalente de las resistencias R_2 y Req_1 (hay que observar que estas resistencias están en paralelo). Por lo tanto:

$$\frac{1}{Req_2} = \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{120\Omega}$$

$$\frac{1}{Req_2} = \frac{6 + 1}{120\Omega} = \frac{7}{120\Omega}$$

$$Req_2 = 120\Omega / 7 = 17.14\Omega$$

Al obtener la Req_2 reducimos el circuito inicial al mostrado en la figura 18c, notando claramente que el circuito final es un simple circuito serie. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} Req_{Tot} &= 10\Omega + 17.14\Omega + 60\Omega \\ &= 87.14\Omega \end{aligned}$$

- 7.- Calcular la corriente total del circuito del problema 6.
Por la ley de Ohm:

$$I = V/R$$

Pero para calcular la I total del circuito tenemos que tomar la R total.

$$\begin{aligned} I &= 120V / 87.14\Omega \\ &= 1.377A \end{aligned}$$

- 8.- Calcular la corriente que pasa a través de la R_2 del problema 6.

Solución:

Al calcular la R_{eq} nos dimos cuenta que es un circuito paralelo; por lo tanto, sabemos que la corriente que pasa a través de la R_1 , se tendrá que dividir para pasar por R_2 y R_{eq} . Si aplicamos la ley de Ohm para encontrar el voltaje que tienen las resistencias conectadas en paralelo obtenemos.

$$\begin{aligned} V &= I R_{eq} \\ &= 1.377A \times 17.14 \Omega \\ &= 23.6V \end{aligned}$$

O sea, que la R_2 está conectada a un voltaje de 23.6V y aplicando otra vez la ley de Ohm para encontrar la corriente que pasa por esta resistencia obtenemos:

$$\begin{aligned} I &= V/R_2 \\ &= 23.6V/20 \Omega \\ &= 1.18A. \end{aligned}$$

- 9.- Calcular la resistencia total del circuito de la figura 19.

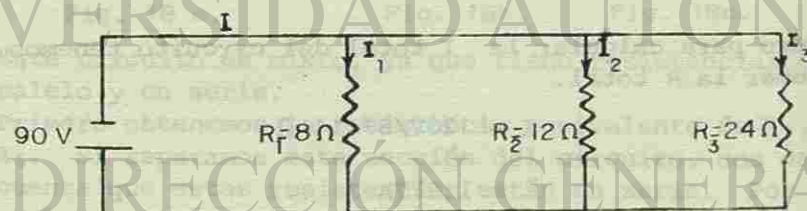


Fig. 19.

Solución:

La resistencia equivalente se puede calcular con la ecuación 4 y obtenemos:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{8\Omega} + \frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{24\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{3 + 2 + 1}{24\Omega}$$

$$R_{eq} = 24\Omega/6$$

$$R_{eq} = 4\Omega$$

- 10.- Comprobar la segunda ley de Kirchhoff en el problema 9.

Solución:

Aplicando la ley de Ohm para calcular la corriente total del circuito:

$$\begin{aligned} I &= V/R \\ &= 90V/4\Omega \\ &= 22.5 A \end{aligned}$$

Ahora tenemos que calcular las corrientes que pasan por cada resistencia, para esto, debemos de aplicar la ley de Ohm, a cada rama donde están éstas. Obteniendo:

$$\begin{aligned} I_1 &= V/R_1 \\ &= 90V/8\Omega \\ &= 11.25 A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= V/R_2 \\ &= 90V/12\Omega \\ &= 7.5 A \end{aligned}$$

$$I_3 = V/R_3$$

$$= 90V/24 \Omega$$

$$= 3.75 A.$$

Aplicando la ley de Kirchhoff tenemos:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 11.25A + 7.5A + 3.75A$$

$$= 22.5A$$

11.- Aplicando las leyes de Ohm y Kirchhoff, calcular las corrientes que circulan por los puntos A, B, C, D, E, F, G y H del problema 2.

Solución:

Por ser circuito paralelo, tenemos:

$$V_{AH} = V_{BG} = V_{CF} = V_{DE} = 120 V$$

Por lo tanto, por la ley de Ohm tenemos:

$$I_{R_1} = 120V/40 \Omega$$

$$= 3A$$

$$I_{R_2} = 120V/30 \Omega$$

$$= 4A$$

$$I_{R_3} = 120V/60 \Omega$$

$$= 2A$$

$$I_{R_4} = 120V/60 \Omega$$

$$= 2A$$

Por las reglas de Kirchhoff, obtenemos la corriente que circula por cada punto.

$$I_D = I_E = I_{R_4}$$

$$= 2 A$$

$$I_C = I_F = I_D + I_{R_3}$$

$$= 2A + 2A$$

$$= 4A$$

$$I_B = I_G = I_C + I_{R_2}$$

$$= 4A + 4A$$

$$= 8A$$

$$I_A = I_H = I_B + I_{R_1}$$

$$= 8A + 3A$$

$$= 11A$$

12.- Calcular la potencia eléctrica consumida en el circuito del problema 1.

$$P = I^2 R$$

$$= (4A)^2 \times 30 \Omega$$

$$= 16A^2 \times 30\Omega$$

$$= 480 \text{ vatios}$$

o también:

$$P = V^2/R$$

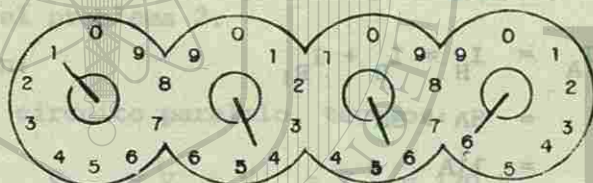
$$= (120 V)^2/30$$

$$= 480 \text{ vatios}$$

- 13.- Calcular la potencia eléctrica consumida en el circuito del problema 2.

$$\begin{aligned}
 P &= I^2 R \\
 &= (11A)^2 \times 10.91 \Omega \\
 &= 1320.11 \text{ vatios} \\
 &= 1.320 \text{ Kw.}
 \end{aligned}$$

- 14.- Si en un recibo de la C.F.E., la lectura anterior del "medidor" fue de 1243 Kw-h y la actual es la mostrada en la figura 20.



Kilo Watts/Hora

Fig. 20.

- a) Calcular la energía consumida y b) el costo total de dicha energía, si el precio por Kw-h es de \$0.80 neto.

Solución:

La lectura actual del medidor es la siguiente:

- Primera aguja, la de los millares = 1
- Segunda aguja, la de las centenas = 4
- Tercera aguja, la de las decenas = 5
- Cuarta aguja, la de las unidades = 6

Por lo tanto, la lectura actual será: 1456 Kws-h.

El consumo de la energía será directamente la diferencia de las dos lecturas, o sea:

$$\begin{aligned}
 \text{Consumo} &= \text{lectura actual} - \text{lectura anterior.} \\
 &= 1456 \text{ Kw-h} - 1243 \text{ Kw-h} \\
 &= 213 \text{ Kw-h}
 \end{aligned}$$

- B) El costo total de la energía consumida será:

$$\begin{aligned}
 \text{Costo} &= \text{consumo} \times \text{precio de un Kw-h} \\
 &= 213 \text{ Kw-h} \times 0.80 \text{ \$/Kw-h} \\
 &= \$ 170.40
 \end{aligned}$$

6-7 CORTO CIRCUITO.

Como ya se ha visto, por la ley de Ohm, a mayor resistencia, menor es la corriente que pasa por el circuito y por supuesto, a menor resistencia mayor es la corriente que circula. También, la corriente tiene la característica de buscar el lado que no tiene resistencia.

En muchas ocasiones se presenta que dos alambres que tienen distinto voltaje, se unen y forman lo que se llama *corto circuito*. Figuras 21 y 22.

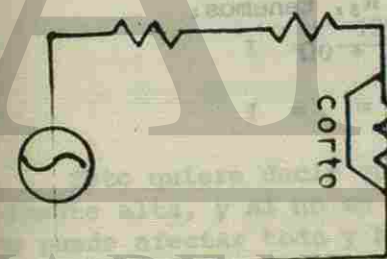


Fig. 21.

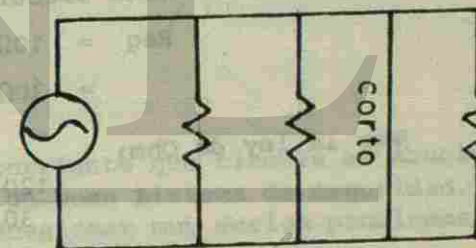


Fig. 22.

Cuando sucede esto tenemos una resistencia con el valor de 0 (cero), que va a intervenir en el cálculo de la Req. Esto afecta en la corriente que va a circular.

Si el corto circuito sucede en una resistencia de un circuito serie, provoca que la corriente aumente una cantidad

que quizás puedan absorber las otras resistencias.

Ejemplo 7. En la figura 15 tenemos: $R = 10\Omega$, $R = 20\Omega$ y $R = 15\Omega$, y el voltaje de la fuente es de 120 volts. Si sucede un corto circuito en la R_3 , ¿cuánto aumenta la corriente eléctrica?

Solución:

Calculemos la R_{eq} antes del circuito:

$$R_{eq} = 10\Omega + 20\Omega + 15\Omega \\ = 45\Omega$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

$$I = \frac{120 \text{ V}}{45 \Omega} \\ = 2.67 \text{ A}$$

Si sucede el corto circuito en R_3 , tenemos:

$$R_{eq} = 10\Omega + 20\Omega + 0\Omega \\ = 30\Omega$$

Por la ley de Ohm:

$$I = \frac{120 \text{ V}}{30 \Omega} \\ I = 4.0 \text{ A}$$

Por lo tanto, la corriente eléctrica que pasa por R y R es de 4 Amp., la cual es 1.33 Amp. mayor que antes del corto circuito.

Si el corto circuito sucede en un circuito paralelo, entonces éste se ve grandemente afectado porque la corriente eléctrica va a ser demasiado alta.

Ejemplo 8. Si en la figura 16 tenemos: $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = \Omega$, $R_3 = 15\Omega$ y el voltaje de la fuente es de 120 volts, calcular la corriente eléctrica cuando sucede un corto circuito en R_3 .

Solución:

Si no existiera el corto circuito, tendríamos:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{15\Omega} \\ R_{eq} = 4.62 \Omega \\ I = \frac{120 \text{ V}}{4.62} \Omega \\ = 25.97 \text{ A}$$

Al existir el corto circuito en R , tendríamos:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{0\Omega} \\ R_{eq} = 0 \\ I = \frac{120 \text{ V}}{0\Omega} \\ I = \infty$$

Esto quiere decir que la corriente que circula es absolutamente alta, y si no se tiene un buen sistema de seguridad, se puede afectar todo y hasta ocasionar muy serios problemas.

Como las instalaciones caseras son del tipo paralelo, cuando sucede un corto circuito están protegidos por el llamado fusible, que al sentir que está pasando una corriente mayor a la que ha sido diseñado, se rompe (quema) para evitar que siga alimentando al circuito y lo dañe.

AUTOEVALUACIÓN.

- 1.- Un circuito serie se puede distinguir fácilmente, debido a que en todo el circuito existe:
 - 1) El mismo voltaje.
 - 2) La misma corriente.
 - 3) La misma resistencia.
 - 4) La misma potencia.
 - 5) La misma fuerza.
 - 6) El mismo trabajo.
- 2.- En un circuito paralelo, la diferencia de potencial para todas las ramas del circuito es:
 - 1) Nula.
 - 2) Máxima.
 - 3) Mínima.
 - 4) Igual.
 - 5) Negativa.
- 3.- Calcular la corriente total del problema 3 de la autoevaluación del capítulo V.
{ $I = 5 \text{ A}$ }
- 4.- Calcular la diferencia de potencial en el problema 3 de la autoevaluación del capítulo V.
{ 12 volts }
- 5.- Calcular la corriente total en el problema 5 de la autoevaluación del capítulo V.
{ $I = 1.028 \text{ A}$ }
- 6.- Calcular el voltaje total en el problema 6 de la autoevaluación del capítulo V.
{ $V = 565.4 \text{ V}$ }
- 7.- Calcular la corriente en las resistencias R_3 , R_4 y R_5 del problema 5 de la autoevaluación del capítulo V.
{ $I = 0.3426 \text{ A}$ }
- 8.- Calcular el voltaje en R del problema 6 de la autoevaluación del capítulo V.
{ $V = 32 \text{ volts}$ }
- 9.- Calcular la potencia consumida en el circuito del problema 3 de la autoevaluación del capítulo V.
{ $P = 67.2 \text{ watts}$ }

- 10.- Calcular la potencia consumida por el circuito del problema 4 de la autoevaluación del capítulo V.
{ $P = 2916 \text{ watts}$ }
- 11.- Si el circuito del problema 5 de la autoevaluación del capítulo V, funciona durante 5 minutos, calcular la potencia consumida.
{ $P = 123.36 \text{ watts}$ }
- 12.- Calcular la energía consumida (en joules) por el circuito del problema 3 de la autoevaluación del capítulo V, si el circuito funciona en un tiempo de 20 segundos.
{ 1344 joules }
- 13.- Calcular el costo de la energía consumida por el circuito del problema 11, si el precio total por cada Kw-h = \$ 0.80.
{ $\$ 0.008224$ }
- 14.- Calcular el calor desprendido en el circuito del problema 11.
{ $Q = 8882 \text{ calorías}$ }
- 15.- Calcular el calor desprendido en el circuito del problema 12.
{ $Q = 322.56 \text{ calorías}$ }



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4o. SEMESTRE.

FÍSICA.

UNIDAD 7.

O P T I C A.

Si miramos el fondo de una alberca o un estanque de agua limpia en un día soleado, y se provocan ondas en su superficie, observaremos unas líneas brillantes, móviles. Este es un fenómeno de óptica llamado refracción, el cual también nos permite ver con nuestros ojos, observar las estrellas a través de telescopios, o investigar con microscopios; proyectar películas o tomar fotografías...

OBJETIVOS.

- 1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes incluidas en este capítulo.
- 2.- Calcular e interpretar el índice de refracción.
- 3.- Explicar por qué se refracta la luz que nos llega del Sol.
- 4.- Escribir entre qué intervalo de longitudes de onda, tanto en milimicras como en angstroms, se encuentra el campo de la luz visible.
- 5.- Establecer el orden de mayor a menor longitud de onda, las siguientes radiaciones: infrarrojos, ondas de radio, ultravioleta, luz visible y rayos "X".
- 6.- Calcular la frecuencia de un rayo de luz de cualquier color, conociendo su longitud de onda.
- 7.- Enunciar y diferenciar los diferentes tipos de lentes

que existen y decir cuál es su función.

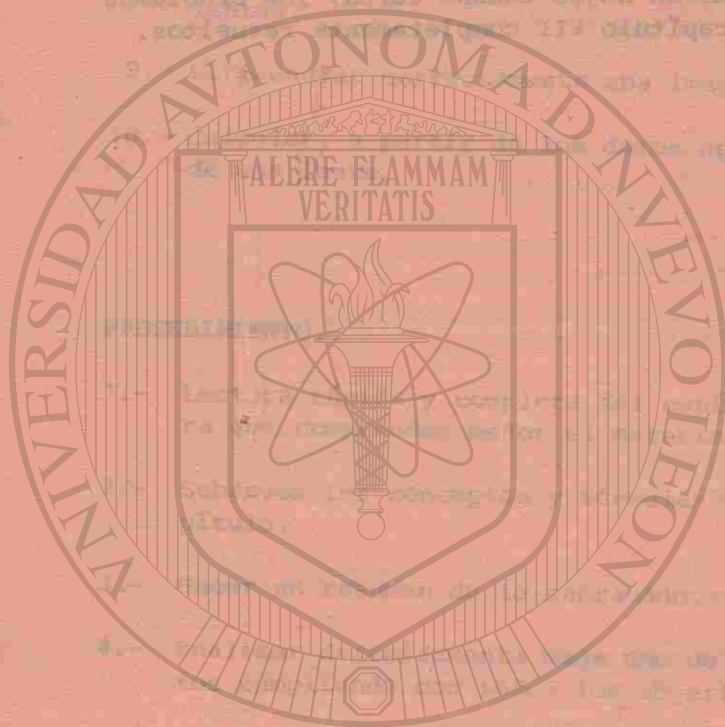
- 8.- Resolver problemas donde se utilice la ecuación de las lentes.
- 9.- Diferenciar correctamente una imagen real de una virtual.
- 10.- Calcular, a partir de los datos apropiados, el aumento de una lente.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Lectura rápida y completa del capítulo VII del texto, para que comprendas mejor el material de esta unidad.
- 2.- Subrayar los conceptos y fórmulas más importantes del capítulo.
- 3.- Hacer un resumen de lo subrayado.
- 4.- Analizar detenidamente cada uno de los términos y conceptos cumpliendo con todos los objetivos.
- 5.- Analizar en forma detallada, cada uno de los ejemplos resueltos en tu texto.
- 6.- Resolver los problemas de autoevaluación, tratando de obtener las respuestas incluidas al final de cada problema.
- 7.- Resolver problemas de otros textos de física, ya que la práctica en tu material es lo que hará que obtengas mejores resultados.
- 8.- Cualquier duda que tengas no te quedes con ella, consulta con tus compañeros o con tu maestro.

PRE-REQUISITO.

Para tener derecho a presentar la evaluación de esta unidad, deberás entregar en hojas tamaño carta, los problemas de autoevaluación del capítulo VII completamente resueltos.



CAPÍTULO VII.

ÓPTICA.

7-1 INTRODUCCIÓN.

Dedicaremos este último capítulo de nuestro curso de física al estudio de la óptica, que es el estudio de la luz y de los fenómenos luminosos en general. Esta es una de las ramas de la física más importante puesto que está relacionada con la visión y existen muchas aplicaciones prácticas derivadas del estudio de esta rama; por ejemplo, la iluminación de una habitación o edificio, los reflectores utilizados en lámparas o faros de gran potencia, el uso de las lentes en instrumentos ópticos como el microscopio, el telescopio, los binoculares, el anteojito y el mismo ojo humano, etc. Nos podemos dar cuenta de que es muy amplio el estudio de la óptica, por lo que enfocaremos este capítulo solamente a la refracción y dispersión de la luz, y al análisis de diferentes tipos de lentes utilizados en los instrumentos ópticos antes mencionados, pero antes tendremos que empezar por algunos conceptos sobre lo que es la luz.

7-2 PROPAGACIÓN RECTILÍNEA DE LA LUZ.

La luz se propaga rectilíneamente; el hecho de que los objetos puedan producir sombras bien perfiladas es una demostración de que la luz viaja "en líneas rectas" y este es otro modo de definir la propagación rectilínea de la luz.

Cuando se pone una figura o silueta delante de una fuente de luz, ésta producirá una sombra que será el contorno de la silueta o figura que se ponga, tal y como lo muestra la figura 1.

Si la pantalla se retira, la imagen aumentará de tamaño mientras que si se acerca, la imagen producida disminuirá hasta casi quedar del tamaño original.

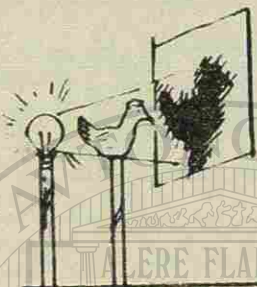


Fig. 1

7-3 LEY DE LA REFLEXIÓN.

Cuando un cuerpo se refleja en un espejo plano, éste es reflejado con un ángulo igual al ángulo con el cual entra al espejo. Esto se puede explicar con la definición de la ley de la reflexión que dice: el ángulo de incidencia del rayo de luz sobre una superficie reflectora, es exactamente igual al del rayo reflejado por la misma superficie.

Sin embargo, estos ángulos no debemos tomarlos con respecto a la superficie sobre la cual se reflejan, sino que debemos tomarlos con respecto a un plano que está en ángulo recto a la superficie reflectora. A este plano se le llama normal.

En la figura 2 se ilustra cómo debe estar colocada la normal y cómo deben de ser los ángulos (en referencia) con respecto a la normal.

La segunda parte de esta ley establece que el rayo reflejado se encuentra en el plano de la incidencia, que se define como el plano que contiene el rayo

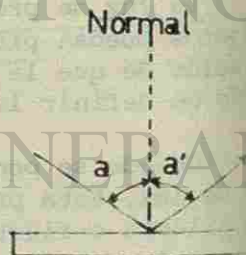


Fig. 2.

incidente; la normal y el rayo reflejado están situados en el mismo plano.

7-4 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ.

Galileo trató de medir la velocidad de la luz, sin éxito. Su fracaso se debió a que los reflejos humanos son muy tardados en comparación con la velocidad de la luz. El primer método terrestre para medir la velocidad de la luz, fue hecho por Fizeau en 1849, quien llegó a la conclusión de que la luz viajaba a una velocidad de 311,000 Km/seg. En 1926, Albert A. Michelson sobresalió por sus contribuciones y mejoras al aparato empleado por Fizeau, y en ese mismo año logró medir la velocidad de la luz sacando como conclusión que ésta era de 299,796 Km/seg. Michelson también midió la velocidad de la luz en el agua y encontró que era de 225,000 Km/seg.

7-5 ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

La relación que existe entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un medio se llama índice de refracción del medio. Expresado matemáticamente, tenemos:

Índice de refracción del medio = $\frac{\text{velocidad de la luz}}{\text{velocidad de la luz en el medio}}$

$$\mu = \frac{c}{v}$$

(1)

donde c es la velocidad de la luz en el vacío, v es la velocidad de la luz en el medio y μ es el índice de refracción en el medio.

A continuación, se dan algunos valores de índice de refracción que tienen mayor uso en la vida diaria.

TABLA 1. Diferentes índices de refracción para algunos materiales.

Agua	μ	=	1.33
Vidrio	μ	=	1.50
Aire	μ	=	1.00
Hielo	μ	=	1.31
Cuarzo	μ	=	1.46
Diamante	μ	=	2.42

Conociendo el índice de refracción se puede calcular la velocidad de la luz en un material.

Ejemplo 1. Calcular la velocidad de la luz si el índice de refracción del hielo es de 1.31.

Datos: $\mu = 1.31$, $c = 3 \times 10^8$ m/seg

Solución:

Sabemos que, $\mu = \frac{c}{v}$

despejando, $v = \frac{c}{\mu}$

sustituyendo datos: $v = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{1.31}$
 $= 2.29 \times 10^8 \text{ m/seg}$

7-6 REFRACCIÓN DE LA LUZ.

Cuando la luz cambia de un medio a otro, o sea que entra del aire al agua o del vacío al aire, etc.; ésta experimentará una desviación que va a depender del ángulo que tenga la luz al cambiar de medio. Willebroard Snell estudió estos fenómenos y llegó a la conclusión de que la relación que existe entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es la misma para todos los ángulos de incidencia y es igual al índice de refracción μ ; ésta es conocida como la ley de Snell; expresada matemáticamente tenemos:

$$\mu = \frac{\text{Sen } \theta}{\text{Sen } \phi} \quad (2)$$

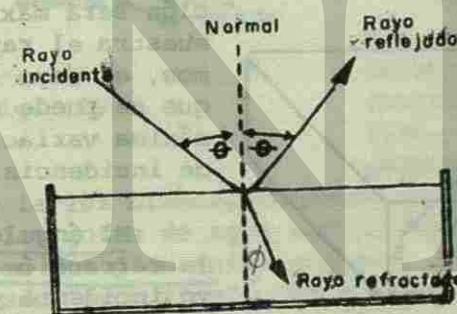


Fig. 3.

La luz que proviene del sol no nos llega directamente a nosotros, sino que al llegar a la atmósfera se refracta y entra a la Tierra tal y como lo muestra la figura 4.

Al entrar los rayos de un medio a otro, éste no siempre se refractará y el ángulo de incidencia siempre será mayor que el de refracción; por esta razón habrá ángulos en los cuales no sea posible la refracción de la luz; por ejemplo, si tenemos un plano en el cual incide un rayo de luz tal y como lo muestra la figura 5, si variamos el ángulo de incidencia θ , variará el ángulo de refracción.

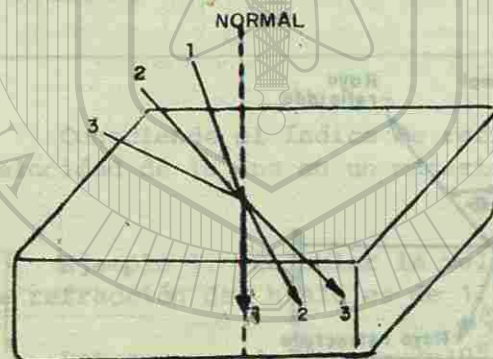


Fig. 5.

7-7 DISPERSIÓN DE LA LUZ.

Ya hemos visto que la luz al cambiar de medio es refractada en el límite del medio, lo mismo sucede si se pasa por un prisma de caras paralelas. Newton fue el primero en demostrar que con prismas, los colores estaban presentes en la luz blanca y que la función del prisma triangular era refractar la luz blanca separándola en sus diferentes colores.

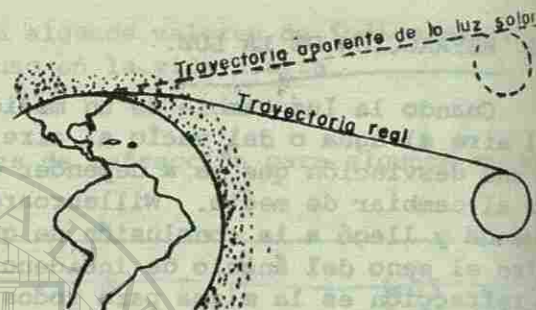


Fig. 4.

Cuando el ángulo de incidencia sea casi igual a 90° , el ángulo de refracción será máximo como lo muestra el rayo 3. Si notamos, el rayo 3 es el rayo que se puede obtener con la máxima variación del ángulo de incidencia.

El ángulo formado por la refracción del último rayo incidente y la normal, se le llama ángulo crítico.

Con esto Newton demostró que los antiguos filósofos estaban equivocados al atribuir a los cristales los diferentes colores que de ellos emanaban cuando les daba la luz.

Con la luz blanca cada uno de los colores es refractado en diferente grado para producir su propio ángulo de desviación. La luz roja es la que menos se refracta y la luz violeta es la que más se refracta, como se puede ver en la figura 6.

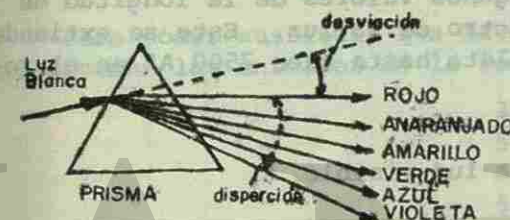


Fig. 6.

La separación de los colores producida al enviar luz blanca a través de un prisma se llama dispersión y a la banda de colores ahí producida se le llama espectro.

Al observar la lluvia a una distancia considerable, si el sol se encuentra detrás de nosotros, notaremos que se produce en la nube, la dispersión de la luz blanca, formando un espectro luminoso a causa de que las gotas de agua actúan como prismas al descomponer la luz en sus diferentes colores. Este fenómeno es comúnmente llamado "arco iris". Otra forma de obtener el arco iris es, rociando agua con el aspersor de una manguera de tal manera que se produzcan gotas diminutas iguales a las de la lluvia.

7-8 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

Hasta ahora hemos considerado la luz como tal, pero sin importarnos que es una onda y que también tiene frecuencia y longitud de onda. Los colores que señalan los límites del espectro de la luz visible son: el color violeta y el color

rojo. El color violeta es el color que tiene mayor frecuencia, mientras que el color que tiene menor frecuencia es el rojo. El color que tiene mayor longitud de onda es el rojo y el de menor longitud es el violeta.

Las longitudes de ondas para la luz se miden en unidades Angstrom ($\text{\AA}$), cuya equivalencia es la siguiente:

$$1 \text{ cm} = 10^8 \text{ \AA}$$

$$1 \text{ m} = 10^{10} \text{ \AA}$$

En la tabla 2 se dan algunos valores de la longitud de onda de los colores del espectro de la luz. Este se extiende desde unos 4000 $\text{\AA}$ en el violeta hasta unos 7500 $\text{\AA}$ en el rojo.

TABLA 2. Espectro de la luz visible.

COLOR	LONGITUD DE ONDA EN $\text{\AA}$
Violeta	4000 - 4500
Azul	5000 - 5700
Verde	5700 - 5900
Naranja	5900 - 6100
Rojo	6100 - 7500

Con los valores de la tabla 2 y la velocidad de la luz podemos calcular la frecuencia de cualquier color.

Ejemplo 2. El color verde tiene una longitud de onda (límite superior) de 5700 $\text{\AA}$. ¿Cuál será la frecuencia para este color?

Datos: $\lambda = 5700 \text{ \AA}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$

Solución:

De la ecuación

$$v = g$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

donde (f) es la frecuencia, v la velocidad y λ la longitud de onda. Pero $v = c$, donde (c) es la velocidad de la luz en el vacío ($3 \times 10^8 \text{ m/seg}$), quedando:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

Para poder sustituir los datos del problema, tenemos que transformar las unidades de la longitud de onda a metros:

$$f = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{5.7 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$f = 5.26 \times 10^{14} \text{ ciclos/seg}$$

El espectro electromagnético está compuesto también por rayos electromagnéticos que pueden ser superiores en frecuencia que el color violeta, éstos no causan sensación luminosa y se llaman luz ultravioleta. Al igual que la luz ultravioleta, existen también en el espectro electromagnético rayos cuya frecuencia es menor que la luz roja visible, a este tipo de rayos se les denomina rayos infrarrojos. Estos rayos constituyen los rayos caloríficos y térmicos.

Las ondas de radio son parte también del espectro electromagnético, son creadas en antenas en las que los electrones son obligados a oscilar rápidamente hacia un lado y otro constituyendo así la fuente vibrante que crea la onda. De aquí que las ondas electromagnéticas se definan como ondas que consisten en fluctuaciones de campos eléctricos y magnéticos producidos por la oscilación de electrones.

A continuación, se da una tabla de algunos valores de frecuencia y longitud de onda para varios elementos del espectro electromagnético.

TABLA 3. Espectro electromagnético.

Tipo de radiación	Longitud de onda en el aire o en el vacío (me- tros)	Frecuencia (ciclos/seg)
Rayos gamma	menos que 10^{-10}	más de 10^{18}
Rayos X	* 10^{-11} a 10^{-8} **	* 3×10^{16} a 3×10^{18} **
Luz ultravioleta	* 10^{-8} a 3.8×10^{-7} **	* 8×10^{14} a 3×10^{16} **
Luz visible	* 3.8×10^{-7} a 7.5×10^{-7} **	* 4×10^{14} a 8×10^{14} **
Infrarrojo	* 7.5×10^{-7} a 10^{-4} **	* 3×10^{12} a 4×10^{14} **
Ondas de radio	de unos pocos mm a mi- les de m.	menos que 10^{13}

* Límite inferior.

** Límite superior.

Para estudiar los espectros, los científicos utilizan los aparatos llamados espectroscopios, o sea que son aparatos que forman espectros de la luz que los atraviesa. Si se construye un espectroscopio para que las medidas se puedan hacer directamente, el aparato se llama espectrómetro. Todos los espectros que se forman por la luz emitida por los cuerpos luminosos se llaman espectros de emisión. Existen tres clases de espectros de emisión que son: espectros continuos, se producen por sólidos y líquidos incandescentes o por gases incandescentes a alta presión. Espectro de líneas brillantes, el cual es producido por los átomos de un gas incandescente y espectros de bandas, que son producidos por las moléculas de gases incandescentes.

El color de un objeto depende de la intensidad de iluminación y también del color de la luz. Por ejemplo, cuando se pone una mica color roja a un foco, ésta emitirá luz color roja, o sea que la mica tiene la propiedad de filtrar la luz, deja pasar únicamente la luz con longitud de onda igual. El color que refleja todos los colores es el blanco, mientras que el que los absorbe todos es el negro. Esto sirve también para cuestiones de calor. Como la luz es energía y ésta es absorbida por los cuerpos negros, éstos se calentarán más que los otros de cualquier color.

En la figura 7 se muestra una disposición de los colores primarios y secundarios en una estrella de 6 puntos. La disposición es tal que los colores complementarios son opuestos.

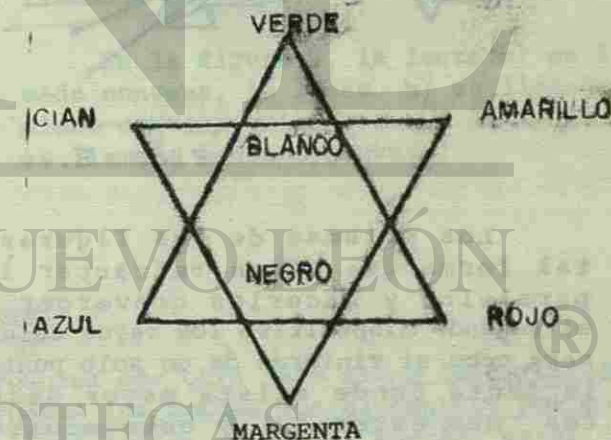


Fig. 7.

7-9 LENTES.

La función primordial de las lentes es formar imágenes de los objetos reales. Pero, ¿qué es una lente? Una lente es un cuerpo transparente que tiene una cara curva por lo menos y, a menudo, dos. Cambia la dirección de la luz y puede enfocarla en un punto determinado.

En el punto 7-7 de este capítulo mencionamos que la luz se refracta y se dispersa al pasar por un prisma. Este principio es utilizado para la construcción de las lentes, como lo muestra la figura 8.

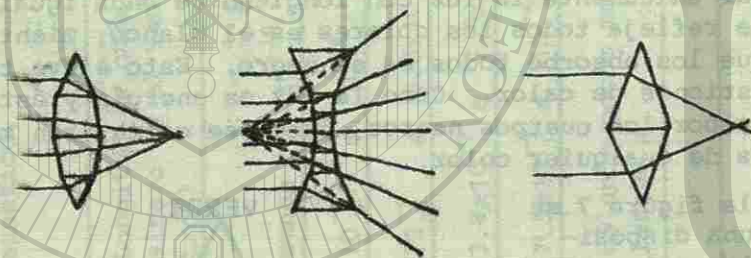


Fig. 8.

Los prismas de las figuras están acomodados de tal forma que hacen refractar los rayos luminosos paralelos y hacerlos converger en un punto F. En el segundo dispositivo los rayos se hacen diverger de tal manera como si vinieran de un solo punto. Las partes de la lente donde existe mayor desviación son las partes mas externas y esto ocurre porque el ángulo que existe entre sus caras es diferente (no es paralelo), mientras que en el centro los prismas casi tienen paralelas sus caras.

En la realidad, las lentes no están hechas por prismas como los de la figura 8, sino que están hechas con un material transparente que puede ser de vidrio, cuarzo, fluorito, etc. A las lentes que tienen una superficie curva se les llama lentes esféricas.

Existen dos tipos diferentes de lentes esféricas que son: lentes positivos o convergentes y lentes negativos o divergentes.

7-10 LENTES CONVERGENTES.

En la figura 9 están ilustradas algunas lentes que son convergentes. Estas lentes tienen la particularidad de que los bordes son más delgados que el centro y hacen converger la luz que llega a su superficie en un punto común llamado foco. Estas lentes también son llamadas convexas.

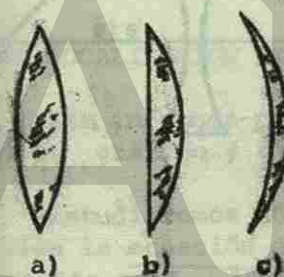


Fig. 9.

En la figura 9, la lente a) es llamada convexa, la lente b) es llamada plano-convexa, mientras que la lente c) es llamada menisco-convexa.

7-11 LENTES DIVERGENTES.

Las lentes divergentes por otro lado tiene la particularidad de tener más gruesos los bordes que el centro, por esta razón también se les llama lentes cóncavas; además, estas lentes dispersan la luz que llega a su superficie tomando la dirección cada rayo, como si procedieran de un mismo foco o punto de referencia. En la figura 10 están ilustradas las tres

lentes divergentes más usuales.

Estas lentes son llamadas:

- 1) Bicóncava.
- 2) Plano-cóncava.
- 3) Menisco cóncava.



Fig. 10.

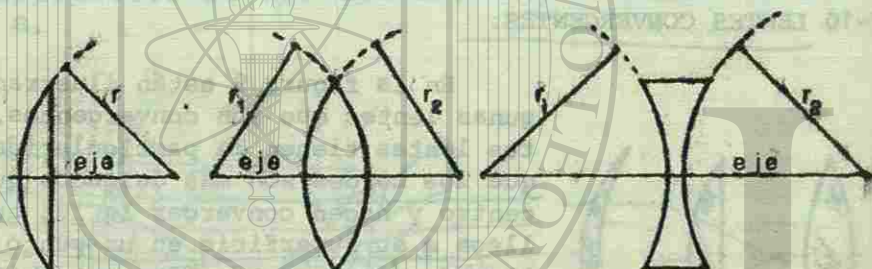


Fig. 11.

Todas las lentes tienen un eje principal. Este eje es la línea que une los centros de curvatura de las dos superficies esféricas, o si una es plana, la línea que parte del centro de curvatura de la superficie curva y es perpendicular a la superficie plana.

Todas las lentes esféricas tienen 2 radios de curvatura, que son los radios de las caras de la lente. Cuando una de las superficies de la lente es plana, el radio correspondiente es infinito.

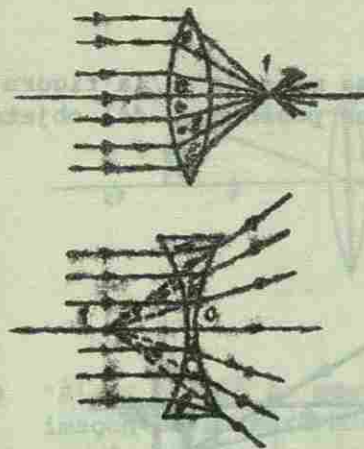


Fig. 12.

En una lente convergente, el punto donde se reúnen todos los rayos paralelos se llama foco. Mientras que en una lente divergente, el foco está situado en el punto desde donde parecen venir todos los rayos paralelos. A la distancia que existe entre el foco (f) y el centro de la lente (c) se le llama distancia focal de la lente. (Fig. 12).

$cf = df = \text{distancia focal.}$

7-12 LOCALIZACIÓN DE LAS IMÁGENES.

Las imágenes pueden localizarse en una lente por dos métodos: gráfico y analítico.

Estudiaremos sólo el método analítico, en el que se emplea la ecuación de las lentes:

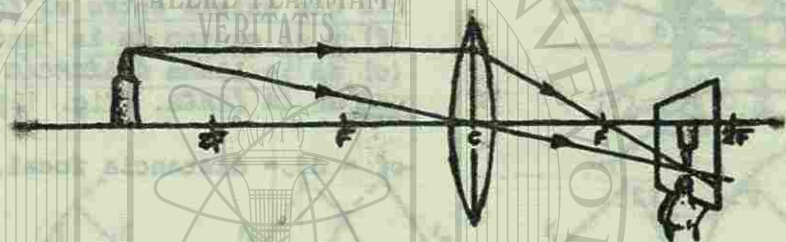
$$\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = \frac{1}{df} \quad (4)$$

En donde (do) es la distancia que existe desde la lente hasta el objeto, (di) es la distancia a la cual se forman las imágenes y (df) que es la distancia focal de cada lente.

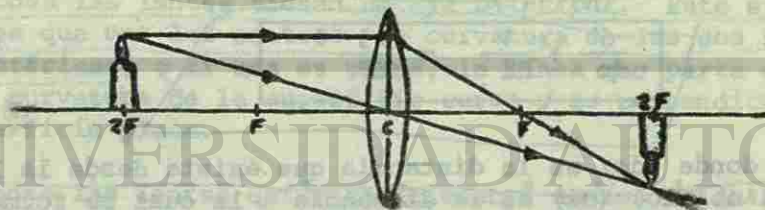
Cuando se coloca un objeto a un lado de una lente convergente, más allá del foco principal será formada una imagen real en el lado opuesto de la lente. Si el objeto se mueve más cerca del punto focal, la imagen se formará más lejos de la lente y será más grande; es decir, se amplificará. A medida que el objeto se coloque más lejos de la lente, la imagen se formará más cerca del punto focal y será de dimensiones

más pequeñas.

Lo explicado anteriormente se muestra en la figura 6, donde se pueden observar diferentes posiciones del objeto y las imágenes producidas por ellos.

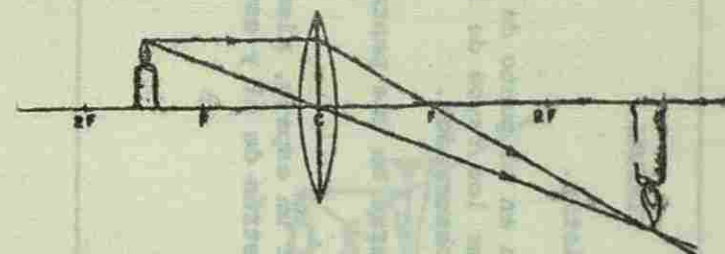


- a) A medida que el objeto se coloque más lejos de la lente, la imagen se formará más cerca del punto focal y será de dimensiones más pequeñas.

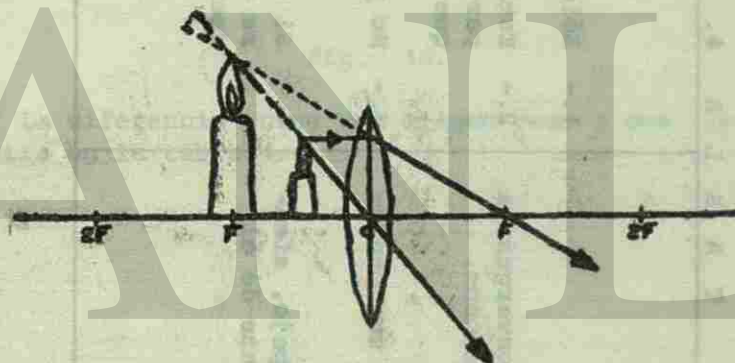


- b) Cuando el objeto se coloca a una distancia de la lente igual a 2 veces la distancia focal, la imagen aparecerá invertida, de iguales dimensiones y a la misma distancia de la lente, pero del otro lado ($d_i = d_o = 2df$).

Fig. 13



- c) "Si el objeto se mueve más cerca del punto focal, la imagen se formará más lejos de la lente y será más grande, es decir, se amplificará."



- d) Cuando el objeto se coloca a una distancia menor que la distancia focal, la imagen aparecerá del mismo lado que el objeto y ya no estará invertida, sino que ahora será "derecha" y de dimensiones más grandes que el objeto. A este tipo de imágenes se le llama virtual, a diferencia de las otras imágenes que son de tipo real.

Fig. 13.

T A B L A 4.

IMAGEN REAL.	IMAGEN VIRTUAL.
1.- Existe realmente.	1.- Sólo parece existir.
2.- Está formada por la convergencia real de los rayos luminosos.	2.- Está localizada en el punto de donde parecen diverger los rayos de luz que llegan al observador.
3.- Puede recogerse sobre una pantalla.	3.- No puede recogerse en una pantalla.
4.- Si se forma por un espejo, siempre se encuentra delante de él y está invertida.	4.- Si se forma por un espejo, siempre se encuentra detrás de él y está derecha.

En la figura 14 puede verse la formación de una imagen en una lente divergente que siempre será virtual, en cualquier lugar donde se coloque el objeto.

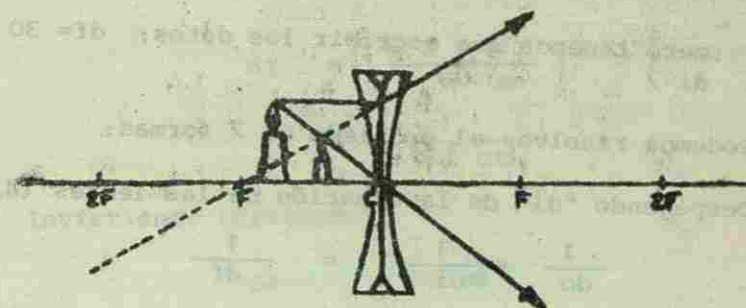


Fig. 14.

La diferencia entre una imagen real y una virtual se ilustra en la tabla 4.

Ejemplo 3. Para demostrar lo establecido en la figura 13b, supongamos una lente convergente que tiene una distancia focal de 30 cm, y que se coloca un objeto al doble de su distancia focal, esto es a 60 cm del centro de la lente. Calcular la distancia a la que aparecerá la imagen.

Solución:

Primero tenemos que escribir los datos: $df = 30 \text{ cm}$, $do = 60 \text{ cm}$, $di = ?$

Podemos resolver el problema de 2 formas:

a) Despejando "di" de la ecuación de las lentes (4):

$$\begin{aligned} \frac{1}{do} + \frac{1}{di} &= \frac{1}{df} \\ \frac{1}{di} &= \frac{1}{df} - \frac{1}{do} \\ &= \frac{do - df}{df \times do} \end{aligned}$$

Invirtiendo los términos:

$$di = \frac{df \times do}{do - df}$$

Sustituyendo los datos:

$$\begin{aligned} di &= \frac{30 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}}{60 \text{ cm} - 30 \text{ cm}} \\ &= \frac{1800 \text{ cm}^2}{30 \text{ cm}} \\ &= 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

b) La segunda forma de solucionar el problema es resolviendo las fracciones:

$$\begin{aligned} \frac{1}{di} &= \frac{1}{df} - \frac{1}{do} \\ &= \frac{1}{30 \text{ cm}} - \frac{1}{60 \text{ cm}} \\ di &= \frac{2 - 1}{60 \text{ cm}} \\ &= \frac{1}{60 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Invirtiendo términos:

$$di = 60 \text{ cm}$$

NOTA: El resultado obtenido demuestra que la distancia a la que aparece la imagen es igual a la distancia a la que se colocó el objeto, cuando ésta es el doble que la distancia focal, ($di = do = 2df$).

Ejemplo 4. Se coloca un objeto a 40 cm de una lente con una distancia focal de 30 cm. ¿A qué distancia se encontrará la imagen?

Datos: $do = 40 \text{ cm}$, $df = 30 \text{ cm}$.

Por la ecuación 4, tenemos:

$$\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = \frac{1}{df}$$

despejando: $\frac{1}{di} = \frac{1}{df} - \frac{1}{do}$

$$= \frac{do - df}{df \times do}$$

invirtiendo ambos términos:

$$di = \frac{df \times do}{do - df}$$

sustituyendo datos: $di = \frac{30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}}{40 \text{ cm} - 30 \text{ cm}}$

$$= \frac{1200 \text{ cm}^2}{10 \text{ cm}}$$

$$= 120 \text{ cm}$$

NOTA: Ahora, el objeto se colocó más cerca del foco de la lente y el resultado nos demuestra lo establecido en la figura 13c, esto es, que la distancia de la imagen aumenta.

Existen varias reglas para el empleo de la fórmula de las lentes. Estas son:

- 1.- En las lentes convergentes, (df) es positiva y en las divergentes, (df) es negativa.
- 2.- La distancia del objeto (do), siempre es positiva.
- 3.- Si la distancia de la imagen (di) es positiva, la imagen es real y la imagen y el objeto están en lados opuestos de la lente. Si la distancia de la imagen (di) es negativa, la imagen es virtual y la imagen y el objeto están del mismo lado de la lente.

Un ejemplo de un objeto de 10 cm de altura, se coloca a 30 cm de una lente convergente que tiene una distancia focal de 40 cm. ¿Cuál será el aumento de la imagen?

Como se puede observar en la figura 13d la imagen es virtual cuando la distancia del objeto es menor que la distancia focal; esto es, cuando di es negativa y la imagen real se forma cuando la distancia del objeto es mayor que la focal; esto es, cuando di es positiva.

Se puede calcular el aumento de una lente por medio de la fórmula sencilla:

$$\text{Aumento} = \frac{\text{tamaño de la imagen}}{\text{tamaño del objeto}}$$

$$A = \frac{Ti}{To} \quad (5)$$

ó $A = \frac{\text{distancia de la imagen}}{\text{distancia del objeto}}$

ó $A = \frac{di}{do} \quad (6)$

donde A es el aumento, (Ti) es el tamaño de la imagen y (To) es el tamaño del objeto. Lo mismo que en la otra fórmula, (di) es la distancia de la imagen, (do) es la distancia del objeto.

Podemos establecer una igualdad en las ecuaciones pasadas diciendo que:

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do} \quad (7)$$

de tal manera que podemos calcular cualquier dato acerca de las lentes.

Ejemplo 6. Un objeto de 16 cm de altura, al pasar por una lente produce una imagen de 32 cm. ¿Cuál será el aumento de la lente?

Datos:

Tamaño del objeto, $T_o = 16$ cm

Tamaño de la imagen, $T_i = 32$ cm

De la ecuación (2):

$$\begin{aligned} \text{Aumento} &= \frac{\text{Tamaño de la imagen}}{\text{Tamaño del objeto}} \\ &= T_i/T_o \\ &= 32/16 \\ &= 2 \end{aligned}$$

El aumento no tiene unidades, solamente indica el número de veces que está aumentado o reducido la imagen producida.

Ejemplo 3. Se coloca un objeto a 10 cm delante de una lente con una distancia focal de 20 cm. Calcular: a) la distancia a la que se encontrará la imagen, b) si el tamaño del objeto es de 12 cm, ¿cuál será el tamaño de la imagen que producirá? c) El aumento de la lente usada.

Datos:

Distancia del objeto, $d_o = 10$ cm

Distancia focal, $d_f = 20$ cm

Tamaño del objeto, $T_o = 12$ cm

Incógnitas:

a) Distancia de la imagen, d_i .

b) Tamaño de la imagen producida, t_i .

Por la fórmula (4):

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_f}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{d_i} &= \frac{1}{d_f} - \frac{1}{d_o} \\ \text{sustituyendo: } \frac{1}{d_i} &= \frac{1}{20} - \frac{1}{10} \\ &= \frac{1 - 2}{20} \\ &= -\frac{1}{20} \end{aligned}$$

invirtiendo ambos términos:

$$d_i = -20 \text{ cm}$$

Como d_i es negativa la imagen es virtual, como se mencionó en la tercera regla para el uso de la fórmula de las lentes. Además, queda demostrado lo establecido en la figura 13d.

Para calcular el inciso b) tenemos que utilizar la ecuación (7).

$$\frac{\text{tamaño de la imagen}}{\text{tamaño del objeto}} = \frac{\text{distancia de la imagen}}{\text{distancia del objeto}}$$

$$\frac{T_i}{T_o} = \frac{d_i}{d_o}$$

despajando:

$$T_i = \frac{d_i T_o}{d_o}$$

$$= \frac{-20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}}{10 \text{ cm}}$$

$$= -24 \text{ cm}$$

El signo negativo nos indica que la imagen es virtual, y que aparece "derecha" (no está invertida) como se ilustra en la figura 13d.

Para calcular el inciso c) lo podemos hacer por las ecuaciones (5) ó (6).

Por la ecuación 6:

$$\text{Aumento} = \frac{\text{distancia de la imagen}}{\text{distancia del objeto}}$$

$$A = di/do$$

sustituyendo:

$$A = -20 \text{ cm} / 10 \text{ cm}$$

$$= -2$$

Por la ecuación 5 tenemos:

$$A = \frac{\text{Tamaño de la imagen}}{\text{Tamaño del objeto}}$$

$$A = Ti/To$$

$$= -24 \text{ cm} / 12 \text{ cm}$$

$$= -2$$

Como vemos, por ambas fórmulas el aumento tiene el mismo valor. Por lo tanto, por cualesquiera de las dos ecuaciones que se calcule, el aumento es correcto. Su signo es negativo por tratarse de una imagen virtual.

7-13 DEFECTOS EN LAS IMÁGENES.

Aunque una simple lente convergente está diseñada para reproducir una imagen clara de casi cualquier objeto, en cada imagen están presentes un sinnúmero de defectos que tienden a empañarla. Estos defectos son conocidos con el nombre de aberración cromática, aberración esférica, curvatura del campo, astigmatismo y distorsión. Aún cuando algunas de esas aberraciones se pueden corregir parcial o casi totalmente por un medio u otro, no se pueden eliminar.

De todas las aberraciones, tres son las más importantes y merecen tratarse por separado.

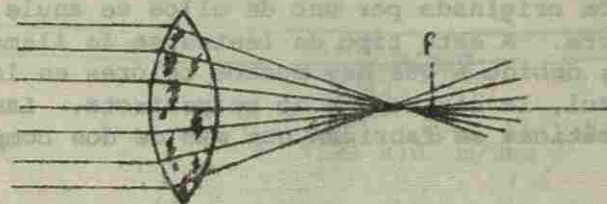


Fig. 15.

7-14 ABERRACIÓN ESFÉRICA.

La aberración esférica es un defecto de las lentes esféricas originado porque los rayos de luz que están lejos del eje no se enfocan en el mismo punto que los más próximos a él (Fig. 15).

Existen varias formas de eliminar el problema bloqueando los rayos que pasan por el borde de la lente y dejando sólo los que atraviesan el centro. Por supuesto, así se reduce notablemente la capacidad de la lente para recoger la luz. La aberración esférica de los instrumentos que utilizan lentes, puede también disminuirse por medio de una combinación apropiada de dos o más lentes. Otra forma de reducirse el problema es seleccionando mejor los radios de curvatura.

7-15 ABERRACIÓN CROMÁTICA.

Cuando la luz blanca pasa por una lente convexa cerca del borde, notaremos que los rayos de luz blanca se dispersarán y los rayos que más refractarán serán los violeta. (según se mencionó en el capítulo anterior).

Si se mira a través de una lupa, principalmente cuando se pone un poco fuera de foco, puede notarse que las imágenes están rodeadas por una sombra generalmente color roja o azul. A este fenómeno se le llama generalmente aberración cromática.

Este defecto puede corregirse con el uso de dos lentes de diferente clase de vidrio, una convexa y otra cóncava; tal y como lo indica la figura 16. Con este método se logra que la dispersión originada por uno de ellos se anule parcialmente con la otra. A este tipo de lentes se le llama lentes acromáticos, debido a que hay muchos colores en la luz, no sólo rojo y azul, la corrección no es perfecta. Las mejores lentes acromáticas se fabrican con más de dos componentes.

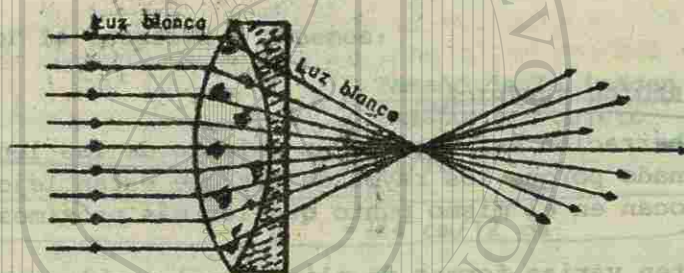


Fig. 16.

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

- 1.- ¿Cuál será la velocidad de la luz al pasar por un diamante, si su índice de refracción (μ) es de 2.42?

Solución:

De la fórmula: $\mu = c/v$

sabemos que el valor de c es 3×10^8 m/seg, y despejando:

$$\begin{aligned} \mu v &= c \\ v &= c/\mu \\ &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{2.42} \\ &= 1.24 \times 10^8 \text{ m/seg} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la velocidad de la luz en el diamante es 1.24×10^8 m/seg.

- 2.- ¿Cuál será el índice de refracción de un material en que la velocidad de la luz en él sea 3×10^8 m/seg? ¿De qué material se trata?

Solución:

Por la fórmula: $\mu = c/v$

donde $c = 3 \times 10^8$ m/seg, sustituyendo:

$$\begin{aligned} &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{3 \times 10^8 \text{ m/seg}} \\ &= 1 \end{aligned}$$

El material en el cual la velocidad de la luz en él es igual a la velocidad de la luz en el medio, ($\mu=1.00$) es el aire.

- 3.- ¿Cuál será la frecuencia de la luz ultravioleta si ésta tiene una longitud de onda de $3000 \text{ \AA}$?

Solución:

Los datos para este problema son:

$$\lambda = 3000 \text{ \AA}$$

que transformada a metros sería:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^3 \text{ A}^\circ}{10^{10} \text{ A}^\circ/\text{m}}$$

$$= 3 \times 10^{-7} \text{ m}$$

y sabemos que la velocidad de la luz en el vacío es:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

$$v = \lambda f$$

$$f = v/\lambda$$

donde $v=c$: $f = c/\lambda$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{3 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$= 1 \times 10^{15} \text{ ciclos/seg}$$

que está dentro de los límites de la tabla 3.

- 4.- Encontrar la longitud de onda y el tipo de rayos a que pertenecen, si se mide la frecuencia de ellos y se encuentra que es 3×10^{18} ciclos/seg. Encontrar el resultado de longitud de onda y metros y en angstroms. (Ver la tabla 3 para responder a la pregunta del tipo de radiación).

Datos:

$$f = 3 \times 10^{18} \text{ ciclos/seg}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

$$v = \lambda f$$

donde $v=c$, y: $\lambda = c/f$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{3 \times 10^{18} \text{ ciclos/seg}}$$

$$= 1 \times 10^{-10} \text{ m}$$

que transformada a angstroms sería:

$$= 1 \times 10^{-10} \text{ m} \times 10^{10} \text{ A}^\circ/\text{m}$$

$$= 1 \text{ A}^\circ$$

De la tabla 8, encontramos que el tipo de radiación es: Rayos X.

- 5.- Un objeto se encuentra colocado a una distancia de 10 cm de una lente convergente que tiene una distancia focal de 12 cm. Determinar la distancia a la que se forma la imagen. ¿De qué tipo será la imagen, real o virtual? Explicar las respuestas anteriores.

Datos: Lente convergente (df es positiva), do = 10 cm, df = 12 cm

Solución:

Usando la ecuación general de las lentes (4):

$$\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = \frac{1}{df}$$

despejando: $\frac{1}{di} = \frac{1}{df} - \frac{1}{do}$

$$\frac{1}{di} = \frac{do - df}{df \times do}$$

invirtiendo ambos términos:

$$di = \frac{df \times do}{do - df}$$

sustituyendo los datos:

$$di = \frac{12 \text{ cm}(10 \text{ cm})}{10 \text{ cm} - 12 \text{ cm}}$$

$$= \frac{120 \text{ cm}^2}{-2 \text{ cm}}$$

$$= -60 \text{ cm}$$

Como la distancia de la imagen es negativa, por la tercera regla para el empleo de la fórmula de las lentes, deducimos que: la imagen es virtual.

(Podemos notar que d_i es negativa porque la distancia del objeto es menor que la distancia focal) se demuestra de nuevo lo establecido en la figura 13d).

- 6.- Un objeto está colocado a 20 cm de una lente divergente que tiene una distancia focal de 10 cm. Determinar a qué distancia se forma la imagen, y si ésta es real o virtual.

Solución:

Datos:

Lente divergente (d_f debe de tomarse negativa).

$d_f = -10$ cm

$d_o = 20$ cm

Por la ecuación general de las lentes:

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_f}$$

despejando:

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_f} - \frac{1}{d_o}$$

$$= \frac{d_o - d_f}{d_f \times d_o}$$

invirtiendo los términos:

$$\frac{1}{d_i} = \frac{d_f \times d_o}{d_o - d_f}$$

sustituyendo los datos:

$$d_i = \frac{-10 \text{ cm}(20 \text{ cm})}{20 \text{ cm} - (-10 \text{ cm})}$$

$$= \frac{-200 \text{ cm}^2}{30 \text{ cm}}$$

$$= -6.66 \text{ cm}$$

Como tenemos que la distancia de la imagen es negativa, sabemos que la imagen es virtual, y recordamos que las lentes divergentes producen siempre imágenes virtuales cualquiera que sea el lugar donde se coloque el objeto. (Ver fig. 14).

- 7.- Si en los problemas anteriores, el tamaño de objeto es de 10 cm, ¿cuál será el tamaño de la imagen y el aumento de la lente: a) en el problema 5, b) en el problema 6?

Solución:

Para el inciso a) tenemos como datos:

$T_o = 10$ cm

$d_o = 10$ cm

$d_i = -60$ cm

Utilizando la fórmula:

$$\frac{T_i}{T_o} = \frac{d_i}{d_o}$$

despejando:

$$T_i = \frac{d_i}{d_o} T_o$$

sustituyendo:

$$T_i = \frac{-60 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} (10 \text{ cm})$$

$$= -60 \text{ cm}$$

ó

$$T_i = 60 \text{ cm}$$

El signo negativo solamente nos indica que la imagen es virtual, y aparece a la derecha, del mismo lado que el objeto.

El aumento de la lente será:

$$A = \frac{T_i}{T_o}$$

$$= \frac{60 \text{ cm}}{10 \text{ cm}}$$

$$= 6$$

$$A = \frac{di}{do} = \frac{60 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 6$$

(No es necesario poner el signo negativo de T_i y de d_i , el resultado nos indica que la imagen es aumentada 6 veces y aparece 6 veces más lejos del centro de la lente.

Para el inciso b) tenemos como datos:

$$\begin{aligned} T_o &= 10 \text{ cm} \\ d_o &= 20 \text{ cm} \\ d_i &= -6.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

Resolviendo de la misma manera que en el inciso a), tenemos:

$$\begin{aligned} \frac{T_i}{T_o} &= \frac{d_i}{d_o} \\ T_i &= \frac{d_i}{d_o} T_o \\ &= \frac{-6.66 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} (10 \text{ cm}) \\ &= -3.33 \text{ cm} \end{aligned}$$

De igual forma, la imagen aparece como virtual, derecha, del mismo lado donde se coloca el objeto, pero en este caso es menor el tamaño de la imagen que el del objeto.

El aumento de la lente será:

$$\begin{aligned} A &= \frac{T_i}{T_o} = \frac{3.33 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} \\ &= 0.333 \quad (\text{ó } 1/3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{d_i}{d_o} \\ &= \frac{6.66 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} \\ &= 0.333 \quad (\text{ó } 1/3) \end{aligned}$$

El resultado nos indica que la imagen es menor 0.333 veces que el objeto, o que T_i es un tercio de T_o ($T_i = 1/3 T_o$). Igualmente la distancia de la imagen es un tercio o una tercera parte de la distancia a la que se encuentra el objeto ($d_i = 1/3 d_o$).

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO VII.

- 1.- Si la velocidad de la luz en un cuerpo es de 1.24×10^8 m/seg, a) ¿cuál será el índice de refracción? b) ¿De qué material se trata?
{a) $\mu = 2.42$, b) Diamante}
- 2.- La luz se traslada en un cuerpo con una velocidad de 2×10^8 m/seg. a) ¿Cuál es el índice de refracción? b) ¿De qué material es el cuerpo?
{a) $\mu = 1.5$, b) Vidrio}
- 3.- ¿Cuál es la velocidad de la luz en el agua, si el índice de refracción es de 1.33?
{ $v = 2.25 \times 10^8$ m/seg}
- 4.- Un rayo de luz incide sobre un témpano de hielo. Calcular la velocidad con que se trasladará la luz en el témpano de hielo.
{ $v = 2.29 \times 10^8$ m/seg}
- 5.- Si la velocidad de la luz en un determinado material es de 2.05×10^8 m/seg, calcular: a) su índice de refracción, b) el tipo de material.
{ $\mu = 1.46$, b) Cuarzo}
- 6.- ¿Cuál será la frecuencia del color azul si tiene una longitud de onda de $5000 \text{ \AA}$?
{ $f = 6 \times 10^{14}$ ciclos/seg}
- 7.- Una onda tiene una frecuencia de 5×10^{14} vibraciones/seg. ¿Qué color es?
{ $\lambda = 6000 \text{ \AA}$, color naranja}
- 8.- Una onda viaja con una velocidad igual a la de la luz. Si tiene una frecuencia de 3×10^{12} ciclos/seg, ¿cuál será a) su longitud de onda, b) a qué tipo de ondas pertenecerá?
{a) $\lambda = 1 \times 10^{-4}$ m; b) Rayos infrarrojos}

- 9.- Una onda de radio tiene una frecuencia de 680 Kc. ¿Cuál será su longitud de onda?
{ $\lambda = 4.4 \times 10^{12} \text{ \AA}$ }
- 10.- Una onda tiene una longitud de 1×10^{-10} m. Calcular a) su longitud en $\text{\AA}$, b) su frecuencia, c) a qué tipo de radiación pertenece.
{a) $\lambda = 1 \text{ \AA}$ b) $f = 3 \times 10^{18}$ ciclos/seg c) Rayos X}
- 11.- ¿Cuál será el color cuya frecuencia es de 7.5×10^{14} ciclos/seg?
{ $\lambda = 4000 \text{ \AA}$, color violeta}
- 12.- Un color tiene una frecuencia de 4×10^{14} vibraciones/seg. a) ¿Cuál es su longitud de onda? b) ¿Qué color es?
{ $\lambda = 7500 \text{ \AA}$, color rojo}
- 13.- Los límites de longitud de onda del color verde son: $5700 \text{ \AA}$ y $5900 \text{ \AA}$. ¿Cuál será el valor de las frecuencias correspondientes?
{a) 5.2×10^{14} ciclos/seg b) 5.08×10^{14} ciclos/seg}
- 14.- Los límites de la longitud de onda del color rojo son $6100 \text{ \AA}$ y $7500 \text{ \AA}$. ¿Cuál será a) las longitudes de onda en m, b) las frecuencias correspondientes?
{a) $\lambda = 6.1 \times 10^{-7}$ m/ciclo, $f = 4.9 \times 10^{14}$ ciclos/seg b) $\lambda = 7.5 \times 10^{-7}$ m/ciclo, $f = 4 \times 10^{14}$ ciclos/seg}
- 15.- Una lente esférica tiene una distancia focal de 14 cm. Si se coloca un objeto a 18 cm de la lente, ¿cuál será la distancia donde aparecerá la imagen?
{ $d_i = 63 \text{ cm}$ }
- 16.- Un objeto es colocado delante de una lente esférica de distancia focal de 2.5 cm. Si la distancia a la que es reproducida la imagen es de 12 cm, ¿cuál es la distancia del objeto?
{ $d_o = 3.15 \text{ cm}$ }

- 17.- Encontrar la distancia focal de una lente esférica que tiene una distancia de imagen de 6 cm y la distancia del objeto es de 9 cm.
{df= 3.6 cm}
- 18.- Una lente convergente tiene una distancia focal de 8 cm. Si se coloca un objeto de 14 cm de la lente, calcular la distancia de la imagen.
{di= 18.66}
- 19.- Un objeto se coloca a 12 cm de una lente convergente. Si ésta proporciona una imagen real a 6 cm de la lente, ¿cuál será la distancia focal?
{df= 4 cm}
- 20.- Una lente convergente tiene una distancia focal de +10 cm. Si se coloca un objeto a 13 cm de la lente, ¿cuál será la distancia de la imagen?
{di= 43.3 cm}
- 21.- Si la distancia de la imagen proporcionada por un objeto que se encuentra colocado delante de la lente a 20 cm es de 4 cm, a) ¿cuál será la distancia focal de la lente?
{a) df= 3.3 cm}
- 22.- En un experimento de óptica se encontró que si se ponía una lente convergente un objeto a 16 cm y que midiera 6 cm de altura, éste iba a proporcionar una imagen invertida. Si la lente tiene una distancia focal de 8 cm, a) ¿cuál será la distancia de la imagen producida? b) ¿cuál será el tamaño de la imagen? c) ¿de qué tipo es la imagen? ¿Por qué?
{a) di= 16 cm, b) Ti= 6 cm, c) Real}
- 23.- Una lente tiene una distancia focal de -12 cm y una distancia de la imagen de -10 cm. Calcular: a) la distancia a la cual se coloca el objeto, b) el aumento de la lente, c) ¿es realmente un aumento? d) ¿qué tipo de lente es?
{a) do= 60 cm, b) A= 0.166}

- 24.- Una imagen está aumentada 10 veces. Si la distancia del objeto es de 11 cm delante de la lente, calcular: a) la distancia de la imagen, b) la distancia focal de la lente.
{a) di= 110 cm, b) df= 10 cm}
- 25.- Un objeto está situado a 20 cm delante de una lente convergente de 7.5 cm de distancia focal. Determinar: a) la posición de la imagen, b) el aumento de la lente.
{a) di= 12 cm, b) A= 0.6}
- 26.- Un objeto está situado 15 cm delante de una lente convergente de 10 cm de distancia focal. Determinar: a) la posición de la imagen, b) el aumento.
{a) di= 30 cm, b) A= 2}
- 27.- Calcular la distancia y el tamaño de la imagen producida por una lente divergente que tiene una distancia focal de -8 cm si el objeto está situado a 10.5 cm y tiene una altura de 2 cm.
{a) di= -4.54 cm, b) Ti= -0.864}
- 28.- Una lente divergente tiene una distancia focal de -18 cm. Si se coloca un objeto de 9 cm de altura a una distancia de 27 cm de la lente, calcular: a) la distancia de la imagen, b) el tamaño de la imagen.
{a) di= -10.8 cm, b) Ti= -3.6 cm}



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- ELECTRICIDAD BÁSICA PROGRAMADA.
Depto. de Tecnología Eléctrica del Instituto Tecnológico de Nueva York.
Ed. 1975. LIMUSA. México.
- 2.- ELECTRICIDAD, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES.
Robert L. Shrader.
Ed. 1979. Mc. Graw-Hill.
- 3.- ELECTRÓNICA.
John D. Ryder.
Ed. 1962. Aguilar. Madrid.
- 4.- ELECTRÓNICA ELEMENTAL.
Howard H. Gerrish.
Ed. 1971. LIMUSA. Wiley, S.A.
- 5.- FÍSICA AL DÍA.
Arturo Pérez y Juárez.
Ed. 1972. Mc. Graw-Hill.
- 6.- FÍSICA, FUNDAMENTOS Y FRONTERAS.
Robert Stollberg-Fait Fitch Hill.
Ed. 1975. Publicaciones Culturales, S.A. México.
- 7.- FÍSICA GENERAL.
Alvarenga - Máximo.
Ed. 1976. Tec-Cien, LTDA.
- 8.- FÍSICA GENERAL.
Carel W. Van Der Merwe.
Ed. 1973. Mc Graw-Hill.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- ELECTRICIDAD BÁSICA PROGRAMADA.
Depto. de Tecnología Eléctrica del Instituto Tecnológico de Nueva York.
Ed. 1975. LIMUSA. México.
- 2.- ELECTRICIDAD, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES.
Robert L. Shrader.
Ed. 1979. Mc. Graw-Hill.
- 3.- ELECTRÓNICA.
John D. Ryder.
Ed. 1962. Aguilar. Madrid.
- 4.- ELECTRÓNICA ELEMENTAL.
Howard H. Gerrish.
Ed. 1971. LIMUSA. Wiley, S.A.
- 5.- FÍSICA AL DÍA.
Arturo Pérez y Juárez.
Ed. 1972. Mc. Graw-Hill.
- 6.- FÍSICA, FUNDAMENTOS Y FRONTERAS.
Robert Stollberg-Fait Fitch Hill.
Ed. 1975. Publicaciones Culturales, S.A. México.
- 7.- FÍSICA GENERAL.
Alvarenga - Máximo.
Ed. 1976. Tec-Cien, LTDA.
- 8.- FÍSICA GENERAL.
Carel W. Van Der Merwe.
Ed. 1973. Mc Graw-Hill.

9.- FÍSICA MODERNA.

H. E. White.

Ed. 1965. Montaner y Simon, S.A.

10.- FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD.

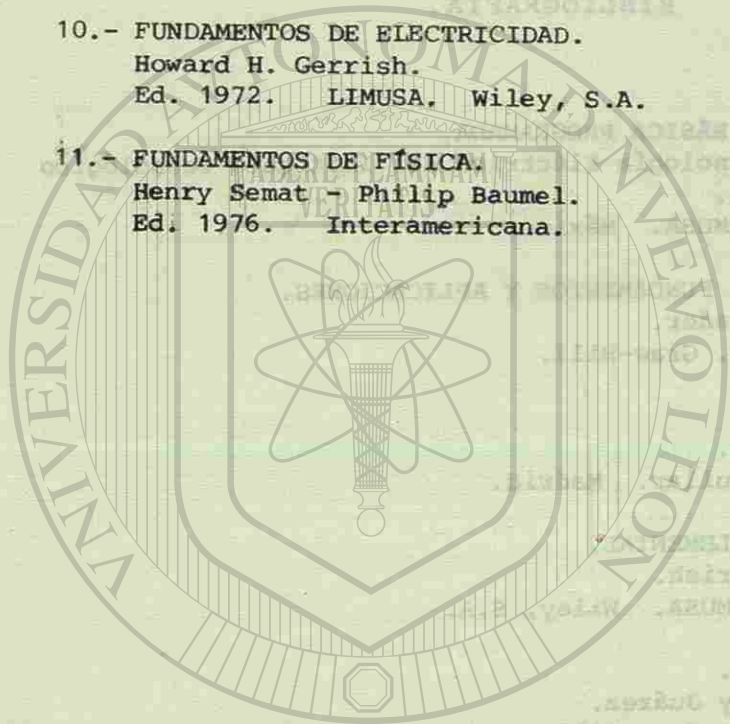
Howard H. Gerrish.

Ed. 1972. LIMUSA. Wiley, S.A.

11.- FUNDAMENTOS DE FÍSICA.

Henry Semat - Philip Baumel.

Ed. 1976. Interamericana.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





U A N

IDAD AUTÓNOMA DE NUEVO

CCIÓN GENERAL DE BIBLIOTEC