PREPARATORIA 15
UANL

ÁREA I

Física II

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
ALERE FLAMMAM VERITATIS

2do. Semestre

Preparatoria Núm. 15

ÁRE[illegible] • Física II • 2do. Semestre

LILIA

FÍSICA GENERAL II.

Ing. José Luis Gutiérrez Alvarado.

Ing. Juan Francisco Salazar Rodríguez.

Í N D I C E.

ÍNDICE DE UNIDADES.

NOTA:

Las demás unidades las encontrarás en tu libro de Química II.

P R Ó L O G O.

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 aún todavía que 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 obtengas la información, por tu propia cuenta, ya que estamos convencido 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."

OBJETIVOS DEL CURSO.

Los objetivos del curso se pueden reducir a tres, y pensamos que en ellos se encuentran incluídos 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.

ESTUDIO DE LAS ONDAS.

Todos hemos visto oscilar un péndulo, pero nunca nos hemos preguntado ¿qué pasará si le modificamos la longitud de la cuerda o de la varilla? Hemos arrojado piedras al agua y hemos visto las ondas que forman las piedras al chocar con el agua, hemos escuchado cómo cambia el sonido cuando un cuerpo se acerca o se aleja de nosotros. Todos sin excepción hemos tenido experiencias similares 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.

4.- Calcular la longitud de onda, a partir de los datos apropiados.

5.- Diferenciar entre onda longitudinal y onda transversal.

6.- Explicar ampliamente el efecto doppler.

7.- Explicar por qué es importante la interferencia.

PROCEDIMIENTO.

1.- Lee en forma general el capítulo I.

2.- Subraya lo más importante del capítulo.

3.- Extracta las definiciones del capítulo.

4.- Realiza un resumen del capítulo.

5.- Escribe en una cartulina las ecuaciones de longitud, frecuencia y frecuencia en un péndulo.

6.- Analiza detenidamente los problemas resueltos del capítulo y resuelve los que no lo están.

NOTA:
Es pre-requisito entregar completamente resueltos los problemas nones de la autoevaluación en hojas tamaño carta.

Cuerpo Vibrante — Ondas transversales
Mov. armónico simple — Cresta
Frecuencia — Valle
Periodo — Impulso
Amplitud — Periodicidad
Desplazamiento o elongación — Longitud de onda
Oscilación o ciclo — Efecto Doppler
Vibración forzada — Interferencia
Resonancia — En fase
Ondas Longitudinales — Interferencia destructiva
Condensación o compresión — Oposición de F
Dilatación o rarefacción

CAPITULO I.

ESTUDIO DE LAS ONDAS.

Todos hemos observado un péndulo de reloj y hemos visto que este 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.

1.1 MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE.

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

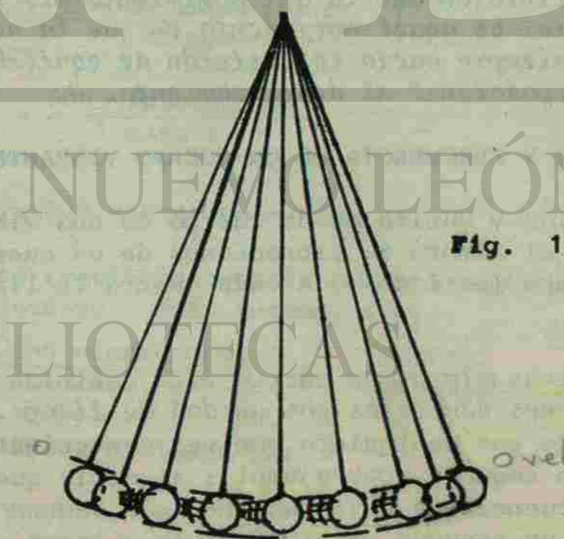


Fig. 1.

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.

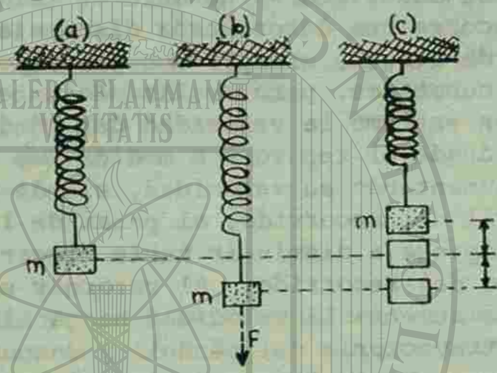


Fig. 2.

En el caso del resorte, éste está sometido a una fuerza de restitución, que es directamente proporcinal 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.*

1.2 PERIODO 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 de--cir que en un segundo completó x vibraciones completas. Ahora,

si queremos conocer el tiempo que tarda una vibración, basta con dividir la unidad o 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 tnato, es lo inverso que la frecuencia:

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

Ejemplo1. 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:

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

$$= \frac{600 \text{ vibraciones}}{1 \text{ minuto}} \qquad (2)$$

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

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

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

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

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:

No. = 40,000 vibraciones
= 40,000 ciclos

T = 1 min. = 60 seg.

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

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

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

$$= 0.66667 \text{ kciclos/seg.}$$

$$T = 1/f$$

$$T = \frac{1}{666.67 \text{ ciclos/seg}}$$

$$= 0.0015 \text{ seg/ciclos}$$

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 1-1 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:

$$\boxed{f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g/\ell}} \qquad (3)$$

Así tenemos que el período para un péndulo será:

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

de donde:

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\ell/g}} \qquad (4)$$

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 m

g = 9.8 m/seg^2

Por la ecuación (3), tenemos:

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

Sustituímos los datos:

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

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

$$= 0.643/seg$$

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

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

Sustituyendo datos:

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

$$T = 1.554\ seg$$

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 el sistema M.K.S.

1.3 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 obscuro 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 *sinusoide o senoide* porque es similar a la gráfica de la función trigonométrica seno.

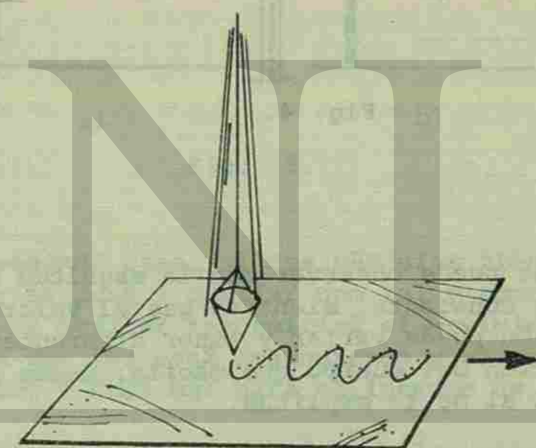


Fig. 3. En esta gráfica se verá el valor variable de las elongaciones del péndulo según cambia el tiempo. Como se nota en la figura 4 donde se ilustra una onda senoide con las distancias de amplitud y elongación indicadas como "a" y "e" respectivamente.

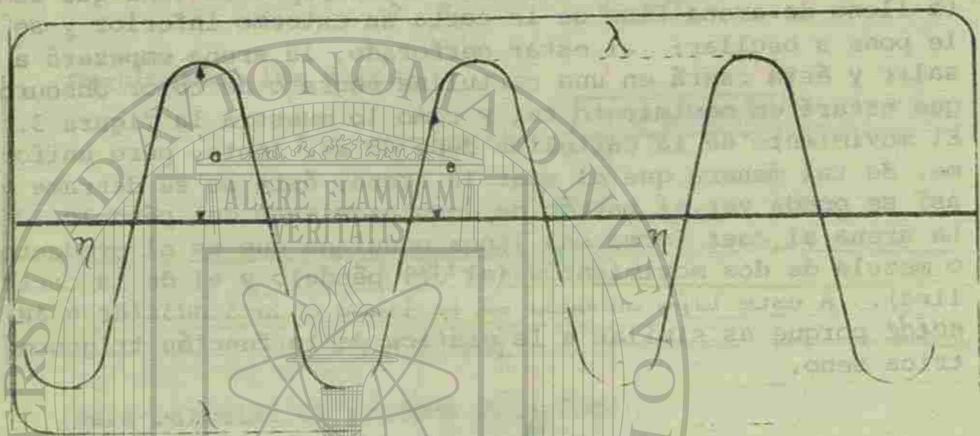


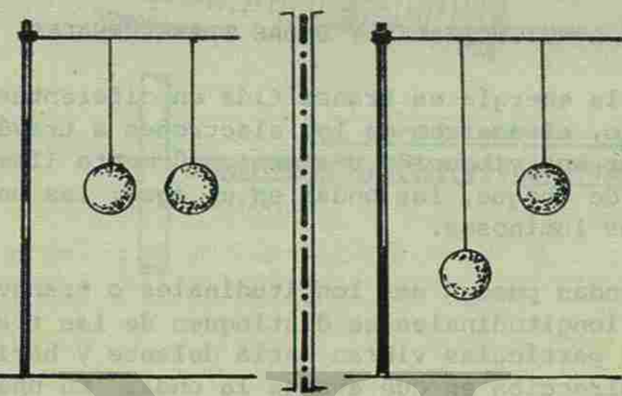
Fig. 4.

También se puede observar que la magnitud de la ampli--tud 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.

1.4 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 fre-cuencia 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 trasmitida de un cuerpo a otro.



a) b)

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 impul--san en el momento oportuno, aumentarán la frecuencia del co-lumpio y éste aumentará su velocidad, pero si fallan en el impulso reducirán considerablemente tanto la velocidad como la frecuencia del columpio.

Cuando 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 fre-cuencia 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 se le llama *resonancia.*

1.5 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 1.7.

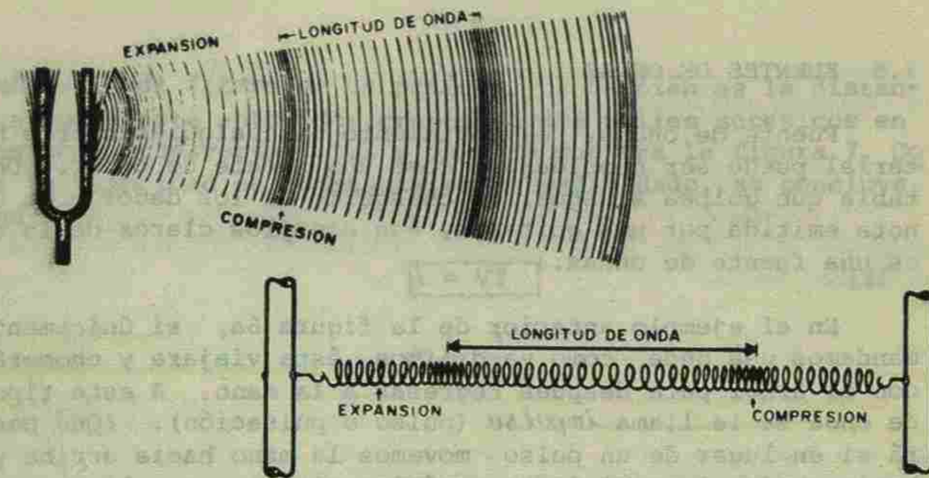


Fig. 5.

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*.

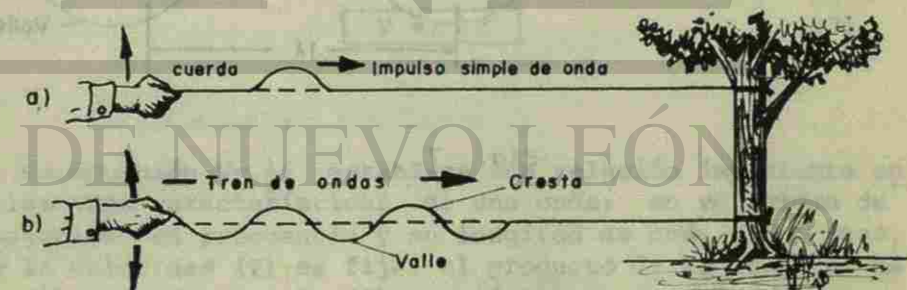


Fig. 6.

1.6 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 viajara 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*.

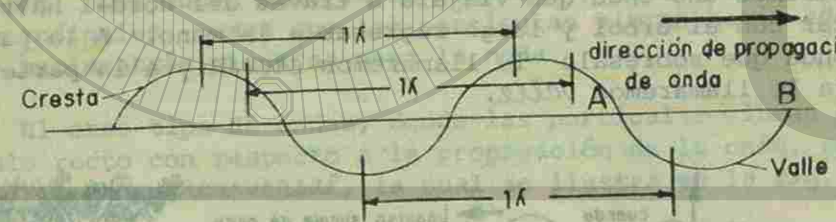


Fig. 7.

1.7 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 sucesicos en una onda transversal, tal y como lo muestra la figura 7. Como la velocidad es constante en un medio dado, se concluye que:

$$\boxed{\lambda = VT} \qquad (5)$$

y como: $T = \frac{1}{f}$

Sustituyendo en la ecuación 5, tenemos:

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

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

Despejando V, nos queda:

$$\boxed{V = \lambda f} \qquad (7)$$

La ecuación V= λf 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 tiene 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=λf, es que se aplica por igual a todas las ondas de radiodifusión, 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 calcular el problema.

Datos:

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

$$V = 3\text{x}10^5 \text{ Km/seg}$$

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

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 5, despejamos λ :

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

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

$$= 4.38 \times 10^2 \text{ m/ciclo}$$

$$= 434.8 \text{ m/ciclo}$$

o sea, que por cada ciclo, la onda recorre 43.4.8 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 (5), tenemos:

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

$$= \frac{340 \text{ m/ciclo}}{1.3\times10^{5} \text{ m/seg}}$$

$$= 2.615 \times 10^{-3} \text{ seg/ciclos}$$

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

b) De la ecuación (7), tenemos:

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

$$= \frac{1.3 \times 10^{5} \text{ m/seg}}{340 \text{ m/ciclo}}$$

$$= 3.823 \times 10^{2} \text{ ciclos/seg}$$

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

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

$$f = 3.824\times10^{2} \text{ ciclos/seg} \times \frac{1 \text{ Kc}}{10^{3} \text{ ciclos}}$$

$$= 0.3824 \text{ Kc/seg.}$$

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

De la ecuación (3):

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{despejando } f$$

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{sustituyendo los datos}$$

$$f = \frac{1}{2.615\times10^{-3} \text{ seg/ciclo}}$$

$$= 3.824 \times 10^{2} \text{ ciclos/seg.}$$

1.8 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*.

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.

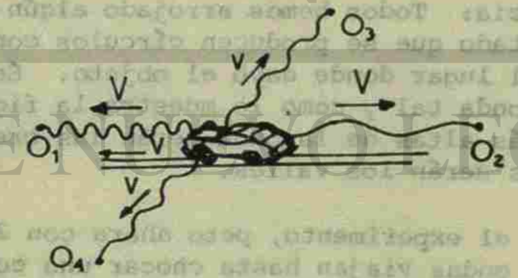


Fig. 8.

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 movi-- miento relativo entre la fuente y el receptor, se llama - - *efecto doppler.*

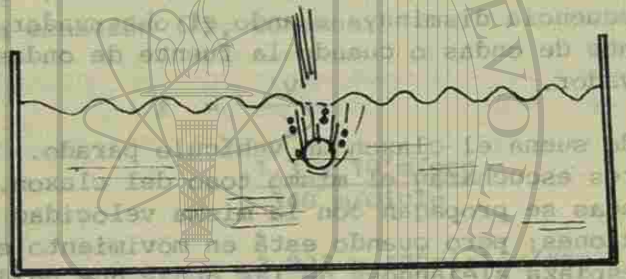


Fig. 9.

1.9 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. Éstos círcu- los tienen una onda tal y como lo muestra la figura 9 don- de 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 cier- tos sitios en que parecen anularse. Si se miden las ondas en los lugares donde no se anulan, se encontrarán las cres tas más altas que las de una onda sola. Cuando se combi-- nan dos o más ondas nos da una amplitud diferente a cual-- quiera 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 combina ción 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 em-- palmada con la cresta de otra onda y los valles de ambas es tán también empalmados, a este fenómeno se le llama que "*están en fase*".

Por otro lado también hay ondas que se encuentran com- binadas de tal manera que las crestas de una onda, están so bre los valles de la otra, si las ondas son de la misma am- plitud 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 on- das 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 cres tas de una sobre los valles de la otra estarán desfasadas 180° o en "*oposición de fase*".

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

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

Datos:

f= 200 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 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 m
g= 9.8 m/seg^2

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

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

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

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 m/seg^2).

Datos:

T= 1 seg/ciclo
g= 9.8 m/seg

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

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

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

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

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

$$= 0.248 \text{ m}$$

Por lo que la longitud de la cuerda resulta ser de 0.248 m, que transformada a centímetros será:
ℓ= 0.248 m (100 cm/m) = 24.8 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 Kc/seg
λ= 500 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:

$$V = \lambda f$$
$$= 500 \text{ m/ciclo}(6\times10^5 \text{ ciclo/seg})$$
$$= 3000^5 \times 10 \text{ m/seg}$$
$$= 300{,}000{,}000 \text{ m/seg} \quad \text{ó}$$
$$3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

Así, la velocidad de las ondas de radio es de 3×10^8 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= 331m/seg
f= 600 Kc

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

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

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 0.55×10^{-3} 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 3×10^8 m/seg?

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:

$\lambda = 1000$ m/ciclo

V= 3x10 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:

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

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

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 1/seg, f= 0.498/seg o en el problema 4, T= 1 seg/ciclo puede escribirse simplemente como T= 1 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.

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO I.

1.- Un cuerpo tiene una frecuencia de 3000 ciclos/seg. ¿Cuál será su período?
{$T= 3.33x10^{-4}$ seg/ciclo}

2.- Si la frecuencia de una onda es de $3x10^{6}$ ciclos/seg, ¿cuál será el valor de su período?
{$T= 0.33x10^{-6}$ 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 = $166.66x10^{-3}$ Kc/seg}

4.- Calcular la frecuencia de un diapasón 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?
{ ℓ= 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.
{ ℓ= 0.1048 m = 10.48 cm}

9.- Si se construye un péndulo que oscile 6 veces cada segundo, ¿qué longitud deberá tener la cuerda?
{ ℓ= 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?
{ℓ=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.
{ℓ= 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?
{λ= 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?
{λ= 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?
{$T= 7.5x10^{-4}$ seg/Kc = $7.5x10^{-7}$ seg/ciclo}

17.- ¿Cuál será la longitud de onda del problema anterior?
{λ= 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= $0.75x10^{12}$ ciclos/seg = 0.75 $x10^{9}$ 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?
{λ= 3000 m/ciclo}

20.- Si la radiodifusora X.E.N.L. transmite con una frecuencia de 860 Kc, ¿cuál será su longitud de onda y so período?
{ a) λ = 348 m/ciclo, b) T= 1.16×10^{-6} seg/ciclo}

S O N I D O.

Conociendo la velocidad de propagación del sonido en el aire, puede recurrirse a ella para medir la distancia hasta un punto inaccesible. Este principio es usado comúnmente entre los excursionistas para medir la distancia que existe entre un cerro y otro. Por ejemplo, cuando grita alguien del grupo, otro excursionista chaca en su reloj el segundo exacto en que se produce el grito. Auxiliándose del eco que producen las montañas, el sonido del grito regresará hasta la parte desde donde fue lanzado y tomará un tiempo determinado para regresar. Al tiempo empleado por el sonido para ir y regresar se divide entre dos y ese será el tiempo empleado para recorrer la distancia que se quiere conocer. Este tiempo se multiplica por la velocidad del sonido y se obtiene la distancia entre el observador y la montaña.

OBJETIVOS.

1.- Definir los términos, conceptos, principios y leyes incluidos en este capítulo.

2.- Explicar por qué el sonido no se propaga en el vacío.

3.- Explicar cómo se propagan las ondas sonoras en las diferentes sustancias.

4.- Calcular a partir de datos apropiados, la velocidad del sonido.

5.- Explicar ampliamente los conceptos de difracción y refracción del sonido.

6.- Escribir el intervalo aproximado de frecuencias de sonido que es percibido por el oído humano.

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?
{λ= 3000 m/ciclo}

20.- Si la radiodifusora X.E.N.L. transmite con una frecuencia de 860 Kc, ¿cuál será su longitud de onda y so período?
{ a) λ = 348 m/ciclo, b) T= 1.16×10^{-6} seg/ciclo}

S O N I D O.

Conociendo la velocidad de propagación del sonido en el aire, puede recurrirse a ella para medir la distancia hasta un punto inaccesible. Este principio es usado comúnmente entre los excursionistas para medir la distancia que existe entre un cerro y otro. Por ejemplo, cuando grita alguien del grupo, otro excursionista chaca en su reloj el segundo exacto en que se produce el grito. Auxiliándose del eco que producen las montañas, el sonido del grito regresará hasta la parte desde donde fue lanzado y tomará un tiempo determinado para regresar. Al tiempo empleado por el sonido para ir y regresar se divide entre dos y ese será el tiempo empleado para recorrer la distancia que se quiere conocer. Este tiempo se multiplica por la velocidad del sonido y se obtiene la distancia entre el observador y la montaña.

OBJETIVOS.

1.- Definir los términos, conceptos, principios y leyes incluidos en este capítulo.

2.- Explicar por qué el sonido no se propaga en el vacío.

3.- Explicar cómo se propagan las ondas sonoras en las diferentes sustancias.

4.- Calcular a partir de datos apropiados, la velocidad del sonido.

5.- Explicar ampliamente los conceptos de difracción y refracción del sonido.

6.- Escribir el intervalo aproximado de frecuencias de sonido que es percibido por el oído humano.

7.- Definir lo que es la barrera del sonido y cuál es su velocidad.

8.- Enunciar los límites de frecuencia de los sonidos ultrasónicos y cuáles son sus aplicaciones.

9.- Diferenciar entre los conceptos: sonido musical y ruido.

10.- Describir los factores que determinan la frecuencia del sonido producido.

PROCEDIMIENTO.

1.- Lee en forma general el capítulo II.

2.- Subraya lo más importante del capítulo.

3.- Extracta las definiciones y analízalas ampliamente.

4.- Realiza un resumen del capítulo.

5.- Escribe en una cartulina las ecuaciones de la velocidad del sonido.

6.- Analiza detenidamente los problemas resueltos del capítulo y resuelve los que no lo están.

NOTA:

Es pre-requisito entregar completamente resueltos los problemas nones de la autoevaluación del capítulo en hojas tamaño carta.

CAPÍTULO II.

S O N I D O.

2-1 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.

2-2 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.

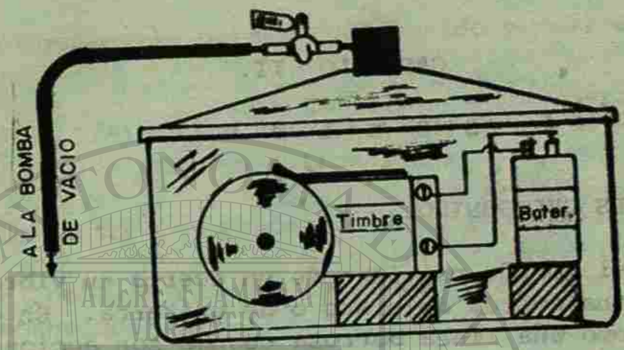


Fig. 1.

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.

2-3 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. Esto mismo sucede cuando en época de - lluvias vemos la luz de los relámpagos y después nos 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/°c. La fórmula que sirve para calcular la variación de la velocidad es:

$$\boxed{V = v_\circ + \psi\,\tau} \qquad (1)$$

donde V es la velocidad final del sonido, $v_\circ$ 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 0.61m/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 medidas en laboratorios para varias sustancias que se indican en la tabla 1.

Ejemplos: 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 $V = V_o + \Psi| \quad \tau$

Sustituyendo datos $= 331 \frac{m}{seg} + 0.61 m/seg°c\ (38°c)$

$= 354.18 m/seg$

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	1796[illegible]
Vidrio	5000	18000

Ejemplo 2. En una noche de lluvia se observó del 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 1, tenemos:

$V = v_o + \Psi| \quad \tau$

$= 331\ m/seg + 0.61 m/seg°c \times 20°c$

$= 343\ m/seg.$

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:

$$\boxed{d = vt} \qquad (2)$$

$= 343\ m/seg \times 15\ seg$

$= 5145\ m$

o sea, que el rayo cayó a una distancia de 5.145 Km. del observador.

Ejemplo 3. 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 2, tenemos:

$d = vt$

despejando $t = d/v$ en el agua.

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

$= 0.418\ seg.$

2-4 DIFRACCIÓN Y REFRACCIÓN 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 2.

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.

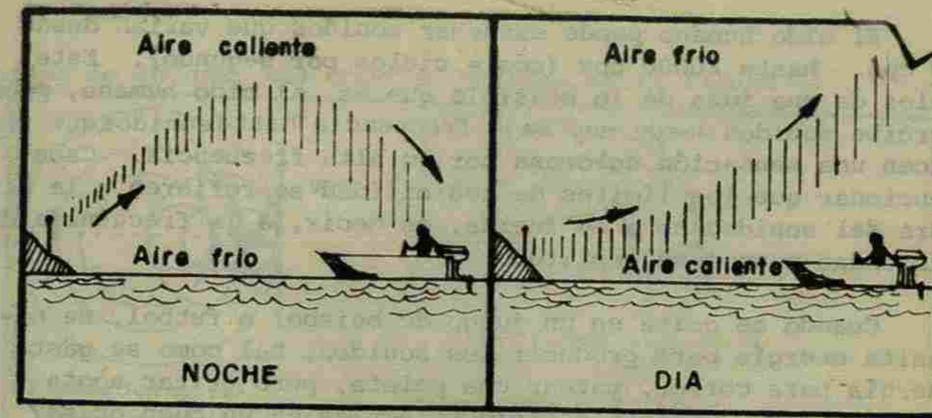


Fig. 2.

2-5 INTENSIDAD DEL SONIDO.

Existen tres características fundamentales de todos los sonidos:

OBJETIVA	SUBJETIVA
Intensidad	Sonoridad
Frecuencia	Tono
Forma de la onda	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 altura del sonido, no a su fuerza, es decir, a la frecuencia de las ondas y no a su amplitud.

Cuando se grita en un juego de beisbol o futbol, se necesita energía para producir los sonidos, tal como se gasta energía para correr, patear una pelota, pero gritar agota energía por sí mismo. ¿Cuánta energía se emplea en un buen grito? Los científicos han encontrado que con un grito, se lanza 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.

2-6 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 3.

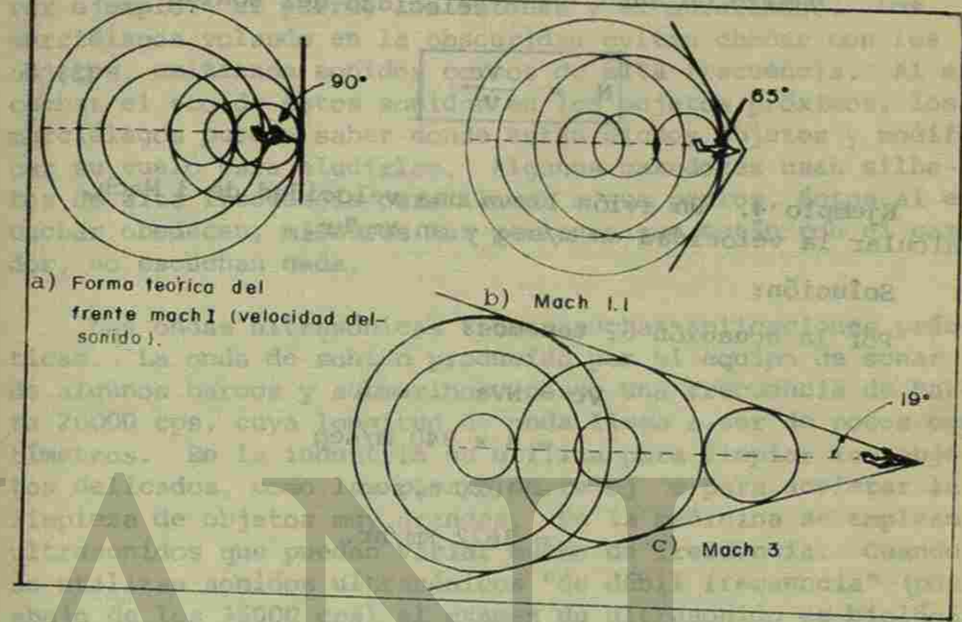


Fig. 3.

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 ex-- tremos 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 3b y 3c. 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 3a.

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:

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

$$\boxed{N = \frac{Vc}{Vs}} \qquad (3)$$

Ejemplo 4. Un avión lleva una velocidad de 3 Mach. Calcular la velocidad en m/seg y en Km/hr.

Solución:

Por la ecuación 3, tenemos:

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

2-7 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 este o no. El tono por otro lado es una caracteristica 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 silba-- tos 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 radioscopía 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 espe-- cial 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 la técnica modernas tienen medios de produ-
cir "sonidos silenciosos" cuyas frecuencias son mucho mayo--
res 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 ultra
sónicas se basa en la propiedad que tienen las láminas de --
cristal de cuarzo cortadas de una manera especial, de electri
zarse superficialmente cuando se comprimen (piezo electrici-
dad). Por el contrario, si las superficies de una de estas
láminas se cargan periódicamente, bajo la acción de las car-
gas eléctricas la placa se contrae y se dilata sucesivamente,
es decir, vibra. Así se producen las vibraciones ultrasóni-
cas. La lámina se carga con un generador de haz electrónico
como los que se usan en radiotecnia cuya frecuencia se regu-
la de acuerdo con el llamado período propio de las vibracio-
nes 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, co
mo la cerámica de titanato de bario.

Aunque los ultrasonidos son silenciosos para nosotros,
su acción se revela por medio de otras manifestaciones bas-
tante apreciables. Así, por ejemplo, si una lámina vibrante
se sumerge en una vasija de aceite, en la superficie del lí
quido 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 quema
dura. Si el extremo del tubo que se haya en estado vibrato-
rio 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 ul
trasonoras se emplean en medicina; los ultrasonidos compar--
ten de esta forma la suerte de los rayos ultravioleta invisi
ble sirviendo de agentes terapéuticos.

El ultrasonido se utiliza muy eficazmente en la metalur
gia para describir heterogeneidades, sopladuras, grietas y
otros defectos que pueda haber dentro del metal. El procedi
miento que se sigue para obtener la "radiografía" ultrasono-
ra del metal consiste en lo siguiente: el metal que se ensa
ya, se moja en aceite y se somete a la acción de las vibracio
nes ultrasonoras; las partes no homogéneas del metal difun--
den 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 transparen--
cia capas metálicas de más de un metro de espesor, cosa impo
sible de realizar con los rayos X, con la particularidad de
que pueden descubrirse fallas muy pequeñas (de hasta 1 mm).

2-8 SONIDOS MUSICALES CARACTERÍSTICOS.

Cuando un objeto cae o se rompe, produce un sonido ins-
tantáneo. Este sonido son las vibraciones producidas por el
cuerpo y que son captados por el oído. Estas vibraciones no
siguen un patrón común, o sea que son vibraciones desordena-
das. A este tipo de sonidos producidos por vibraciones de--
sordenadas se les llama *ruido* . Cuando suena un instrumento,
éste produce ondas bien ordenadas y con una frecuencia deter
minada. El oído percibe como un tono preciso. A este tipo
de sonidos se les llama *sonidos musicales*. El oído por lo
tanto, no tiene dificultad para distinguir un sonido musical

de un ruido. Además el sonido musical produce una sensación agradable al oído y un ruido produce una sensación desagradable.

Una de las características que difieren a los sonidos,es el *timbre*. Así por ejemplo, dos sonidos pueden tener la misma amplitud y la misma frecuencia, pero se escuchan diferentes. Ejemplo más claro, cuando los integrantes de un conjunto musical afinan sus instrumentos musicales al mismo tono. Sin embargo, se oyen diferentes. No se necesita tener un oído muy educado para distinguir los diversos instrumentos así como las voces de nuestros amigos. Todos podemos distinguir sus voces debido a sus diferentes timbres. En realidad, la música sería terriblemente monótona y no tendría sentido recurrir a diferentes instrumentos musicales si todos ellos tocasen de manera indistinguible, la misma nota.

El hecho de que todos los instrumentos de un grupo musical den la misma nota, físicamente producen la misma vibración fundamental, pero diferentes armónicos. Se llama *nota fundamental* a la vibración más lenta que es la que el oído percibe como nota del instrumento. Se llaman *armónicos* a las notas cuyas frecuencias son múltiples de la nota fundamental. Por ejemplo, supongamos que la frecuencia del tono fundamental es de 60 cps, entonces la vibración en 2 segmentos es de 120 cps y será un tono más alto llamado *segundo armónico* . La vibración con tres segmentos será de 180 cps y será el *tercer armónico* .

El timbre de un sonido depende del número y amplitud relativa de sus armónicos. Los armónicos desde el número 2 en adelante, se llaman en general *sobretonos* . El segundo armónico será el primer sobretono, el tercer armónico será el segundo sobretono y así sucesivamente hasta el quinto armónico.

Si observamos las cuerdas de una guitarra, nos damos cuenta de que unas son más gruesas que otras y que unas son más pesadas que otras. Al afinar la guitarra son tres los factores que determinan la frecuencia del sonido producido

por una cuerda.— longitud, masa — tensión — y siguen ciertas leyes:

1.- A menor longitud mayor frecuencia. La localización de los trastos de una guitarra indica la relación sencilla pero importante de las longitudes de las cuerdas usadas para diferentes tonos.

2.- Cuanto mayor sea la tensión de la cuerda, mayor será la frecuencia. Por supuesto un guitarrista la afina, aflojando y sestirando las cuerdas.

3.- Cuanto más pesada sea la cuerda, menor será la frecuencia. En una guitarra o en cualquier instrumento de cuerdas, se encontrará que las cuerdas que emiten las más bajas frecuencias son las más pesadas.

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

1.- 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 m
t= 25°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:

$$v = v_{\circ} + \psi t$$

donde $\psi = 0.61$ m/seg°C

y sustituyendo

$$v = 331 \text{ m/seg} + 0.61 \text{ m/seg°C}(25°C)$$
$$= 331 \text{ m/seg} + 15.25 \text{ m/seg}$$
$$= 346.25 \text{ m/seg}$$

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 $d = vt$

y sustituyendo

$$t = d/v$$
$$= \frac{180 \text{ m}}{346.25 \text{ m/seg}}$$

obtenemos:

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

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

2.- 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 $= 4990$ m/seg (20 seg)

obtenemos $= 99{,}800$ m

Transformando la distnacia 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.

3.- En la figura 3 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 (Vs). Con la siguiente fórmula podemos obtener la velocidad del cuerpo , o del avión en este caso (Vc).

$$N = Vc/Vs$$

despejando $Vc = NVs$

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

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

Transformando $V = 374$ m/seg a Km/hr, tenemos:

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

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

4.- 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:

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

y sabemos que la velocidad del sonido es:

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

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

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

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

Sustituyendo en la fórmula:

$$N = Vc/Vs$$

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

$$= 0.8167$$

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

NOTA:

En el problema No. 2, no utilizamos la fórmula $v = v_o + \psi t$ ($\psi = 0.61$ m/seg°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.

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO 2.

1.- Un petardo se encuentra a 662 m de distancia de un ob-- servador. 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}

2.- Un cañón dispara un proyectil a un blanco que está si-- tuado 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}

3.- 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, d= 2000.64 m}

4.- Un leñador que está en la montaña golpea su hacha y 1.2 seg déspués 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}

5.- Un tubo 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?
{a) t= 0.974 seg, b) t= 1.002 seg}

6.- 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}

7.- 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?
{t= 0.28 seg}

8.- 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 radioescucha 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).
{El radioescucha (t = 0.0601 seg, t = 1.51 seg}

9.- 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= 0.3758 seg}

10.- Un barco pasa a 940 m de un buzo que se encuentra su-- mergido bajo el agua. a) ¿Cuánto tiempo tardará en llegarle el sonido? b) Si el buzo sale a la superfi-- cie y escucha los motores del barco en el aire, ¿cuánto tiempo tardará nuevamente en llegarle los sonidos si la temperatura es de 22°C?
{a) t= 0.655 seg, b) t= 2.73 seg}

11.- Un cohete despega de su base con una velocidad de 1250 m/seg. ¿Cuál será su velocidad mach? (Suponer como velocidad del sonido = 340 m/seg).
{N= 3.67}

12.- Un auto de carreras toma una recta con una velocidad de 320 Km/hr. ¿Cuál será su velocidad mach?
(V sonido = 340 m/seg).
{N= 0.26}

13.- Un avión de reacción se desplaza con una velocidad de 1230 Km/hr. ¿Cuál será la velocidad mach del avión?
{N= 1.005}

14.- Si el automóvil Mustang Mach-1 corriera a esa velocidad, ¿cuánto valdría su velocidad a) en m/seg, b) en Km/hr?
{a) v= 340 m/seg, b) v= 1224 Km/hr}

15.- Un cuerpo se encuentra desplazándose en la atmósfera a una velocidad de 60 mach. ¿Qué velocidad posee ese cuerpo?
{v= 20,400 m/seg = 73,440 Km/hr}

ESTUDIO DE LA LUZ.

La visibilidad depende de la acción de los cuerpos sobre la luz. Sabemos que los cuerpos pueden absorber, refractar o reflejar la luz. Si un cuerpo no absorbe, ni refleja, ni refracta la luz, no puede ser visto; así que si introducimos un trozo de vidrio en agua o mejor aún, en un líquido más denso que el agua, veremos que desaparece casi por completo porque la luz que incide sobre él a través del agua se refracta y refleja muy débilmente.

OBJETIVOS.

1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes incluidos en este capítulo.

2.- Calcular, a partir de datos apropiados, la iluminación y la intensidad luminosa de una fuente.

3.- Calcular e interpretar el índice de refracción.

4.- Explicar por qué se refracta la luz que nos llega del sol.

5.- Escribir entre qué intervalo de longitudes de onda, tanto en milimicras y angstroms se encuentra el campo de la luz visible.

6.- Enlistar y diferenciar los tipos de espectros.

7.- Explicar la diferencia que existe entre los colores complementarios y los colores secundarios.

8.- Establecer el orden de mayor o menor longitud las siguientes radiaciones: infrarrojos, ondas de radio, ultravioleta, luz visible y rayos X.

12.- Un auto de carreras toma una recta con una velocidad de 320 Km/hr. ¿Cuál será su velocidad mach? (V sonido = 340 m/seg).
{N= 0.26}

13.- Un avión de reacción se desplaza con una velocidad de 1230 Km/hr. ¿Cuál será la velocidad mach del avión?
{N= 1.005}

14.- Si el automóvil Mustang Mach-1 corriera a esa velocidad, ¿cuánto valdría su velocidad a) en m/seg, b) en Km/hr?
{a) v= 340 m/seg, b) v= 1224 Km/hr}

15.- Un cuerpo se encuentra desplazándose en la atmósfera a una velocidad de 60 mach. ¿Qué velocidad posee ese cuerpo?
{v= 20,400 m/seg = 73,440 Km/hr}

ESTUDIO DE LA LUZ.

La visibilidad depende de la acción de los cuerpos sobre la luz. Sabemos que los cuerpos pueden absorber, refractar o reflejar la luz. Si un cuerpo no absorbe, ni refleja, ni refracta la luz, no puede ser visto; así que si introducimos un trozo de vidrio en agua o mejor aún, en un líquido más denso que el agua, veremos que desaparece casi por completo porque la luz que incide sobre él a través del agua se refracta y refleja muy débilmente.

OBJETIVOS.

1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes incluidos en este capítulo.

2.- Calcular, a partir de datos apropiados, la iluminación y la intensidad luminosa de una fuente.

3.- Calcular e interpretar el índice de refracción.

4.- Explicar por qué se refracta la luz que nos llega del sol.

5.- Escribir entre qué intervalo de longitudes de onda, tanto en milimicras y angstroms se encuentra el campo de la luz visible.

6.- Enlistar y diferenciar los tipos de espectros.

7.- Explicar la diferencia que existe entre los colores complementarios y los colores secundarios.

8.- Establecer el orden de mayor o menor longitud las siguientes radiaciones: infrarrojos, ondas de radio, ultravioleta, luz visible y rayos X.

9.- Calcular la frecuencia de un rayo de luz de cualquier color, conociendo su longitud de onda.

PROCEDIMIENTO.

1.- Realiza una lectura en forma general del capítulo III, para que sepas el tema a tratar.

2.- Subraya lo más importante del capítulo.

3.- Extracta las definiciones y analízalas ampliamente.

4.- Realiza un resumen del capítulo.

5.- Escribe en una cartulina las ecuaciones de: la iluminación, índice de refracción y longitud de onda.

6.- Analiza detenidamente los problemas resueltos del capítulo y resuelve los que están en la autoevaluación.

NOTA:

Es pre-requisito entregar completamente resueltos los problemas nones de la autoevaluación del capítulo III en hojas tamaño carta.

CAPÍTULO III.

ESTUDIO DE LA LUZ.

3-1 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.

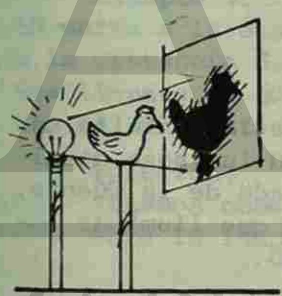


Fig. 1.

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.

Cuando alejamos la pantalla notamos que la imagen producida en ésta no es tan nítida como cuando está cerca de la imagen, esto se debe a que al alejar la pantalla aparecen dos regiones muy definidas, una región muy obscura llamada *sombra* y la otra que está en los contornos de la sombra y que se le llama *penumbra*.

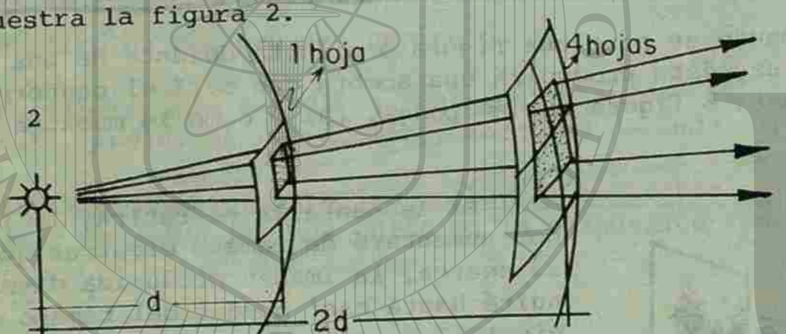
3-2 INTENSIDAD LUMINOSA

Un término muy empleado para especificar la luz total emitida por una lámpara, es la bujía. Esta es una unidad que usan los científicos como medida de luminosidad o intensidad (I) de una fuente luminosa.

Los focos modernos construidos con filamento de wolframio nos proporcionan aproximadamente un poco más de 1 bujía por watt de potencia,"por ejemplo una lámpara de 60 watts - tiene una intensidad (I) luminosa de 66 bujías.

En el libro anterior en el capítulo 3 se mencionó que la potencia es la energía (trabajo) por unidad de tiempo. La unidad de potencia de emisión de las fuentes luminosas es el *lumen*. Vamos a imaginarnos una fuente de una bujía que envía energía en proporción constante en todas direcciones, si se corta una abertura de 1 m^2 en una pantalla de cartón y se mantiene a un metro de distancia de la fuente, un flujo luminoso de un lumen pasará a través de esa abertura tal y como lo muestra la figura 2.

Fig. 2



Ahora bien, si la fuente la alejamos de la pantalla un poco más, nos damos cuenta que la intensidad luminosa disminuye, esto se debe a que al estar más retirada de la fuente, los rayos de ésta se dispersan más y tienen que iluminar toda el área nueva con el mismo flujo luminoso.

Este fenómeno es muy notable cuando estudiamos en una - mesa, si tenemos una lámpara cercana a la parte donde estamos escribiendo notamos que el flujo luminoso está concentrado en la parte donde queremos que esté iluminada, pero ¿ qué pasa si esa lámpara la empezamos a retirar ? Lo que pasa es que conforme se va retirando la iluminación va disminuyendo, o sea que se cubre más área, por ejemplo, cuando estudiamos en la mesa del comedor de nuestra casa con una lámpara cercana, ésta tendrá una intensidad más fuerte que las lámparas - que iluminan dicha pieza. Esto se debe a que la iluminación que recibe cada unidad de área es proporcional a la intensidad luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la - distancia que existe entre la fuente luminosa y la superficie iluminada.

Esta explicación es conocida normalmente con el nombre de *ley inversa del cuadrado o ley de la iluminación*. Expresada matemáticamente, tenemos:

$$\boxed{\text{Iluminación} = \frac{\text{intensidad de la fuente}}{(\text{ distancia })^2}} \qquad (1)$$

$$\boxed{E = \frac{I}{d^2}}$$

donde E es la iluminación sobre una superficie perpendicular a los rayos de la luz, a la distancia (d) de la fuente de intensidad (I). Si la intensidad luminosa está expresada en - bujías y d en metros, entonces (E) se expresará en lúmenes/ metro cuadrado; esta unidad también se llama *lux* o *bujía-metro*. Así el lux puede definirse como la iluminación que recibe una superficie perpendicular a los rayos luminosos que se encuentre a la distancia de 1 m de una fuente de luz de una bujía.

Ejemplo 1. Comparar la iluminación de una lámpara de - 50 watts a la distancia de 1 m con dos lámparas de 100 watts a la distancia de 6m.

Una lámpara de 50 watts tiene una intensidad de 55 bujías y una de 100 watts tiene una intensidad de 125 bujías.

Solución:

Tenemos como datos:

Para la lámpara de 50 watts

I_1 = 55 bujías

d_1 = 1 m.

Para la lámpara de 100 watts:

I_2 = 125 bujías

d_2 = 6 m.

Como son 2 lámparas de 100 watts las que van a proporcionar la iluminación, entonces la intensidad se debe multiplicar por dos:

$$I_{2,3} = 2(125 \text{ bujías}) = 250 \text{ bujías}$$

$$d_{2,3} = 6 \text{ m}$$

La iluminación de la lámpara de 50 watts será:

$$E_1 = \frac{I_1}{(d_1)^2} = \frac{55 \text{ bujías}}{(1\text{m})^2} = 55 \text{ lux}$$

De las lámparas de 100 watts, obtenemos una iluminación de:

$$E_{2,3} = \frac{I_{2,3}}{(d_{2,3})^2} = \frac{250 \text{ bujías}}{(6 \text{ m})^2} = 6.94 \text{ lux}$$

Por lo que una lámpara de 50 watts proporciona una iluminación $E_1 = 55$ lux y dos lámparas de 100 watts proporcionan una iluminación $E_{2,3} = 6.94$ lux. La razón de esto es que las lámparas de 100 watts se encuentran más alejadas de la superficie iluminada.

Ejemplo 2. Calcular la intensidad luminosa de una lámpara que proporciona una iluminación de 8 lux a una superficie que se encuentra a una distancia de 10 metros. ¿Cuál será la potencia de la lámpara expresada en watts?

Solución:

$E = 8$ lux
$d = 10$ m

Por la ley inversa del cuadrado o ley de la iluminación:

$$E = I/d^2$$

despejando: $I = Ed^2$

sustituyendo: $= 8 \text{ lux } (10 \text{ m})^2$

$= 800$ bujías

En la tabla 1 se dan algunos valores de intensidad luminosa para lámparas de diferentes potencias.

T A B L A 1.

Entrada watts	Salida bujías	Salida (lúmenes)	Eficiencia (lúmenes/watt)
25	20.7	260	10.4
50	55.0	695	13.9
100	125	1580	15.8
200	290	3640	18.2
500	800	10050	20.1
1000	1640	20700	20.7

Podemos encontrar, por medio de la tabla, que la lámpara del ejemplo 2, la cual tiene una intensidad luminosa de 800 bujías, es de 500 watts de potencia.

Actualmente, se construyen aparatos que pueden medir directamente la intensidad luminosa, la mayoría emplean una célula fotoeléctrica de una y otra clase y se clasifican como *iluminómetros*, son muy usados tanto en fotografía como en las estaciones televisoras. Los experimentos, como ya se dijo, miden directamente la intensidad luminosa ya que poseen la célula fotoeléctrica que capta la energía luminosa y la transforma en energía eléctrica; ésta es medida por un aparato que está integrado en el exposímetro marcando por medio de una aguja sobre una carátula graduada tal y como lo muestra la figura 3.

3-3 LEY DE LA REFLEXIÓN.

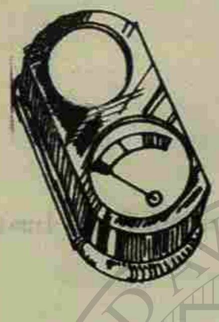


Fig. 3.

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 4 se ilustra cómo debe estar colocada la normal y cómo deben de ser los ángulos (en referencia) con respecto a la normal.

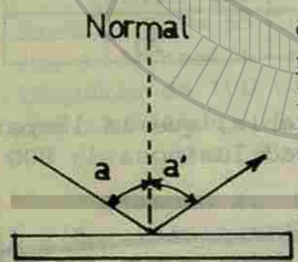


Fig. 4.

La segunda parte de esta ley establece que el rayo reflejado se encuentra en el plano de incidencia, que se define como el plano que contiene el rayo incidente; la normal y el rayo reflejado están situados en el mismo plano.

3-4 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 A. H.L. 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.

3-5 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:

$$\boxed{\text{Indice de refracción del medio} = \frac{\text{velocidad de la luz}}{\text{velocidad de la luz en el medio}}}$$

$$\boxed{\mu = \frac{c}{v}} \qquad (2)$$

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 2.

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 3. Calcular la velocidad de la luz si el índice de refracción del hielo es de 1.31.

Datos:

$$\mu = 1.31$$
$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

Solución:

sabemos que, $\mu = \dfrac{c}{v}$

despejando, $v = \dfrac{c}{\mu}$

sustituyendo datos $v = \dfrac{3 \times 10^8 \text{m/seg}}{1.31}$

$$= 2.29 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

3-6 REFRACCIÓN DE LA LUZ.

Cuando la luz cambia de un medio a otro, o sea que entre 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:

$$\boxed{\mu = \frac{\text{Sen } \theta}{\text{Sen } \phi}} \qquad (3)$$

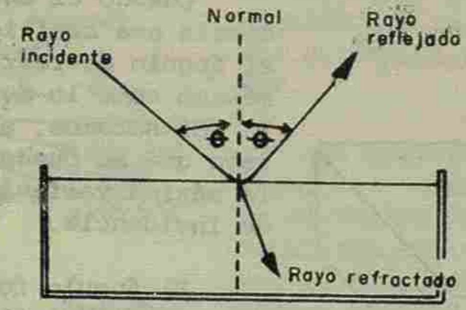


Fig. 5.

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 6.

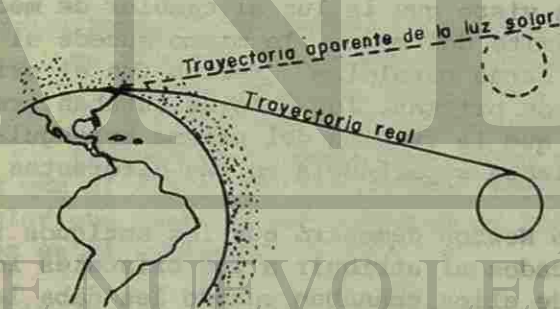


Fig. 6.

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 la cual incide un rayo de luz tal y como lo muestra la figura 7, si variamos el ángulo de incidencia θ , variará el ángulo de refracción.

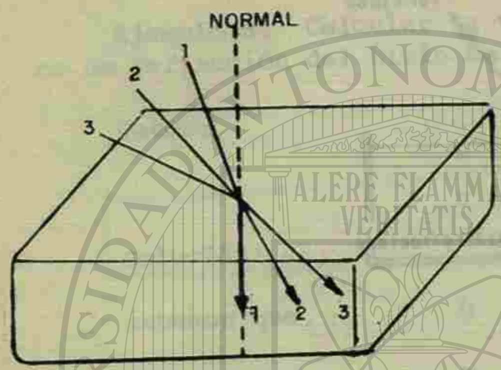


Fig. 7.

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*.

3-7 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.

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.

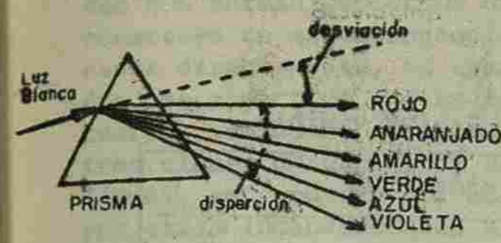


Fig. 8.

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.

3-8 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 es el violeta.

Las longitudes de ondas para la luz se miden en unidades Angstrom (A°) cuya equivalencia es la siguiente:

$$1 \text{ cm} = 10^{8} \text{ A°}$$

$$1 \text{ m} = 10^{10} \text{ A°}$$

En la tabla 3 se dan algunos valores de la longitud de onda de los colores del espectro de la luz. Este se extiende desde unos 4000 A° en el violeta hasta unos 7500 A° en el rojo.

TABLA 3. Espectro de la luz visible.

Color	Longitud de onda en A°
Violeta	4000 - 4500
Azul	5000 - 5700
Verde	5700 - 5900
Naranja	5900 - 6100
Rojo	6100 - 7500

Con los valores de la tabla 3 y la velocidad de la luz podemos calcular la frecuencia de cualquier calor.

Ejemplo 4. El color verde tiene una longitud de onda (límite superior) de 5700 A°. ¿Cuál será la frecuencia para este color?

Datos:

$$\lambda = 5700 \text{ A°}$$

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

Solución:
De la ecuación

$$v = \lambda f$$

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

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, (3×10^8 m/seg) , quedando:

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

Para estudiar los espectros, los científicos ultilizan 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*, este es otro espectro de emisión que 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, éste emitirá luz color roja, o sea que la mica tiene la propiedad de filtrar la luz, o sea que 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 cualesquier color.

En la figura 9 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.

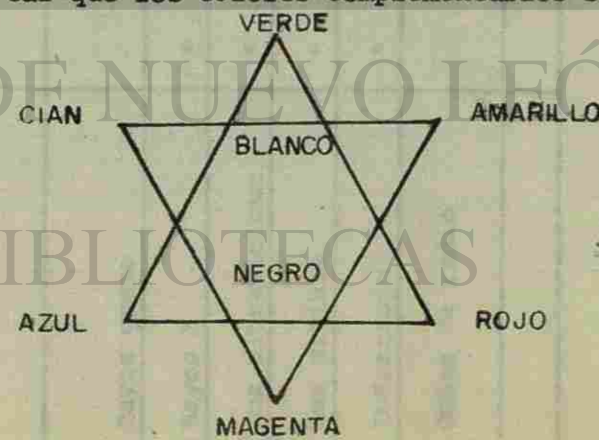


Fig. 9.

Para poder sustituir, los datos del problema, tenemos que transformar las unidades de la longitud de onda a metros:

$$= \frac{3 \times 10^{8} \text{ m/seg}}{5.7 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$= 5.26 \times 10^{14} \text{ /seg}$$

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 4. Espectro electromagnético.

Tipo de radiación	Longitud de onda en el aire o en el vacío (metros)	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 miles de m.	menos que 10^{13}

* Límite inferior.
** Límite superior.

La formación de los colores puede llevarse a cabo ya sea mezclando dos de los tres colores primarios en diversas proporciones, o colorantes de los colores secundarios en diferentes proporciones. La mezcla de luces se llama *mezcla aditiva de colores* porque es un proceso de suma de luces; mientras que la mezcla de colores es llamada *mezcla sustractiva* porque los colorantes absorben luz de todos los colores, excepto de su color, el cual reflejan, y en este sentido, el proceso es sustractivo.

La relación que guardan los colores queda perfectamente clara de la estrella. De acuerdo a ésta, si mezclamos aditivamente cualquier par de colores primarios en la misma proporción, obtenemos el complementario entre ellos y la mezcla de los tres da el blanco en el centro. Por otra parte, si mezclamos sustractivamente (mezcla de colorantes) cualquier par de coloranres secundarios en la misma proporción, obtenemos el primario aditivo entre ellos y la mezcla de los 3 da el negro.

Los colores se llaman *complementarios* porque la mezcla de luces de los colores opuestos produce luz blanca, o si iluminamos colorantes de *color secundario* con luz de su color opuesto en la estrella, obtenemos el negro.

Para una mayor comprensión de lo que se acaba de explicar, se incluye en la figura 10 un ejercicio que cada estudiante deberá realizar. Se trata de que cada uno coloree los círculos como se indica y mencione los colores que se forman; (se deberá obtener en el grupo de la derecha, una aproximación al negro y en el izquierdo un color parecido al blanco, ya que se trata de una mezcla sustractiva y una aditiva respectivamente).

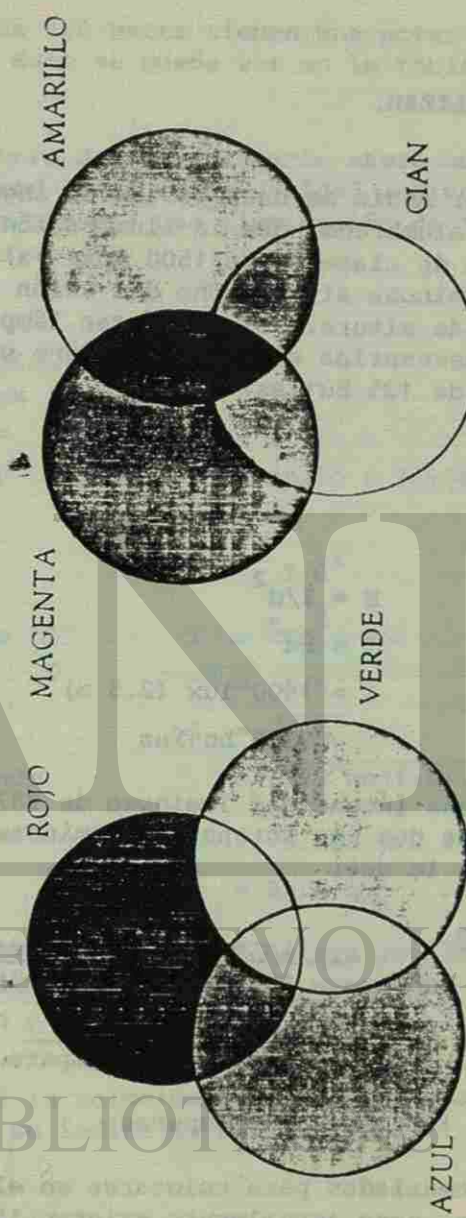


Fig. 10.

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

1.- Se obtiene por medio de unas tablas de ingeniería, de un manual de alumbrado, que la iluminación requerida para un salón de clase es de 1500 lux. a) Calcular la intensidad luminosa si el techo del salón se encuentra a 2.5 metros de altura. b) ¿Cuántas lámparas de 100 watts serán necesarias si cada una tiene una intensidad luminosa de 125 bujías?

Datos:

E= 1500 lux
d= 2.5 m
I= ?

$$E = I/d^2$$

despejando $I = Ed^2$

sustituyendo $I = 1500 \text{ lux } (2.5 \text{ m})^2$

$$= 9375 \text{ bujías}$$

Se necesita una intensidad luminosa de 9375 bujías y tenemos lámparas con una intensidad luminosa de 125 bujías cada una, por lo que:

$$\text{Número de lámparas:} = \frac{\text{intensidad luminosa total}}{\text{intensidad luminosa/lámpara}}$$

$$= \frac{9375 \text{ bujías}}{125 \text{ bujías/lámpara}}$$

$$= 75 \text{ lámparas}$$

que serían demasiadas para colocarse en el techo del salón de clases, pero actualmente existen lámpara fluorescentes que poseen una intensidad luminosa mucho mayor, (con una potencia de 16,000 lumenes mientras que las

lámparas de 100 watts tienen una potencia de sólo 1580 lúmenes. Esto se puede ver en la tabla 1 de este libro).

2.- ¿A qué altura deberá colocarse ahora una sola lámpara de 100 watts (con una intensidad luminosa de 125 bujías) para obtener una iluminación de 1500 lux en el salón de clases?

Datos:

I= 125 bujías
E= 1500 lux
d= ?

Por la ley inversa del cuadrado o ley de la iluminación:

$$E = I/d^2$$

despejando "d" $I = Ed^2$

$$d^2 = I/E$$

$$d = \sqrt{I/E}$$

sustituyendo $= \sqrt{125 \text{ bujías}/1500 \text{ lux}}$

$$= 0.288 \text{ m} \times 100 \text{ cm/cm}$$

$$= 28.8 \text{ cm}$$

Deberá notarse que, por la misma ley de la iluminación, el área iluminada será mucho menor que si se colocara la lámpara en el techo.

3.- ¿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 $3x10^8$ m/seg, y despejando:

$$\mu v = c$$
$$v = c/\mu$$
$$= \frac{3x10^8 \text{ m/seg}}{2.42}$$
$$= 1.24 \text{ x}10^8 \text{ m/seg}$$

Por lo tanto, la velocidad de la luz en el diamante es $1.24x10^8$ m/seg.

4.- ¿Cuál será el índice de refracción de un material en que la velocidad de la luz en él sea $3x10^8$ m/seg? ¿De qué material se trata?

Solución:

Por la fórmula: $\mu = c/v$

donde c = $3x10^8$ m/seg, sustituyendo:

$$= \frac{3x10^8 \text{ m/seg}}{3x10^8 \text{ m/seg}}$$
$$= 1$$

El material en el cual la velocidad de la luz en él es igual a la velocidad de la luz en el medio, (μ=1.00) es el aire.

5.- ¿Cuál será la frecuencia de la luz ultravioleta si ésta tiene una longitud de onda de 3000 A°?

Solución:

Los datos para este problema son:

$$\lambda = 3000 \text{ A°}$$

que transformada a metros sería:

$$\lambda = \frac{3x10^3 \text{ A°}}{10^{10}\text{A°/m}}$$
$$= 3x10^{-7} \text{ m}$$

y sabemos que la velocidad de la luz en el vacío es:

$$c = 3x10^8 \text{ m/seg}$$
$$v = \lambda f$$
$$f = v/\lambda$$

donde v= c: $f = c/\lambda$

$$= \frac{3x10^8 \text{ m/seg}}{3x10^{-7}\text{m}}$$
$$= 1x10^{15} \text{ ciclos/seg}$$

que está dentro de los límites de la tabla 4.

6.- Enconyrar la longitud de onda y el tipo de rayos a que pertenecen, si se mide la frecuencia de ellos y se encuentra que es $3x10^{18}$ ciclos/seg. Encontrar el resultado de longitud de onda y metros y en angstroms. (Ver la tabla 8 para responder a la pregunta del tipo de radiación).

Datos:

f= $3x10^{18}$ciclos/seg
c= $3x10^8$ m/seg

$$v = \lambda f$$

donde v=c, y: $\lambda = c/f$

$$= \frac{3x10^8 \text{ m/seg}}{3x10^{18}\text{ciclos/seg}}$$
$$= 1x10^{-10}\text{m}$$

que transformada a angstroms sería:

$$= 1 \times 10^{-10} \text{ m} \times 10^{10} \text{ A°/m}$$

$$= 1 \text{ A°}$$

De la tabla 8, encontramos que el tipo de radiación es: Rayos X.

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO III.

1.- Una lámpara se encuentra en el techo de una casa a 2.75 m de altura. Si proporciona una iluminación de 8 lux, ¿cuál será la intensidad luminosa de la fuente?
{I= 60.5 bujías}

2.- Una lámpara de un arbotante se encuentra a 6 m de la superficie iluminada. ¿Cuál será la intensidad luminosa que proporciona dicha lámpara si la iluminación es de 4.7 lux?
{I= 169.2 bujías}

3.- ¿A qué altura debe colocarse una lámpara que tiene una intensidad luminosa de 200 bujías para que proporcione una iluminación de 6 lux?
{d= 5.77 m}

4.- Una lámpara se encuentra iluminando un escenario de teatro a razón de 8 lux. Si la distancia de la lámpara a la superficie iluminada es de 3 m, ¿cuál será la intensidad luminosa que se recibe?
{I= 72 bujías}

5.- ¿Cuál será la iluminación que se recibe en una superficie que se encuentra a una distancia de 6 m de una fuente que tiene una intensidad luminosa de 720 bujías?
{E= 20 lux}

6.- La iluminación recibida de una lámpara es de 12 lux. Si la intensidad luminosa de la lámpara es de 2500 bujías, ¿cuál será la distancia a la que debe de ser colocada la fuente?
{d= 14.43 m}

7.- Se tienen dos lámparas una de 75 watts que proporciona una intensidad luminosa de 90 bujías y la otra de 40 watts que proporciona 46 bujías. Si la lámpara de 75 watts está colocada a 3m de la superficie y la de 40 a 2 m. ¿Cuál de las dos lámparas proporcionará mayor iluminación?

{La de 40 watts proporcionará 11.5 lux
La de 75 watts proporcionará 10 lux}

8.- En una habitación se tienen 2 lámparas de 40 watts c/u y proporcionan una iluminación de 5.4 lux entre las dos. Si tienen cada una intensidad luminosa de 46 bujías, a) ¿a qué distancia se encuentran las lámparas? b) Si las dos lámparas se sustituyen por una sola de 60 watts, que tiene una intensidad luminosa de 66 bujías, ¿a qué distancia debe colocarse la nueva lámpara para proporcionar la misma iluminación?
{a) d= 2.91 m, b) d= 3.49 m}

9.- Si la velocidad de la luz en un cuerpo es de 1.24x10 m/seg, a) ¿cuál será el índice de refracción? b) ¿De qué material se trata?
{a) =2.42, b) diamante}

10.- La luz se traslada en un cuerpo con una velocidad de $2x10^8$ m/seg. a) ¿Cuál es el índice de refracción? b) ¿De qué material es el cuerpo?
{a) μ=1.5, b) vidrio}

11.- ¿Cuál es la velocidad de la luz en el agua, si el índice de refracción es de 1.33?
{v= $2.25x10^8$ m/seg}

12.- 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= $2.29x10^8$ m/seg}

13.- Si la velocidad de la luz en un determinado material es de $2.05x10^8$ m/seg, calcular: a) su índice de refracción, b) el tipo de material.
{μ = 1.46, b) cuarzo}

14.- ¿Cuál será la frecuencia del color verde si tiene una longitud de onda de 5000 A°?
{f= $0.6x10^{15}$ ciclos/seg}

15.- Una onda tiene una frecuencia de $5x10^{-14}$ vibraciones/seg. ¿Qué color es?
{λ= 6000 A°, color naranja}

16.- Una onda viaja con una velocidad igual a la de la luz. Si tiene una frecuencia de $3x10^{12}$ ciclos/seg, ¿cuál será a) su longitud de onda, b) a qué tipo de ondas pertenecerá?
{a) λ= 1x10 A°, b) Rayos infrarrojos.}

17.- Una onda de radio tiene una frecuencia de 680 Kc. ¿Cuál será su longitud de onda?
{λ= 0.44 x 10^{13} A°}

18.- Una onda tiene una longitud de $1x10^{-10}$ m. Calcular a) su longitud en A°, b) su frecuencia, c) a qué tipo de radiación pertenece.
{ a) 1 A°, b) $3x10^{18}$ m, c) Rayos ultravioleta.}

19.- ¿Cuál será el color cuya frecuencia es de 7.5 $x10^5$ vibraciones/seg?
{λ= 4000 A°, color violeta.}

20.- Un color tiene una frecuencia de $4x10^{14}$ vibraciones/seg. a) ¿Cuál es su longitud de onda? b) ¿Qué color es?
{λ = 7500 A°, color rojo.}

21.- Los límites de longitud de onda del color verde son: 5700 A° y 5900 A°. ¿Cuál será el valor de las frecuencias correspondientes?
{a) f_1= $0.52x10^{15}$ ciclos/seg
b) f_2= $0.508x10^{15}$ ciclos/seg }

22.- Los límites de la longitud de onda del color rojo son 6100 A° y 7500 A°. ¿Cuál será a) las longitudes de onda en m, b) las frecuencias correspondientes?
{a) $f_1 = 0.49 \times 10^{15}$ ciclos/seg
b) $f_2 = 0.4 \times 10^{15}$ ciclos/seg}

LENTES Y ESPEJOS.

Cuando colocamos una lente de aumento debajo del agua... ¡casi no aumenta! Cuando la lente que se sumerge es divergente, también se nota cómo pierde en gran parte su propiedad de disminuir. Si hacemos este experimento no en el agua, sino en otro líquido que tenga un índice de refracción mayor que el vidrio, la lente convergente disminuirá los objetivos y la divergente los aumentará.

La lente convergente aumenta en el aire porque el vidrio refracta más la luz que el aire que lo rodea, pero entre la refrigencia del vidrio y la del agua hay poca diferencia; por esto, cuando introducimos una lente en el agua, los rayos de luz, al pasar de esta última al vidrio, no se desvían mucho. Esto es la razón de que las lentes convergentes aumentan menos debajo del agua que en el aire y de que los divergentes disminuyan menos.

OBJETIVOS.

1.- Definir cada uno de los conceptos, enunciados, término, y leyes incluidos en este capítulo.

2.- Enunciar y diferenciar los diferentes tipos de lentes que existen y decir cuál es su función.

3.- Resover problemas donde se utilice la ecuación de las lentes.

4.- Localizar imágenes por el método analítico (por medio de fórmulas), a partir de datos apropiados.

5.- Diferenciar correctamente una imagen real de una virtual.

22.- Los límites de la longitud de onda del color rojo son 6100 A° y 7500 A°. ¿Cuál será a) las longitudes de onda en m, b) las frecuencias correspondientes?
{a) $f_1 = 0.49x10^{15}$ ciclos/seg
b) $f_2 = 0.4x10^{15}$ ciclos/seg}

LENTES Y ESPEJOS.

Cuando colocamos una lente de aumento debajo del agua... ¡casi no aumenta! Cuando la lente que se sumerge es divergente, también se nota cómo pierde en gran parte su propiedad de disminuir. Si hacemos este experimento no en el agua, sino en otro líquido que tenga un índice de refracción mayor que el vidrio, la lente convergente disminuirá los objetivos y la divergente los aumentará.

La lente convergente aumenta en el aire porque el vidrio refracta más la luz que el aire que lo rodea, pero entre la refrigencia del vidrio y la del agua hay poca diferencia; por esto, cuando introducimos una lente en el agua, los rayos de luz, al pasar de esta última al vidrio, no se desvían mucho. Esto es la razón de que las lentes convergentes aumentan menos debajo del agua que en el aire y de que los divergentes disminuyan menos.

OBJETIVOS.

1.- Definir cada uno de los conceptos, enunciados, término, y leyes incluidos en este capítulo.

2.- Enunciar y diferenciar los diferentes tipos de lentes que existen y decir cuál es su función.

3.- Resover problemas donde se utilice la ecuación de las lentes.

4.- Localizar imágenes por el método analítico (por medio de fórmulas), a partir de datos apropiados.

5.- Diferenciar correctamente una imagen real de una virtual.

6.- Calcular, a partir de datos apropiados, el aumento de una lente.

7.- Enunciar y distinguir correctamente los tipos de espejos que existen.

8.- Resolver problemas donde se aplique la fórmula de los espejos.

9.- Enunciar las reglas que existen para que la fórmula de los espejos sea válida.

PROCEDIMIENTO.

1.- Realiza una lectura general del capítulo IV.

2.- Subraya lo más importante del capítulo.

3.- Extracta las definiciones y analízalas ampliamente.

4.- Realiza un resumen del capítulo.

5.- Escribe en una cartulina las ecuaciones fundamentales de este capítulo.

6.- Analiza detenidamente los problemas resueltos.

7.- Resuelve los problemas de la autoevaluación llegando a los resultados marcados.

NOTA:

Es pre-requisito entregar completamente resueltos los problemas nones de la autoevaluación del capítulo IV en hojas tamaño carta.

CAPÍTULO IV.

LENTES Y ESPEJOS.

4-1 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 capítulo anterior dijimos 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 1.

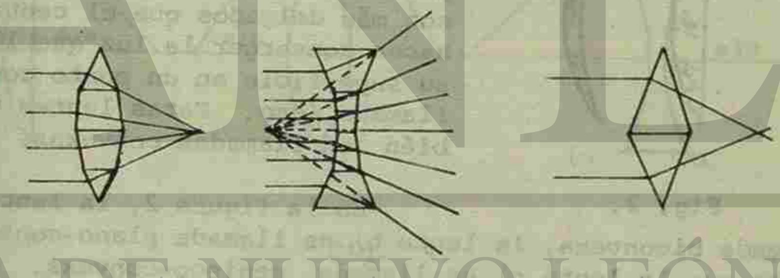


Fig. 1.

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 más 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 hechos por prismas como los de las figura 1, sino que están hechos con un material transparente que puede ser de vidrio, cuarzo, fluorito, etc. A las lentes que tienen una superficie curva se les llama *lentes esféricos*.

Existen dos tipos diferentes de lentes esféricos que son: lentes positivos o convergentes y lentes negativos o divergentes.

4-2 LENTES CONVERGENTES.

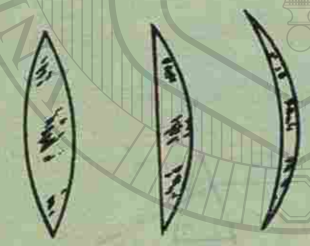


Fig. 2.

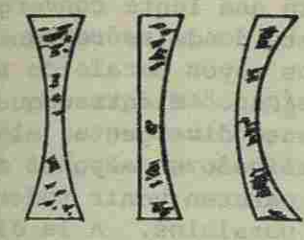
En la figura 2 están ilustrados algunas lentes que son convergentes. Estas lentes tienen la particularidad de que los bordes son más delgados que el centro y hacen converger la luz que llega a su superficie en un punto común llamado *foco*. Estas lentes también son llamadas convexas.

En la figura 2, la lente a) es llamada biconvexa, la lente b) es llamada plano-convexa, mientras que la lente c) es llamada, menisco-convexa.

4-3 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 cóncavos; 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 3 están ilustradas las tres

lentes divergentes más usuales.



Estas lentes son llamadas:

1) Bicóncava.
2) Plano - cóncava.
3) Menisco - cóncava.

Fig. 3.

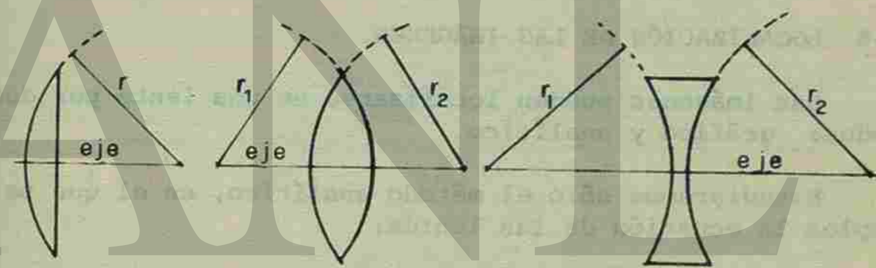


Fig. 4.

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.

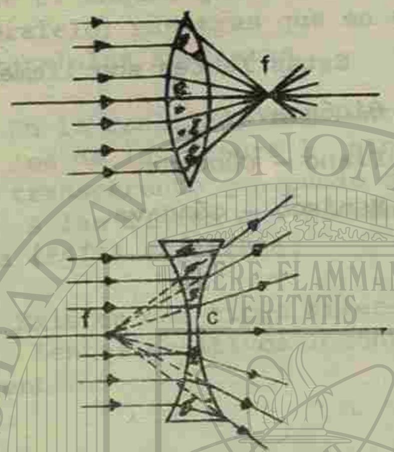


Fig. 5.

En una lente convergente, el punto donde se reúnen to-- dos los rayos paralelos se llama *foco*. Mientras que en una lente divergente, el foco está situado en elpunto 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.*

cf = df = distancia focal.

4-4 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:

$$\boxed{\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = \frac{1}{df}} \qquad (1)$$

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.

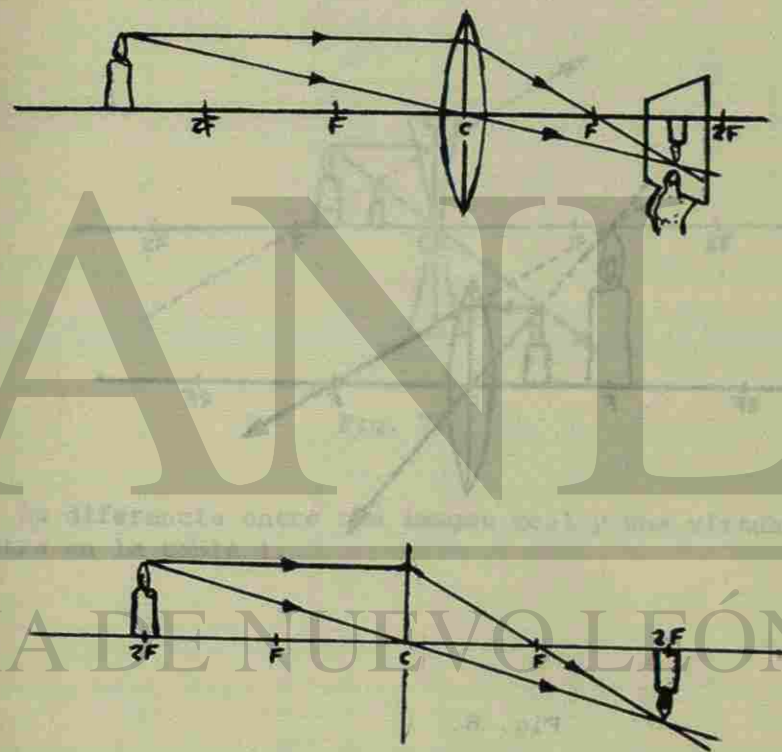
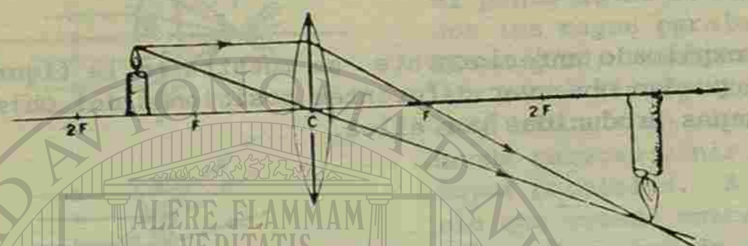


Fig. 6.



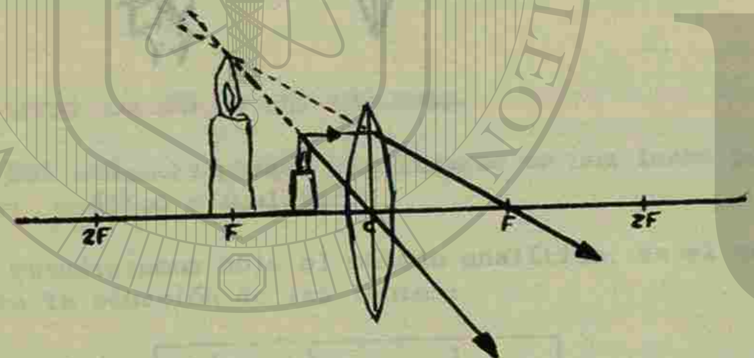


Fig. 6.

También puede notarse en la figura, la formación de una imagen que no está invertida (derecha), mayor que la imagen y del mismo lado donde se coloca el objeto. A esta imagen se le llama virtual, a diferencia de las otras imágenes que son de tipo real.

En la figura 7, puede verse la formación de una imagen en una lente divergente que siempre será virtual, en cualquier lugar donde se coloque el objeto.

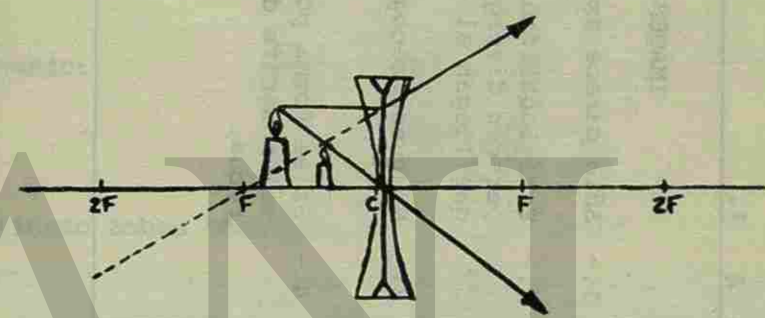


Fig. 7.

La diferencia entre una imagen real y una virtual se ilustra en la tabla 1.

TABLA 1.

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.

Ejemplo 1. 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 cm
df = 30 cm

Por la ecuación 1, 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:

$$di = \frac{30\text{ cm} \times 40\text{ cm}}{40\text{ cm} - 30\text{ cm}}$$

$$= 120\text{ cm}$$

Existen varias regals para el empleo de la fórmula de las lentes. Éstas 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.

Como se puede observar en la figura 6, 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:

$$\text{Aumento} = \frac{\text{tamaño de la imagen}}{\text{tamaño del objeto}}$$

$$\boxed{A = \frac{Ti}{To}} \qquad (2)$$

ó

$$A = \frac{\text{distancia de la imagen}}{\text{distancia del objeto}}$$

ó

$$\boxed{A = \frac{di}{do}} \qquad (3)$$

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, (d) es la distancia del objeto.

Podemos establecer una igualdad en las ecuaciones pasadas diciendo que:

$$\boxed{\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}} \qquad (4)$$

de tal manera que podemos calcular cualquier dato acerca de las lentes.

Ejemplo 2. 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, To = 16 cm
Tamaño de la imagen, Ti = 32 cm

De la ecuación (2):

$$\text{Aumento} = \frac{\text{Tamaño de la imagen}}{\text{Tamaño del objeto}}$$

$$= Ti/To$$

$$= 32/16$$

$$= 2$$

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 de 30 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, do = 30 cm
Distancia focal, df = 20 cm
Tamaño del objeto, To = 12 cm

Incógnitas:
a) Distancia de la imagen, di.
b) Tamaño de la imagen producida, ti.

Por la fórmula (1):

$$\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = \frac{1}{df}$$

$$\frac{1}{di} = \frac{1}{df} - \frac{1}{do}$$

sustituyendo:

$$\frac{1}{di} = 1/20 - 1/30$$

$$= \frac{3-2}{60}$$

$$= 1/60$$

Invirtiendo ambos términos:

$$di = 60 \text{ cm}$$

Para calcular el inciso b) tenemos que utilizar la ecuación (4).

$$\frac{\text{Tamaño de la imagen}}{\text{Tamaño del objeto}} = \frac{\text{Distancia de la imagen}}{\text{Distancia del objeto}}$$

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

despejando:

$$Ti = \frac{di \;\; To}{do}$$

$$Ti = \frac{60 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}$$

$$= 24 \text{ cm}$$

Para calcular el inciso c) lo podemos hacer por las ecuaciones 3 ó 4.

Por la ecuación 3:

$$\text{Aumento} = \frac{\text{distancia de la imagen}}{\text{distancia del objeto}}$$

$$A = di/do$$

sustituyendo:

$$A = 60 \text{ cm}/30 \text{ cm}$$

$$= 2$$

Por la ecuación 4 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.

4-5 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 distorisión. 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.

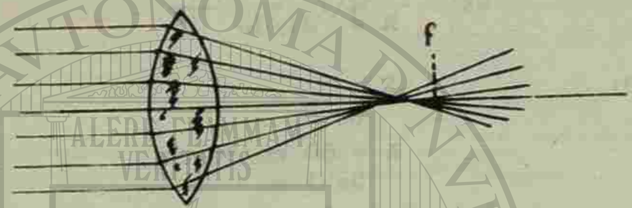


Fig. 8.

4-6 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. 8).

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.

4-7 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 9. 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.

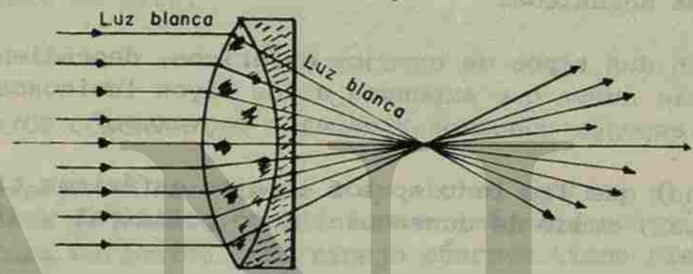


Fig. 9.

4-8 ESTUDIO DE LOS ESPEJOS.

La superficie del agua, las superficies enceradas o pintadas con brillo, o incluso los cristales de las ventanas actúan como buenos reflectores; por eso los espejos están recubiertos de plata o algún otro metal para reflejar mejor la imagen que a ellos llega.

Existen dos tipos de espejos que tienen diferentes características. Los dos tipos son: espejos planos y espejos esféricos.

4-9 ESPEJOS PLANOS.

Cuando estamos frente a un espejo plano, vemos nuestra figura reflejada en el espejo, y la vemos a una distancia igual a la que nosotros estamos del espejo. En este caso, el espejo se verá como si fuera un vidrio y nuestra imagen estará detrás de él, con la única diferencia de que estará en sentido contrario; o sea que el brazo derecho nuestro, se verá como brazo izquierdo y el izquierdo como brazo derecho. La fórmula para encontrar la distancia de la imagen se verá un poco más delante cuando se traten los espejos esféricos.

4-10 ESPEJOS ESFÉRICOS.

Existen dos tipos de espejos esféricos, dependiendo de la superficie curva que expongan a los rayos luminosos. Éstos serán: espejos cóncavos y espejos convexos.

Al igual que las lentes, los espejos esféricos tienen un eje principal, radio de curvatura, foco principal y distancia focal.

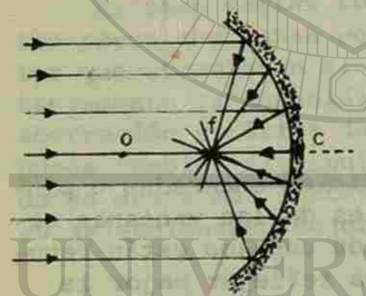


Fig. 10.

En la figura 10 están representadas todas estas partes del espejo. Por ejemplo, el radio de curvatura está representado por la distancia que existe entre el punto C y el O de tal manera que estará representado como OC. Esta distancia también marca la dirección del eje principal, por lo que para una lente esférica, el eje principal también puede ser el valor numérico del radio de curvatura cuando está en el centro de la lente. La distancia focal es la distancia que existe entre el espejo y el foco principal de éste. En la figura 10 estaría representado como Cf, y el foco principal será aquel punto en el que incidan todos los rayos luminosos reflejados por el espejo tal y como lo muestra la figura 10.

Experimentalmente se ha encontrado que en los espejos esféricos, guardan una relación muy aproximada el radio de curvatura y la distancia focal, siendo ésta la mitad del radio de curvatura. Expresada matemáticamente:

$$\text{Distancia focal} = \frac{\text{radio de curvatura}}{2}$$

$$\boxed{df = r/2} \qquad (5)$$

donde df es la distancia focal del espejo y r el radio de la curvatura de éste.

4-11 ESPEJOS CÓNCAVOS.

El espejo cóncavo es un dispositivo óptico, el cual, como una lente de vidrio, puede formar imágenes sobre una pantalla por pura reflexión. El espejo cóncavo tiene plateada su superficie interior tal y como lo muestra la figura 11.

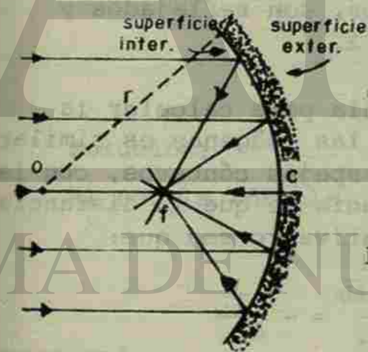


Fig. 11.

Al igual que en los lentes, la imagen producida por un espejo cóncavo puede calcularse por la fórmula:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{1}{df}$$

pero como df = r/2, entonces:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{1}{\frac{r}{2}}$$

haciendo operaciones, nos queda:

$$\boxed{\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{2}{r}}$$

Los espejos cóncavos siempre tendrán la distancia focal y distancia del objeto positivo y producirán imágenes reales, o sea, que se pueden recoger en una pantalla.

La fórmula para calcular el aumento en las lentes esféricas es aplicada también a los espejos esféricos, o sea que:

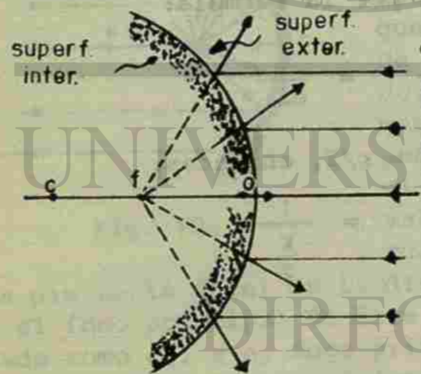
$$A = Ti/To$$

o también: $$A = di/do$$

Ya sabemos que Ti es el tamaño de la imagen, To es el tamaño del objeto, di es la distancia de la imagen y do es la distancia del objeto.

4-12 ESPEJOS CONVEXOS.

Este tipo de espejos, al igual que las lentes divergentes, producen una imagen virtual. Los rayos de luz que llegan al espejo por la superficie exterior, son reflejados y dispersados como lo muestra la figura 12.



La fórmula para calcular la distancia de las imágenes es similar a la de los espejos cóncavos, con la única diferencia de que la distancia focal es negativa, o sea que:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{1}{df}$$

y como df = r/2:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{1}{r/2}$$

simplificando obtenemos que:

$$\boxed{\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{2}{r}} \qquad (7)$$

Existen varias reglas para que esta fórmula sea válida, estas fórmulas son:

1.- Para espejos convexos df es negativa; para espejos cóncavos df, es positiva.

2.- do siempre es positiva.

3.- Si di es positiva, la imagen es real y está delante del espejo. Si di es negativa la imagen es virtual y está atrás del espejo.

Ejemplo 4. Un espejo cóncavo tiene una distancia focal de 12 cm, si se pone delante del espejo un objeto a una distancia de 20 cm; ¿cuál será: a) la distancia a la cual aparece la imagen, b) el aumento , c) qué tipo de imagen será?

Datos:

df = 12 cm

do = 20 cm

incógnita

di = ?

A = ?

Solución:

a) Por la fórmula:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{1}{df}$$

Despejando,

$$\frac{1}{di} = \frac{1}{df} - \frac{1}{do}$$

$$di = \frac{do\ df}{do-df}$$

Sustituyendo los datos:

$$di = \frac{(20)(12)}{(20-12)}$$

$$= \frac{240 cm^2}{8 cm}$$

$$= 30 \text{ cm}$$

b) Sabemos que:

$$A = \frac{di}{do}$$

sustituyendo datos:

$$A = \frac{30 \text{ cm}}{20 \text{ cm}}$$

$$= 1.5$$

Esto significa que la imagen producida estará 1.5 veces aumentada.

c) La imagen será real y podrá recogerse en una panta-- lla.

Ejemplo 5. Un espejo convexo tiene una distancia focal de -18 cm. Si la imagen está localizada a -4 cm. ¿Cuál será la distancia a la que se encuentra situado el objeto?

Datos:

di =-4 cm

df = -18 cm

incógnita

do = ?

Solución:

Por la fórmula:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{1}{df}$$

Despejando, $\frac{1}{do} = -\frac{1}{df} - \frac{1}{di}$

Sustituyendo datos: $\frac{1}{do} = -\left(-\frac{1}{18}\right) - \left(\frac{1}{-4}\right)$

$$do = \frac{(18)\ (4)}{18+4} =$$

$$do = 3.272 \text{ cm.}$$

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

1.- 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.

Solución:

Datos:

Lente convergente (df es positiva)
do = 10 cm
df = 12 cm

Como es una lente convergente, usaremos la fórmula:

$$\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = 1/df$$

despejando:

$$1/di = 1/df - 1/do$$

$$1/di = \frac{do - df}{df \times do}$$

invirtiendo ambos términos:

$$di = \frac{df \times do}{do - df}$$

sustituyendo los datos:

$$di = \frac{12 \text{ cm}(10 \text{ cm})}{10 \text{ cm}-12 \text{ cm}}$$

$$= \frac{120 \text{ cm}}{-2 \text{ cm}}$$

$$= -60 \text{ cm}$$

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 di es negativa porque la distancia del objeto es menor que la distancia focal).

2.- 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 (df es negativa)
do = 20 cm
df = 10 cm

Como df es negativa, la fórmula que usaremos será:

$$\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = -\frac{1}{df}$$

despejando:

$$\frac{1}{di} = -\frac{1}{df} - \frac{1}{do}$$

$$= \frac{-do - df}{df \times do}$$

invirtiendo los términos:

$$\frac{1}{di} = \frac{df \times do}{-do - df}$$

sustituyendo los datos:

$$di = \frac{10 \text{ cm}(20 \text{ cm})}{-20\text{cm}-10 \text{ cm}}$$

$$= \frac{20 \text{ cm}^2}{-30 \text{ cm}}$$

$$= -6.66 \text{ cm}$$

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.

3.- 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 1, b) en el problema 2?

Solución:

Para el inciso a) tenemos como datos:

To= 10 cm
do= 10 cm
di= -60 cm

Utilizando la fórmula:

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

despejando:

$$Ti = \frac{di}{do}\ To$$

sustituyendo:

$$Ti = \frac{-60\ cm}{10\ cm}\ (10\ cm)$$

$$= -60\ cm$$

ó $$Ti = 60\ cm$$

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:

$$A = \frac{Ti}{To}$$

$$= \frac{60\ cm}{10\ cm}$$

$$= 6$$

$$A = \frac{di}{do}$$

$$= \frac{60\ cm}{10\ cm}$$

$$= 6$$

(No es necesario poner el signo negativo de Ti y de di, 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:

To= 10 cm
do= 20 cm
di= -6.66 cm

Resolviendo de la misma manera que en el inciso a), tenemos:

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

$$Ti = \frac{di}{do}\ To$$

$$= \frac{-6.66cm}{20\ cm}\ (10\ cm)$$

$$= -3.33\ cm$$

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:

$$A = \frac{Ti}{To}$$

$$= \frac{3.33\ cm}{10\ cm}$$

$$= 0.333 \quad (ó\ 1/3)$$

$$A = \frac{di}{do}$$

$$= \frac{6.66\ cm}{20\ cm}$$

$$= 0.333\ (ó\ 1/3)$$

El resultado nos indica que la imagen es menor 0.333 veces que el objeto, o que Ti es un tercio de To (Ti = 1/3 To). Igualmente la distancia de la imagen es un tercio, o una tercera parte de la distancia a la que se encuentra el objeto (di= 1/3 do).

4.- Se tiene un espejo esférico cóncavo con un radio de curvatura de 2 m. Si se coloca un objeto de 20 cm de altura delante de él a una distancia de 1 m, calcular: a) la distancia a la que aparecerá la imagen, b) el tamaño de la imagen y c) el aumento del espejo.

Solución:

Datos:

Espejo esférico cóncavo.
r = 1.2 m = 120 cm
To= 20 cm
do= 1 m = 100 cm

La fórmula o ecuación para espejos cóncavos es:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{2}{r} \qquad (6)$$

despejando:

$$\frac{1}{di} = \frac{2}{r} - \frac{1}{do}$$

$$= \frac{2do - r}{r \times do}$$

invirtiendo términos:

$$di = \frac{r \times do}{2do - r}$$

sustituyendo datos:

$$di = \frac{120\ cm(100\ cm)}{2(100\ cm) - 120\ cm}$$

$$= \frac{12000\ cm^2}{80cm}$$

$$= 150\ cm$$

Como di es positiva, la imagen es real.

Para el inciso b):

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

despejando:

$$Ti = \frac{di}{do}\ To$$

sustituyendo:

$$Ti = \frac{150\ cm}{100\ cm}\ (20\ cm)$$

$$= 30\ cm$$

Y el aumento del espejo será:

$$A = \frac{Ti}{To}$$

$$= \frac{30\ cm}{20\ cm}$$

$$= 1.5$$

5.- Un objeto de 5 cm de altura se encuentra situado delante de un espejo convexo de 10 cm de radio. Si el objeto refleja una imagen a 30 cm de distancia, calcular: a) la distancia en que fue colocado el objeto, b) el tamaño de la imagen y, c) el aumento del espejo.

(Habrá que recordar que los espejos convexos, al igual que las lentes divergentes, formarán siempre imágenes virtuales, por lo que di es negativa y el radio del espejo convexo también deberá tomarse negativo).

Por las consideraciones anteriores, los datos que tenemos para resolver este problema son:

To= 5 cm
r = -10 cm
di= -30 cm

La ecuación para espejos convexos es:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{2}{r} \qquad (7)$$

despejando do:

$$\frac{1}{do} = -\frac{2}{r} - \frac{1}{di}$$

$$= \frac{-2di - r}{r \times di}$$

Invirtiendo ambos términos:

$$do = \frac{3 \times di}{-2di-r}$$

sustituyendo datos:

$$do = \frac{(-10cm)(-30\ cm)}{-2(-30\ cm)-(-10\ cm)}$$

$$= \frac{300\ cm^2}{70\ cm}$$

$$= 4.28\ cm$$

Se cumple la regla que dice: "do siempre es positiva".

Para el inciso b) usaremos la fórmula:

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

donde:

$$Ti = \frac{di}{do}\, To$$

sustituyendo:

$$Ti = \frac{-30\ cm}{4.28cm}(5\ cm)$$

$$= -35\ cm$$

El signo negativo solamente indica que la imagen es virtual, se encuentra del mismo lado del objeto, y vemos que además, la imagen es mayor que el objeto.

El aumento del espejo será:

$$A = \frac{Ti}{To}$$

$$= \frac{35\ cm}{5\ cm}$$

$$= 7$$

$$A = \frac{di}{do}$$

$$= \frac{30\ cm}{4.28\ cm}$$

$$= 7$$

Aquí no se tomaron en cuenta los signos porque no era necesario. Del resultado deducimos que la imagen es 7 veces mayor que el objeto, y que se encuentra 7 veces más lejos del centro del espejo.

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO IV.

1.- 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?
{di = 63 cm}

2.- 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?
{do = 3.15 cm}

3.- 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}

4.- 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 cm}

5.- 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}

6.- 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}

7.- 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, b) ¿es realmente una lente divergente?
{a) df= 3.3 cm, b) No}

8.- En un experimento de óptica se encontró que si se ponía en 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?
{a) di= 16 cm, b) Ti= 6 cm, c) Real.}

9.- Una lente divergente 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.
{a) do= 5.45 cm, b) A= 1.83}

10.- 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}

11.- 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}

12.- Un objeto está situado 10 cm delante de una lente convergente de 15 cm de distancia focal. Determinar: a) la posición de la imagen, b) el aumento.
{a) di = -30 cm, b) A= -3}

13.- 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 cm}

14.- 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}

15.- Un espejo esférico cóncavo tiene un radio de curvatura de 2.25 m. Si se sitúa un objeto de 18 cm de altura delante de él a una distancia de 1 m, calcular: a) la distancia de la imagen, b) el tamaño de la imagen.
{di= 900 cm, b) Ti= -162 cm}

16.- Un espejo esférico cóncavo tiene un radio de curvatura de 1.5 m. Determinar: a) la distancia de la imagen, b) el tamaño de la imagen de un objeto real de 10 cm de altura situado a una distancia de 1 m.
{a) di= 300 cm, b) Ti= 30 cm}

17.- Determinar: a) la distancia de la imagen, b) el tamaño de la imagen de un objeto que está situado a una distancia de 1.6 m delante de un espejo esférico cóncavo de 0.4 m de radio. El tamaño del objeto es de 2 cm.
{a) di= 22.85 cm, b) Ti= 0.285 cm}

18.- Un objeto de 6 cm de altura es colocado delante de un espejo esférico cóncavo de 0.8 m de radio a una distancia de 0.25 m. Calcular: a) la distancia de la imagen, b) el tamaño de la imagen.
{di= -66.6 cm, b) Ti= -15.984 cm}

19.- Un objeto de 6 cm de altura se encuentra situado delante de un espejo convexto de 20 cm de radio. Si el objeto refleja una imagen a 70 cm de distancia, calcular: a) la distancia del objeto, b) el tamaño de la imagen.
{do= 8.75 cm, b) Ti= -48 cm}

20.- La imagen producida por un objeto de 6 cm de altura se encuentra a 12 cm detrás del espejo. Si el espejo es convexo y tiene un radio de 40 cm, determinar: a) la distancia a la que se colocó el objeto, b) el tamaño de la imagen.
{do = 7.5 cm, b) Ti = -9.6 cm}

21.- Determinar la imagen de un objeto situado a 10 cm delante de un espejo esférico cóncavo de 16 cm de radio.
{di = 40 cm}

22.- Determinar la imagen obtenida en un espejo esférico cóncavo de 60 cm de radio, de un objeto sitado a 20 cm delante de él.
{di = -60 cm}

2o. SEMESTRE. ÁREA I. UNIDAD IX.

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.

Durante los pasados 150 años, los científicos han estudiado las relaciones entre la electricidad y el magnetismo. El conocimiento de estas relaciones ha llevado a la construcción de electroimanes, motores y generadores, sistemas telegráficos y telefónicos, y muchos otros aparatos.

Los físicos han estudiado el comportamiento de las barras imantadas y de los electroimanes, y han desarrollado teorías para explicar lo observado.

OBJETIVOS.

1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes del capítulo V.

2.- Expresar la teoría que explica cómo actúan las fuerzas magnéticas y que responden a varias preguntas del comportamiento de los imanes.

3.- Aplicar, resolviendo problemas, la ley de la electrostática.

4.- Aplicar, resolviendo problemas, la definición de diferencia de potencial.

5.- Enunciar los factores de los cuales depende la resistencia de una sustancia y resolver problemas a partir de datos apropiados.

6.- Explicar por qué la Tierra es considerada como un gran imán.

7.- Resolver problemas en los que se aplique la ley de Coulomb.

8.- Calcular, a partir de datos apropiados la inducción magnética en un conductor, en el aire y en una espira.

9.- Explicar la forma como se aplica la regla de la mano izquierda.

10.- Enunciar las diferentes fuentes de electricidad.

11.- Enunciar los factores de los cuales depende la potencia del voltaje.

12.- Establecer la diferencia que existe entre corriente alterna y corriente directa.

PROCEDIMIENTO.

1.- Lee en forma general y rápida el capítulo V.

2.- Subraya lo más importante del capítulo.

3.- Extracta las definiciones y analízalas ampliamente.

4.- Escribe un resumen del capítulo.

5.- Escribe en una cartulina las ecuaciones fundamentales del capítulo.

6.- Analiza detenidamente los problemas resueltos.

7.- Resuelve los problemas de la autoevaluación llegando a los resultados marcados.

NOTA:

Es pre-requisito entregar completamente resueltos los problemas nones de la autoevaluación del capítulo V en hojas tamaño carta.

CAPÍTULO V.

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.

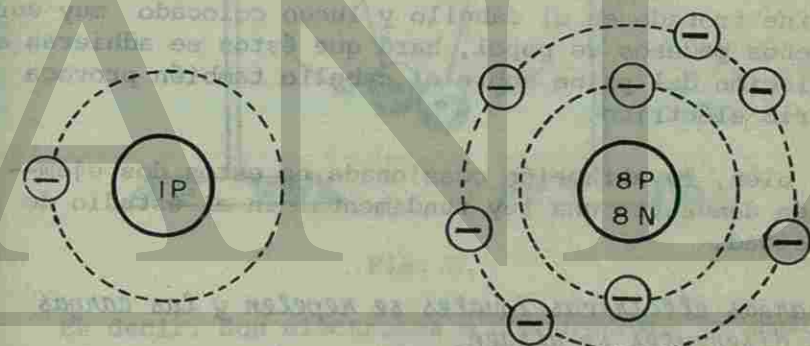


Fig. 1.

Generalmente, un átomo permanece en su estructura normal, pero al añadírsele 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*).

5-1 ELECTROSTÁTICA.

La *electrostática* es la electricidad en reposo. Ésta 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 a 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.

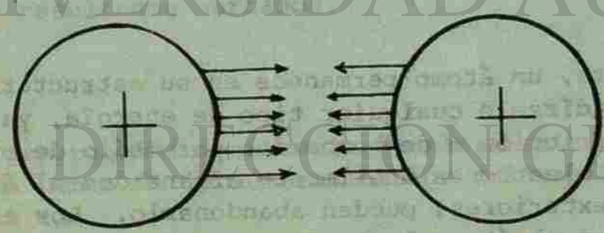


Fig. 1-A.

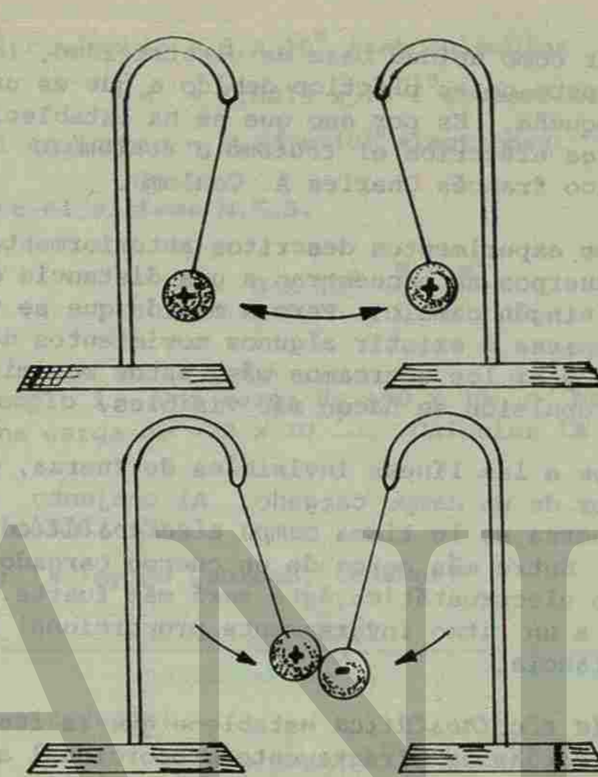


Fig. 2.

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

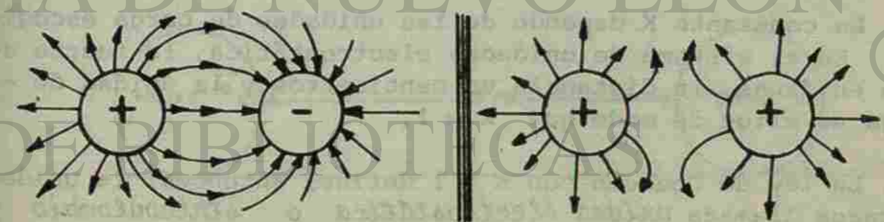


Fig. 3.

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 sufren 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:

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

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.*

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

$$e = 1.6019 \times 10^{-19} \text{ coulombios}$$

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

Para el sistema M.K.S.

$$K = 9 \times 10^{9} \; \frac{N - m^2}{c^2}$$

Ejemplo 1. Una carga de $+50 \times 10^{-9}$ c está colocada a 5 cm de una carga de -72×10^{-9} c. Calcular la fuerza entre ellas.

Solución:

Por la ley de Coulomb, tenemos:

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

sustituyendo:

$$F = 9 \times 10^{9} \frac{N\text{-}m}{c^2} \times \frac{(50\times10^{-9}c)(-72\times10^{-9}c)}{(5\times10^{-2}m)^2}$$

$$= -1296 \times 10^{-5} N$$

$$= -1.296 \times 10^{-2} N$$

El signo menos indica que la fuerza es de atracción.

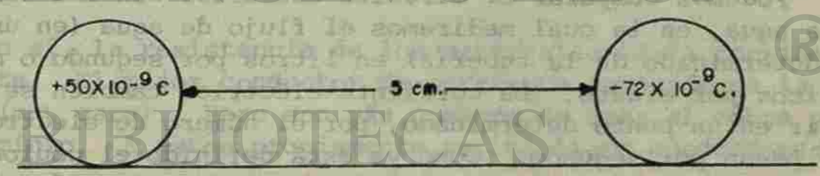


Fig. 3-A.

5-2 CARGAS EN MOVIMIENTO.

Fig. 4

Definiremos la *corriente eléctrica* como el flujo de electrones a través de un conductor. Es decir, que la co- - rriente 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.

Algebráicamente:

$$\boxed{I = Q/t} \qquad (2)$$

$$\boxed{Q = It} \qquad (3)$$

donde:

Q = carga en coulombios (c)
I = corriente en amperios (A)
t = tiempo en segundos (seg).

En este texto consisderemos 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 conducto-- res, 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:

$$\boxed{R = \rho \frac{L}{A}} \qquad (4)$$

donde:

R = resitencia en ohmios (Ω).
ρ = resistencia específica o resistividad a la temperatura dada (Ω - m)
L = longitud del conductor (m)
A = área de la sección transversal (m^2).

Tabla 4-1. Resistividad de algunos metales ρ, en Ω -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 atraviezan 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:

$$Q = It$$
$$= 1 \text{ A} \times 1 \text{ seg}$$
$$= \frac{1 \text{ c}}{\text{seg}} \times 1 \text{ seg}$$
$$= 1\text{c} \times 6.24 \times 10^{18} \; \frac{\text{elect}}{\text{c}}$$
$$= 6.24 \times 10^{18} \text{ electrones.}$$

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

$$Q = It$$
$$= 0.25\text{A} \times 1 \text{ seg}$$
$$= \frac{0.25 \text{ c}}{\text{seg}} \times 1 \text{ seg}$$
$$= 0.25 \text{ c}$$

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 la resistencia.

Solución:

Por la ecuación 4, tenemos:

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

Con los datos y la lectura para el platino en la tabla 4-1, tenemos:

$$R = 11 \times 10^{-8} \ \Omega\text{-m} \ \frac{2m}{3.14(2 \times 10^{-4} m)^2}$$

$$R = 1.75 \ \Omega$$

5-3 MAGNETISMO.

Los antiguos navegantes chinos descubrieron, que un pedazo de una piedra especial, sujeta a una cuerda, se volvía siempre hacie al 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 independiente y no se cruza ni se toca con ninguna otra.

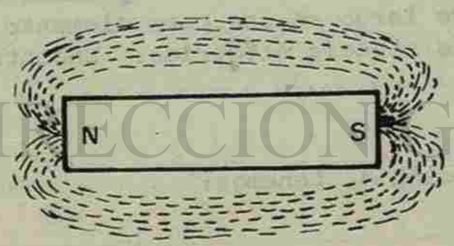


Fig. 5.

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.

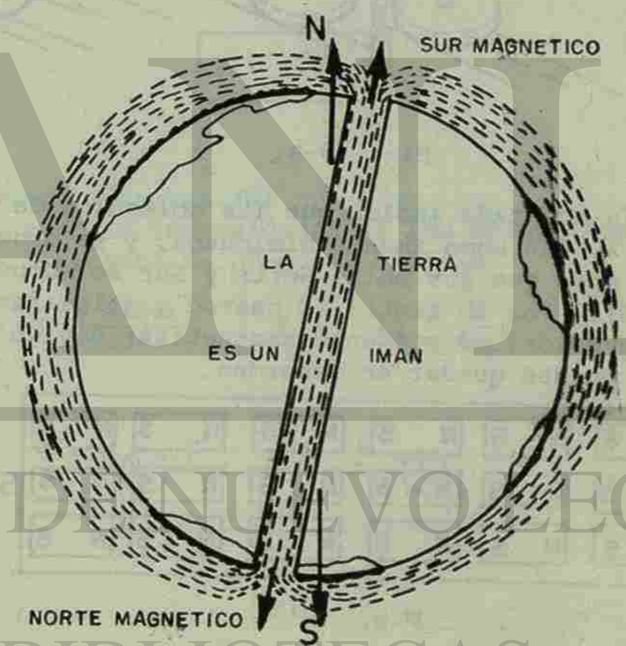


Fig. 5-A.

5-4 LEYES DEL MAGNETISMO.

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

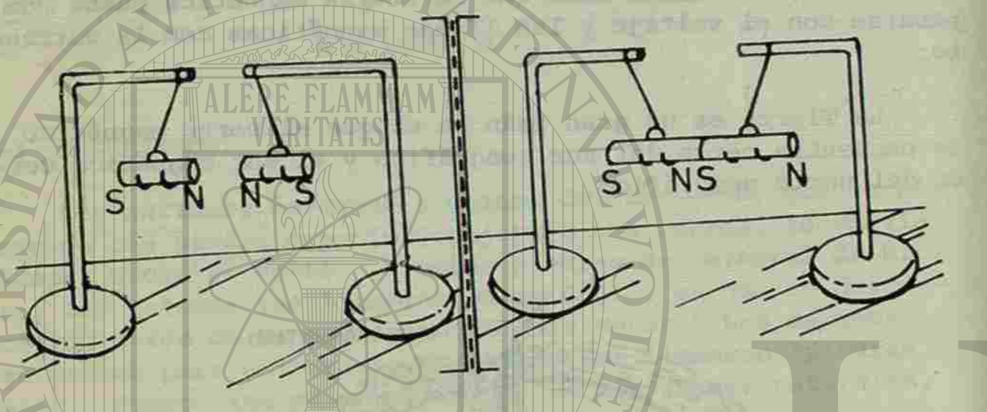


Fig. 5-B.

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.

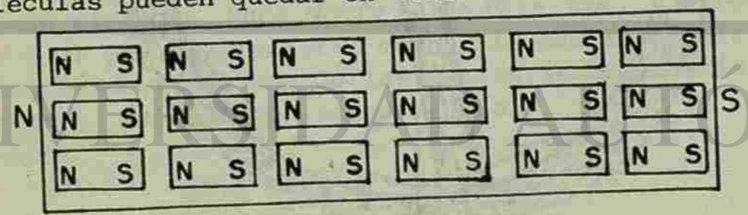


Fig. 6

5-5 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 largo, 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. 7.

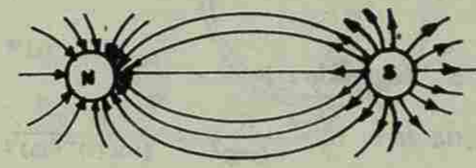


Fig. 7.

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.*

$$\boxed{F = X\frac{mm^1}{d^2}} \qquad (5)$$

donde:

F = es la fuerza (N)

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

X = constante de proporcionalidad

$= 10^{-7}\,\dfrac{\text{Weber}}{\text{Amp - m}}$ ó $10^{-7}\,\dfrac{\text{N}}{\text{Amp}^2}$

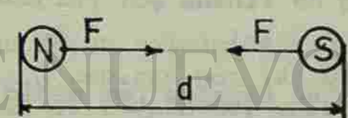


Fig. 8.

Si los imanes son largos y la distancia "d" es relativamente pequeña, la fuerza de repulsión entre los polos extremos será insignificante.

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 ecución 5, tenemos: $F = x \dfrac{m m^1}{d^2}$

$$0.04\ N = 10^{-7}\ \frac{N}{Amp^2} \times \frac{m\ m^1}{(8\times10^{-2} m)^2}$$

Pero como los dos polos son iguales:

$$0.04\ N = 10^{-7}\ \frac{N}{Amp^2} \times \frac{m^2}{(8\times10^{-2} m)^2}$$

$$m^2 = \frac{0.04\ N \times (8\times10^{-2})^2\ m^2 Amp^2}{10^{-7} N}$$

$$m^2 = 2.56 \times 10^7\ Amp^2\ m^2$$

$$m = 5.06 \times 10^3\ Amp\ m.$$

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:

$$\boxed{\emptyset = BA} \qquad (6)$$

donde:

B = densidad de flujo $\left(\dfrac{webers}{m^2}\right)$ ó $\left(\dfrac{maxwells}{cm^2}\right)$

$\emptyset$ = número de líneas de fuerza magnética.

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

Fig. 11.

Ejemplo 7. Una bobina circular, constituída 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 9, tenemos:

$$I = \frac{Br}{2\pi \times N}$$

$$I = \frac{3\times10^{-4}\ wb/m^2 \times .16\ m}{2\times3.14\times10^{-7}\ \frac{wb}{A-m} \times 40}$$

$$I = 1.9\ A$$

En el caso de un solenoide rectilíneo de longitud ℓ, constituído 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:

$$\boxed{B = x\ \frac{4\pi N\ I}{\ell}} \qquad (10)$$

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, constituído por 9 espiras de conductor por centímetro recorridas por una intensidad de 6 A.

Solución:

Por la ecuación 10, tenemos:

$$B = \mu \times \frac{4\pi N I}{\ell}$$

$$= 4\pi \times \frac{N}{\ell} I$$

$$= 4\pi \times 10^{-7}\frac{wb}{Am} \times \frac{9 \text{ espiras}}{10^{-2}\text{ m}} \times 6 \text{ A}$$

$$= 6.8 \times 10^{-3} \text{ wb/m}^2$$

$$= 6.8 \times 10^{-3} \text{ Teslas.}$$

5-7 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.

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_2) y en iones negativos (SO_4). 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:

$$\boxed{E_s = E_{\text{una celda}} \times n} \qquad (11)$$

donde n es el número de celdas.

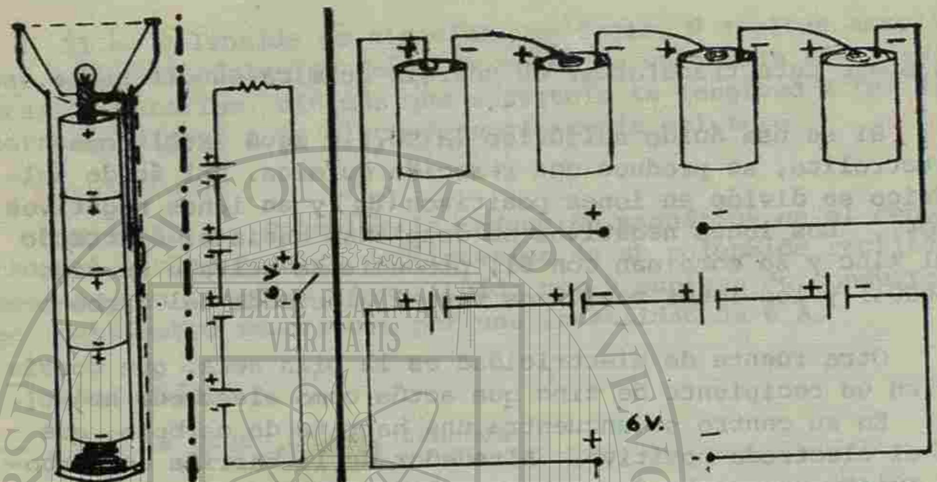


Fig. 14.

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

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.

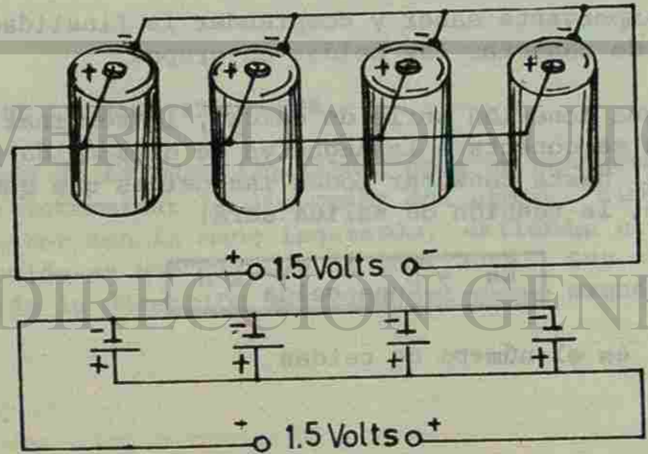


Fig. 14-A.

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.

5-9 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.

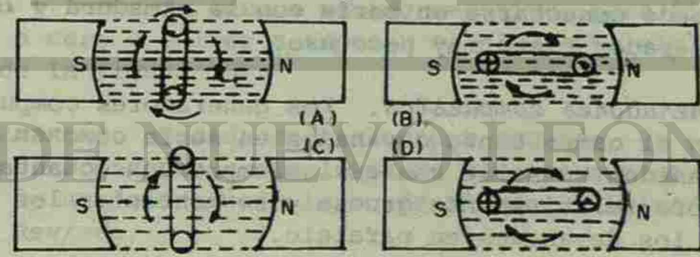


Fig. 15.

En cada caso (fig. 15), 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.

5-10 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.

5-11 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 16 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.

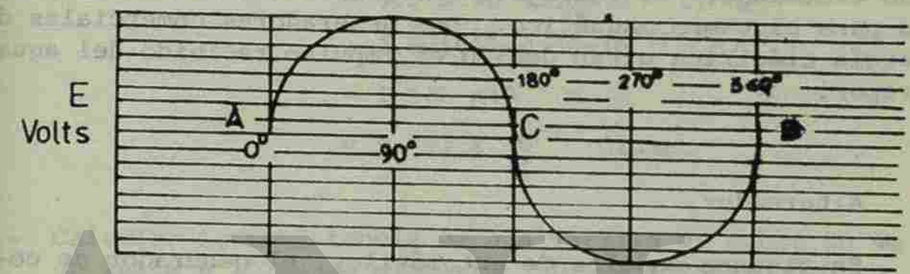


Fig. 16.

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 16).

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 milímicras.

Solución:

Por la ecuación 1, tenemos: 1 milimicra = 10^{-9} m.

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

$$= 9x10^9 \frac{N\text{-}m^2}{c^2} \times \frac{2e x 10e}{(2x10^{-9}m)^2}$$

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

Pero e = 1.6×10^{-19} c, entonces tenemos:

$$= 4.5 \times 10^{28}(1.6x10^{-19}\ c)^2\ N/c^2$$

$$= 4.5x10^{28} x 2.56x10^{-38} c^2 N/c^2$$

$$= 1.142\ x10^{-9}\ N$$

$$= 1.142 \times 10^{-4}\ \text{dinas.}$$

2.- Calcular la resistencia de una varilla de cobre de 4m de largo y 10 mm de diámetro. $\rho_{cu} = 1.756x10^{-8}\ \Omega$ -m.

Solución:

Por la ecuación 4, tenemos:

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

Dado que el área de un círculo es: $A = .784\ D^2$.

$$= \frac{1.756\,\Omega\text{-m} \times 4\text{ m}}{.784x(.01\text{ m})^2} \times 10^{-8}$$

$$= 8.96 \times 10^{-4}\ \Omega$$

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:

$$t = Q/I$$

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

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

$$= 7200 \text{ seg}$$

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

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

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:

$$F = x \frac{mm^1}{d^2}$$

$$= 10^{-7} \frac{N}{A^2} \times \frac{50A\text{-}m \times 50A\text{-}m}{(.1 \text{ m})^2}$$

$$= \frac{2.5 \times 10^{-4} \text{ N} - m^2}{10^{-2} \text{ m}^2}$$

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

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 7, tenemos:

$$B = x \frac{2\pi I}{r}$$

$$= 10^{-7} \frac{wb}{A\text{-}m} \times \frac{2 \times 3.14 \times 10 A}{.08m}$$

$$= 785.4 \times 10^{-7} \text{ T}$$

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 10, tenemos:

$$B = x \frac{4\pi N I}{\ell}$$

$$= 10^{-7} \frac{wb}{A\text{-}m} \times \frac{4\pi \times 12 \text{ espiras} \times 8A}{10^{-2} m}$$

$$= 1.204 \times 10^{-2} \text{ T}$$

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO V.

1.- Calcular la fuerza ejercida entre dos cargas iguales de 1c, separadas en el aire una distancia de 1 Km.
{F= 9000 N}

2.- Hallar la fuerza ejercida entre dos electrones libres separados 1A° ($A° = 10^{-10}$ m).
{$F = 23.04 \times 10^{-9}$ N}

3.- Calcular la resistencia de un alambre de cobre de 80 m de largo y 0.5 cm de diámetro. $\rho_{cu} = 1.756 \times 10^{-8}$ Ω-m.
{R= 0.0716}

4.- Calcular la resistencia de una varilla de cobre (cuadrada) de 1 cm por lado y de 6 m de longitud.
{$R = 10.536 \times 10^{-4}$ Ω}

5.- Por un cable circulan 72,000 c en 2 hr. Calcular la corriente.
{I= 10 A}

6.- A través de una celta electrolítica se absorbe una corriente de 8 A durante 36 minutos. Calcular la carga eléctrica.
{Q= 17,280 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.
{$d = 35.77 \times 10^{-3}$ 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.
{$m = m^1 = 61.96$ 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.
{$B = 2 \times 10^{-5}$ Teslas.}

10.- Si la inducción magnética de un conductor rectilíneo a un punto situado a 0.2 m es de 2.5×10^{-6} T. Calcular la corriente que circula por el conductor.
{I= 2.5 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 sucentro?
{$B = 100.53 \times 10^{-5}$ Teslas.}

12.- En el problema anterior, cambiar la corriente a 8 A.
{$B = 160.85 \times 10^{-5}$ 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.
{$B = 2262 \times 10^{-5}$ Teslas.}

ELECTRICIDAD DE MOVIMIENTO.

¿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 querramos 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 con la tarifa establecida.

OBJETIVOS.

1.- Definir cada uno de los términos, conceptos, principios y leyes incluidos en este capítulo.

2.- Dados los datos apropiados, establecer el diagrama de un circuito serie y un circuito paralelo.

3.- Diferenciar un circuito serie de un circuito paralelo.

4.- Calcular, a partir de los datos apropiados, la resistencia equivalente: en un circuito serie, en un circuito paralelo y en un circuito mixto.

5.- Aplicar la ley de Ohm calculando el voltaje y la corriente, tanto en circuitos serie como en circuitos paralelos y circuitos mixtos.

6.- A partir de los datos apropiados, resolver problemas aplicando las reglas de Kirchhoff.

7.- Calcular la potencia eléctrica a partir de los datos apropiados.

8.- Calcular el calor desprendido por el calentamiento producido cuando existe consumo de energía eléctrica.

9.- Calcular el costo de la energía que se consume diariamente en tu casa, tomando como base las lecturas del "medidor".

PROCEDIMIENTO.

1.- Lee en forma general y rápida el capítulo VI.

2.- Subraya lo más importante del capítulo.

3.- Extracta las definiciones y analízalas ampliamente.

4.- Escribe un resumen del capítulo.

5.- Escribe en una cartulina las ecuaciones fundamentales del capítulo.

6.- Analiza detenidamente los problemas resueltos.

7.- Checa, por 3 días consecutivos, la lectrua del medidor de energía en tu casa.

8.- Dibuja el circuito eléctrico de tu casa.

9.- Resuelve los problemas de la autoevaluación llegando a los resultados marcados.

NOTA:

Es pre-requisito entregar completamente resueltos los problemas nones de la autoevaluación del capítulo VI en hojas tamaño carta.

CAPÍTULO VI.

ELECTRICIDAD EN MOVIMIENTO.

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.

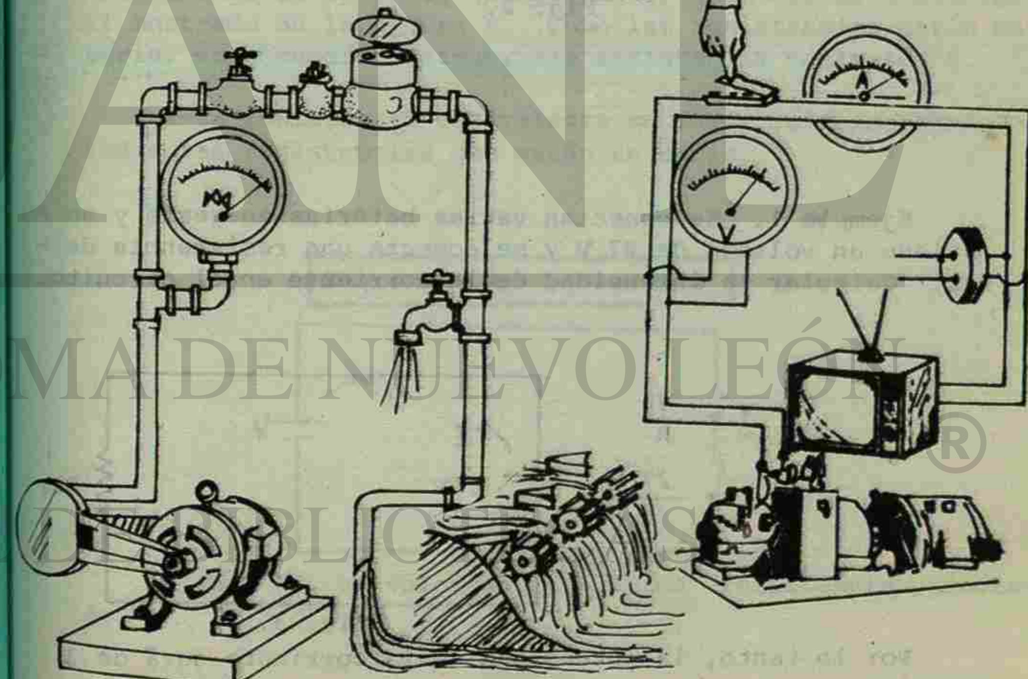


Fig. 1.

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 algebráicamente:

$$\boxed{\text{Intensidad (I)} = \frac{(V)}{(R)} = \frac{\text{Voltaje (volts)}}{\text{Resistencia en Ohmios}(\Omega)}} \quad (1)$$

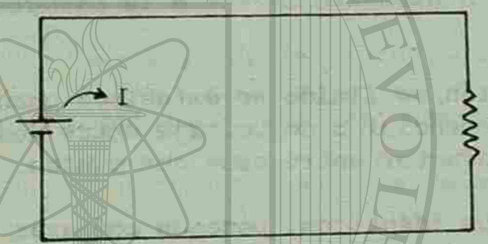


Fig. 2.

Ejemplo 1. Se conectan varias baterías en serie y se obtiene un voltaje de 27 V y se conecta una resistencia de 9 Ω. Calcular la intensidad de la corriente en el circuito.

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

$$= \frac{27\ V}{9\ \Omega}$$

$$= 3\ A$$

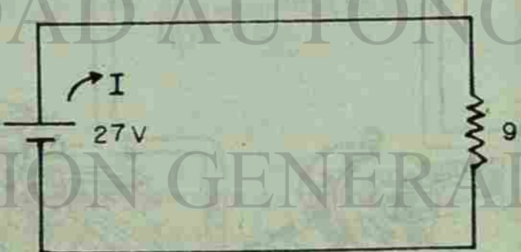


Fig. 3.

Por lo tanto, la intensidad de la corriente será de 3 amperios.

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.

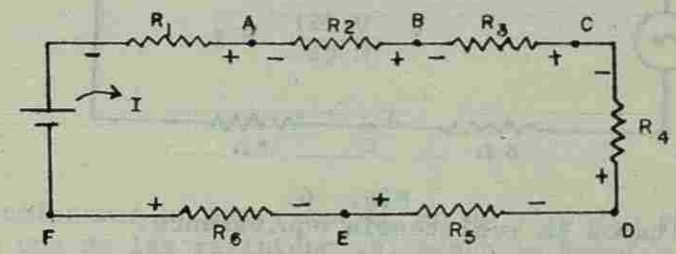


Fig. 4.

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:

$$\boxed{R_{eq} = R_1 + R_2 + \ldots\ldots + R_n} \quad (2)$$

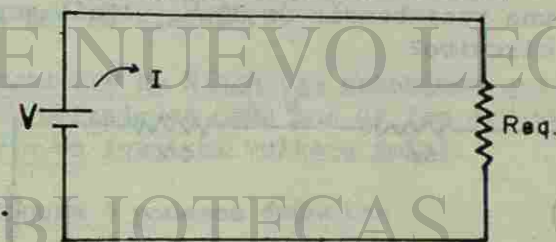


Fig. 5.

Siendo Rn, el valor de la última resistencia conectada.

Ejemplo 2. Se conectan en serie 4 focos de 5 Ω cada uno. Si el voltaje de la fuente es de 125 V. ¿Cuál es la corriente del circuito?

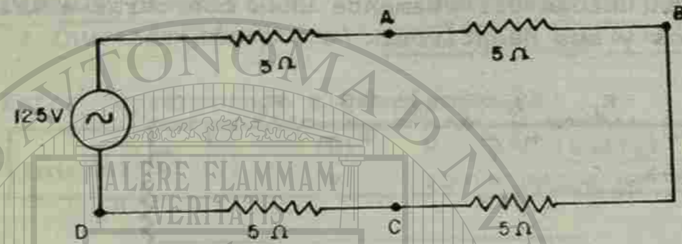


Fig. 6.

Necesitamos la resistencia equivalente.

$$R_{eq} = 5\ \Omega + 5\ \Omega + 5\Omega + 5\Omega$$
$$= 20\ \Omega$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

$$I = \frac{V}{R}$$
$$= \frac{125\ V}{20\ \Omega}$$
$$= 6.25\ A.$$

Ejemplo 3. Si se conecta al circuito anterior una plancha que tiene una resistencia de 20 Ω. ¿Cuál será la nueva corriente del circuito?

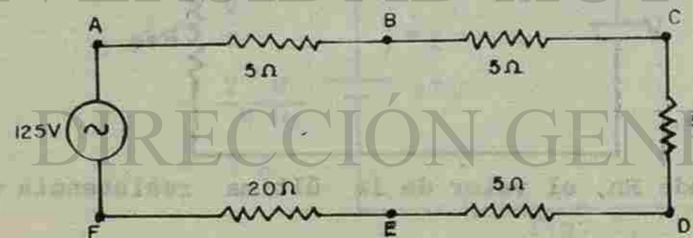


Fig. 7.

$$R_{eq} = 5\ \Omega + 5\ \Omega + 5\Omega + 5\ \Omega + 20\ \Omega$$
$$= 40\ \Omega$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

$$I = \frac{125\ V}{40\ \Omega}$$
$$= 3.125\ A.$$

Si colocamos un amperímetro, en un circuito serie, entre cada una de las resistencias, según se muestra en las figuras 8a y 8b, obtendríamos los mismos valores de corriente que hemos calculado.

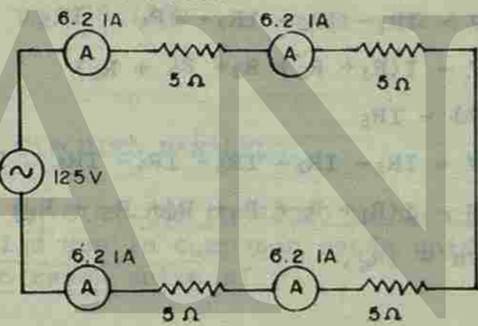


Fig. 8a.

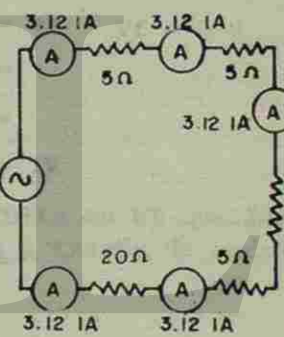


Fig. 8b.

6-3 PRIMERA LEY DE KIRCHHOFF.

La primera ley 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 4 podemos deducir:

$$\boxed{V = IR_1 + IR_2 + \ .....\ + IR_n} \qquad (3)$$

Por lo tanto, podemos calcular el voltaje existente en cada uno de los puntos marcados en la figura 4.

$Va = V - IR_1$ (IR_1 = caída de voltaje en la resistencia 1)

$$Vb = V - IR_1 - IR_2$$
$$= V - I(R_1 + R_2)$$
$$= Va - IR_2$$
$$Vc = V - IR_1 - IR_2 - IR_3$$
$$= V - I(R_1 + R_2 + R_3)$$
$$= Vb - IR_3$$
$$Vd = V - IR_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4$$
$$= V - I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$
$$= Vc - IR_4$$
$$Ve = V - IR_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4 - IR_5$$
$$= V - I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)$$
$$= Vd - IR_5$$
$$Vf = V - IR_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4 - IR_5 - R_6$$
$$= V - I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6)$$
$$= Ve - IR_6 .$$

Ejemplo 4. Del ejemplo 2, demostrar la primera ley de Kirchhoff y calcular los voltajes en los puntos A, B, C y D.

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4$$
$$= 6.25\ A \times 5\Omega + 6.25\ A \times 5\Omega + 6.25\ A \times 5\Omega + 6.25\ A \times 5\Omega$$
$$= 31.25\ V + 31.25\ V + 31.25\ V + 31.25V$$
$$= 125.00\ V.$$

$$Va = 125V - 6.25\ A \times 5\Omega$$
$$= 93.75\ V$$

$$Vb = 93.75\ V - 6.25 \times 5\ \Omega$$
$$= 62.5\ V$$
$$Vc = 62.5\ V - 6.25\ A \times 5\Omega$$
$$= 31.25\ V.$$
$$Vd = 31.25\ V - 6.25\ A \times 5\Omega$$
$$= 0$$

PROBLEMA. Demuestre que en el ejemplo 3, los siguientes voltajes son correctos:

Va = 125 V	Vb = 109.375 V	Vc = 93.75 V
Vd = 78.125V	Ve = 62.5 V	Vf = 0 V

6-4 CIRCUITO PARALELO.

Un *circuito paralelo* es un circuito en el que las resistencias que lo componen están unidos a través de nodos, formando ramas entre sí.

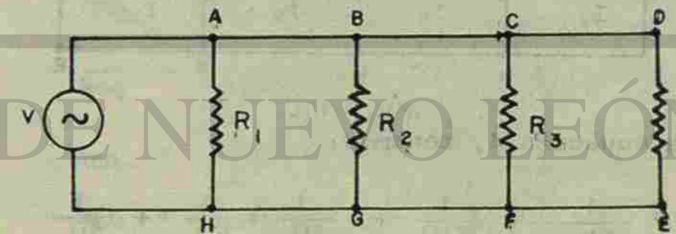


Fig. 9.

También en este caso, tenemos que simplificar el circuito, hasta que nos quede similar al mostrado en la figura 10.

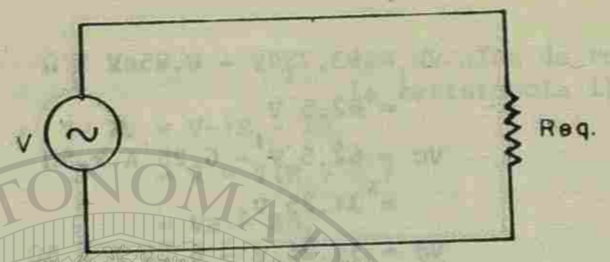


Fig. 10.

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.

$$\boxed{\frac{1}{Req} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{Rn}} \qquad (4)$$

Ejemplo 5. Se conectan en paralelo 4 focos de 5 Ω a una toma de 125 V. Calcular la resistencia equivalente y la corriente máxima del circuito.

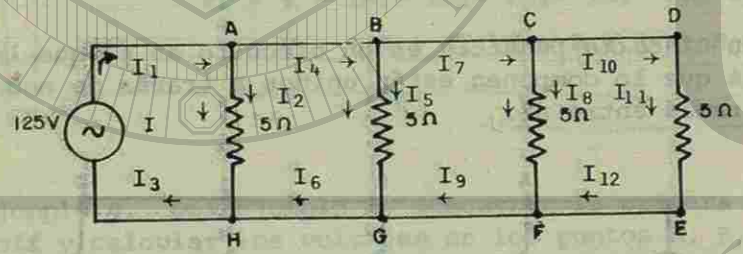


Fig. 11.

Por la ecuación 4, tenemos:

$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{5\ \Omega} + \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{5\Omega}$$

$$\frac{1}{Req} = \frac{1+1+1+1}{5\ \Omega}$$ (5Ω es el común denominador)

$$\frac{1}{Req} = \frac{4}{5\ \Omega}$$

$$Req = 5\Omega/\ 4$$

$$Req = 1.25\ \Omega$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

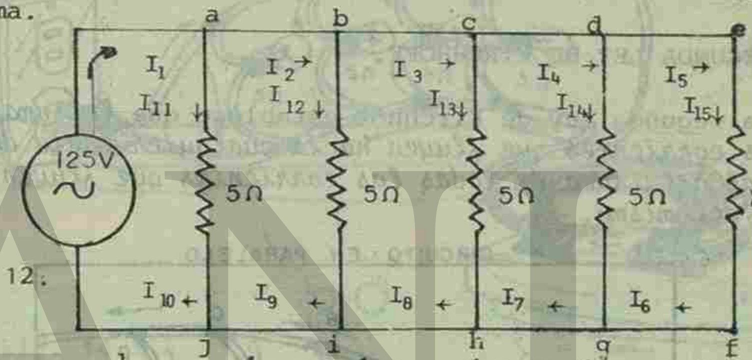
$$I = V/R$$

$$I = 125\ V/1.25\ \Omega$$

$$= 100\ A.$$

Ejemplo 6. Si se conecta al circuito anterior una plancha de 20 Ω, también en paralelo, calcular la corriente máxima.

Fig. 12.



$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{5\ \Omega} + \frac{1}{5\ \Omega} + \frac{1}{5\ \Omega} + \frac{1}{5\ \Omega} + \frac{1}{20\Omega}$$

$$\frac{1}{Req} = \frac{4+4+4+4+1}{20\Omega}$$

$$\frac{1}{Req} = \frac{17}{20\ \Omega}$$

$$Req. = 20\Omega/17$$

$$Req = 1.177\Omega$$

Por la ley de Ohm, tenemos:

$$I = V/R$$

$$= 125V/1.177\Omega$$

$$= 106.25\ A$$

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.

$$V_T = Vah = Vbg = Vcf = Vde.$$

6-5 SEGUNDA LEY DE KIRCHHOFF.

La segunda ley de Kirchhof 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.*

CIRCUITO EN PARALELO

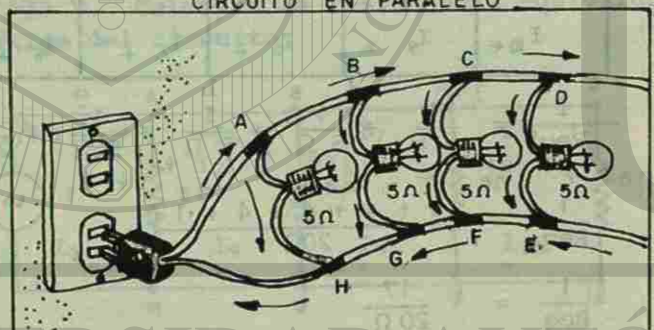


Fig. 13.

En el circuito anterior (figura 11), por la segunda ley de Kirchoff, tenemos:

Nodo a	$I_1 = I_2 + I_4$	Nodo e	$I_{11} = I_{12}$
Nodo b	$I_4 = I_5 + I_7$	Nodo f	$I_9 = I_{12} + I_8$
Nodo c	$I_7 = I_8 + I_{10}$	Nodo g	$I_6 = I_9 + I_5$
Nodo d	$I_{10} = I_{11}$	Nodo h	$I_3 = I_6 + I_2$

Pero si conocemos el voltaje de la fuente y sabiendo que en cada resistencia existe el mismo voltaje podemos calcular la corriente que circula por cada una de las resistencias. Para la figura 13, tenemos:

$I_1 = Vah/R_1 = V_T/R_1$ $\qquad$ $I_8 = Vcf/R_3 = V_T/R_3$

$I_5 = Vbg/R_2 = V_T/R_2$ $\qquad$ $I_{11} = Vde/R_4 = V_T/R_4$

Ejemplo 7. De la figura 4, calcular la corriente que circula por cada uno de los alambres.

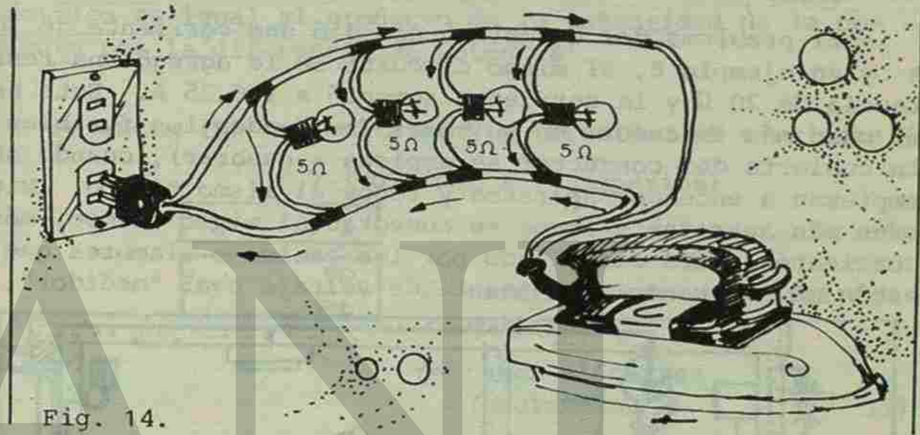


Fig. 14.

En el circuito mostrado en la fig. 12, tenemos:

$I_{11} = 125\ V/5\Omega = 25\ A$ $\qquad$ $I_{12} = 125\ V/5\Omega = 25\ A$

$I_{13} = 125\ V/5\Omega = 25\ A$ $\qquad$ $I_{14} = 125\ V/5\Omega = 25\ A$

$I_{15} = 125\ V/20\Omega = 6.25\ A$

Nodo e $\quad I_5 = I_{15} = 6.25\ A$

Nodo f $\quad I_6 = I_{15} = 6.25\ A$

Nodo d $\quad I_4 = I_5 + I_{14} = 6.25\ A + 25\ A = 31.25\ A$

Nodo g $\quad I_7 = I_6 + I_{14} = 6.25\ A + 25\ A = 31.25\ A$

Nodo c $\quad I_3 = I_4 + I_{13} = 31.25\ A + 25\ A = 56.25\ A$

Nodo h $\quad I_8 = I_7 + I_{13} = 31.25\ A + 25\ A = 56.25\ A$

Nodo b $\quad I_2 = I_3 + I_{12} = 56.25\ A + 25\ A = 81.25\ A$

Nodo i $I_9 = I_8 + I_{12} = 56.25\ A + 25\ A = 81.25\ A$

Nodo a $I_1 = I_2 + I_{11} = 81.25\ A + 25\ A = 106.25\ A$

Nodo j $I_{10} = I_9 + I_{11} = 81.25\ A + 25\ A = 106.25\ A$

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 Ω 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".

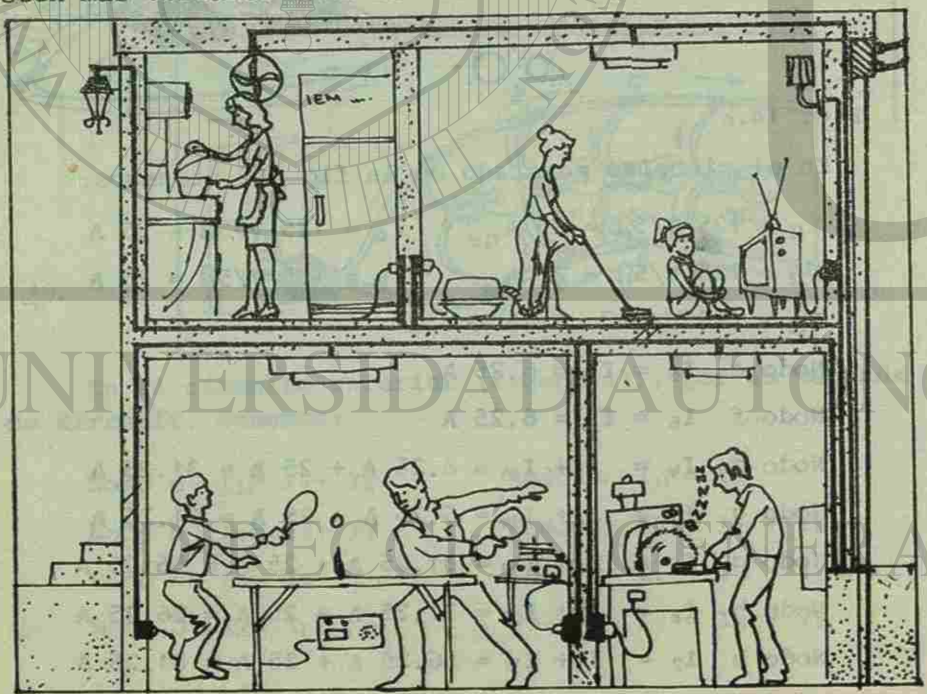


Fig. 15.

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 co- -- rriente por la diferencia de potencial.

Potencia (P) = voltaje (V) x intesidad de corriente (I)

= V (voltios) x I (amperios)

$$\boxed{P = V\,I} \qquad (6)$$

$$\boxed{P = \frac{VQ}{t}} \qquad (7)$$

V= diferencia de potencial en voltios

Q= carga eléctrica (coulumbios)

t= tiempo (segundos)

También:

$$\boxed{P = I^2 R} \qquad (8)$$

I= intensidad de corriente

R= resistencia

Siempre que hay un consumo de potencia existe siempre un calentamiento. Este calor desprendido se puede calcular por:

Q = equivalente mecánico de calor x trabajo desarrollado

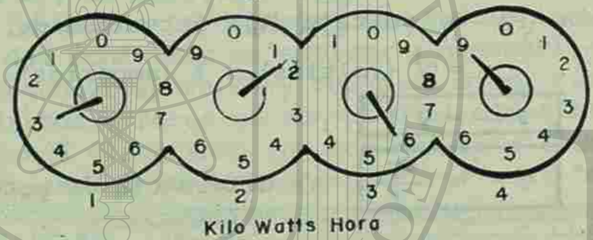
$$\boxed{Q = 0.24\ \frac{cal}{J} \times T} \qquad (9)$$

$$\boxed{Q = 0.24\ \frac{cal}{J} \times Pt} \qquad (10)$$

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. 16.



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 16, 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.

2º En 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.

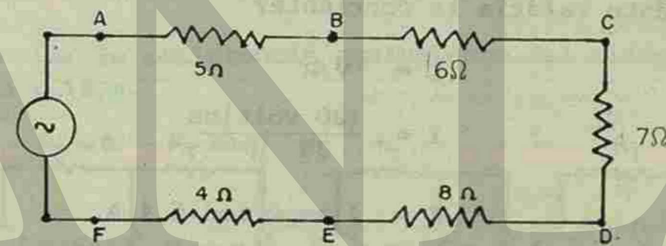
3º La energía total consumida será la diferencia de la lectura actual y la lectura anterior.

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 17.

Fig. 17



Dado que el circuito es serie:

$$Req = 5\ \Omega + 6\ \Omega + 7\ \Omega + 8\ \Omega + 4\ \Omega$$
$$= 30\ \Omega$$

2.- Calcular la Req del circuito mostrado en la figura 18.

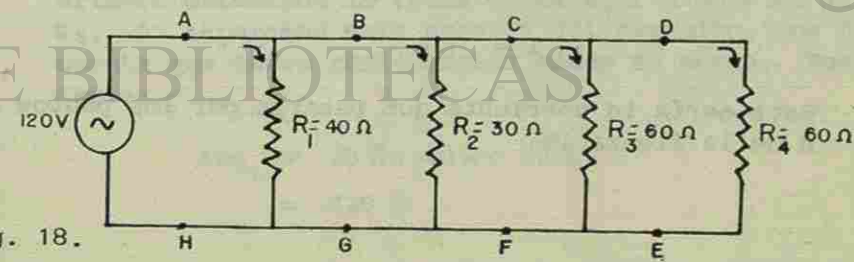


Fig. 18.

Este es un circuito paralelo.

$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{40\Omega} + \frac{1}{30\Omega} + \frac{1}{60\Omega} + \frac{1}{60\Omega}$$

$$\frac{1}{Req} = \frac{3 + 4 + 2 + 2}{120 \quad \Omega}$$

$$\frac{1}{Req} = \frac{11}{120 \ \Omega}$$

$$Req = 120\Omega/11$$

$$Req = 10.91 \ \Omega$$

3.- Si el voltaje en el problema 1 fuera de 120 voltios. ¿Cuánto valdría la corriente?

$$I = V/R$$

$$I = \frac{120 \text{ voltios}}{30 \quad \Omega}$$

$$I = 4 \text{ amperios ó } 4 \text{ A.}$$

4.- Si en el problema 2, el voltaje fuera de 120 voltios, ¿cuál sería la corriente total?

$$I = V/R$$

$$I = \frac{120 \text{ voltios}}{10.91 \ \Omega}$$

$$I = 11A$$

Esta sería la corriente que pasaría por los puntos A y H de la figura 18.

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.

$$Vb = 120V - 5\Omega x \ 4A = 120V - 20V = 100 \ V$$

$$Vc = 100V - 6\Omega x \ 4A = 100V - 24V = 76 \ V$$

$$Vd = 76V - 7\Omega x \ 4A = 76V - 28V = 48 \ V$$

$$Ve = 48V - 8\Omega x \ 4A = 48V - 32V = 16 \ V$$

$$Vf = 16V - 4\Omega x \ 4A = 16V - 16V = 0$$

Diferencia total de voltaje:

$$120V - 4A \ x \ 30\Omega = 120V - 120V = 0 \text{ en el punto f.}$$

6.- Calcular la resistencia equivalente del circuito de la figura 19 a.

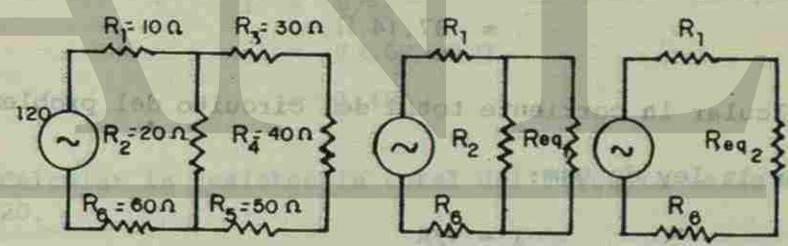


Fig. 19 a. Fig. 19b. Fig. 19c.

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:

$$Req_1 = 30 \ \Omega + 40 \ \Omega + 50 \ \Omega$$
$$= 120 \ \Omega$$

Con esta resistencia se reduce nuestro circuito al mostrado en la figura 19b. 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 19c, notando claramente que el circuito final es un simple circuito serie. Por lo tanto:

$$Req\ Tot = 10\ \Omega + 17.14\ \Omega + 60\ \Omega$$
$$= 87.14\ \Omega$$

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.

$$I = 120V/87.14\ \Omega$$
$$= 1.377A$$

8.- Calcular la corriente que pasa a través de la R_2 del problema 6.

Solución:

Al calcular la Req_2 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 Req_1. Si aplicamos la ley de Ohm para encontrar el voltaje que tienen las resistencias conectadas en paralelo obtenemos.

$$V = I\ Req_2$$
$$= 1.377A \times 17.14\ \Omega$$
$$= 23.6V$$

O sea, que la R_2 está conectada a un voltaje de 23.6 V y aplicando otra vez la ley de Ohm para encontrar la corriente que pasa por esta resistencia obtenemos:

$$I = V/R_2$$
$$= 23.6V/20\ \Omega$$
$$= 1.18A.$$

9.- Calcular la resistencia total del circuito de la figura 20.

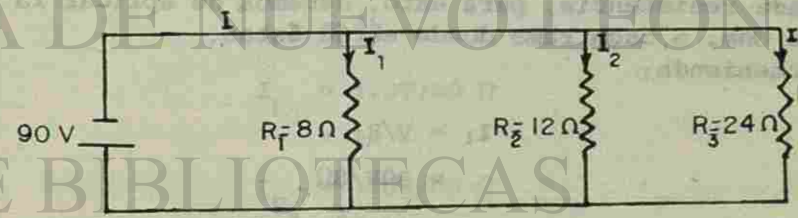


Fig. 20

Solución:

La resistencia equivalente se puede calcular con la ecuación 4 y obtenemos:

$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{8\Omega} + \frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{24\ \Omega}$$

$$\frac{1}{Req} = \frac{3+2+1}{24\ \Omega}$$

$$Req = 24\ \Omega/6$$

$$Req = 4\ \Omega$$

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:

$$\begin{aligned} I_1 &= V/R_1 \\ &= 90V/8\Omega \\ &= 11.25\ A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= V/R_2 \\ &= 90V/12\Omega \\ &= 7.5\ A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_3 &= V/R_3 \\ &= 90V/24\ \Omega \\ &= 3.75\ A. \end{aligned}$$

Aplicando la ley de Kirchhoff tenemos:

$$\begin{aligned} I_T &= I_1 + I_2 + I_3 \\ &= 11.25A + 7.5A + 3.75A \\ &= 22.5A \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} I_{R_1} &= 120V/40\ \Omega \\ &= 3A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{R_2} &= 120V/30\ \Omega \\ &= 4A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{R_3} &= 120V/60\ \Omega \\ &= 2A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{R_4} &= 120V/60\ \Omega \\ &= 2A \end{aligned}$$

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:

$$P = V^2/R$$
$$= (120V)^2/30\Omega$$
$$= 480 \text{ vatios.}$$

13.- Calcular la potencia eléctrica consumida en el circuito del problema 2.

$$P = I^2 R$$
$$= (11A)^2 \times 10.91\ \Omega$$
$$= 1320.11 \text{ vatios}$$
$$= 1.320 \text{ Kw.}$$

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 21.

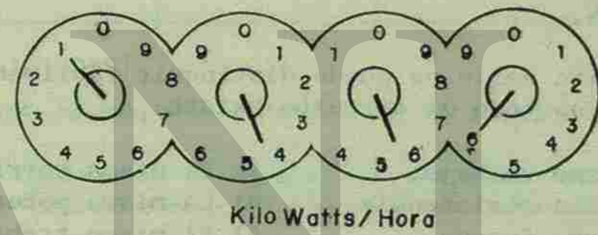


Fig. 21.

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:

Consumo = lectura actual - lectura anterior

= 1456 Kws-h - 1243 Kws-h

= 213 Kws-h

b) El costo total de la energía consumida será:

$$\text{Costo} = \text{consumo} \times \text{precio de un Kw-h}$$

$$= 213 \text{ Kws-h} \times 0.80 \ \frac{\$}{\text{Kw-h}}$$

$$= \$\ 170.40$$

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:

0) Nula.
1) Máxima.
2) Mínima.
3) Igual.
4) Negativa.

3.- Es la fórmula que se utiliza para calcular la resistencia equivalente en un circuito paralelo:

0) $Req = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + Rn$

1) $1/Req = 1/R_1 = 1/R_2 + \ldots + Rn$

2) $1/Req = R_1 + R_2 + \ldots + Rn$

3) $Req = 1/R_1 + 1/R_2 + \ldots + 1/Rn$

4) $1/Req = 1/R_1 + 1/R_2 + \ldots + 1/Rn$

4.- La resistencia equivalente en un circuito paralelo es ________ que cualquiera de las resistencias.

0) Menor.
1) Mayor.
2) Igual.
3) Mucho mayor.
4) Nula.

5.- Calcular la Req del circuito de la figura 22.

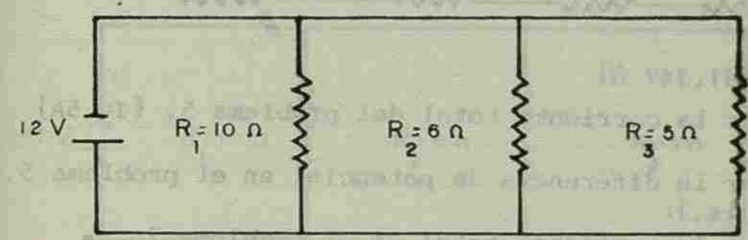


Fig. 22.

{Req= 2.1428Ω}

6.- Calcular la Req del circuito de la figura 23.

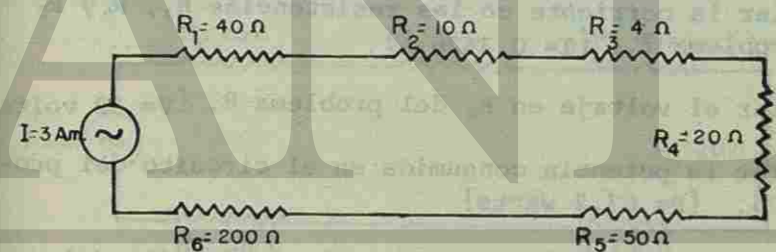


Fig. 23.

{ Req= 324 Ω}

7.- Calcular la Req del circuito de la figura 24.

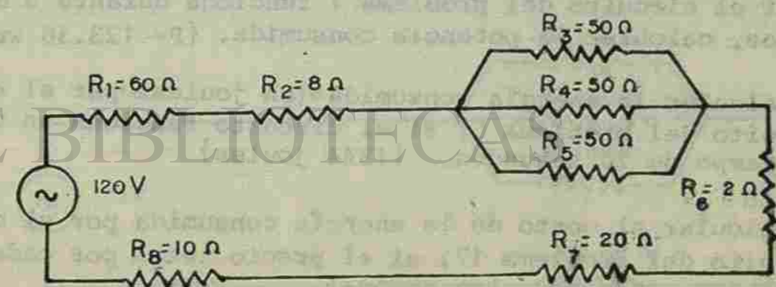


Fig.24.

{Req= 116.66 Ω}

8.- Del circuito de la figura 25, calcular la Req.

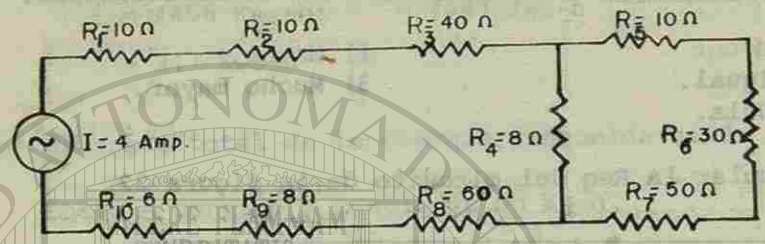


Fig. 25.

{Req= 141.347 Ω}

9.- Calcular la corriente total del problema 5. {I= 5A}

10.- Calcular la diferencia de potencial en el problema 5. {12 volts.}

11.- Calcular la corriente total en el problema 7. {I= 1.028 A}

12.- Calcular el voltaje total en el problema 8. {V= 565.4 V}

13.- Calcular la corriente en las resistencias R_3, R_4 y R_5 del problema 7. {I= 0.3426 A}

14.- Calcular el voltaje en R_4 del problema 8. {V= 32 volts}

15.- Calcular la potencia consumida en el circuito del problema 5. {P= 67.2 watts}

16.- Calcular la potencia consumida por el circuito del problema 6. {P= 2916 watts}

17.- Si el circuito del problema 7 funciona durante 5 minutos, calcular la potencia consumida. {P= 123.36 watts}

18.- Calcular la energía consumida (en joules) por el circuito del problema 5, si el circuito funciona en un tiempo de 20 segundos. {1344 joules}

19.- Calcular el costo de la energía consumida por el circuito del problema 17; si el precio total por cada - - Kw-h = $ 0.80. {$0.008224}

4.- La resistencia equivalente en un circuito paralelo es ______________ que cualquiera de las resistencias.

0) Menor.
1) Mayor.
2) Igual.
3) Mucho mayor.
4) Nula.

5.- Calcular la Req del circuito de la figura 22.

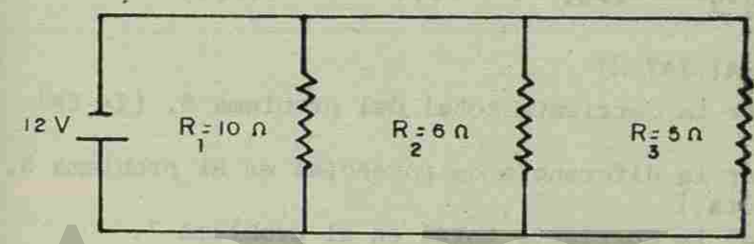


Fig. 22.

{Req= 2.1428Ω}

6.- Calcular la Req del circuito de la figura 23.

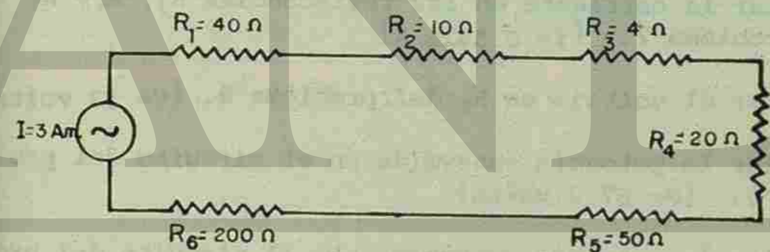


Fig. 23.

{ Req= 324 Ω}

7.- Calcular la Req del circuito de la figura 24.

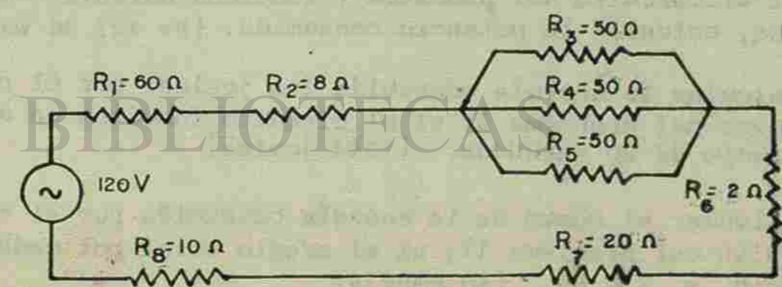


Fig.24.

{Req= 116.66 Ω}

8.- Del circuito de la figura 25, calcular la Req.

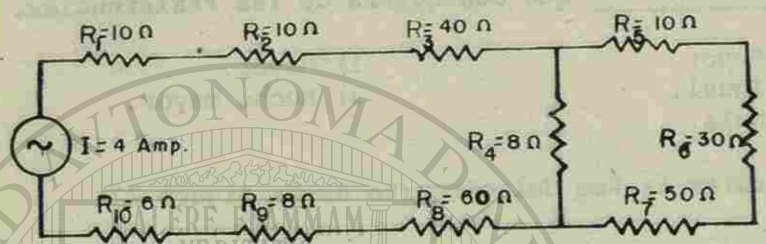


Fig. 25.

{Req= 141.347 Ω}

9.- Calcular la corriente total del problema 5. {I= 5A}

10.- Calcular la diferencia de potencial en el problema 5. {12 volts.}

11.- Calcular la corriente total en el problema 7. {I= 1.028 A}

12.- Calcular el voltaje total en el problema 8. {V= 565.4 V}

13.- Calcular la corriente en las resistencias R_3, R_4 y R_5 del problema 7. {I= 0.3426 A}

14.- Calcular el voltaje en R_4 del problema 8. {V= 32 volts}

15.- Calcular la potencia consumida en el circuito del problema 5. {P= 67.2 watts}

16.- Calcular la potencia consumida por el circuito del problema 6. {P= 2916 watts}

17.- Si el circuito del problema 7 funciona durante 5 minutos, calcular la potencia consumida. {P= 123.36 watts}

18.- Calcular la energía consumida (en joules) por el circuito del problema 5, si el circuito funciona en un tiempo de 20 segundos. {1344 joules}

19.- Calcular el costo de la energía consumida por el circuito del problema 17; si el precio total por cada Kw-h = $ 0.80. {$0.008224}

20.- Calcular el calor desprendido en el circuito del problema 17. {Q= 8882 calorías}

21.- Calcular el calor desprendido en el circuito del problema 18. {Q= 322.56 calorías}

OTROS ELEMENTOS ELÉCTRICOS.

El primer sistema comercial de energía eléctrica, desarrollada por Thomás Alva Edison, era estrictamente un sistema de corriente contínua. La mayoría de los científicos estaban convencidos que la corriente alterna no era segura ni práctica para uso comercial y que no tenían 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 el capítulo.

2.- Calcular, dado los datos apropiados, la inductancia y la capacitancia equivalente en: un circuito serie, un circuito paralelo y un circuito mixto.

3.- Dados los datos apropiados, calcular la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva.

4.- Diferenciar entre transformadores elevadores y transformadores reductores, y aplicar las fórmulas $E_p/E_s = N_p/N_s$ e $I_s/I_p = N_p/N_s$, resolviendo problemas.

5.- Resolver problemas con circuitos RLC, calculando la impedancia y la potencia.

6.- Explicar el funcionamiento de un diodo como rectificador de media onda.

7.- Explicar brevemente el funcionamiento de un transistor.

8.- Diferenciar entre un transistor NPN y un transistor PNP.

PROCEDIMIENTO.

1.- Lee en forma general y rápida el capítulo VII.

2.- Subraya lo más importante del capítulo.

3.- Extracta las definiciones y analízalas ampliamente.

4.- Escribe un resumen del capítulo.

5.- Escribe en una cartulina las ecuaciones fundamentales del capítulo.

6.- Analiza detenidamente los problemas resueltos.

7.- Resuelve los problemas de la autoevaluación llegando a los resultados marcados.

NOTA:

Es pre-requisito entregar completamente resueltos los problemas nones de la autoevaluación del capítulo VI en hojas tamaño carta.

CAPÍTULO VII.

OTROS ELEMENTOS ELÉCTRICOS.

El estudio de la electricidad y la electrónica gira en torno a las características de los circuitos, tales como la inductancia, la capacitancia, la resistencia y las combinaciones de estas componentes en serie y en paralelo.

7-1 INDUCTANCIA.

La *inductancia* puede definirse como *la capacidad de un circuito eléctrico de oponerse o resistirse a un cambio de corriente*. Esta resistencia al cambio de corriente es el resultado de la energía almacenada dentro del campo magnético de la bobina. Todas las bobinas de alambre tienen inductancia.

Una bobina conectada a una fuente (fig. 1), producirá un campo magnético, cuando se cierra el circuito. El campo magnético en expansión que atraviesa el devanado de la bobina, inducirá un voltaje o fuerza contra electromotriz,que se opondrá al voltaje de la fuente y a la elevación de la corriente. Cuando ésta última alcanza su valor máximo y no hay más cambios, no se inducirá ya la fuerza contra electromotriz. La corriente, entonces, estará limitada sólo por la resistencia en ohms del conductor. Sin embargo, si el voltaje de la fuente se desconecta, la corriente tenderá a caer a cero; pero la disminución en el campo magnético inducirá de nuevo una fuerza contra electromotriz que retrasará la reducción de corriente.

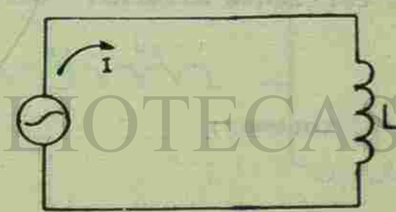


Fig. 1.

La inductancia de la bobina se opone a cualquier cambio en el valor de la corriente. El símbolo para la inductancia es la letra mayúscula L y se mide en una unidad llamada *henrio* (h). Un henrio representa la inductancia de una bobina si se produce un voltio de FEM inducida, cuando la corriente cambia al ritmo de un amperio por segundo. Con esto tenemos la siguiente ecuación:

$$\boxed{E = L\,\frac{\Delta I}{\Delta t}} \qquad (1)$$

donde:

E = voltaje inducido (voltios)
L = inductancia (henrios)
ΔI = cambio de corriente (amperios)
Δt = cambio de tiempo (segundos)

Debido a que el efecto de la inductancia reduce la corriente de electrones, se puede pensar que se parece en algo a la resistencia. La medición de este efecto se llama *reactancia inductiva*, para distinguirla de la verdadera resistencia cuando la energía eléctrica se convierte en calor.

$$\boxed{X_L = 2\pi fL} \qquad (2)$$

donde:

X_L = reactancia inductiva (Ω)
f = frecuencia (cps = ciclos por seg.)

Ejemplo 1. Una inductancia de 60×10^{-5} h esta conectada a la línea de 60 cps de corriente alterna. Calcular la reactancia inductiva.

Solución:

Por la ecuación 2, tenemos:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$= 2\times3.1416\times60 \text{ cps}\times60\times10^{-5} \text{ h.}$$

$$= .226 \ \Omega .$$

7-2 INDUCTANCIA MUTUA.

Cuando dos bobinas se encuentran dentro del alcance magnético, una de la otra, puede considerarse que tienen una *inductancia mutua*. Si están próximas una a la otra muchas líneas magnéticas del flujo de la primera se enlazarán con la segunda. La inductancia mutua de las dos bobinas pueden aumentarse considerablemente, si se utiliza un núcleo de hierro común para ambas.

Si todas las líneas de una atraviesan a las vueltas del devanado de la otra, existirá un *acoplamiento unitario*.

La cantidad de inductancia mutua la podemos calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$\boxed{M = K\sqrt{L_1L_2}} \qquad (3)$$

donde:

M = inductancia mutua (henrios)
K = coeficiente o porcentaje de acoplamiento
L_1 y L_2 = inductancias de las dos bobinas respectivamente (henrios).

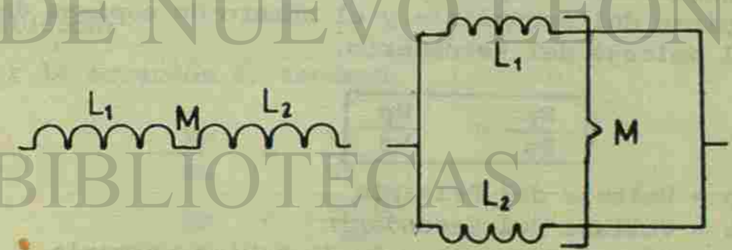


Fig. 2.

Ejemplo 2. Dos bobinas, una de 144 h y otra de 225 h, están con un 80 % de acoplamiento. Calcular la inductancia mutua.

Solución:

Por la ecuación 3, tenemos:

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}$$
$$= .8 \sqrt{144h \times 225h}$$
$$= 144 \text{ h.}$$

7-3 TRANSFORMADOR.

Michael Faraday, fué un científico inglés, que hizo muchos estudios sobre el electromagnetismo, estos estudios lo condujeron al descubrimiento de la inducción mutua, que es el principio en que se basan los transformadores.

Faraday dedujo que el carácter de la tensión inducida depende de la cantidad de flujo que une a un circuito. Otra cosa que nos dice la ley de Faraday es que la tensión en una bobina es proporcional al número de espiras de dicha bobina.

El *transformador simple* está formado por dos bobinas, muy cerca entre sí, pero aisladas eléctricamente. A la bobina a la cual se le aplica corriente alterna, se le llama *primario*, este a su vez genera un campo electromagnético, que atraviesa el enrollamiento de la otra bobina, llamada *secundaria*. Suponiendo que todas las líneas atraviesan las espiras del secundario, dependerá de la relación entre el número de espiras del secundario y el número de espiras del primario, el voltaje del secundario.

$$\boxed{\frac{Ep}{Es} = \frac{Np}{Ns}} \qquad (4)$$

Ep = Voltaje del Primario
Es = Voltaje del Secundario
Np = Número de vueltas de la bobina primaria
Ns = Número de vueltas de la bobina secundaria

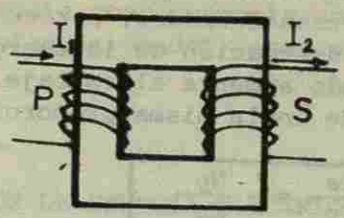


Fig. 3.

Por lo tanto, el voltaje en el secundario será:

$$\boxed{Es = \frac{Ep\ Ns}{Np}}$$

Dentro de los transformadores simples podemos tener transformadores elevadores y transformadores reductores. En el transformador elevador, Np < Ns. Y en el transformador reductor Np > Ns

Ejemplo 3. Un transformador elevador tiene 125 vueltas en la bobina primaria y 25,000 vueltas en la secundaria. Si el primario está conectado a una línea de 220 voltios, de corriente alterna, encontrar el voltaje entregado en las terminales del secundario.

Solución:

Por la ecuación 4, tenemos:

$$\frac{Ep}{Es} = \frac{Np}{Ns}$$
$$Es = \frac{Ep\ Ns}{Np}$$
$$= \frac{220 \text{ voltios} \times 25000 \text{ vueltas}}{125 \text{ vueltas}}$$
$$= 44{,}000 \text{ voltios.}$$

7-4 POTENCIA.

El aumento o disminución de voltaje de una corriente alterna por medio de un transformador, parece ser una violación a la ley de la conservación de la energía. En realidad no es así, porque cuando aumenta el voltaje, la corriente simultáneamente desciende en la misma proporción.

$$\boxed{\frac{Is}{Ip} = \frac{Np}{Ns}} \qquad (5)$$

$$\boxed{Is = \frac{Np\ Ip}{Ns}} \qquad (6)$$

Is = corriente del secundario.
Ip = corriente del primario.

Ejemplo 4. Si en ejemplo 3, la corriente del primario es de 100 A, encontrar la corriente en el secundario.

Solución:

Por la ecuación 6, tenemos:

$$Is = \frac{Np\ Ip}{Ns}$$

$$= \frac{125 \text{ vueltas} \times 100 \text{ A}}{25000 \text{ vueltas}}$$

$$= 0.5 \text{ A.}$$

ó

$$Is = \frac{Vp\ Ip}{Vs}$$

$$= \frac{220 \text{ voltios} \times 100 \text{ A}}{44000 \text{ voltios}}$$

$$= 0.5 \text{ A}$$

Cuando por ejemplo, un transformador se usa para elevar 100 veces el voltaje que se suministra al primario, la corriente en el secundario es 1/100 de la corriente en el primario. Entonces:

$$\boxed{VpIp = Vs\ Is} \qquad (7)$$

En la práctica, esto no es completamente cierto, porque un transformador no es 100 % efectivo. Una pequeña cantidad de energía se gasta contínuamente en forma de calor. En un transformador bien diseñado, estas pérdidas no deben exceder de un 2 ó 3 %.

7-5 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

En la transmisión de energía eléctrica por medio de cables a largas distancias, los transformadores son indispensables. Por ejemplo, en la central eléctrica situada en alguna presa alejada, la energía eléctrica se produce en enormes generadores de corriente alterna a un voltaje relativamente bajo de varios miles de voltios. Si se intentara transmitir esta energía eléctrica a un voltaje de casi 2200 voltios, por muchos kilómetros de cable a una ciudad lejana, la intensidad de corriene sería tan grande que casi toda se consumiría en calentar dicho cable. Deben recordar del capítulo anterior que el calor generado es proporcional al cuadrado de la corriente:

$$\boxed{\text{Calor} = 0.24\ I^2\ Rt} \qquad (8)$$

Para evitar las grandes pérdidas caloríficas, los transformadores en las centrales eléctricas elevan el voltaje hasta unos 220,000 voltios antes de mandar la corriente por la línea de transmisión. Al llegar la línea de transmisión a la ciudad, una subestación reduce el voltaje a su valor original de 2200 voltios. Desde allí, se distribuye la energía por varios ramales. A diferentes sectores de la ciudad, donde se usan transformadores más pequeños, uno cerca de cada grupo de varias casas, disminuyendo otra vez el voltaje a valores relativamente seguros de 110 ó 220 voltios.

Ejemplo 5. Si un transformador recibe en el primario 2200 voltios y en el secundario se obtienen 220000 voltios. ¿Cuál sería la proporción de pérdidas en calor, no usando el transformador y usando el transformador?

Sin transformador:

$$Q_1 = 0.24\ Ip^2\ Rt$$

Con transformador:

$$Q_2 = 0.24\ Is^2\ Rt$$

Solución:

Por la ecuación 6, tenemos:

$$Is = \frac{Vp\ Ip}{Vs}$$

$$Is = \frac{2200\ \text{(voltios)}\ Ip}{220000\ \text{(voltios)}}$$

$$= \frac{1}{100}\ Ip$$

$$Q_2 = 0.24\ \left(\frac{Ip}{100}\right)^2 Rt$$

$$= 0.24\ \frac{Ip^2}{10^4}\ Rt$$

$$= \frac{1}{10^4} \times 0.24\ Ip^2\ Rt$$

Pero como el segundo miembro es igual a Q_2, tenemos:

$$Q_2 = Q_1/10^4$$

Por lo tanto, Q_2 es diezmilésima parte de Q_1. Es decir, se produce la diezmilésima parte en pérdidas de calor.

7-6 INDUCTANCIA EN SERIE Y EN PARALELO.

Si se conectan inductancias en serie, podemos calcular la inductancia equivalente.

$$\boxed{Leq = L_1 + L_2 + \ .\ .\ .\ .\ + Ln} \qquad (9)$$

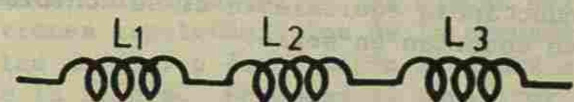


Fig. 4.

Si existe inductancia mutua entre dos inductancias en serie, tenemos:

$$\boxed{Leq = L_1 + L_2 \pm\ 2M} \qquad (10)$$

El signo ($\pm$) antes de la M, indica que debe utilizarse (+) cuando las bobinas se suman una a la otra, y (-), cuando los campos magnéticos se oponen entre sí.

Para bobinas conectadas en paralelo podemos calcular la leq con la siguiente ecuación:

$$\boxed{\frac{1}{Leq} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ .\ .\ .\ . + \frac{L}{Ln}} \qquad (11)$$

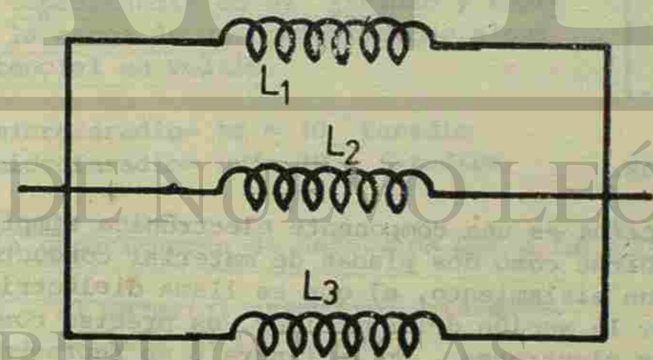


Fig. 5.

Ejemplo 6. Tres inductancias de 50 h, 100 h y 150 h. a) Calcular la inductancia equivalente si se conectan en paralelo y b) si se conectan en serie.

Solución:

a) Por la ecuación 11, tenemos:

$$\frac{1}{Leq} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

$$\frac{1}{Leq} = \frac{1}{50\ h} + \frac{1}{100\ h} + \frac{1}{150\ h}$$

$$\frac{1}{Leq} = \frac{6 + 3 + 2}{300\ h}$$

$$Leq = \frac{300\ h}{11}$$

$$Leq = 27.27\ h.$$

b) Por la ecuación 10:

$$Leq = L_1 + L_2 + L_3$$

$$= 50\ h + 100\ h + 150\ h$$

$$= 300\ h$$

7-7 CAPACITOR.

Un *capacitor* es una componente electrónica simple, que puede describirse como dos placas de material conductor, separadas por un aislamiento, al que se llama dieléctrico. Para comprender la acción del capacitor, es preciso conocer la teoría de los electrones. En la figura 6 se representa al capacitor como dos placas metálicas, separadas por aire y conectadas a una fuente de voltaje de la corriente directa. El circuito está abierto, ya que no existe ningún contacto físico entre las placas. No obstante el medidor (M) del circuito mostrará un flujo momentáneo de corriente, cuando se cierra el interruptor. Los electrones de la terminal negativa de la fuente fluirán a una de las placas del capacitor. Estos electrones repelerán a los de la segunda placa (como se repelen las cargas) y éstos serán atraídos a la terminal positiva de la fuente. Entonces el capacitor estará cargado con el mismo potencial que la fuente y se opondrá al voltaje de ella. Puede retirarse el capacitor del circuito y permanecerá cargado. La energía se almacena en el campo eléctrico del capacitor.

Muchos capacitores grandes de radios, televisiones y otros dispositivos electrónicos, conservan su carga después de que se corta la energía. Estos capacitores deberán descargarse poniendo en contacto sus terminales con el chasis del aparato de que se trate, por medio de un destornillador o desarmador aislado.

La *constante dieléctrica* es la capacidad de un material para soportar un campo eléctrico y *capacitancia* es *la propiedad de oponerse a cualquier cambio de voltaje.*

La capacitancia de un capacitor se determina por medio del número de electrones que pueden almacenarse en él por cada voltio aplicado. La unidad de medición de la capacitancia es el *faradio* y representa la carga de un coulombio que eleva al potencial un voltio.

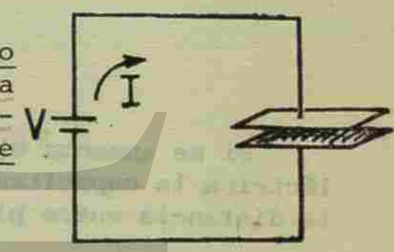


Fig. 6.

microfaradio= $\mu f = 10^{-6}$ faradio
micromicrofaradio= $\mu\mu f = 10^{-12}$ faradios

La capacitancia se determina por 3 factores:

1.- El material usado como aislante.
2.- El área de las placas.
3.- La distancia entre las placas.

Con estos factores, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\boxed{C = E_o\ K\ \frac{A}{d}} \qquad (12)$$

donde:

$E_o = 8.85 \times 10^{-12}$
K = constante dieléctrica
A = área de un lado de una placa en m^2
d = distancia entre placas en m.

Ejemplo 7. Dos hojas rectangulares de papel de estaño de 25 cm x 25 cm están pegadas a las caras opuestas de una lámina de 0.2 mm de grueso. Calcular la capacitancia si la constante dieléctrica es 6.

Solución:

Por la ecuación 12, tenemos:

$$C = E_o K \frac{A}{d}$$

$$= 8.85 \times 10^{-12} \times 6 \times \frac{.25 m \times .25 m}{1 \times 10^{-4} m}$$

$$= 1.66 \times 10^{-8} \text{ faradios}$$

$$= 0.0166 \ \mu f$$

Si se aumenta el área de las placas y la constante dieléctrica, la capacitancia aumenta y disminuye si se aumenta la distancia entre placas.

7-8 CAPACITORES EN SERIE Y EN PARALELO.

Si tenemos dos o más capacitores en serie, podemos calcular la Ceq del circuito por medio de la siguiente ecuación:

$$\boxed{\frac{1}{Ceq} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{Cn}} \qquad (13)$$

Fig. 7.

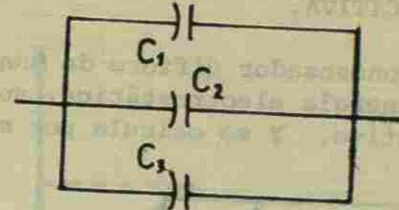


Fig. 8.

Y si es un circuito con capacitores en paralelo, por medio de la ecuación:

$$\boxed{Ceq = C_1 + C_2 + \ldots + Cn} \qquad (13\,a)$$

Ejemplo 8. Encontrar los valores de capacidad, a) si conectamos en paralelo; b) si conectamos en serie los siguientes capacitores: 4 μ f, 8 μf y 24 μ f.

Solución:

a) Por la ecuación 12a, tenemos:

$$Ceq = C_1 + C_2 + C_3$$
$$= 4 \mu f + 8 \mu f + 24 \mu f$$
$$= 36 \mu f$$

b) Por la ecuación 12, tenemos:

$$\frac{1}{Ceq} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{Ceq} = \frac{1}{4 \mu f} + \frac{1}{8 \mu f} + \frac{1}{24 \mu f}$$

$$\frac{1}{Ceq} = \frac{6 + 3 + 1}{24 \mu f}$$

$$Ceq = \frac{24 \mu f}{10}$$

$$= 2.4 \mu f$$

7-9 REACTANCIA CAPACITIVA.

Puesto que un condensador difiere de una resistencia pura en que almacena energía electrostática, su efecto se llama reactancia capacitiva. Y se calcula por medio de la ecuación:

$$\boxed{X_c = \frac{1}{2\pi f c}} \qquad (14)$$

donde:

X_c = reactancia capacitiva (Ω)

f = frecuencia (cps)

c = capacitancia (faradios)

7-10 CIRCUITO RLC.

Todos los dispositivos eléctricos conectados a una fuente de fem alterna contienen una cierta cantidad de *resistencia, inductancia* y capacitancia.

Si la inductancia y capacitancia totales del circuito son pequeñas comparadas con la resistencia, se puede aplicar la ley de Ohm para encontrar la corriente en las distintas partes.

Si la inductancia y la capacitancia no son relativamente pequeñas, introducirán diferencias de fase o retardos entre la corriente y el voltaje, así que no se podrá aplicar la ley de Ohm de modo ordinario.

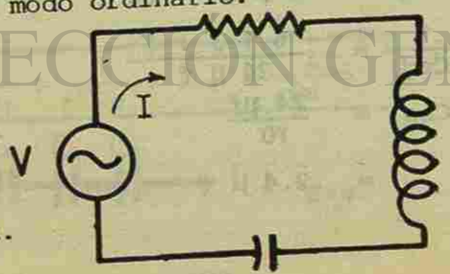


Fig. 9-A.

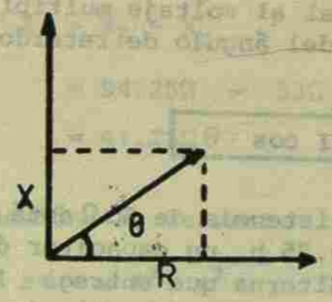


Fig. 9.

Tendremos primero que calcular lo que se llama

Reactancia

$$\boxed{X = X_L - X_c} \qquad (15)$$

Luego se calculará la impedancia Z.

$$\boxed{z = \sqrt{R^2 + x^2}} \qquad (16)$$

Y ahora sí se podrá calcular la corriente (I) por medio de la ecuación:

$$\boxed{I = V/Z} \qquad (17)$$

El valor del retraso o adelanto de la corriente de electrones se deduce del ángulo de fase θ, donde θ está dado por:

$$\boxed{\theta = Tg^{-1} \frac{X}{R}} \qquad (18)$$

Si la reactancia inductiva X_L es mayor que la reactancia capacitiva X_C, la corriente fluirá retrasada del voltaje recibido.

Y si la reactancia capacitiva X_C es mayor que la reactancia inductiva X_L, la corriente se adelantará al voltaje.

La potencia media suminstrada en cualquier circuito de corriente alterna es igual al voltaje multiplicado por la corriente y por el coseno del ángulo de retardo. Representada algebráicamente:

$$\boxed{P = VI\cos\theta} \qquad (19)$$

Ejemplo 9. Una resistencia de 60 Ω está conectada en serie con un inductor de 0.25 h, un capacitor de 50 μ f y un generador de corriente alterna que entrega 110 voltios a 60 cps. Encontrar a) La reactancia, b) la impedancia, c) la corriente en el circuito, d) el factor de potencia y e) la potencia.

Solución:

Para calcular la reactancia necesitamos: la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva. Con las ecuaciones 2 y 13.

$$X_L = 2\pi f L$$
$$= 2 \times 3.14 \times 60\text{cps} \times 0.25\text{ h}$$
$$= 94.25\ \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc}$$
$$= \frac{1}{2\times 3.14 \times 60\text{ cps} \times 50\times10^{-6}\text{ f}}$$
$$= \frac{1}{1.884 \times 10^{-2}\text{ f}}$$
$$= .53 \times 10^{2}\ \Omega$$
$$= 53\ \Omega$$

a) Por la ecuación 14, tenemos:

$$X = X_L - X_C$$
$$= 94.25\Omega - 53\Omega$$
$$= 41.25\Omega$$

b) Por la ecuación 15, tenemos:

$$z = \sqrt{R^2 + x^2}$$
$$= \sqrt{(60\ \Omega)^2 + (41.25\ \Omega)^2}$$
$$= \sqrt{5301.56\Omega^2}$$
$$= 72.81\Omega$$

c) Por la ecuación 16, tenemos:

$$I = V/Z$$
$$= \frac{110\text{ V}}{72.81\Omega}$$
$$= 1.51\text{ A.}$$

d) Ahora necesitamos el ángulo de desfazamiento, y esto lo podemos calcular con la ecuación 17:

$$\theta = Tg^{-1}\frac{x}{R}$$
$$= Tg^{-1}\frac{41.25}{60}$$
$$= Tg^{-1}\ 0.6875$$
$$= 34.51°$$

El factor de potencia $= \cos\theta$
$= 0.82$

e) Por la ecuación 18, tenemos:

$$P = VI \cos \Theta$$
$$= 110 \text{ voltios} \times 1.51A \times 0.82$$
$$= 136.2 \text{ vatios.}$$

7-11 DIODO O TUBO RECTIFICADOR DE VACÍO.

Cuando observamos el esquema de los circuitos de un televisor, un "estéreo", vemos que existen un conjunto de símbolos que nos representan resistores, capacitores, inductores, transformadores, antenas, alambres, interruptores, micrófonos y bocinas (altavoces), además se incluyen tubos de vacío, que no conocemos.

Los circuitos son complicados, pero las reglas de Kirchhoff se aplican igual que en los circuitos sencillos, lo mismo que la ley de Ohm y la fórmula de la potencia.

Lo más importante de todo, es que ya sabemos lo que son los electrones y por qué fluyen en los circuitos y cómo se comportan en los resistores, inductores, y capacitores. Cuando se logre conocer su comportamiento en el vacío, se verá que los circuitos electrónicos, como los otros circuitos, pueden comprenderse a base de los fundamentos de la física.

El *diodo* consiste de un bulbo de vidrio con vacío elevado, dentro de él existe un *filamento de alambre* que se calienta eléctricamente hasta la incandescencia. Rodeando el filamento y conectado al exterior a través de la base del tubo, está una *placa cilíndrica*. Cuando se calienta el filamento hasta la incandescencia, emite grandes cantidades de electrones, es decir, una *emisión termoiónica* que se debe a la alta temperatura y no a la corriente eléctrica. A los electrones emitidos por la superficie del metal se les llama *termoelectrones.*

En los tubos de vacío y de descarga en gases, a la fuente de electrones se le llama *cátodo* y se representa con la letra K. Al ser emitidos los electrones por un cátodo caliente, dentro de un tubo de vacío, dicho electrodo pierde cargas negativas y, en consecuencia queda positivamente cargado. Esto puede superarse conectando al cátodo, una fuente de electrones libres para reemplazar a los emitidos, conectándolo en el negativo.

Los electrones emitidos pueden formar una corriente en un tubo de vacío pero para ello, otro electrodo en el tubo de vacío, llamado *ánodo o placa* y esta se conecta a la terminal positiva de la fuente. Los electrones son atraídos del cátodo al ánodo, creándose una corriente dentro del tubo.

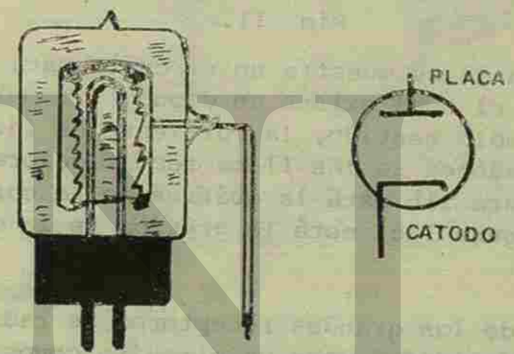


Fig. 10.

El diodo en sí, sólo puede conducir electrones desde el cátodo a la placa y puede actuar como un *rectificador de media onda*. Por ello su uso más importante es transformar la corriente alterna en corriente contínua o directa. Esta conversión es necesaria para el funcionamiento de muchos aparatos modernos.

La mayor parte de la energía eléctrica comercial es corriente alterna, pero se necesita la corriente contínua para: procesos químicos, carga de acumuladores, circuitos telefónicos, sistemas públicos de audición, receptores de radio, televisión, etc.

A la conversión de corriente alterna en corriente direc ta se llama *rectificación* ; y a los diodos usados con este fin, se les llama tubos rectificadores.

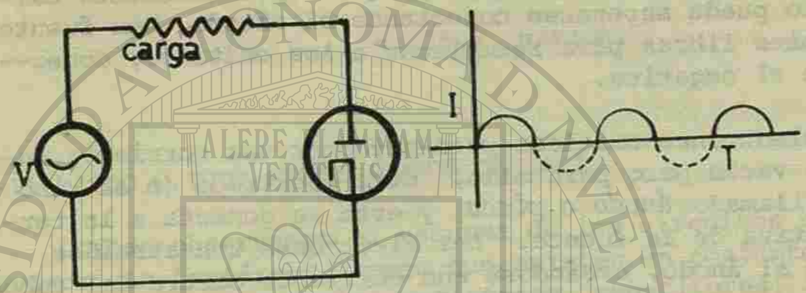


Fig. 11.

En la figura 11 se muestra un circuito para accionar un aparato, y en el cual existe un diodo. Como los electrones pasan en un solo sentido, la corriente es intermitente. A estos rectificadores se les llama rectificadores de media onda. En la figura 11b está la gráfica de la corriente al-- terna y en la figura 11c está la gráfica de la corriente ya rectificada.

La mayoría de los grandes receptores de radio y de sistemas de alta fidelidad, usan un circuito conocido como *rectificador de onda completa* .

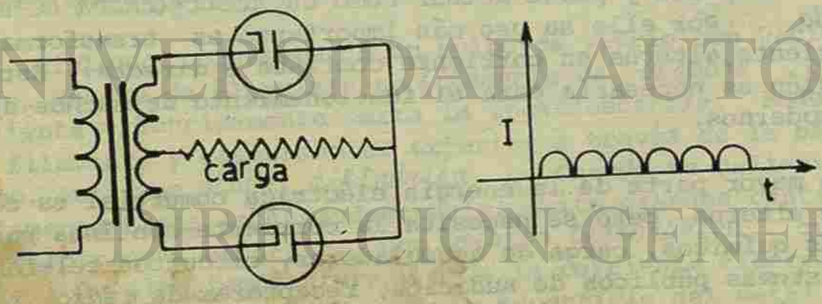


Fig. 12.

En el se usan 2 diodos, como se muestran en la figura 12, uno deja pasar medio ciclo de la onda de entrada de co-- rriente alterna, y el otro deja pasar la otra media onda.

Para que no quede tan irregular la corriente directa, se usa el *circuito de filtro* , que por lo regular es un capacitador conectado en paralelo con el aparato.

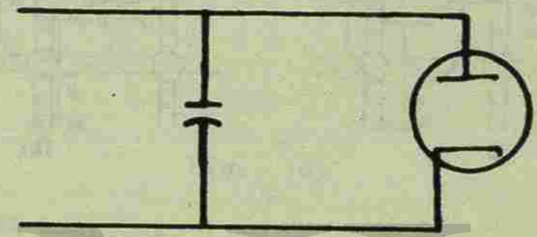


Fig. 13.

7-12 TRANSISTORES.

En el capítulo anterior, se mencionó a los materiales semiconductores. Aunque existen cientos, dos son los más importantes: el germanio y el silicio.

La corriente en un semiconductor sólido es el resultado del movimiento de electrones y cargas positivas (agujeros). Agregando una impureza seleccionada a los elementos semicon-- ductores de germanio y silicio podemos controlar los tipos y densidades de las cargas. Estas impurezas se agregan en cantidades controladas para el semiconductor altamente puro. Las impurezas son tomadas de los elementos del grupo III de la tabla periódica, con 3 valencia, tales como el boro, ga-- lio, indio, o elementos del grupo V, tales como el fósforo, arsénico o antimonio.

Las impurezas son agregadas en razón de un átomo de impurezas por 10^6 hasta 10^{10} de átomos de semiconductor.

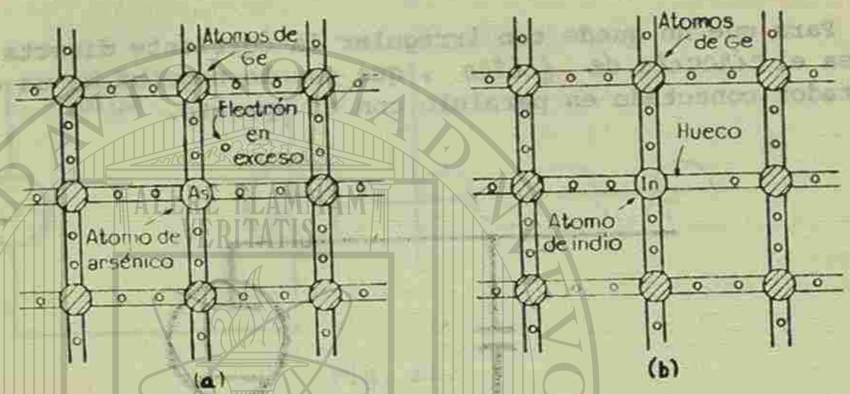


Fig. 14.

El átomo de arsénico dona un electrón y es llamado átomo *donador* y el material con impurezas de arsénico se le llama material tipo N.

Los átomos del grupo III son *aceptadores* de electrones y forman el material tipo P. Al unir un semiconductor tipo P con un semiconductor tipo N, podemos formar un circuito con las propiedades de un rectificador de media onda.

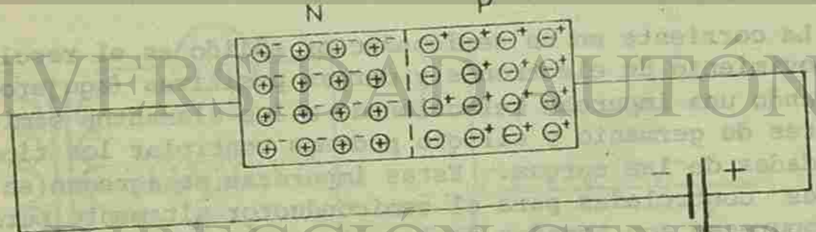


Fig. 15

Existen dos tipos de transistores, formados con estos materiales: el transistor tipo PNP y el NPN. Cada uno con su parte *emisora* , *colectora* y base, según se muestran en la figura 16, estando abajo el símbolo que se emplea en cada uno de ellos.

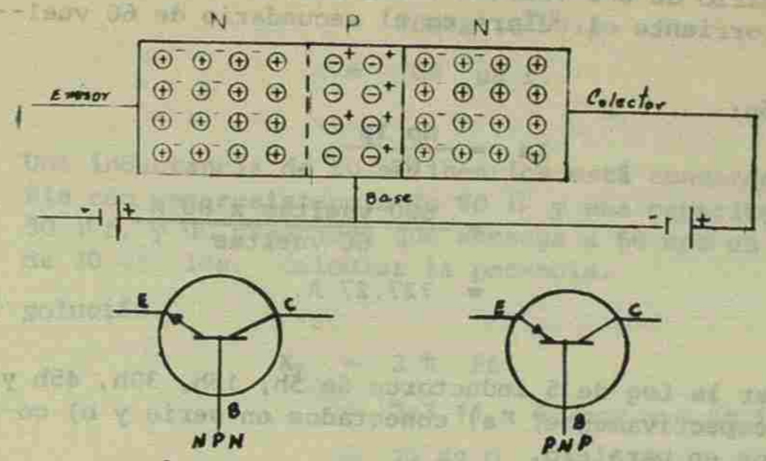


Fig. 16.

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

1.- Un inductor de 0.03 h está conectado a una línea de 50 cps de corriente alterna. Calcular la resistencia inductiva.

Solución:

$$X_L = 2\ \pi f\ L$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \text{ cps} \times 0.03 \text{ h}$$

$$= 9.42\ \Omega .$$

2.- Un transformador reductor tiene 500 vueltas en la bobina primaria y 200 vueltas en la bobina secundaria. Si el primario esta conectado a una línea de 220 voltios de corriente alterna. Calcular el voltaje en el secundario.

Solución:

$$Es = \frac{Ep\ Ns}{Np}$$

$$= \frac{220 \times 200 \text{ vueltas}}{500 \text{ vueltas}}$$

$$= 88 \text{ V} .$$

3.- Un primario de 600 vueltas tiene una corriente de 80 A. ¿Qué corriente circulará en el secundario de 66 vueltas?

Solución:

$$Is = \frac{Np\ Ip}{Ns}$$

$$= \frac{600 \text{ vueltas} \times 80 \text{ A}}{66 \text{ vueltas}}$$

$$= 727.27 \text{ A.}$$

4.- Calcular la Leq de 5 inductores de 5h, 15h, 30h, 45h y 60h respectivamente, a) conectados en serie y b) conectados en paralelo.

Solución:

a)

$$Leq = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$$

$$= 5h + 15h + 30h + 45h + 60h$$

$$= 155h.$$

b)

$$\frac{1}{Leq} = \frac{1}{5h} + \frac{1}{15h} + \frac{1}{30h} + \frac{1}{45h} + \frac{1}{60h}$$

$$\frac{1}{Leq} = \frac{36 + 12 + 6 + 4 + 3}{180h}$$

$$Leq = 180h/61$$

$$= 2.95 \text{ h.}$$

5.- Dos placas planas de metal de 40 cm x 100 cm están montadas paralelas entre sí y separadas 1 cm. Encontrar la capacidad cuando están sumergidas en aceite de k=2.

Solución:

$$C = E_o k \frac{A}{d}$$

$$= 8.85 \times 10^{-12} \times 2 \times \frac{.4 \text{ m} \times 1 \text{ m}}{1 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$= 7.08 \times 10^{-10} \text{ f}$$

$$= 708 \times 10^{-12} \text{ f}$$

$$= 708 \ \mu\mu \text{ f.}$$

6.- Una inductancia de 60 milihenrios está conectado en serie con una resistencia de 90 Ω y una capacitancia de 50 μ f, y un generador que entrega a 60 cps un voltaje de 30 voltios. Calcular la potencia.

Solución:

$$X_L = 2 \pi fL$$

$$= 2 \times 3.14 \times 60 \text{ cps} \times 0.06 \text{ h.}$$

$$= 22.62\ \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2 \pi f c}$$

$$= \frac{1}{2 \times 3.14 \times 60 \text{ cps} \times 50 \times 10^{-6} \text{ f}}$$

$$= 53\ \Omega$$

$$X = X_L - X_C$$

$$= 22.62\ \Omega - 53\ \Omega$$

$$= -30.38\ \Omega$$

$$z = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{(90\ \Omega)^2 + (-30.38\ \Omega)^2}$$

$$= \sqrt{9022.94\ \Omega^2}$$

$$= 94.99\ \Omega$$

$$I = V/z$$

$$= \frac{30 \text{ V}}{94.99\ \Omega}$$

$$= 0.316 \text{ A.}$$

$$\text{Tg } \theta = \frac{x}{R}$$

$$= \frac{-30.38\ \Omega}{90\ \Omega}$$

$$= -0.337$$

$$\theta = -18.65°$$

$$P = VI \cos \theta$$

$$= 30V \times 0.316A \times \cos(-18.65°)$$

$$= 8.98 \text{ vatios.}$$

AUTOEVALUACIÓN DEL CAPÍTULO VII.

1.- Una inductancia de 60 μh se conecta a la línea a) de 60 cps, b) de 100 cps, c) de 1000 cps. Calcular la reactancia inductiva en cada una de ellas.
{a) 0.0266 , b) 0.0377 , c) 0.377}

2.- Una inductancia de 50 milihenrios se conecta a la línea de 60 cps. Calcular la reactancia inductiva.
{X_L = 18.85 Ω}

3.- Un condensador de 6 f conectado a la línea de 60 cps. Calcular la reactancia capacitiva.
{X_C= 442 Ω}

4.- Una capacidad de 120 μf está conectado a la línea de 60 cps. Calcular la reactancia capacitiva.
{X_C= 22.1 Ω}

5.- Un secundario de un transformador reductor tiene 50 vueltas de alambre y el primario está conectado a la línea de 110 voltios. ¿Cuántas vueltas tendrá el primario si el secundario entrega 2.5 voltios en sus terminales de salida?
{a) N_p= 312 vueltas, b) I_p= 769.23 mA}

6.- Un transformador elevador tiene el primario conectado a una línea de 208 voltios, c:a. El secundario con 12000 vueltas entrega 8000 voltios y una corriente de 20 mili-amp. a) Calcular el número de vueltas en el primario y b) La corriente que toma la línea. {a) N_p= 312 vueltas, b) I_p= 769.23 mA}

7.- Se conectan 6 inductancias de 8 μ h a) en paralelo y b) en serie. Calcular la inductancia equivalente para los dos casos. {a) Leq= 1.33μh, b) Leq= 48μh}

8.- Calcular la inductancia equivalente del circuito de la figura 17. {Leq= 21.63h}

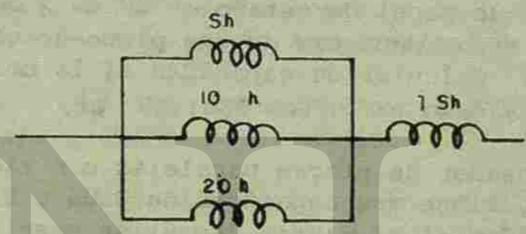


Fig. 17.

9.- Calcular la capacitancia equivalente del circuito de la figura 18. {Ceq= 50 f}

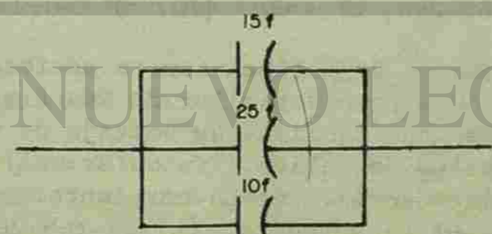


Fig. 18.

10.- Calcular la capacidad equivalente del circuito de la figura 19. {Ceq = 20μf}

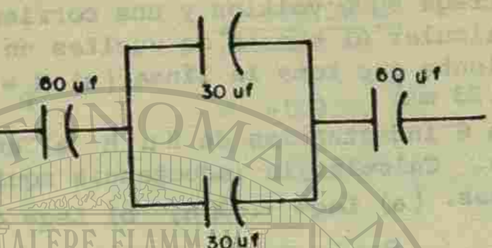


Fig. 19.

11.- Dos hojas de papel de estaño de 20 cm x 50 cm están pegadas a las caras opuestas de una placa de vidrio de 0.8 mm de grueso. Calcular su capacidad si la constante dieléctrica del vidrio es 5. {C= 5531.25 μf}

12.- Un condensador de placas paralelas con vidrio como dieléctrico, tiene una capacidad de 0.05 μ f. ¿Cuál será su capacidad si el vidrio (k= 8) se sustituye por mica (k=3). {C= 0.01875 μf}

13.- Una capacidad de 15 μ f en serie con una resistencia de 100 Ω está conectada a un generador de 40 ciclos que suministra un voltaje de 27V en sus terminales de salida. Calcular: a) La reactancia capacitiva. b) La impedancia. c) La corriente en el circuito. d) La potencia. {a) X_C=265.25Ω, b) z=283.47Ω, c) I=0.095A, d)P=0.9w}

14.- Una inductancia de 20 milihenrios en serie con una resistencia de 60 Ω y un capacitor de 15 μ f y un generador de 60 cps que facilita un voltaje de 48 voltios en sus terminales de salida. Calcular: a) La reactancia. b) La impedancia. c) La corriente. d) El factor de potencia. e) La potencia. {a) x=-169.26Ω, b) z=179.58Ω, c) I=0.267 A, d) factor de potencia= 0.334, d) P= 4.28 w}

Desde principios del siglo pasado los adelantos se producen a paso de gigante. El conocimiento y dominio de la electricidad, de los fenómenos magnéticos y químicos conduce directamente al desentrañamiento del átomo y a la energía.

OBJETIVOS.

1.- Explicar ampliamente en qué consiste la diferencia entre ondas transversales y ondas longitudinales.

2.- Identificar a qué tipo de ondas corresponden las ondas de: luz, radio, televisión y sonido.

3.- Mencionar el tipo de lentes que nos sirven para: 1) dispersar los rayos luminosos de un solo punto y 2) concentrar los rayos luminosos en un solo punto. Mencionar, por lo menos, dos ejemplos de cada uno.

4.- Calcular la potencia consumida en un circuito similar al de tu casa, conociendo el voltaje del circuito y la corriente que pasa por cada uno de los aparatos que se marcan en el circuito (T.V., radio, refrigerador, focos, etc.) cuando están funcionando.

5.- Determinar el consumo de energía, conociendo el funcionamiento del "medidor" en tu casa.

6.- Explicar las características de las teorías ondulatoria y cuántica.

7.- Definir:

a) Principio de incertidumbre.
b) Principio de máxima multiplicidad.

8.- Definir configuración electrónica y desarrollar las configuraciones electrónicas de cualquier elemento.

9.- Definir:

a) Enlace electrovalente o iónico.
b) Enlace covalente.
c) Enlace covalente coordinado.
d) Dipolo.
e) Momento dipolar.

10.- Defina:

a) Reacción exotérmica.
b) Reacción endotérmica.
c) Entropía.
d) Entalpia.
e) Energía libre.

11.- Mencionar, cuando menos, 3 de las técnicas usadas para la medición de las velocidades de reacción.

12.- De acuerdo con las teorías de: Arrhenius, Bronsted-Lowry, define los términos ácido y base.

13.- Definir: química orgánica, así como enunciar la principal propiedad del carbono.

Para que puedas cumplir con los objetivos anteriores, deberás emplear el siguiente:

PROCEDIMIENTO.

1.- Para los objetivos 1 y 2, repasa los capítulos 1 y 2 del libro de Física.

2.- Para el objetivo 3, repasa los capítulos 3 y 4 del libro de Física.

3.- Para el objetivo 4, repasa el capítulo VI del libro de Física.

4.- Para el objetivo 5, analiza el material adicional de esta unidad.

5.- Para los objetivos 6 y 7, revisa los objetivos del capítulo I de Química.

6.- Para el objetivo 8, revisa la unidad IV.

7.- Para el objetivo 9, revisa la unidad VII.

8.- Para el objetivo 10, revisa la unidad VIII.

9.- Para el objetivo 11, revisa la unidad XII.

10.- Para el objetivo 12, revisa la unidad XIII.

11.- Para el objetivo 13, revisa la unidad 14.

MATERIAL ADICIONAL.

PROBLEMA 1.

Si tenemos varios aparatos conectados a un circuito en paralelo y la potencia de dichos aparatos es: radio = 100w, televisor = 300 w, lavadora = 1200 w. Si el tiempo funcionando es de 2.5 hr, calcular la energía consumida.

SOLUCIÓN:

Como ya nos dan la potencia de cada aparato, entonces tenemos que sumar todas las potencias que intervienen en el problema.

$$P_{tot} = P_R + P_T + P_L$$
$$= 100w + 300w + 1200w$$
$$= 1600 \text{ w}$$
$$= 1.6 \text{ Kw}$$

$$P = T/t$$

despejando, $T = Pt$

$$T = 1.6 \text{ Kw} \times 2.5 \text{ hr}$$
$$= 4 \text{ Kw-hr}$$

PROBLEMA 2.

Una sección de una casa contiene 4 lámparas incandescentes de 75 w cada una, y además, se encuentra conectado un motor eléctrico de 300 watts, por otra sección de la casa se encuentra trabajando el clima que consume 1000 w. Calcular la energía si todo se encuentra funcionando en un período de 6 hr.

SOLUCIÓN:

Primeramente sumamos todas las potencias de ambas secciones, ya que están conectadas a un medidor general de la casa.

Por lo tanto, tenemos:

$$P_{tot} = 75w \times 4 + 300w + 1000w$$
$$= 1600 \text{ watts}$$
$$= 1.6 \text{ Kw}$$

como $P = T/t$

y lo que nos interesa es saber la energía consumida, tenemos:

$$T = Pt$$
$$T = 1.6 \text{ Kw} \times 6 \text{ hr}$$
$$= 9.6 \text{ Kw-hr}$$

PROBLEMA 3.

En un recibo de la C.F.E. recibimos los siguientes datos:

Lectura anterior.	Lectura actual.
1095	1333

y sabemos que el costo del Kw-hr hasta Julio de 1980 era de \$ 0.70 y el impuesto por electrificación (federal) era del 10 % sobre el consumo total. Calcular: a) la energía consumida en el bimestre, b) la cantidad total que se tiene que pagar.

SOLUCIÓN:

Para este problema, ya tenemos como datos los consumos de energía tanto el anterior como el actual. La diferencia entre ambos nos dará el consumo de la energía. Así, tenemos que:

a) Consumo de energía = lectura actual - lectura anterior

Consumo de energía = 1333 Kw-hr - 1095 Kw-hr

= 238 Kw-hr

b) Si a la energía que consumimos le aplicamos la tarifa (precio por cada Kw-hr), obtenemos el precio de la energía consumida.

Precio = (energía consumida) x \$0.70 (tarifa)

= 238 Kw-hr x \$ 0.70/Kw-hr

= \$ 166.6

Ahora, a este precio hay que calcular el 10 % que corresponde al impuesto de electrificación (federal).

\$ 166.6 x 0.1 = 16.60

Ahora, si se suma el precio de la energía consumida al impuesto de electrificación:

Costo = precio de la energía consumida + impuesto

= \$ 166.6 + \$ 16.60

= \$ 183.26

BIBLIOGRAFÍA.

1. ELECTRICIDAD BÁSICA PROGRAMADA.
Depto. de Tecnología Eléctrica del Instituto Tecnológico de Nueva York.
Ed. 1975 LIMUSA México.

2. ELECTRÓNICA.
John D. Ryder.
Ed. 1962 Aguilar Madrid.

3. ELECTRÓNICA ELEMENTAL.
Howard H. Gerrish.
Ed. 1971 LIMUSA Wiley, S.A

4. FÍSICA AL DÍA.
Arturo Pérez y Juárez.
Ed. 1972 Mc Graw- Hill

5. FÍSICA FUNDAMENTOS Y FRONTERAS.
Robert Stollberg-Fait Fitch Hill.
Ed. 1975 Publicaciones Culturales S.A. México.

6. FÍSICA GENERAL.
Alvarenga - Máximo.
Ed. 1976 Tec-Cien, LTDA

7. FÍSICA GENERAL.
Carel W. Van Der Merwe.
Ed. 1973 Mc Graw- Hill

8. FÍSICA MODERNA.
H.E. White.
Ed. 1965 Montaner y Simon, S.A.

9. FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD.
Howard H. Gerrish.
Ed. 1972 Limusa Wiley, S.A.

10. FUNDAMENTOS DE FÍSICA.
Henry Semat - Philip Baumel.
Ed. 1976 Interamericana.