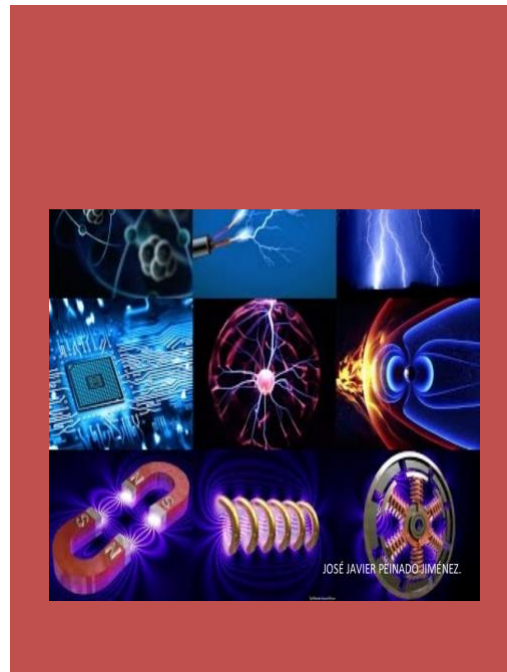
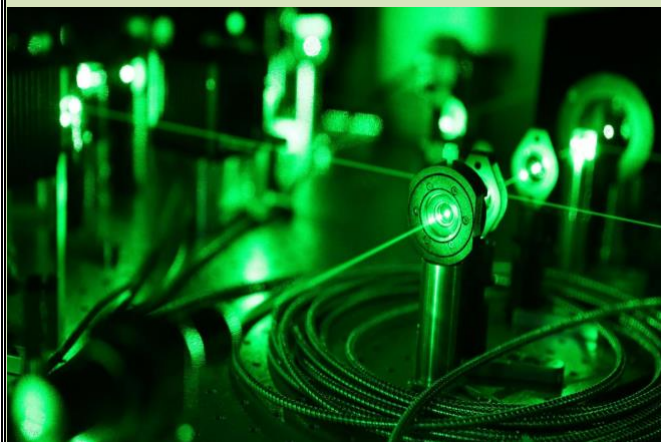




TEMAS DE FISICA



2020

Docente: _____
Grupo: _____ Especialidad: _____
Nombre: _____

Tabla de contenido

SISTEMA TRIDIMENSIONAL	6
VECTORES	6
Definición de vector y representación gráfica de una cantidad vectorial	6
Clasificación de vectores.....	9
Propiedades de los vectores.....	11
Descomposición rectangular de vectores.....	12
Fuerza.....	12
suma y resta de vectores	15
teorema de pitágoras	16
ley de senos y ley de cosenos (método analítico).....	17
ley de los cosenos.....	17
suma de vectores por el método de componentes (método analítico)	20
FUERZAS PARALELAS.	25
Equilibrio de sólidos rígidos.	25
MOMENTO DE UNA FUERZA (M).	27
Momento de torsión.....	30
 TEMA I	 38
ONDAS Y ACÚSTICA	38
INTRODUCCIÓN.....	38
OBJETIVO	39
MOVIMIENTOS PERIODICOS	40
Proyecto. Actividades complementarias.	43
MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE (MAS)	44
Tipos de ondas.	45
FENÓMENOS ONDULATORIOS.	45
Principio de superposición.....	45
Reflexión de una onda.....	47
Resonancia	47
Ondas estacionarias.	48
Características de las ondas.	50
Características importantes de un movimiento ondulatorio	50
 EL SONIDO 53	 53
Concepto de ondas sonoras.	53
Fuentes sonoras.....	54
Características del sonido	55
TRANSMISIÓN, DETECCIÓN Y VELOCIDAD DEL SONIDO.	56
Producción del sonido (las fuentes sonoras).	56
Transmisión del sonido.....	56
Detección del sonido.	56
Velocidad del sonido.....	56
FENÓMENOS ACÚSTICOS	58
Cualidades del sonido (propiedades físicas):	59
EFFECTO DOPPLER.....	62

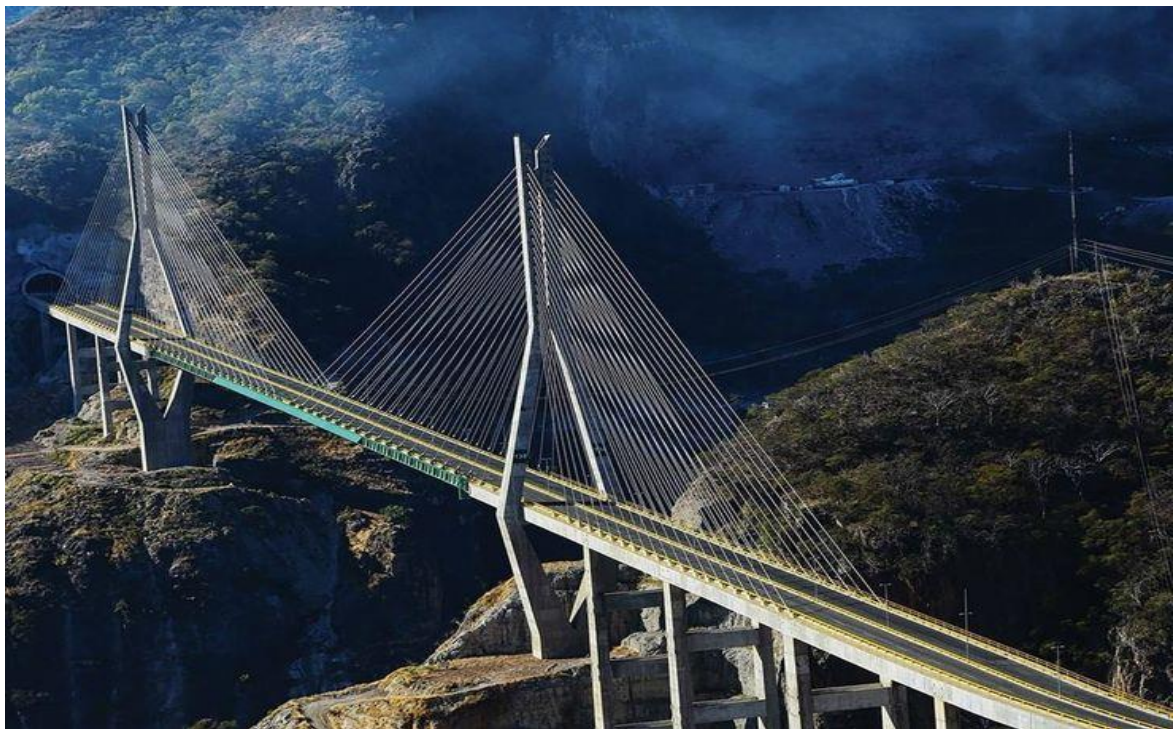
TEMA II	67
ÓPTICA	67
OBJETIVO GENERAL:	67
Objetivos específicos	68
INTRODUCCIÓN.	69
Teorías sobre la luz.....	70
Teoría corpuscular o Newtoniana.	70
Teoría ondulatoria de la luz.....	70
Características y propiedades de la luz	74
Propagación rectilínea de la luz.	75
Velocidad finita.	76
REFLEXIÓN DE LA LUZ.	77
La refracción.....	78
INTENSIDAD LUMINOSA Y FLUJO LUMINOSO.....	78
FLUJO LUMINOSO (Φ)(phi)	80
Potencia radiante.....	81
Intensidad luminosa.....	82
REFLEXIÓN, ESPEJOS Y FORMACIÓN DE IMÁGENES.....	85
Leyes de la Reflexión.	86
ESPEJO	87
REFRACCIÓN, LENTES Y FORMACIÓN DE IMÁGENES.....	98
Leyes de la refracción.	99
Dispersión de la luz.	101
Reflexión interna total.....	102
LENTES.....	105
Formación de imágenes.....	108
Ecuación de las lentes ó relación objeto-imagen.	111
Ecuación para la fabricación de lentes.	112
Instrumentos ópticos.	116
El ojo humano.....	117
Miopía e hipermetropía.....	117
El microscopio.	117
El telescopio.	118
Difracción.....	120
Interferencia.....	123
Polarización de la luz.....	125
PROPÓSITO GENERAL	128
PRESENTACIÓN	128
ELECTROSTÁTICA	129
Introducción:	129
Obtención de la electricidad.....	129
MÉTODOS DE ELECTRIZACIÓN.....	133
Carga por fricción.	133
Carga por contacto.	134
Carga por inducción.	134
CARGAS ELÉCTRICAS.	134
Conductores y Aisladores.	136
Aislador o dielectrico	137
Semiconductor.....	137

Cargas puntuales.....	137
Ley de coulomb.....	138
LEY DE COULOMB	138
CAMPO ELÉCTRICO.....	143
Campo eléctrico (E).	143
INTENSIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO.	144
Potencial eléctrico (V).	146
ELECTRODINÁMICA.	149
Introducción:	149
CORRIENTE ELECTRICA.	149
Ley de Ohm.....	149
Energía eléctrica gastada en un conductor.....	150
Elementos de un circuito	150
Dirección de la corriente eléctrica.	151
Intensidad de la corriente eléctrica (I).	152
Circuitos en Serie, Paralelo y Combinados de C. C.	154
Circuitos de corriente continua.....	154
Conexión en serie:	155
Conexión en paralelo.....	156
Ecuaciones para circuitos en paralelo:.....	156
Circuito mixto:.....	157
Capacidad eléctrica.	167
Constante dieléctrica (K)	170
Capacidad eléctrica	170
Capacitancia total de una conexión en serie de capacitores.....	172
Conexión de capacitores en paralelo.	172
Conexión mixta de capacitores.	173
Energía almacenada por un capacitor.	173
MAGNETISMO	176
Introducción:	176
Imanes.	176
Campo magnético	180
Espectro magnético de un imán en forma de herradura	181
Magnetismo terrestre.....	181
Campo magnético.....	182
Declinación magnética.....	182
Inclinación magnética.	182
La teoría de los dominios.....	182
Leyes magnéticas.....	184
Inducción magnética.....	184
Intensidad de campo magnético.....	185
Electromagnetismo	187
INTRODUCCIÓN.....	187
Antecedentes históricos.....	187
Campo magnético formado por un conductor recto por el que circula una corriente	189
Inducción magnética producida por un alambre conductor recto	190
Campo magnético producido por una espira.	190

Campo magnético producido por una espira de una vuelta	191
Fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente.	194
Electroimán	197
Aplicaciones del electromagnetismo.....	198
Relé electromagnético.....	198
Los contactores	198
Las electroválvulas	198
ELECTROMECAÁNICA	198
Motores eléctricos.	199
Fuerza y momento de torsión magnéticos en una espira.	199
Momento de torsión magnético sobre un solenoide.....	200
Actividad complementaria.	201
Motor eléctrico de corriente continua.	201
Funcionamiento de un motor de corriente continua.	201
Principio de funcionamiento de motor de corriente continua.	201
El Generador Eléctrico.....	202
Generador de Corriente Alterna.....	202
Generador de corriente continua.	202
Inducción Electromagnética.	203
Ley de Faraday.....	203
Fuerza contraelectromotriz en un motor eléctrico.	205
Transformadores Eléctricos.....	205
Partes integrantes de un transformador.	205
Principio de funcionamiento de un transformador.	205
UNIDAD IV CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA	207
PROPÓSITOS	207
CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA.....	208
Leyes de kirchhoff	208
circuitos con corrientes y voltajes dependientes del tiempo	212
circuitos rc.....	212
funcionamiento de un circuito rc serie	212
circuito rc en paralelo	214
circuito rl en serie en c.a.	216
circuitos rl en paralelo.....	217
circuito rlc.....	221
circuito rlc en serie	222
circuito rlc en paralelo	223



TEMA ADICIONAL: ESTATICA



SISTEMA TRIDIMENSIONAL

VECTORES

DEFINICIÓN DE VECTOR Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UNA CANTIDAD VECTORIAL

En este tema conoceremos el concepto de vector para estudiar las cantidades físicas. En la Física existen dos clases de cantidades llamadas escalares y vectoriales.

CANTIDADES ESCALARES. Son aquellas que para quedar representadas únicamente requieren de la magnitud indicada con un número y su unidad correspondiente.

Ejemplo: Longitud 13 m, 50 km, 60 cm
Masa 130 kg, 80 g
Tiempo 3 hr, 30 min, 10 s
Temperatura, 600 °K, 30 °C, 4 °F.

Las cantidades escalares con las mismas unidades pueden sumarse o restarse algebraicamente. Ejemplo de sumas escalares

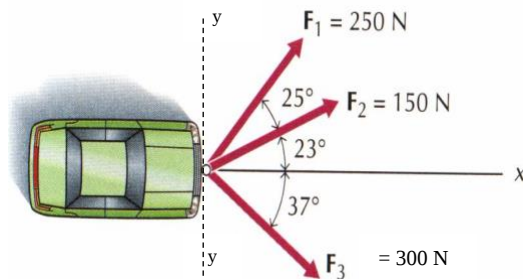
$$\begin{aligned} 20^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} &= 50^{\circ}\text{C} \\ 40 \text{ kg} + 7 \text{ kg} &= 47 \text{ kg} \\ 25 \text{ m} - 15 \text{ m} &= 10 \text{ m} \end{aligned}$$

CANTIDADES VECTORIALES. Son aquellas que para quedar definidas, además de la magnitud expresada en número y unidad requiere que se señale la dirección y el sentido.

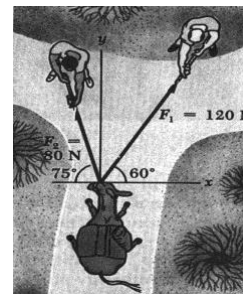
Ejemplo: Desplazamiento 50 m 10°
Velocidad $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, 30° Noreste
Fuerza 10 N Sur

Las cantidades físicas que tienen magnitud, dirección y sentido son representadas por vectores. Algunos ejemplos de cantidades vectoriales son: fuerza, velocidad, desplazamiento y aceleración. Gráficamente un vector es un segmento de recta dirigido.

Ejemplos de magnitudes vectoriales:



F_1 , F_2 y F_3 representan las fuerzas que actúan en el automóvil.



Dos personas tiran hacia adelante a una mula obstinada. Donde la acción de las fuerzas F_1 y F_2 actúan en la mula.



Las veletas se pueden usar para determinar la dirección de la velocidad del viento en cualquier instante.

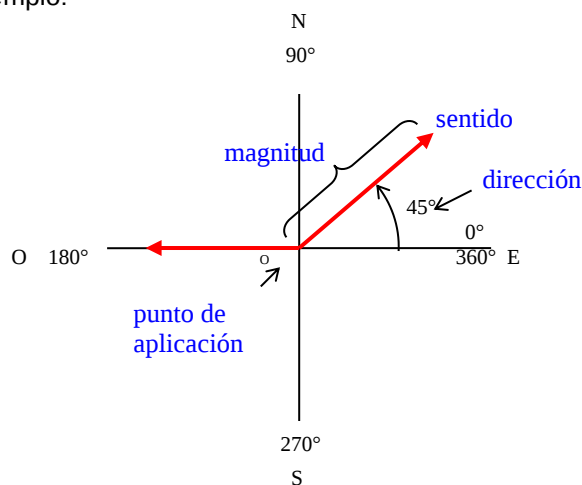
Pero ¿Qué es un vector?

VECTOR. Es un segmento de recta con la punta de flecha que indica la dirección y el sentido.

Un vector tiene las siguientes características:

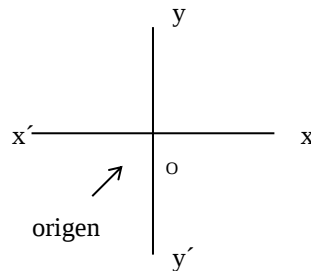
- 1) **Punto de aplicación u origen.** Es el lugar en el que actúa la fuerza. Está representada por el origen del vector.
- 2) **Magnitud ó módulo del vector.** Indica su valor, y se representa por la longitud del segmento de acuerdo con una escala convencional.
- 3) **Dirección.** Es el ángulo que determina la línea de acción del vector.
- 4) **Sentido.** Señala hacia donde se dirige el vector.

La dirección de un vector puede darse con referencia a las direcciones de los puntos cardinales: Norte, Sur, Este, Oeste. Por ejemplo:



PARA DIBUJAR UN VECTOR LOS PASOS SON:

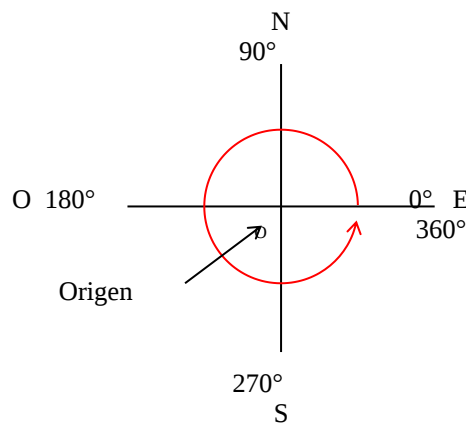
1. Consideramos como marco de referencia un sistema de coordenadas cartesianas. Un punto arbitrario en este sistema se identificara con las coordenadas (x,y) .
La x positiva se toma a la derecha del origen y la y positiva es hacia arriba del origen.
La x negativa es hacia la izquierda del origen, y la y negativa es hacia abajo del origen.
2. De acuerdo al punto anterior traza un sistema de coordenadas cartesianas como lo muestra la figura.



3. Elegir una escala, la cual será convencional, porque la estableceremos según nuestras necesidades, de acuerdo con la magnitud del vector y el tamaño que se le quiera dar.

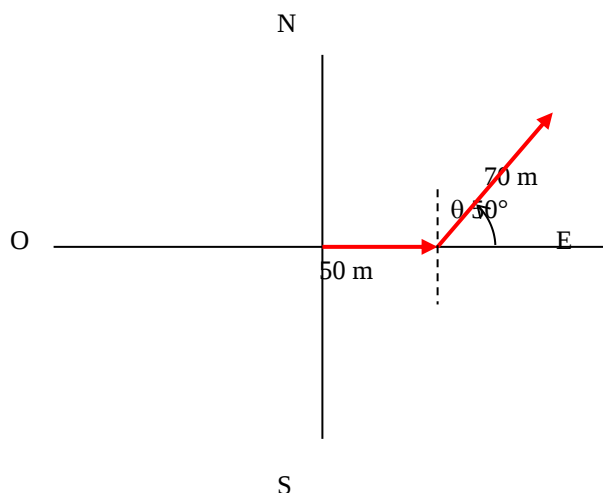
Ejemplos: $1 \text{ cm} : 10 \text{ N}$; $1 \text{ cm} : 10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $1 \text{ cm} : 500 \text{ m}$

4. La dirección del vector se da mediante ángulos medidos en sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj a partir del eje de las x positivo, considerándolo como 0° o 360° .



Ejemplo:

Podemos representar gráficamente mediante vectores la ruta seguida por una persona que se desplaza 50 m al este y 70 m con dirección 50° noreste



Clasificación de vectores

Un **sistema vectorial** es un conjunto de vectores.

Los sistemas de vectores se clasifican en dos grupos:

COPLANARES

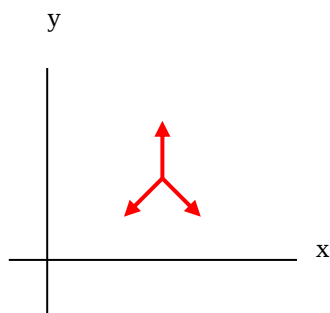
Son aquellos cuyas líneas de acción están localizadas en un mismo plano.

NO COPLANARES

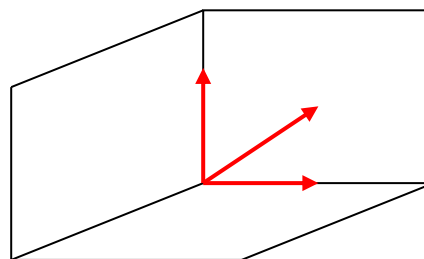
En ellos las líneas de acción están localizadas en distintos planos.

Las siguientes figuras representan los dos grupos de vectores:

COPLANARES



NO COPLANARES

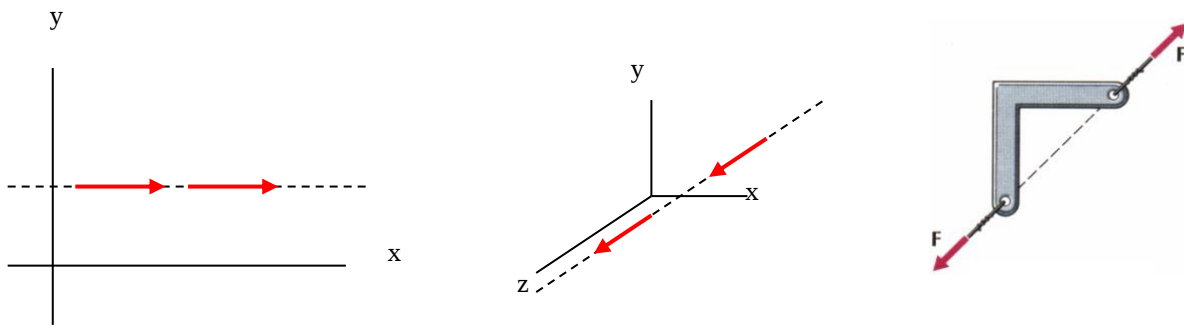


Los sistemas coplanares y no coplanares en

- Colineales
- Paralelos
- Concurrentes

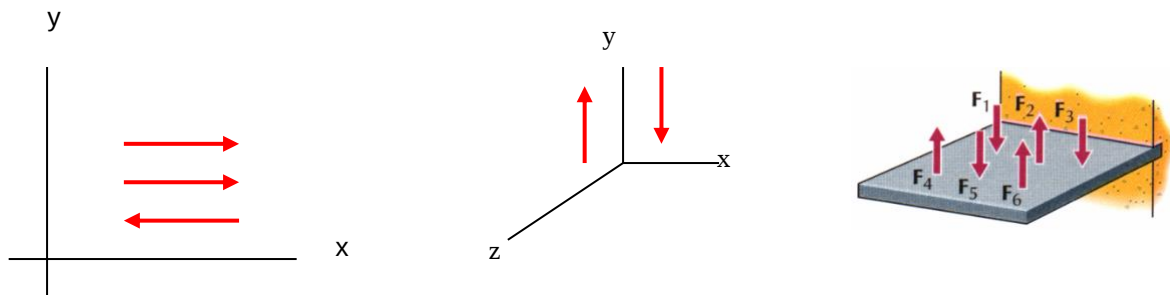
COLINEALES. Son aquellos que actúan sobre una línea de acción común.

Ejemplo:



PARALELOS. Son todos los vectores de un sistema que tienen líneas de acción paralelas entre sí

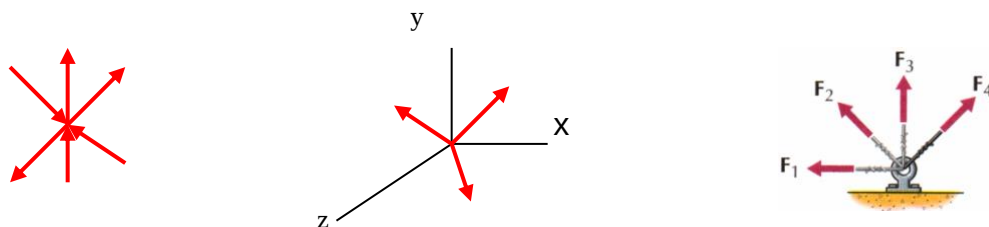
Ejemplos:



CONCURRENTES

Las líneas de acción de todos los vectores del sistema coinciden en un punto.

Ejemplos:



Propiedades de los vectores

Los vectores tienen las siguientes propiedades:

- Transmisibilidad
- Vectores libres

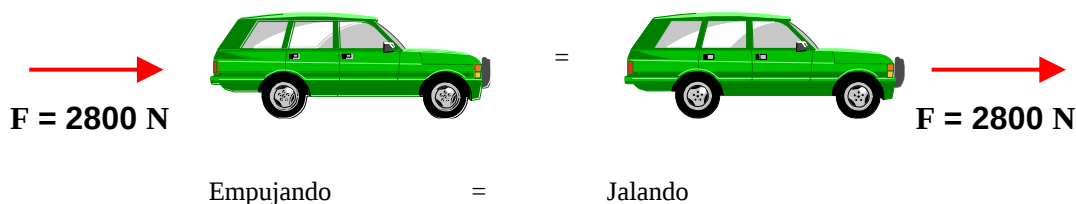
PRINCIPIO DE TRANSMISIBILIDAD

El efecto exterior de una fuerza sobre un cuerpo rígido es el mismo para todos los puntos de aplicación de la fuerza a lo largo de su línea de acción.

Ejemplo:

Si movemos un automóvil estacionado aplicándole una fuerza, el resultado será el mismo si lo empujamos o lo jalamos, este hecho lo expresa el principio de transmisibilidad.

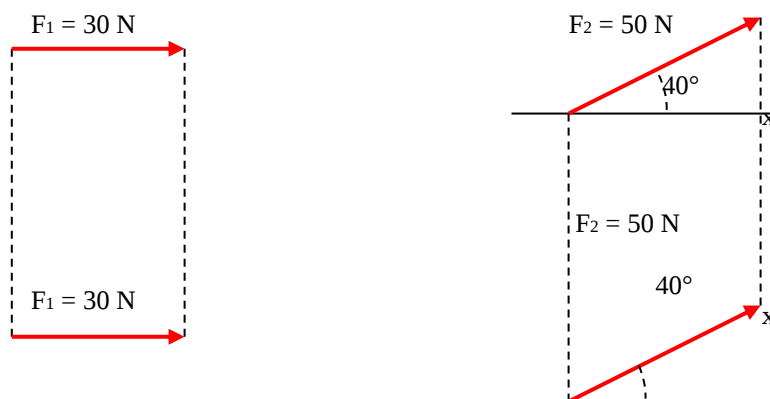
En la siguiente figura se muestra esta propiedad



PROPIEDAD DE LOS VECTORES LIBRES

Los vectores no experimentan modificaciones si se trasladan paralelamente a sí mismos. Esta propiedad se utiliza en los métodos gráficos del paralelogramo, triángulo y polígono los cuales estudiaremos más adelante.

En las siguientes figuras se muestra esta propiedad



DESCOMPOSICIÓN RECTANGULAR DE VECTORES

Un sistema de vectores puede sustituirse por otro equivalente que contenga mayor o menor número de vectores.

- Si el sistema se sustituye por otro que tenga un número mayor de vectores, el procedimiento se denomina descomposición.
- Si el sistema se sustituye por otro que tenga un número menor de vectores, el procedimiento se denomina composición.

Para la descomposición y composición rectangular de vectores consideraremos el vector fuerza.

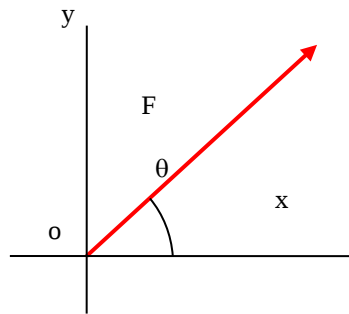
El proceso que permite que cualquier vector pueda descomponerse en dos vectores perpendiculares recibe el nombre de descomposición y los vectores obtenidos se denominan componentes rectangulares.

Apoyándonos en la trigonometría se describirá el procedimiento general para la descomposición de un vector "F" en sus componentes rectangulares.

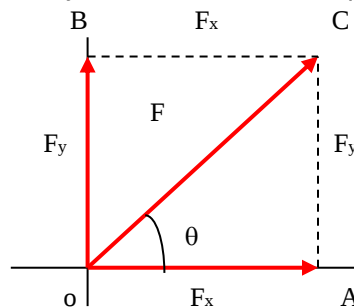
FUERZA

Es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o movimiento de un cuerpo.

En la siguiente figura el vector "F" representa, la magnitud, dirección y sentido correspondiente.



En esta figura se indica el mismo vector con dos perpendiculares trazadas desde su extremo a los ejes x y y respectivamente, quedando construido un rectángulo, en donde la diagonal es el vector F y sus fuerzas componentes F_x y F_y , cuya suma vectorial es equivalente al vector F .



Con F_x y F_y perpendiculares entre sí, los triángulos OAC y OBC son triángulos rectángulos equivalentes, siendo $F_y = OB$ y $F_x = OA$.

Por trigonometría tenemos:

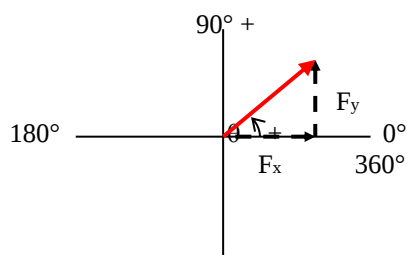
$$\cos \theta = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{F_x}{F} \therefore F_x = F \cos \theta$$

$$\text{Sen } \theta = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{F_y}{F} \therefore F_y = F \text{ sen } \theta$$

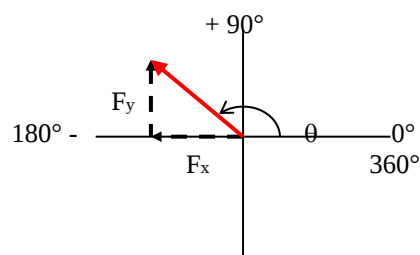
Donde theta (θ) es el ángulo entre el vector y la parte positiva el eje x medido en dirección opuesta a las manecillas del reloj. El signo de una componente puede ser determinado de un diagrama de vectores, de acuerdo a las cuatro posibilidades que a continuación se muestra en el siguiente cuadro.

θ	Cuadrante	F_x	F_y
0 a 90°	I	+	+
90° a 180°	II	-	+
180° a 270°	III	-	-
270° a 360°	IV	+	-

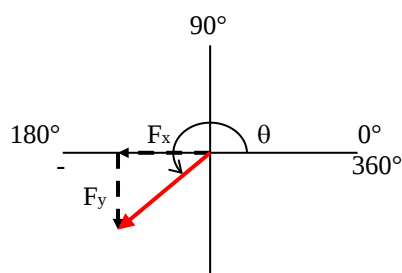
Ahora lo demostramos en las siguientes figuras:



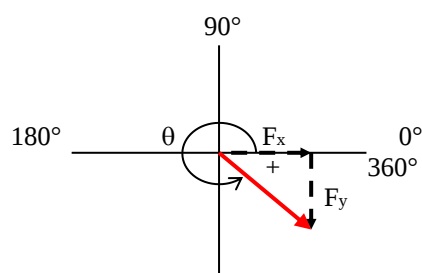
270°
Cuadrante I



270°
Cuadrante II



- 270°
Cuadrante III



270° -
Cuadrante IV

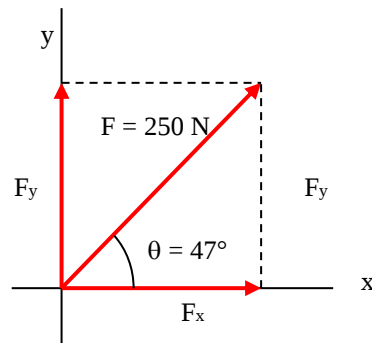
Ejercicios resueltos

1. Determina gráfica y analíticamente las componentes en "x" y en "y" de una fuerza de 250 N, actuando en una dirección de 47° respecto de la horizontal.

a) Cálculo gráfico:

- Traza los ejes cartesianos como marco de referencia.
- Elige una escala convencional. En este caso 1 cm : 50 N
- Indica la dirección en que se aplica la fuerza midiendo un ángulo de 47° con tu transportador.
- En esa dirección dibuja un vector de 5 cm de longitud que de acuerdo a la escala elegida representa 250 N.
- A partir del extremo del vector traza dos líneas perpendiculares al eje en x y en y respectivamente formando un rectángulo.
- Dibuja los vectores F_x y F_y que representan las componentes rectangulares del vector F.
- Determina la magnitud de F_x y F_y , midiendo ambos vectores de acuerdo a la escala elegida. Recuerda que en este ejemplo cada cm representa 50 N.

b) Cálculo analítico

**Datos**

$F = 250 \text{ N}$

$\theta = 47^\circ$

$F_x = ?$

$F_y = ?$

Fórmula

$F_x = F \cos \theta$

$F_y = F \sin \theta$

Desarrollo

$F_x = F \cos \theta$

$F_x = (250 \text{ N})(\cos 47^\circ)$

$F_x = (0.6819)(250 \text{ N})$

$F_x = 170.475 \text{ N}$

$F_y = F \sin \theta$

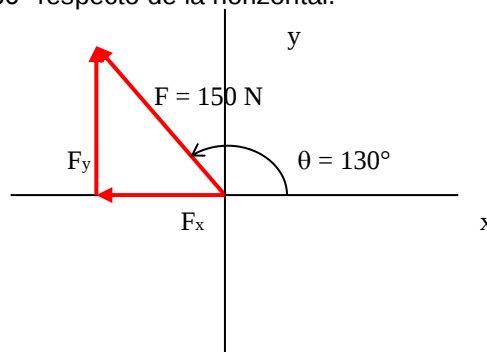
$F_y = (250 \text{ N})(\sin 47^\circ)$

$F_y = (0.7313)(250 \text{ N})$

$F_y = 182.825 \text{ N}$

2. Determina gráfica y analíticamente las componentes en x y en y de una fuerza de 150 N, actuando en una dirección de 130° respecto de la horizontal.

a) Cálculo gráfico:



b) Cálculo analítico:

Datos

$F = 150 \text{ N}$

$\theta_R = 130^\circ$

$F_x = ?$

$F_y = ?$

Fórmula

$F_x = F \cos \theta$

$F_y = F \sin \theta$

Desarrollo

$F_x = F \cos \theta$

$F_x = (150 \text{ N})(\cos 130^\circ)$

$F_x = (-0.6427)(150 \text{ N})$

$F_x = -96.405 \text{ N}$

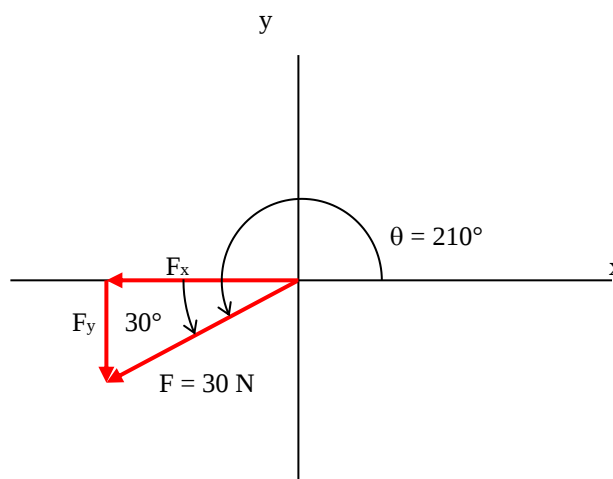
$F_y = F \sin \theta$

$F_y = (150 \text{ N})(\sin 130^\circ)$

$F_y = (0.7660)(150 \text{ N})$

$F_y = 114.906 \text{ N}$

3. Calcular las componentes **x** y **y** de una fuerza resultante de 30 N y que forma un ángulo de 210° con la dirección positiva del eje **x**. Cálculo gráfico:



Cálculo analítico

Datos

$F = 30 \text{ N}$

$\theta_R = 210^\circ$

$F_x = ?$

$F_y = ?$

Fórmula

$F_x = F \cos \theta$

$F_y = F \sin \theta$

Desarrollo

$F_x = 30 \text{ N} (\cos 210^\circ)$

$F_x = (-0.8660)(30 \text{ N})$

$F_x = -25.98 \text{ N}$

$F_y = 30 \text{ N} (\sin 210^\circ)$

$F_y = (-0.5)(30 \text{ N})$

$F_y = -15 \text{ N}$

SUMA Y RESTA DE VECTORES

Existen métodos adecuados para poder efectuar la suma de cantidades vectoriales, estos métodos no pueden utilizarse directamente con los principios de la aritmética.

Para efectuar la suma de vectores se considera la magnitud, la dirección y el sentido de los vectores, algo importante que no se debe de olvidar es que la magnitud de un vector siempre se toma positiva, si es negativo antes del símbolo que especifica un vector quiere decir que cambia su sentido.

La suma de vectores se pueden realizar por dos métodos: el gráfico y el analítico.

Método Gráfico

Paralelogramo
Triángulo
Polígono

Método Analítico

Teorema de Pitágoras
Ley de senos y cosenos
Componentes rectangulares

Por lo tanto para encontrar la suma de vectores que pueden ser gráficos y analíticos. Como consecuencia de la adición se obtiene un vector llamado Resultante.

RESULTANTE

Es aquel que sustituye un sistema de vectores y que representa a todos los vectores sumados.

De acuerdo con la tercera ley de Newton, que nos dice: “a toda acción corresponde una reacción de igual dimensión, pero sentido contrario”, en estática encontramos a la...

EQUILIBRANTE

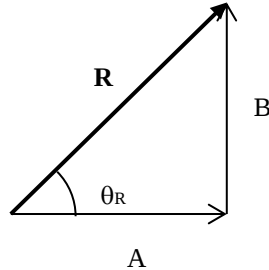
Es un vector con la misma magnitud y dirección que la resultante, pero con sentido contrario.

Teorema de Pitágoras (Método analítico)

Este método se utiliza cuando **dos vectores A y B son perpendiculares** entre sí, al sumarse forman un triángulo rectángulo. La magnitud de la resultante se determina aplicando el teorema de Pitágoras.

TEOREMA DE PITÁGORAS

Para cualquier triángulo rectángulo, el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los otros dos catetos.



Este teorema se representa algebraicamente de la manera siguiente:

$$R^2 = A^2 + B^2$$

La dirección de la resultante se calcula por la función tangente

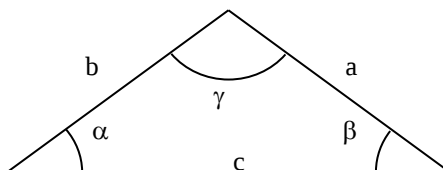
$$\tan \theta_R = \frac{B}{A}$$

$$\theta_R = \tan^{-1} \frac{B}{A}$$

SUMA DE DOS VECTORES ANGULARES

Ley de senos y ley de cosenos (método analítico)

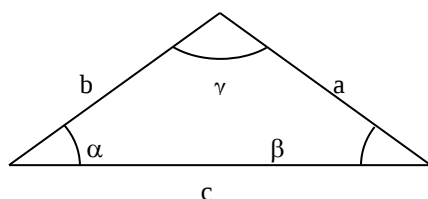
La **ley de los senos** establece que en todo triángulo oblicuángulo (son aquellos que no tienen ningún ángulo recto) se cumplen las siguientes relaciones:



$$\frac{a}{\text{Sen}\alpha} = \frac{b}{\text{Sen}\beta} = \frac{c}{\text{Sen}\gamma}$$

LEY DE LOS COSENOS

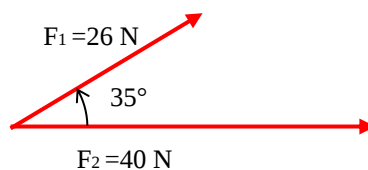
En todo triángulo oblicuángulo, el cuadrado de un lado es igual a la suma del cuadrado de los otros dos lados, menos su doble producto, multiplicado por el coseno del ángulo formando por estos dos lados.



$$\begin{aligned} a^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha \\ b^2 &= a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta \\ c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma \end{aligned}$$

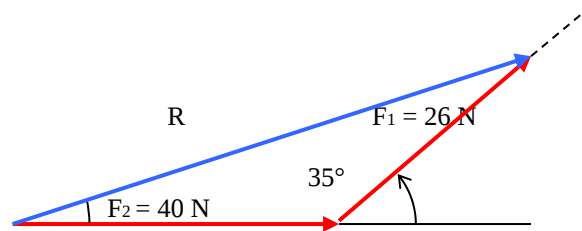
Ejemplo:

- 1) Encontrar la resultante y el ángulo que forma con la horizontal en la siguiente suma de vectores por el método gráfico y analítico.



Método del triángulo

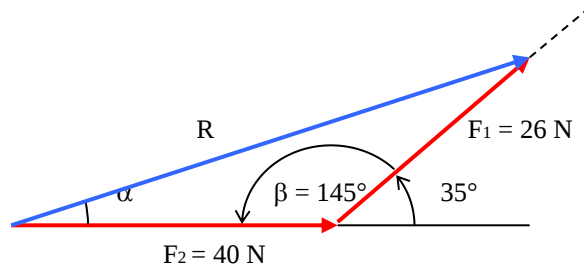
- Se toma un punto de referencia
- Elige la escala convencional
- Trazamos los vectores respetando magnitud, dirección y sentido.
- Se obtiene el vector resultante.



Ley de senos y cosenos.

Para emplear este método se requiere graficar el sistema vectorial, aunque no es necesario que se haga a escala. Para ello se ubican las fuerzas en un sistema de coordenadas cartesiano colocando el segundo vector en el extremo del primero, formando un triángulo al graficar la fuerza resultante que consiste en unir el origen de la primera fuerza con el extremo de la segunda.

Los lados del triángulo representan la magnitud de las fuerzas del sistema y la magnitud de la fuerza resultante



Aplicando la ley de los cosenos para encontrar la resultante tenemos:

Datos

$$F_1 = 26 \text{ N}$$

$$F_2 = 40 \text{ N}$$

$$\theta_R = 145^\circ$$

$$F_x = ?$$

$$F_y = ?$$

Fórmula

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2 F_1 F_2 \cos \beta}$$

Desarrollo

$$R = \sqrt{(26 \text{ N})^2 + (40 \text{ N})^2 - 2(26 \text{ N})(40 \text{ N}) \cos 145^\circ}$$

$$R = \sqrt{676 \text{ N}^2 + 1600 \text{ N}^2 - 2080 \text{ N}^2 (-0.8191)}$$

$$R = \sqrt{2276 \text{ N}^2 + 1703.728 \text{ N}^2}$$

$$R = \sqrt{3979.728 \text{ N}^2}$$

$$R = 63.085 \text{ N}$$

Aplicando la ley de los senos se obtendrá el ángulo de la resultante con respecto a la horizontal.

Fórmula

Desarrollo

$$\frac{F_1}{\text{sen}\alpha} = \frac{R}{\text{sen}\beta}$$

$$\text{sen}\alpha = \frac{F_1 \text{sen}\beta}{R}$$

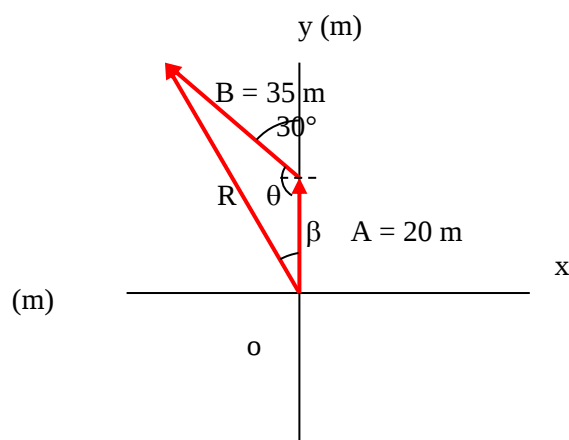
$$\text{sen } \alpha = \frac{(26 \text{ N})(\text{sen}145^\circ)}{63.085 \text{ N}}$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{(26 \text{ N})(0.5735)}{63.085 \text{ N}} = 0.2363$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1}(0.2363)$$

$$\alpha = 13^\circ$$

- 2) Un automóvil viaja 20 m hacia el Norte y después 35 m en dirección 60° al Noroeste, como se muestra en la figura. Encontrar la magnitud y la dirección del desplazamiento resultante del automóvil.



Para obtener la solución analítica para la magnitud R usaremos la ley de los cosenos de trigonometría. Ya que como observamos A , B y R forman un triángulo obtuso.

Aplicando la ley de los cosenos para poder encontrar la resultante tenemos:

Datos**Fórmula** $A = 20 \text{ m}$ al Norte $B = 35 \text{ m}$ a 60° al Norte $R = ?$

Desarrollo

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos\theta}$$

$$R = \sqrt{(20\text{m})^2 + (35\text{m})^2 - 2(20\text{m})(35\text{m})\cos150^\circ}$$

$$R = \sqrt{400\text{m}^2 + 1225\text{m}^2 - (1400\text{m}^2)(-0.866)}$$

$$R = \sqrt{1625\text{m}^2 + 1212\text{m}^2}$$

$$R = \sqrt{2837\text{m}^2}$$

$$R = 53.263 \text{ m}$$

La dirección de R medida desde la dirección Norte se puede obtener de la ley de los senos.

$$\frac{\text{sen } \beta}{B} = \frac{\text{sen } \theta}{R} \therefore$$

$$\text{sen}\beta = \frac{B \text{ sen}\theta}{R}$$

$$\text{sen } \beta = \frac{(35\text{ m})(\text{sen } 150^\circ)}{53.263\text{ m}}$$

$$\text{sen } \beta = 0.3285$$

$$\beta = \text{sen}^{-1}(0.3285)$$

$$\beta = 19^\circ$$

SUMA DE VECTORES POR EL MÉTODO DE COMPONENTES (MÉTODO ANALÍTICO)

Este método permite sumar 2 o más vectores.

Para la solución de un sistema de fuerzas en donde se requiera determinar el vector resultante se realizan los siguientes pasos:

- 1) Se dibujan las fuerzas dadas en el plano de coordenadas rectangulares (diagrama vectorial)
- 2) Cada fuerza se descompone en sus componentes en el eje x y eje y .
- 3) Se suman las componentes x para obtener la componente resultante en el eje x .

$$\sum F_x$$

- 4) Se suman las componentes y para obtener la componente resultante en el eje y .

$$\sum F_y$$

- 5) Se calcula la resultante utilizando el teorema de Pitágoras

$$F_R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$$

- 6) Se determina la dirección por medio de la función tangente

$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right|$$

- 7) Se Representa gráficamente el vector resultante.

Ejemplos:

- 1.- Calcular gráfica y analíticamente la fuerza resultante del siguiente sistema de fuerzas.

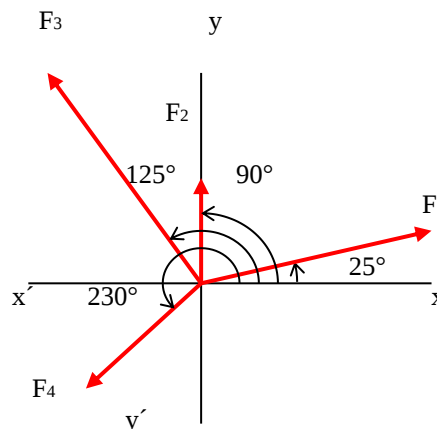
Datos

$$F_1 = 6 \text{ N } 25^\circ$$

$$F_2 = 3 \text{ N } 90^\circ$$

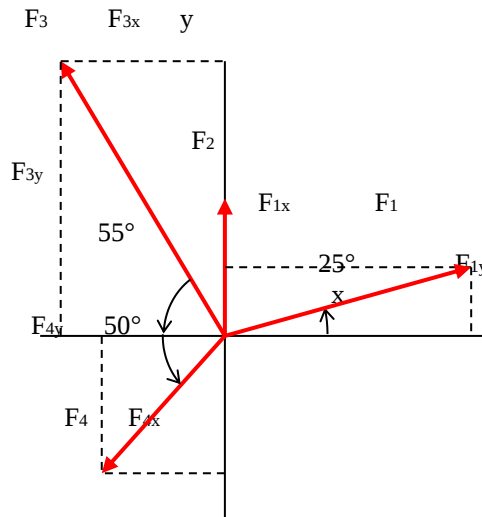
$$F_3 = 7 \text{ N } 125^\circ$$

$$F_4 = 5 \text{ N } 230^\circ$$



Cálculo analítico

Diagrama vectorial



Cálculo de los componentes de cada vector

$$F_1 : \quad F_{1x} = F_1 (\cos 25^\circ) = (0.9063) (6 \text{ N}) = 5.437 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_1 (\sin 25^\circ) = (0.4226) (6 \text{ N}) = 2.535 \text{ N}$$

$$F_2 : \quad F_{2x} = F_2 (\cos 90^\circ) = (0)(3 \text{ N}) = 0 \text{ no tiene componente en x}$$

$$F_{2y} = F_2 (\sin 90^\circ) = (1) (3 \text{ N}) = 3 \text{ N}$$

$$F_3 : \quad F_{3x} = F_3 (\cos 125^\circ) = (-0.5735) (7 \text{ N}) = -4.014 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_3 (\sin 125^\circ) = (0.8191) (7 \text{ N}) = 5.733 \text{ N}$$

$$F_4 : \quad F_{4x} = F_4 (\cos 230^\circ) = (-0.6427) (5 \text{ N}) = -3.213 \text{ N}$$

$$F_{4y} = F_4 (\sin 230^\circ) = (-0.7660) (5 \text{ N}) = -3.83 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x}$$

$$\Sigma F_x = 5.437 \text{ N} + (-4.014 \text{ N}) + (-3.213 \text{ N})$$

$$\Sigma F_x = -1.79 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y}$$

$$\Sigma F_y = 2.535 \text{ N} + 3 \text{ N} + 5.733 \text{ N} + (-3.83 \text{ N})$$

$$\Sigma F_y = 7.438 \text{ N}$$

Aplicación del teorema de Pitágoras para calcular magnitud de la fuerza resultante

$$F_R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$$

$$F_R = \sqrt{(-1.79 \text{ N})^2 + (7.438 \text{ N})^2}$$

$$F_R = 7.650 \text{ N}$$

$$F_R = \sqrt{3.204 \text{ N}^2 + 55.323 \text{ N}^2}$$

$$F_R = \sqrt{58.527 \text{ N}^2}$$

Cálculo del ángulo α formado por la resultante

$$\tan \theta = \left| \frac{F_y}{F_x} \right|$$

$$\tan \theta = \frac{7.438 \text{ N}}{1.79 \text{ N}} = -4.155$$

$$\theta = \tan^{-1}(4.155)$$

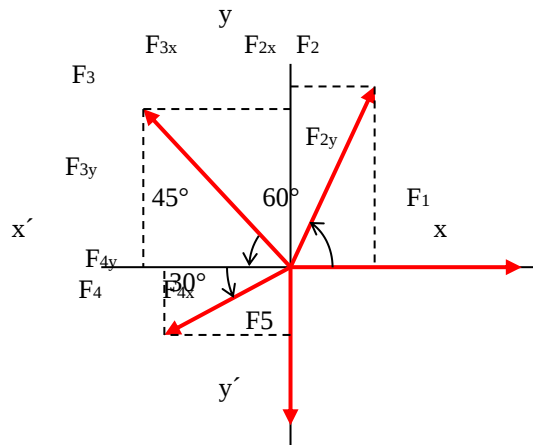
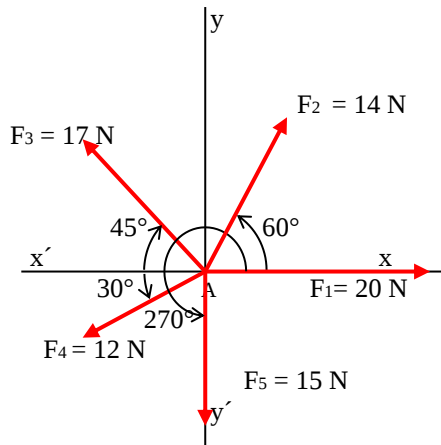
$$\theta = 76.45^\circ$$

$$\theta = 103.55^\circ$$

2. Determina analíticamente la fuerza resultante del siguiente sistema vectorial

Datos

$F_1 = 20 \text{ N } 0^\circ$
 $F_2 = 14 \text{ N } 60^\circ$
 $F_3 = 17 \text{ N } 45^\circ$
 $F_4 = 12 \text{ N } 30^\circ$
 $F_5 = 15 \text{ N } 270^\circ$



Calculo de los componentes de cada vector.

$F_1 :$ $F_{1x} (\cos 0^\circ) = (1) (20 \text{ N}) = 20 \text{ N}$
 $F_{1y} = 0$ No tiene componente en y
 $F_2 :$ $F_{2x} (\cos 60^\circ) = (0.5) (14 \text{ N}) = 7 \text{ N}$
 $F_{2y} (\sin 60^\circ) = (0.8660) (14 \text{ N}) = 12.124 \text{ N}$
 $F_3 :$ $F_{3x} (\cos 45^\circ) = (-0.7071) (17 \text{ N}) = -12.020 \text{ N}$
 $F_{3y} (\sin 45^\circ) = (0.7071) (17 \text{ N}) = 12.020 \text{ N}$
 $F_4 :$ $F_{4x} (\cos 30^\circ) = (-0.8660) (12 \text{ N}) = -10.392 \text{ N}$
 $F_{4y} (\sin 30^\circ) = (-0.5) (12 \text{ N}) = -6 \text{ N}$
 $F_5 :$ $F_{5x} = 0$ No tiene componente en x
 $F_{5y} (\sin 270^\circ) = (-1) (15 \text{ N}) = -15 \text{ N}$

$$\Sigma F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} + F_{5x}$$

$$\Sigma F_x = 20 \text{ N} + 7 \text{ N} + (-12.020 \text{ N}) + (-10.392 \text{ N})$$

$$\Sigma F_x = 4.588 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} + F_{5y}$$

$$\Sigma F_y = 12.124 \text{ N} + 12.020 \text{ N} + (-6 \text{ N}) + (-15 \text{ N})$$

$$\Sigma F_y = 3.144 \text{ N}$$

Teorema de Pitágoras para calcular la fuerza resultante

$$F_R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$$

$$F_R = \sqrt{(4.588 \text{ N})^2 + (3.144 \text{ N})^2}$$

$$F_R = \sqrt{21049 \text{ N}^2 + 9884 \text{ N}^2}$$

$$F_R = \sqrt{30933 \text{ N}^2}$$

$$F_R = 5.561 \text{ N}$$

El cálculo del ángulo α formado por la resultante

$$\tan \theta = \left| \frac{F_y}{F_x} \right|$$

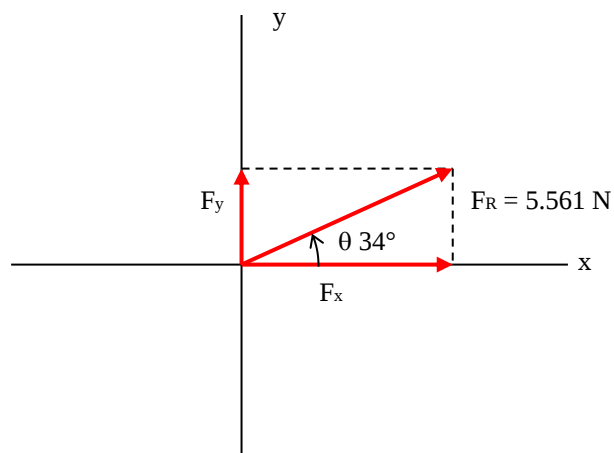
$$\tan^{-1} \theta = \frac{3.144 \text{ N}}{4.588 \text{ N}}$$

$$\tan^{-1} \theta = 0.6852$$

$$\theta = 0.6852 \tan^{-1}$$

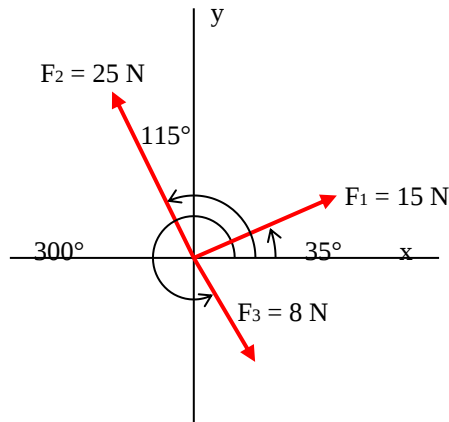
$$\theta = 34^\circ$$

Como la ΣF_x es (+) y la ΣF_y es (+) la fuerza resultante F_R estará en el primer cuadrante por lo tanto:



Ejercicios propuestos

1. Determina analíticamente la resultante del siguiente sistema de fuerzas.

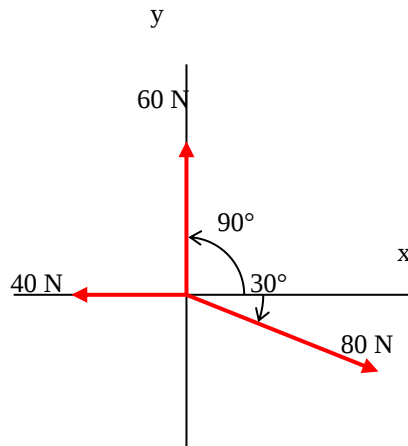


Respuesta

$$F_R = 25 \text{ N}$$

$$\theta_R = 76.8^\circ$$

2. Hallar analíticamente, la resultante del siguiente sistema de fuerzas.



Respuesta

$$F_R = 35 \text{ N}$$

$$\theta_R = 34^\circ$$

3. Determinar la resultante del siguiente sistema de vectores de fuerzas concurrentes; $F_1 = 90 \text{ N} \angle 50^\circ$, $F_2 = 60 \text{ N} \angle 90^\circ$; $F_3 = 25 \text{ N} \angle 180^\circ$, $F_4 = 40 \text{ N} \angle 270^\circ$. **$F_R = 94.82 \text{ N}$ $\theta_R = 69.728^\circ$**
4. Hallar la resultante del siguiente sistema de vectores de fuerzas coplanares y concurrentes: Fuerzas de 20, 40, 25, 42, y 12 N formando ángulos de 30° , 120° , 270° , 315° y 360° , respectivamente, con la dirección positiva del eje x. **$F_R = 41.32 \text{ N}$ $\theta_R = 348.5^\circ$**
5. Un poste de teléfonos está soportando por un cable que ejerce una fuerza 250 N sobre el extremo superior del mismo, sabiendo que el cable forma con el poste un ángulo de 42° calcula las componentes horizontal y vertical del vector fuerza. **Fuerza horizontal = 167.3 N**
Fuerza vertical = 185.8 N
6. Descomponer un vector de 10 N en dos componentes perpendicular de manera que la línea de acción de ellas forme un ángulo de 45° con la de otro vector de 10 N. Determinar analíticamente y gráficamente. **$F_R = 7.07 \text{ N}$ Ambos componentes**

FUERZAS PARALELAS.

EQUILIBRIO DE SÓLIDOS RÍGIDOS.

Has observado que muchos cuerpos en nuestro alrededor permanecen invariables en el tiempo y en el espacio, como ocurre con las vigas y cables de una estructura de un puente o un edificio. En Física a éstos se les da el nombre de cuerpos rígidos.

CUERPO RÍGIDO. Es un objeto sólido en el cual todas las partículas que lo integran conservan distancias fijas entre sí.

Se caracteriza porque los efectos de las deformaciones producidos por las fuerzas aplicadas, son por lo general tan pequeños que no se consideran y esto permite mayor facilidad en el análisis de las fuerzas.

Ahora estudiaremos el equilibrio de un cuerpo sólido rígido con fuerzas coplanares paralelas.

Las fuerzas son coplanares paralelas si están en un mismo plano (x, y) y sus direcciones son paralelas entre sí.

DEFINICIÓN DE EQUILIBRIO.

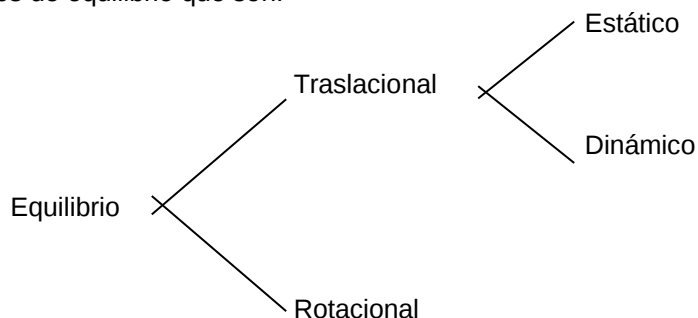
EQUILIBRIO: Condición que se presenta cuando un objeto no cambia su estado de reposo ó movimiento.

Un objeto está en reposo cuando no presenta movimiento.

El movimiento se define como el cambio de posición que experimenta un cuerpo con respecto de otro. Ejemplos de movimientos son los dos principales que presenta la Tierra:

- El de rotación sobre su eje, que da lugar al día y a la noche.
- El de traslación alrededor del Sol, que da lugar a las estaciones del año.

Existen dos tipos de equilibrio que son:



EQUILIBRIO TRASLACIONAL

Se presenta cuando el objeto está en reposo o cuando presenta movimiento rectilíneo uniforme.

Por lo general las fuerzas que participan tienen un punto en común y se anulan entre sí, es decir, la resultante del sistema de fuerzas es igual a cero.

El equilibrio traslacional de un cuerpo puede ser estático o dinámico.

Un objeto presenta **equilibrio estático** si se encuentra en reposo, es decir, sin movimiento bajo la acción de fuerzas (Ver fig. 1).

Un objeto presenta **equilibrio dinámico** si se encuentra en movimiento uniforme, es decir, a velocidad constante bajo la acción de fuerzas (Ver fig. 2).

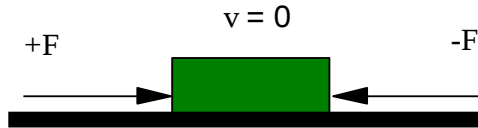


Fig. 1 Equilibrio estático
 $\sum F = 0$

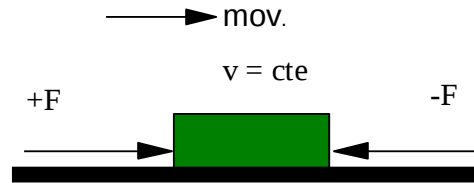


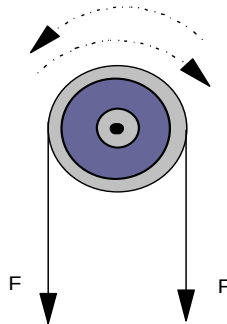
Fig. 2 Equilibrio dinámico
 $\sum F = 0$

EQUILIBRIO ROTACIONAL

Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo no tienen un punto en común; existe una distancia que las separa, haciendo que el cuerpo tienda a girar, pero las rotaciones que producen se anulan entre sí. El equilibrio rotacional de un cuerpo se presenta, por lo tanto, cuando la suma de las rotaciones es igual a cero.

EQUILIBRIO ROTACIONAL

Se presenta cuando el objeto no está girando o rotando.



Al estudiar el equilibrio de los cuerpos se debe considerar, por lo tanto, el punto de aplicación de las fuerzas que participan, su magnitud y dirección.

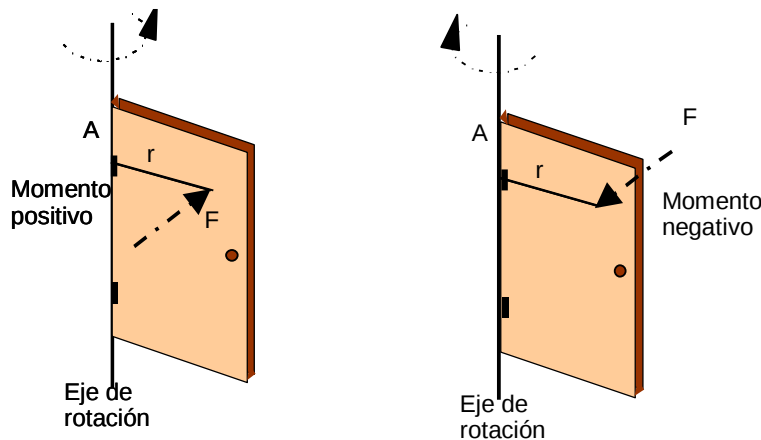
Para un sistema de vectores que actúan sobre un cuerpo la *fuerza resultante* es la que provoca su movimiento.

MOMENTO DE UNA FUERZA (M).

Para comprender el equilibrio de un sólido rígido cuando las fuerzas no tienen un punto en común o una misma línea de acción es necesario introducir el concepto de momento de una fuerza.

La *línea de acción* de una fuerza es la línea imaginaria que se extiende indefinidamente a lo largo de la dirección del vector. Cuando las líneas de acción de las fuerzas no se cortan en un mismo punto, puede existir rotación con respecto a un punto.

Por ejemplo, cuando se aplica una fuerza a una puerta semiabierta, se produce un movimiento de rotación con respecto al eje donde se localizan las bisagras, el cual depende del punto de aplicación y de la dirección de la misma. Si la fuerza es perpendicular al plano de la puerta y se aplica en el extremo opuesto del eje de las bisagras, ésta se abrirá con mayor facilidad; por otra parte, si se aplica la misma fuerza más cerca del eje de las bisagras, será más difícil abrirla.



Momento de fuerza

BRAZO DE PALANCA (r)

Es la distancia perpendicular desde el eje de rotación a la línea de acción de la fuerza.

A medida que éste aumenta será más fácil abrir la puerta o hacer girar el objeto con respecto a su eje. El brazo de palanca es cero cuando la línea de acción de la fuerza pasa por el eje de rotación y por lo tanto la puerta no girará.

MOMENTO DE FUERZA (M)

Es la medida de la efectividad de la fuerza para producir una rotación con respecto a un eje.

Al momento de fuerza también se le llama torsión, torca o torque.

Su magnitud se determina como el producto de la fuerza aplicada y la distancia perpendicular desde el eje de rotación a la línea de acción de la fuerza. Es el producto de la fuerza por el brazo de palanca. Por lo tanto:

$$M = F r$$

Donde:

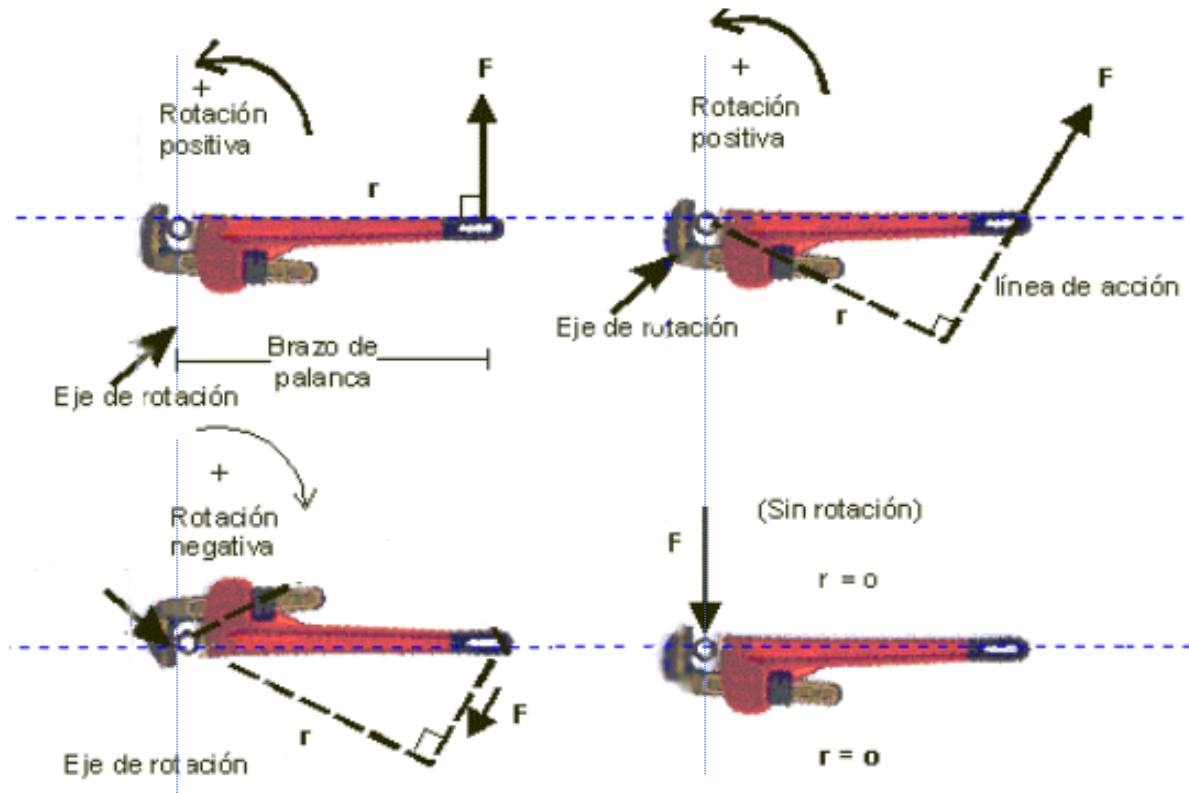
M = Momento de fuerza (Nm)

F = Fuerza aplicada (N)

r = Brazo de palanca (m)

Las unidades del momento de torsión son unidades de fuerza por distancia. Los momentos de torsión pueden ser positivos o negativos considerando la rotación que se produce.

El momento de torsión es positivo si la rotación es en el sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj y es negativo si la rotación es en el sentido de las manecillas del reloj. Se considera como base un eje de rotación perpendicular al plano de las fuerzas coplanares. Por lo tanto, si el plano es nuestra hoja o el pizarrón, el eje será indicado por un punto, ya que éste entra en él perpendicularmente.

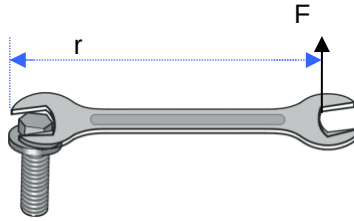


Brazos de palanca y signo de los momentos de fuerza

Los momentos de torsión se presentan al desmontar una llanta de un automóvil, en las balanzas, al utilizar poleas, etc.

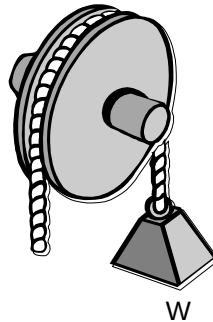
Ejercicios resueltos:

1.- Una persona aplica una fuerza de 90 N en el extremo de una llave, como se observa en la figura, para sujetar a un tornillo. Si la longitud de la llave es de 25 cm. Calcular el momento de torsión que se ejerce sobre el tornillo.



Datos	Fórmula	Desarrollo
$F = 90 \text{ N}$	$M = F r$	$r = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}$
$r = 25 \text{ cm}$		$M = (90 \text{ N})(0.25 \text{ m}) = +22.5 \text{ N m}$
$M = ?$		$M = + 22.5 \text{ N m}$

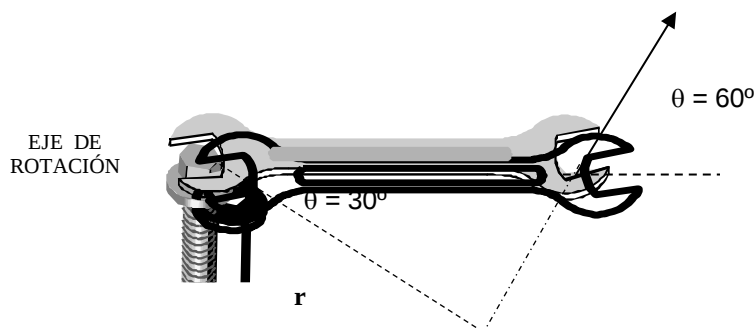
2.- Un cordón se enreda alrededor de una polea de 20 cm de radio. Si se cuelga del cordón un peso de 30 N. Calcular el momento de torsión sobre el centro de la polea.



Datos	Fórmula	Desarrollo
$r = 20 \text{ cm}$	$M = F r$	$r = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$
$F = W = 30 \text{ N}$		$M = (30 \text{ N})(0.2 \text{ m}) = -6 \text{ N m}$
$M = ?$		$M = - 6 \text{ N m}$

Es negativo porque la rotación es en el sentido de las manecillas del reloj

3.- Se aplica una fuerza de 70 N en el extremo de una llave, como lo muestra la figura, para aflojar un tornillo. Si la longitud de la llave es de 30 cm. Calcular el brazo de palanca y el momento de fuerza que se ejerce sobre el tornillo.



Datos	Fórmula	Desarrollo
$F = 70 \text{ N}$	$\cos \theta = \frac{r}{l}$	$l = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$
$r = ?$	$\therefore r = l \cos \theta$	$r = (0.30 \text{ m})(\cos 30^\circ) = 0.2598 \text{ m}$
$l = 30 \text{ cm}$	$M = F r$	$M = (70 \text{ N})(0.2598 \text{ m}) = 18.18 \text{ Nm}$
$M = ?$		

4.- Una persona empuja perpendicularmente una puerta con una fuerza de 9 N, si el momento de torsión que se produce es de +5.4 Nm ¿Cuál es el brazo de palanca que utilizó?

Datos	Fórmula	Desarrollo
$F = 9 \text{ N}$	$M = F r$	$r = \frac{5.4 \text{ N m}}{9 \text{ N}}$
$M = +5.4 \text{ N m}$	$\therefore r = \frac{M}{F}$	$r = 0.6 \text{ m}$
$r = ?$		

MOMENTO DE TORSIÓN.

Cuando existe más de una fuerza sobre un cuerpo y éstas carecen de un punto en común de intersección, tendrán un momento de torsión resultante y además una fuerza traslacional resultante. Si todas las fuerzas aplicadas actúan en un mismo plano, se tiene que:

MOMENTO DE TORSIÓN

Es la suma algebraica de los momentos de cada una de las fuerzas, con respecto a un eje determinado.

Por lo tanto:

$$M_R = \sum M = M_1 + M_2 + M_3 + \dots$$

Donde: M_R = Momento de fuerza resultante

Σ = Suma algebraica

M_1 = Momento de la fuerza 1

M_2 = Momento de la fuerza 2

En la expresión anterior cada momento participa con su signo positivo o negativo.

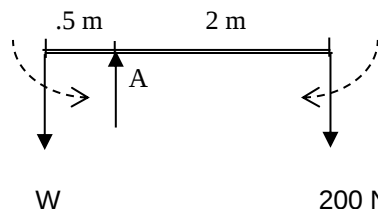
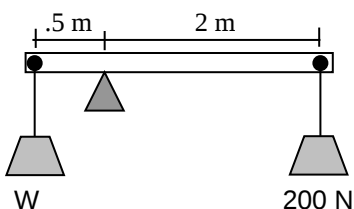
Considerando los conceptos analizados, se puede comprender las condiciones de equilibrio para un sólido rígido con fuerzas coplanares paralelas.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

Por lo general cuando se analiza una situación física conviene realizar un bosquejo o diagrama de las condiciones que se presentan, por medio de un sistema de vectores, que recibe el nombre de diagrama de cuerpo libre o diagrama de fuerzas, el cual se define como:

Es el dibujo que indica a las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.

Consiste en dibujar el objeto como un punto, si las fuerzas son concurrentes o una línea, si son paralelas a partir del cual se indican gráficamente las fuerzas que actúan, respetando su magnitud, dirección y punto de aplicación (Ver fig.6). Por éste pasará el eje horizontal (x) y el vertical (y).



La fuerza de gravedad o peso de los cuerpos se gráfica a partir del centro geométrico del sólido rígido que se presente, dirigido vertical hacia abajo.

Procedimiento para resolver ejercicios:

- 1.- Leer y comprender el ejercicio propuesto para determinar los datos y las variables.
- 2.- Aislar el objeto en estudio y dibujar a todas las fuerzas que participan (acción y reacción) respetando su magnitud y dirección.
- 3.- Construir el diagrama de fuerzas.
- 4.- Se calculan:
 - Las componentes rectangulares de las fuerzas. Se considera como variable lo desconocido.
 - Los momentos de fuerza correspondientes, considerando un eje de rotación conveniente.
- 5.- Aplicar la primera y segunda condición de equilibrio.

$$\Sigma F_y = 0 \quad \text{ec. 1}$$

$$\Sigma M = 0 \quad \text{ec. 2}$$

- 6.- Resolver las ecuaciones encontradas.

Si las variables resultan con signo negativo, indica que el sentido considerado para esa fuerza al inicio del ejercicio no es el correcto, pero la magnitud encontrada si lo es.

Para elegir un eje de rotación, si la suma de los momentos de torsión alrededor de un eje es igual a cero para un sólido rígido que satisface la primera condición de equilibrio, se tiene que esa suma es también igual a cero alrededor de otros ejes paralelos al primero. Por lo tanto, se recomienda elegir los ejes de modo que la línea de acción de una fuerza desconocida pase a través del punto de intersección del eje y el plano.

Ejercicios resueltos

- 1.- Una barra uniforme pesa 300 N y sostiene un peso de 500 N como lo muestra la figura. Determinar la magnitud de las fuerzas ejercidas sobre la barra por los soportes colocados en los extremos para mantener el sistema en equilibrio.

- a) Para el eje A
- b) Para el eje B

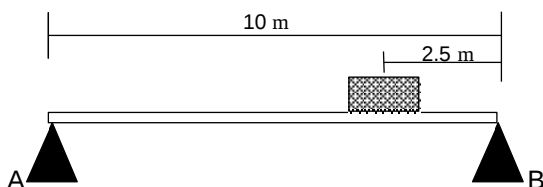
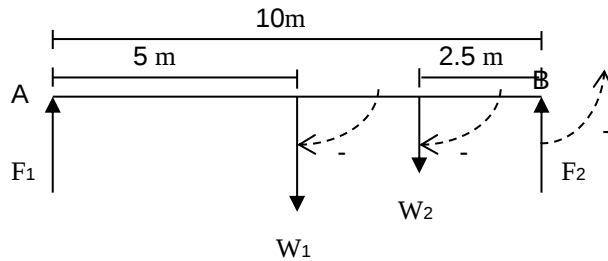


Diagrama de fuerzas si el eje es el punto A



Solución para el eje A

Datos	Fórmula
$W_1 = 300 \text{ N}$	$\sum F_y = 0$

$W_2 = 500 \text{ N}$	$\sum M = 0$
-----------------------	--------------

Existe equilibrio	$M = F r$
-------------------	-----------

Desarrollo

Aplicando la 1° Condición de Equilibrio:

$$F_1 + F_2 + W_1 + W_2 = 0$$

$$F_1 + F_2 - 300 \text{ N} - 500 \text{ N} = 0$$

$$F_1 + F_2 - 800 \text{ N} = 0$$

$$F_1 + F_2 = 800 \text{ N} \quad \text{ec. 1}$$

Aplicando la 2° Condición de Equilibrio.

Si el eje es A

$$M_{F_1} = F_1 (0) = 0$$

$$M_{F_2} = F_2 (10 \text{ m}) = +10 \text{ m } F_2$$

$$M_{W_1} = (300 \text{ N})(5 \text{ m}) = -1500 \text{ N m}$$

$$M_{W_2} = (500 \text{ N})(7.5 \text{ m}) = -3750 \text{ N m}$$

$$\sum M_A = 0 + 10 \text{ m } F_2 - 1500 \text{ N m} - 3750 \text{ N m} = 0$$

$$+10 \text{ m } F_2 - 5250 \text{ N m} = 0 \quad \text{ec. 2}$$

Resolviendo la ec. 2

$$F_2 = \frac{5250 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 525 \text{ N}$$

$$F_2 = 525 \text{ N}$$

Sustituyendo en la ec. 1

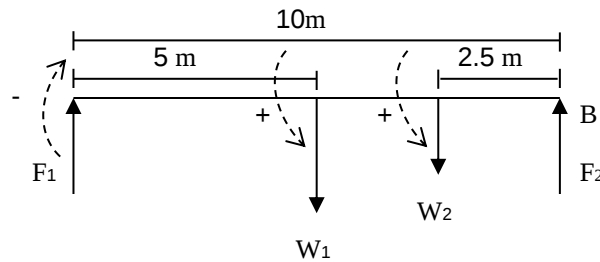
$$F_1 + 525 \text{ N} = 800 \text{ N}$$

$$F_1 = 800 \text{ N} - 525 \text{ N}$$

$$F_1 = 275 \text{ N}$$

$$F_1 = 275 \text{ N}$$

b) Diagrama de fuerzas si el eje es el punto B



Solución para el eje B

Datos **Fórmula**

$$W_1 = 300 \text{ N} \quad \sum F_y = 0$$

$$W_2 = 500 \text{ N} \quad \sum M = 0$$

Existe
equilibrio

Desarrollo

Aplicando la 1° Condición de Equilibrio:

$$F_1 + F_2 + W_1 + W_2 = 0$$

$$F_1 + F_2 - 300 \text{ N} - 500 \text{ N} = 0$$

$$F_1 + F_2 - 800 \text{ N} = 0$$

$$F_1 + F_2 = 800 \text{ N} \quad \text{ec. 1}$$

Aplicando la 2° Condición de Equilibrio.

Si el eje es B

$$M_{F_1} = F_1 (10 \text{ m}) = -10 \text{ m } F_1$$

$$M_{F_2} = F_2 (0) = 0$$

$$M_{W_1} = (300 \text{ N})(5 \text{ m}) = +1500 \text{ N m}$$

$$M_{W_2} = (500 \text{ N})(2.5 \text{ m}) = +1250 \text{ N m}$$

$$\sum M_B = -10 \text{ m } F_1 + 0 + 1500 \text{ N m} + 1250 \text{ N m} = 0$$

$$-10 \text{ m } F_1 + 2750 \text{ N m} = 0 \quad \text{ec. 2}$$

Resolviendo la ec. 2

$$F_1 = \frac{-2750 \text{ N m}}{-10 \text{ m}} = 275 \text{ N}$$

$$F_1 = 275 \text{ N}$$

Sustituyendo en la ec. 1

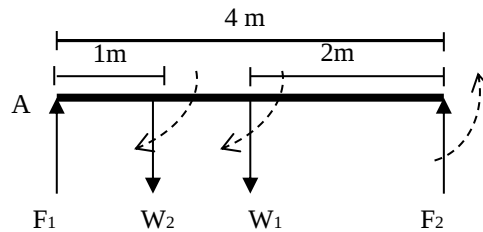
$$275 \text{ N} + F_2 = 800 \text{ N}$$

$$F_2 = 800 \text{ N} - 275 \text{ N} = 525 \text{ N}$$

$$F_2 = 525 \text{ N}$$

2.- Determinar las fuerzas que se ejercen en los extremos de un andamio de 4 m de largo y 200 N de peso, si un albañil que pesa 600 N se coloca a 1 m de su extremo izquierdo.

Diagrama de fuerzas

**Datos****Fórmula****Desarrollo**

$$l = 4 \text{ m}$$

$$\sum F_y = 0$$

Aplicando la 1ª Condición de Equilibrio:

$$\sum F_y = 0$$

$$W_1 = 200 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$F_1 + F_2 + W_1 + W_2 = 0$$

$$W_2 = 600 \text{ N}$$

$$F_1 + F_2 - 200 \text{ N} - 600 \text{ N} = 0$$

$$F_1 = ?$$

$$F_1 + F_2 = 800 \text{ N} \text{ ec. 1}$$

$$F_2 = ?$$

$$\sum M = 0$$

Aplicando la 2ª Condición de Equilibrio.

Si el eje es A

$$M_{F_1} = F_1 (0) = 0$$

$$M_{F_2} = F_2 (4 \text{ m}) = +4 \text{ m } F_2$$

$$M_{W_1} = (200 \text{ N})(2 \text{ m}) = -400 \text{ N m}$$

$$M_{W_2} = (600 \text{ N})(1 \text{ m}) = -600 \text{ N m}$$

$$\sum M_A = 4 \text{ m } F_2 - 400 \text{ N m} - 600 \text{ N m} = 0$$

$$4 \text{ m } F_2 - 1000 \text{ N m} = 0 \text{ ec. 2}$$

Resolviendo la ec. 2

$$F_2 = \frac{1000 \text{ N m}}{4 \text{ m}} = 250 \text{ N}$$

$$F_2 = 250 \text{ N}$$

Sust. en ec. 1

$$F_1 + 250 \text{ N} = 800 \text{ N}$$

$$F_1 = 800 \text{ N} - 250 \text{ N} = 550 \text{ N}$$

$$F_1 = 550 \text{ N}$$

- 3) Una palanca de primer género, como lo muestra la figura, sostiene un peso de 200 N en su brazo mayor. Determinar el peso en el brazo menor para que el sistema presente equilibrio. No se considera el peso de la palanca.

**Datos****Fórmula****Desarrollo**

$$W_1 = 200 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

Aplicando la 1ª Condición de Equilibrio:

$$\sum F_y = 0$$

$$r_1 = 2 \text{ m}$$

$$\sum M = 0$$

$$F + W_1 + W_2 = 0$$

$$r_2 = 0.5 \text{ m}$$

$$M = F r$$

$$F - 200 \text{ N} - W_2 = 0$$

$$W_2 = ?$$

$$F - W_2 = 200 \text{ N ec. 1}$$

$$\sum M = 0$$

Aplicando la 2ª Condición de Equilibrio.

Si el eje es A

$$M_F = F(0) = 0$$

$$M_{W_1} = (200 \text{ N})(2 \text{ m}) = -400 \text{ N m}$$

$$M_{W_2} = W_2(0.5 \text{ m}) = +0.5 \text{ m } W_2$$

$$\sum M_A = -400 \text{ N m} + 0.5 \text{ m } W_2 = 0 \text{ ec. 2}$$

De la ec. 2

$$W_2 = \frac{400 \text{ N m}}{0.5 \text{ m}} = 800 \text{ N}$$

$$W_2 = 800 \text{ N}$$

Sustituyendo. en ec.1

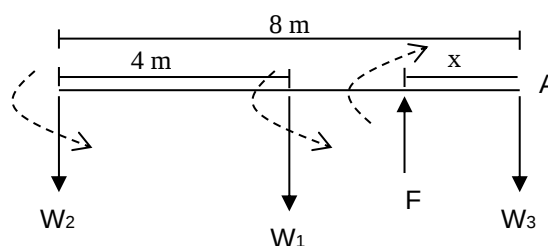
$$F - 800 \text{ N} = 200 \text{ N}$$

$$F = 200 \text{ N} + 800 \text{ N} = 1000 \text{ N}$$

$$F = 1000 \text{ N}$$

- 4) Una varilla uniforme tiene una longitud de 8 m y un peso de 30 N. Se suspende una pesa de 50 N del extremo izquierdo y una pesa de 10 N en el extremo derecho. Determinar la distancia, con respecto al extremo derecho, donde una fuerza ascendente producirá el equilibrio.

Diagrama de fuerzas



Datos**Fórmula****Desarrollo**

$W_1 = 30 \text{ N}$

$\sum F_y = 0$

$W_2 = 50 \text{ N}$

$\sum M = 0$

$W_3 = 10 \text{ N}$

$l = 8 \text{ m}$

Aplicando la 1° Condición de Equilibrio

$$\sum F_y = 0$$

$$F + W_1 + W_2 + W_3 = 0$$

$$F - 30 \text{ N} - 50 \text{ N} - 10 \text{ N} = 0$$

$$F - 90 \text{ N} = 0 \text{ ec. 1}$$

$$F = 90 \text{ N}$$

Aplicando la 2° Condición de Equilibrio $\sum M = 0$

Si el eje es A

$$M_{W_2} = (50 \text{ N})(8 \text{ m}) = +400 \text{ N m}$$

$$M_{W_3} = (30 \text{ N})(4 \text{ m}) = +120 \text{ N m}$$

$$M_{W_1} = (10 \text{ N})(0) = 0$$

$$M_F = -(90 \text{ N})(x)$$

$$\sum M_A = 400 \text{ N m} + 120 \text{ N m} - (90 \text{ N})x = 0$$

$$+ 520 \text{ N m} - (90 \text{ N})x = 0$$

$$x = \frac{520 \text{ N m}}{90 \text{ N}} = 5.778 \text{ m del extremo derecho}$$

$$x = 5.778 \text{ m}$$

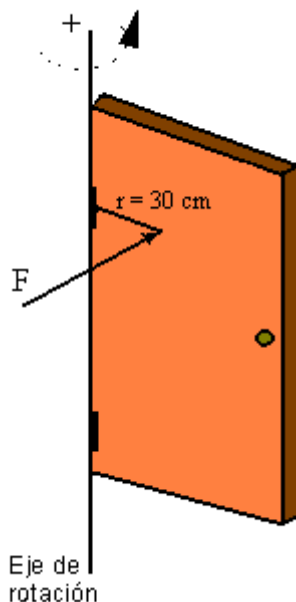
Ejercicios propuestos

1.- Una puerta tiene 90 cm de ancho y a 30 cm de las bisagras se aplica una fuerza de 500 N para abrirla. Como se indica en la figura. Si en el extremo opuesto a las bisagras se le aplica una fuerza para cerrarla. ¿Cuál es el valor de ésta fuerza?

Suponer que existe equilibrio y que las fuerzas son perpendiculares a la puerta.

Respuesta: 167 N

Momento positivo



2.- Una viga muy liviana (masa muy pequeña) de 6 m de longitud está sostenida por dos cuerdas en sus extremos. Una caja que pesa 900 N se coloca a 2 m del extremo derecho. Determinar la tensión en las dos cuerdas, si el sistema está en equilibrio.

Respuesta: 300 N, 600 N

3.- Un puente de 30 m de largo está soportado en sus extremos. Si su peso es de 5000 N y un coche de 2000 N se coloca a 10 m de su extremo izquierdo. Determinar las fuerzas que ejercen los soportes.

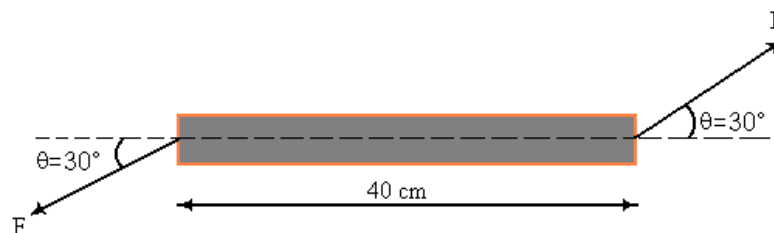
Respuesta: 3 833.33 N, 3 166.66 N

4.- Una barra metálica uniforme de 1 m de longitud pesa 30 N. Si se colocan sus extremos sobre dos básculas. Determinar la lectura que da en ellas.

Respuesta: 15 N

5.- Un par de fuerzas se aplica en los extremos de una barra de 40 cm de longitud. Si las fuerzas son de 60 N y forman ángulo de 30° con la barra. Determinar el momento del par de fuerzas.

Respuesta: 12 N m



6.- Dos niños llevan un recipiente con agua de 147 N de peso utilizando una barra de 2 m de largo. Determinar la distancia en la que debe colocarse el recipiente para que uno de ellos solo cargue la tercera parte del peso. No considerar el peso de la barra.

Respuesta: 1.33 m

7.- Una barra uniforme pesa 25 N y tiene una longitud de 7 m. Si una pesa de 40 N se suspende en el extremo derecho y otra de 15 N en el extremo izquierdo. Determinar la distancia en la que un punto de apoyo producirá el equilibrio.

Respuesta: 2.4 m del extremo derecho

10.- ¿Cuándo se dice que un cuerpo está en equilibrio?

11.- ¿Cuáles son los tipos de equilibrio que se presentan?

12.- ¿Qué es para ti un momento de fuerza?

13.- ¿Qué es el brazo de palanca?

14.- ¿Dónde has aplicado un par de fuerzas?

15.- ¿Dónde se localiza el centro de gravedad de una esfera uniforme? ¿Y el centro de masa?

16.- ¿En qué parte de una puerta te apoyarías para que ésta no se abra?

PROYECTO INTEGRADOR

1. Investiga las características de las palancas de primero, segundo y tercer género y realiza un diagrama de cada una de ellas. Este deberá ser entregado al profesor para su revisión y validación.

CARACTERÍSTICAS:

1) Portada

- a) Nombre del Plantel
- b) Nombre de la materia,
- c) Nombre del tema
- d) Nombre del maestro
- e) Nombre del alumno
- f) Fecha de entrega

2) Trabajo

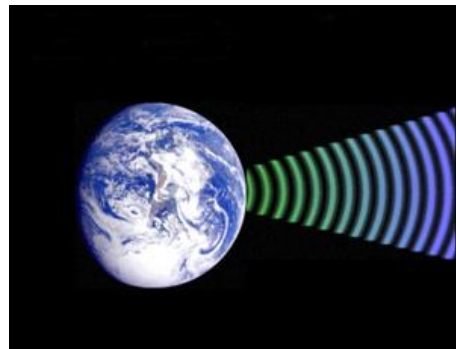
- a) Tipo de letra Arial 12
- b) Márgenes: Izquierdo 3.5 cm, los demás a 2.5 cm
- c) Máximo dos dibujos por página

TEMA I

ONDAS Y ACÚSTICA



SER EXCELENTE ES HACER LAS COSAS, NO BUSCAR RAZONES PARA DEMOSTRAR QUE NO SE PUEDEN HACER



INTRODUCCIÓN

¿Te has puesto a pensar lo que pasa cuando escuchas música en tu reproductor?, claro, modificas tu capacidad de percibir el sonido. De ahí adquiere su importancia este concepto.



En el ambiente que te rodea existe una gran cantidad de fenómenos ondulatorios que quizá no hayas podido explicar, aunque te haya llamado la atención, como la agudeza auditiva de algunos animales (el perro, el burro, el murciélago, etc.). La capacidad de comunicación a grandes distancias de delfines y ballenas, el silencio que caracteriza el centro de un huracán, son algunos ejemplos de ellos.

Aquí veremos cómo se puede transferir esa energía sin un desplazamiento físico de materia entre los puntos de referencia.

¿Te has puesto a pensar que la señal de radio sale de una antena transmisora, viaja por el aire y llega a nuestros oídos por medio de un radio receptor, pero que dicha señal viaja de la misma forma que la luz recorriendo grandes distancias?

¿Te has puesto a pensar cómo se traslada la energía eléctrica que llega a tu casa?

¡Acertaste! Se desplaza de forma similar que el sonido, pero el medio que utiliza son los cables y alambres que llegan a la instalación eléctrica de tu casa.

En esta unidad, encontrarás la explicación a éstos fenómenos y tendrás las herramientas suficientes para predecirlos.



OBJETIVO

En el presente tema, el alumno conocerá, comprenderá, analizará y explicará los fenómenos ondulatorios relacionados con los movimientos periódicos, características y propiedades de las ondas y del sonido existente en el medio que te rodea, así como, la gran aplicación que tiene este fenómeno físico en el desarrollo de tu entorno para brindarte las comodidades que actualmente disfrutas.

MOVIMIENTOS PERIODICOS

Actividad motivacional. (Lluvia de ideas)

El alumno observará su entorno y explicará de qué forma se manifiestan o le son familiares los movimientos periódicos. De la misma manera explicará las evidencias que tenga en cuanto a la transmisión por ondas de la energía que haya observado recientemente.

En esta actividad el docente conducirá las participaciones de los alumnos hasta conformar un marco teórico cotidiano.

En este tema, abordaremos el campo de la dinámica, aplicada al estudio de las vibraciones y ondas, estos dos términos son muy familiares, **vibración**, por ejemplo, trae a la mente el movimiento de una cuerda de guitarra, el aleteo de un ave o el movimiento casi silencioso del péndulo de un reloj.

De la misma manera la palabra **onda**, nos hace pensar en las olas del mar o en las ondulaciones en la superficie del agua de una alberca. A pesar de lo familiar que nos resultan estos términos, su importancia es máxima, debido a que la mayor parte de nuestro contacto con el mundo que nos rodea, es decir, todo lo que vemos y oímos, nos llega a través de vibraciones y ondas que provocan la visión y el sonido, con lo que constituye su fundamento: **las oscilaciones**.

Descripción del movimiento periódico

Cuando se perturba un sistema perdiendo su posición de equilibrio estable se producen oscilaciones. La característica más fácilmente reconocible del movimiento oscilatorio es que resulta periódico, es decir, se repite a sí mismo.

Una oscilación o vibración, comprende un movimiento hacia atrás y hacia delante. Tenemos muchos objetos en el hogar o caseros, por ejemplo, una sierra eléctrica, un cepillo de dientes eléctrico, un péndulo, el cuadrante de una báscula mientras llega al equilibrio para dar la lectura de tu peso corporal. La característica más importante del movimiento oscilatorio es que éste se repite. El tiempo que dura cada repetición se denomina **período**.

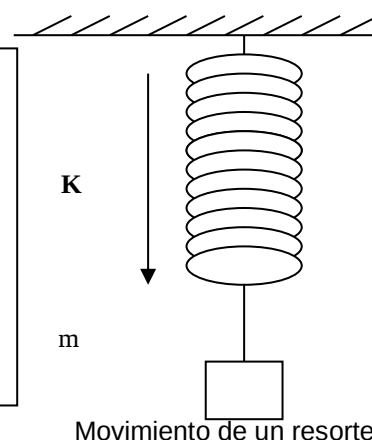
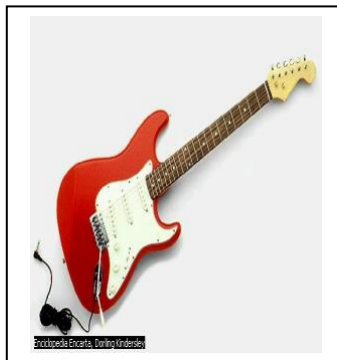
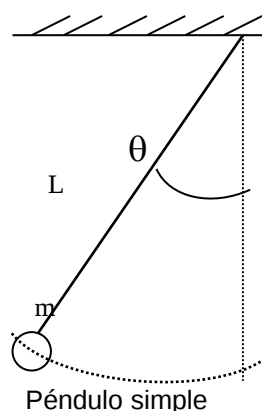
MOVIMIENTO PERIÓDICO. Todo movimiento simple o complejo que se repite a intervalos regulares de tiempo sobre una trayectoria.

En el medio ambiente que nos rodea, existen todo tipo de movimientos simples o complejos, que se repiten a intervalos regulares de tiempo recorriendo una trayectoria varias veces entre dos puntos después de un intervalo definido, a estos movimientos que satisfacen estas características se les llaman **movimientos periódicos**, los cuales se clasifican en:

- a) El péndulo simple
- b) El movimiento de un resorte

Los ejemplos más conocidos de estos son: los péndulos oscilantes de los relojes, el resorte de la suspensión de los carros de ferrocarril, los amortiguadores de los vehículos, las cuerdas de instrumentos musicales y otros más.

Ejemplos de movimientos periódicos:

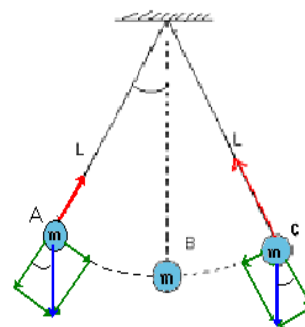


Movimiento pendular

Un péndulo simple está constituido por un cuerpo pesado suspendido en un punto sobre un eje horizontal por medio de un hilo de masa no considerada y realiza movimientos de un lado a otro.

Cuando se separa un péndulo de su posición de equilibrio y después se suelta, oscila a uno y otro lado del mismo por efecto de su peso. Al movimiento de ida y vuelta se le llama **oscilación**. El tiempo que tarda en dar una oscilación se le nombra **período**. Por lo tanto, el número de vibraciones ejecutadas se conoce como **frecuencia**

Movimiento periódico
representado por el
péndulo simple



Para el péndulo simple el período se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Además:

$$f = \frac{1}{T} \quad \left(\frac{1}{s} = \text{Hertz} = \text{Hz} \right)$$

Donde:

π = pi = valor aproximado = 3.1416

T = Período (s)

L = Longitud del péndulo (m)

g = Aceleración de la gravedad = 9.81 m / s² = 32 ft / s²

f = Frecuencia de vibración = $\frac{\text{No. de vibraciones}}{s}$ = $\frac{\text{No. ciclos}}{s}$ = $\frac{\text{No. vueltas}}{s}$

La unidad patrón para la frecuencia es el hertz, que es igual a un ciclo sobre segundo.

Ejercicios resueltos

1. ¿Cuál es la longitud de un péndulo cuyo período es de 2 s en el sistema MKS y sistema inglés?

Datos:**Fórmula:****Desarrollo:**

$$L = ?$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Despejando L elevando la ecuación al cuadrado:

$$T = 2 \text{ s}$$

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

$$L = \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

$$L = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s})^2}{4(3.1416)^2} = 0.994 \text{ m}$$

R. 0.994 mPara el sistema inglés: $g = 32 \text{ ft/s}^2$, nos da:

$$L = \frac{(32 \text{ ft/s}^2)(2 \text{ s})^2}{4(3.1416)^2} = 3.24 \text{ ft}$$

R. 3.24 FT

2. Calcula la aceleración de la gravedad en un lugar donde un péndulo simple de 150 cm de longitud efectúa 100 oscilaciones en 245 s.

Datos:**Fórmula:****Desarrollo**

$$g = ?$$

$$T = \frac{\text{tiempo}}{\text{número de oscilaciones}}$$

$$T = \frac{245 \text{ s}}{100} = 2.45 \text{ s}$$

$$L = 150 \text{ cm} = 1.5 \text{ m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$g = \frac{4(3.1416)^2(1.5 \text{ m})}{(2.45 \text{ s})^2} = 9.85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$t = 245 \text{ s}$$

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

$$n = 100 \text{ oscilaciones}$$

3. Calcular el periodo de oscilación de un péndulo simple en Marte, si tiene una longitud de 50 cm. El peso de los objetos en Marte es de 0.40 veces el peso en la tierra.

Datos :

Fórmula:

Desarrollo:

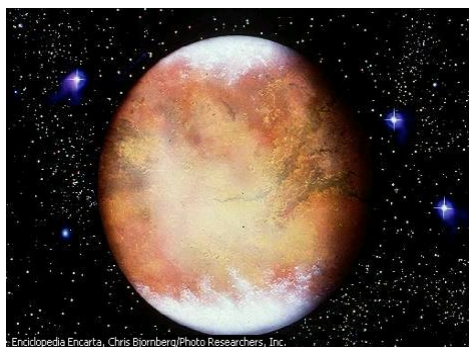
$$T = ?$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$T = 2(3.1416) \sqrt{\frac{0.5m}{3.92 \frac{m}{s^2}}}$$

$$L = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$$

$$g_M = 0.40(9.8 \text{ m/s}^2) = 3.92 \frac{m}{s^2}$$



$$T = 2.24 \text{ s}$$

Ejercicios propuestos:

- 1) Hallar el período de un péndulo de longitud $L = 3.24 \text{ ft}$, en la Luna donde la aceleración de la gravedad es de un sexto de la Tierra.
R. 4.88 s
- 2) Sobre la superficie de la Luna, la aceleración de la gravedad es tan solo de 1.67 m/s^2 , si un reloj de péndulo ajustado para la Tierra se transporta a la Luna ¿Qué porcentaje de su longitud, que tenía en la tierra deberá ser la nueva longitud del péndulo en la Luna, para que el reloj mantenga su posición?
R. 17%
- 3) ¿Cuáles son el período y la frecuencia de un péndulo simple cuya longitud es de $1,5 \text{ m}$?
R. 2.46 s; 0.41 Hz.
- 4) ¿Qué constituye una vibración completa de un péndulo?
- 5) El péndulo de un reloj se mueve muy lentamente, por lo tanto, se atrasa. ¿Qué ajuste se debe hacer?
- 6) ¿Cómo varía el período de un péndulo simple si aumenta su longitud?

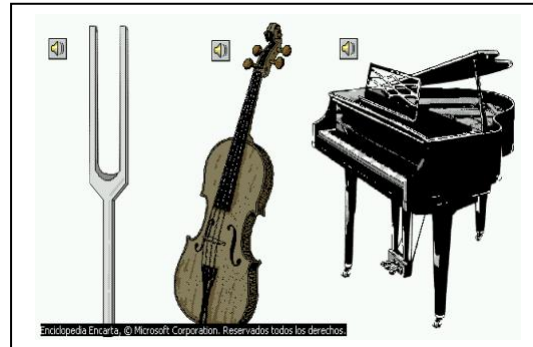
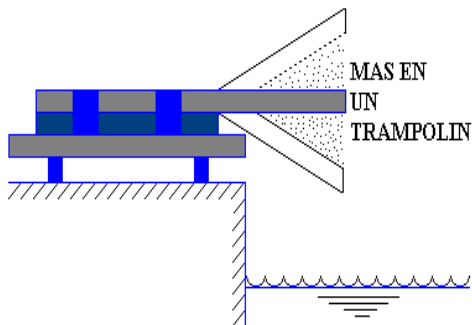
PROYECTO. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS.

Elabora un péndulo suspendiendo un cuerpo de masa m de un hilo cuya longitud puedes medir con toda precisión. Con un cronómetro mide el período con toda exactitud, realizando cierto número de oscilaciones, por ejemplo 10. Con la fórmula obtienes el valor de la gravedad.

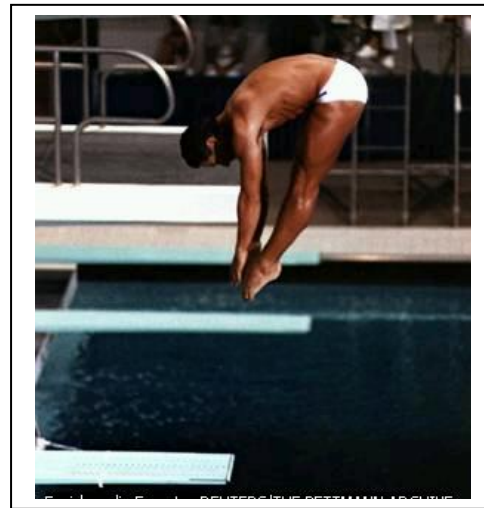
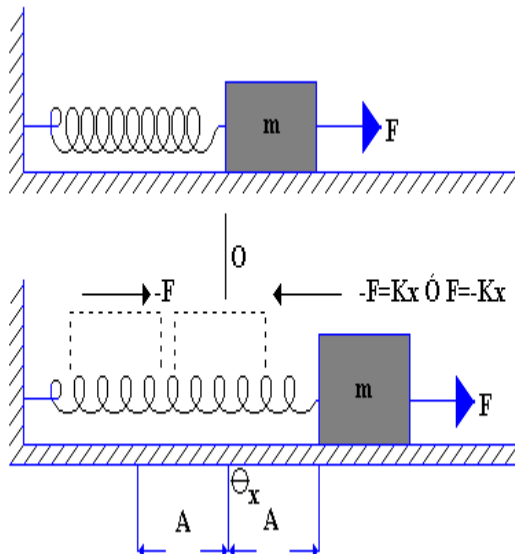
MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE (MAS)

Es un movimiento periódico que tiene lugar en ausencia de fricción y se produce por una fuerza de restitución que es directamente proporcional al desplazamiento y tiene una dirección opuesta a este.

M. A. S. en un trampolín

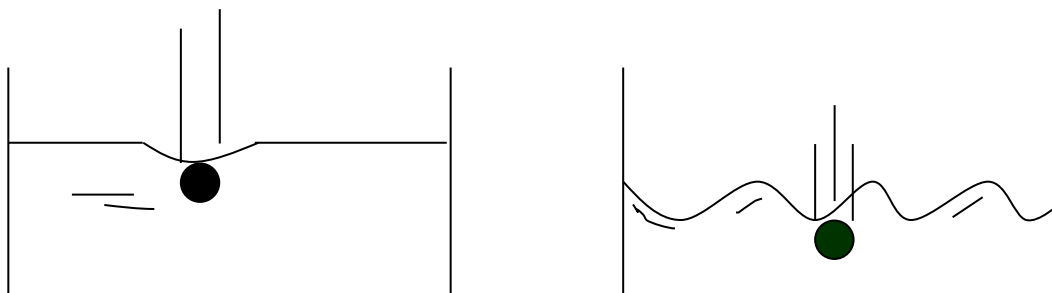


M. A. S. en un resorte



TIPOS DE ONDAS.

¿Cómo se forman o producen las ondas? Recordemos el fenómeno físico que se presenta al dejar caer una piedra en el agua tranquila de un estanque, las ondas son visibles en el agua, vemos que se producen ondas causadas por el impacto, se mueven sobre la superficie del agua y se propagan en forma de círculos concéntricos que se hacen cada vez más grandes y van perdiendo energía a medida que se alejan del punto donde cayó la piedra, como se muestra en la figura siguiente.



Esta perturbación producida en el agua se llama movimiento ondulatorio y la onda recibe el nombre de **onda mecánica**, ya que, para que exista se requiere de una fuente mecánica y un medio de transmisión material y se define como:

Onda mecánica. Es una perturbación física en un medio elástico.

Ondas transversales y longitudinales

Las ondas se clasifican de acuerdo con el tipo de movimiento del medio con respecto a la dirección de propagación de la onda.

Por lo que pueden ser:

Onda transversal. La ubicación de las partículas individuales del medio es perpendicular a la dirección de propagación de la onda

Se presentan en: las olas del mar, cuando una onda viaja por una cuerda.

Onda longitudinal. La dirección de vibración de las partículas del medio es paralela a la dirección de propagación de la onda.

Se presenta al comprimir un resorte helicoidal, en el amortiguador de un automóvil o en las ondas sonoras.

Para nuestro estudio trataremos de las ondas mecánicas longitudinales y de sus propiedades, usando a las ondas sonoras como prototipo.

FENÓMENOS ONDULATORIOS.

Los fenómenos ondulatorios más comunes y que consideramos para nuestro estudio son:

PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN.

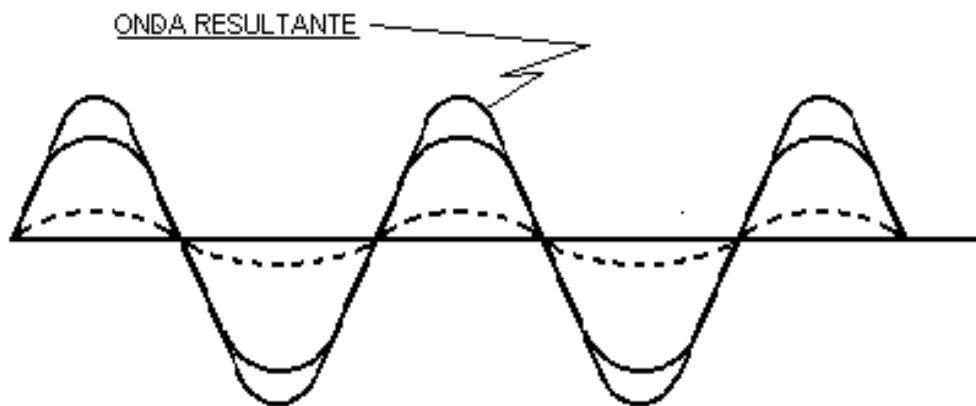
Este fenómeno físico se presenta cuando dos o más ondas se propagan simultáneamente a través del mismo medio. Como ya sabemos, la velocidad de la onda transversal se determina por la tensión de la cuerda y su densidad lineal, debido a esto, cualquier onda transversal tendrá la misma velocidad para cierta cuerda sometida a tensión constante.

Principio de superposición

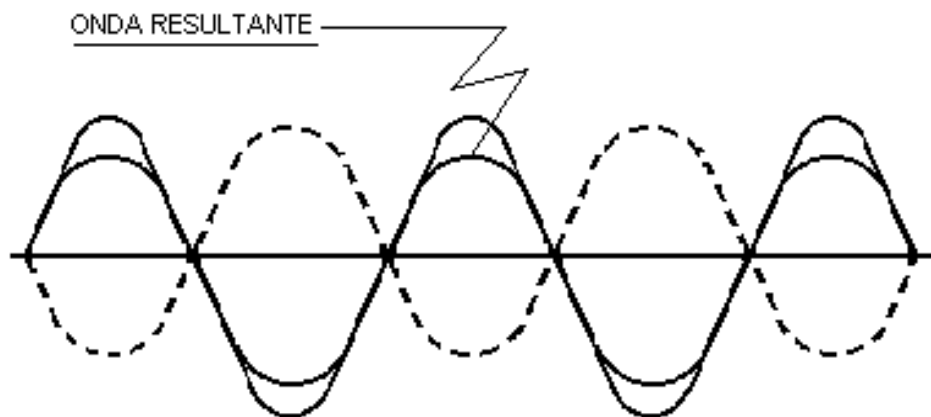
Cuando dos ondas o más existen simultáneamente en el mismo medio, cada onda viaja a través del medio como si las otras no estuvieran presentes, y el desplazamiento resultante en cualquier tiempo y punto es la suma algebraica de los desplazamientos de cada onda.

La demostración de este fenómeno físico se puede observar en la siguiente figura, que muestra gráficamente este principio.

A)



B)



Demostración gráfica del principio de superposición (A) interferencia constructiva; (B) interferencia destructiva.

En la figura del inciso (A), da como resultado una superposición de onda, de mayor amplitud, que se conoce como interferencia constructiva, es decir que la amplitud resultante es mayor.

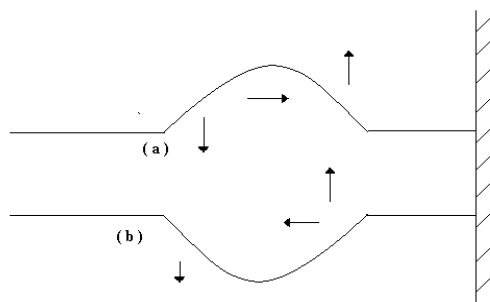
REFLEXIÓN DE UNA ONDA

¿Qué pasa con una onda cuando llega al extremo de un soporte rígido donde se encuentra fija una cuerda? Como se observa en la siguiente figura, la onda que está viajando, lleva energía hacia la derecha, la que debe ser absorbida por el soporte o reflejada hacia atrás. En la práctica parte de la energía es absorbida por la conexión con la pared, sin embargo, si el soporte es bastante sólido o el extremo se halla completamente libre, una fracción grande de la energía se reflejará. En consecuencia, una onda reflejada viajará hacia la izquierda al mismo tiempo que la onda original se mueve a la derecha. Para comprender mejor este fenómeno físico, consideramos sólo una onda cuya cresta se propaga a lo largo de la cuerda como se muestra en la siguiente figura (a) cuando esta onda llega a la pared, no puede empujarla hacia arriba, ya que, la pared no cede; ejerce sobre la cuerda un impulso hacia abajo, este impulso acelera la cuerda de modo que el momento que lleva la cuerda la hace ir por debajo de la línea de equilibrio. El resultado es que el pulso se invierte cuando choca con la pared y la onda reflejada tiene el aspecto mostrado en la figura (b). Si el extremo de la cuerda pudiera moverse libremente hacia arriba y hacia abajo, la onda no se invertiría, aunque hubiera sido reflejada.

Conclusión

Un pulso se invierte al reflejarse en un extremo fijo. En un extremo libre se refleja, pero no se invierte.

Una onda se invierte cuando se refleja en un extremo fijo

**RESONANCIA**

Este fenómeno físico se presenta cuando una fuerza se halla en la misma frecuencia que la frecuencia que un sistema vibrante.

Podemos explicar este fenómeno físico con un ejemplo común, que se presenta cuando tenemos que empujar a un niño de un columpio para elevarlo a una altura grande. Un pequeño empujón periódico causará rápidamente una oscilación de gran amplitud. Podemos explicar lo anterior con el empleo de algunos conceptos que hemos estudiado acerca del trabajo.

Cuando alguien empuja al columpio en dirección de su movimiento se efectúa un trabajo sobre el mismo. La energía proporcionada de esta manera hace que el niño se eleve más en la siguiente oscilación. Cuando este proceso se repite, el niño, asciende cada vez más al darle energía al sistema.

La amplitud límite se presenta cuando la energía alimentada por la persona que está empujando, es exactamente igual a la pérdida de energía por rozamiento durante una oscilación completa.

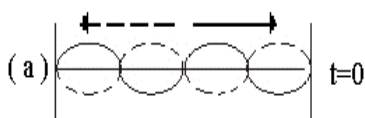
Cualquier sistema vibrante puede efectuar oscilaciones de gran amplitud mediante una fuerza impulsora periódica, como lo fue el caso anterior. Obsérvese sin embargo que la fuerza impulsora deberá de aplicarse en el tiempo apropiado a fin de que añada energía al sistema. Se deben de satisfacer dos condiciones para que haya resonancia:

- 1) La fuerza aplicada deberá tener la misma frecuencia que la frecuencia de vibración libre del sistema.
- 2) La fuerza deberá ser aplicada en fase con la vibración. Esto es, que la fuerza y la vibración deberán estar acompasadas.

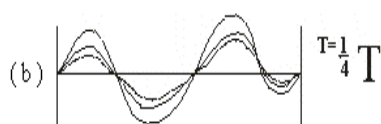
ONDAS ESTACIONARIAS.

La mayoría de las ondas sonoras que emanan de los instrumentos musicales, son resultado de ondas estacionarias, éstas, se pueden producir en cualquier sustancia, ya sea sólida, líquida o gaseosa por medio de dos trenes de ondas de igual frecuencia que avanzan en el mismo medio, pero en sentidos opuestos. En la siguiente figura, se ilustra la forma de conseguir la producción de ondas estacionarias usando el principio de superposición en una cuerda cuyos extremos están fijos.

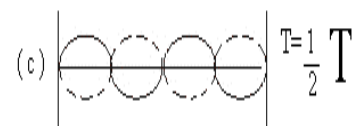
Utilizando el principio de superposición notamos:



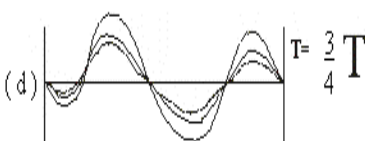
- 1) Para un tiempo de $t = 0$, la onda incidente que viaja a la derecha (línea sólida delgada), forma con la reflejada (línea discontinua) una interferencia destructiva, como las dos ondas tienen la misma longitud y velocidad de onda, pero sentidos opuestos, la resultante es la línea recta horizontal.



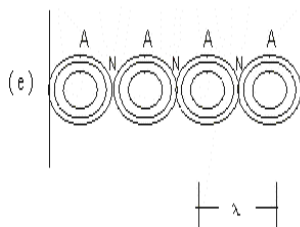
- 2) Un instante después, las ondas se han desplazado una distancia finita, es decir, si $t = \frac{1}{4} T$, la onda incidente se ha desplazado hacia la derecha una distancia de λ . La onda reflejada se desplaza hacia la izquierda una distancia de $\frac{1}{4} \lambda$, dando como resultado una onda resultante por efecto de interferencia constructiva del doble de amplitud de las ondas componentes.



- 3) Cuando el tiempo $t = \frac{1}{2} T$ ocurre nuevamente una interferencia destructiva total y la resultante es una línea recta.

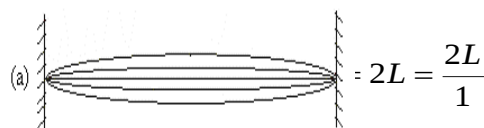


- 4) Cuando el tiempo $t = \frac{3}{4} T$ se obtiene una interferencia constructiva, la cuerda alcanza su máxima amplitud en dirección opuesta.



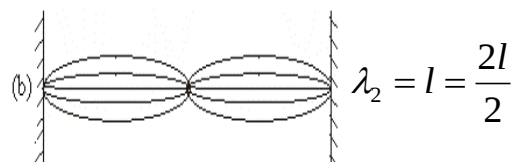
- 5) Estas ondas se llaman *ondas estacionarias*, que se forman a intervalos de tiempo muy pequeños, donde se advierte que los puntos fijos a lo largo de la cuerda, permanecen en reposo, se llaman nodos y se representan por N. Los puntos de máxima amplitud y que ocurren entre los nodos en su punto medio se les conoce como antinodos. Se observa también que $\lambda =$ distancia entre nodos o antinodos alternados.

Frecuencias características: Supóngase una cuerda de longitud L y con sus extremos fijos, determinan estas frecuencias, como se muestra en la figura siguiente. Llamados condiciones de frontera.

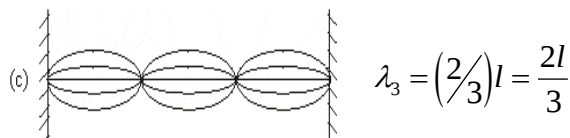


ondas estacionarias en una cuerda vibrante

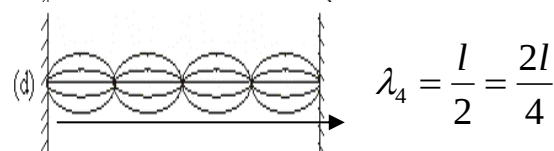
(a). Llamado **modo fundamental de oscilación**, consiste en un único vientre con sus nodos en cada extremo.



(b) . (c). (d). Llamados **modos superiores de oscilación** y ocurren para longitudes de onda cada vez más cortas donde λ es:



$$\lambda_1 = \frac{2l}{1} : \lambda_2 = \frac{2l}{2} : \lambda_3 = \frac{2l}{3} : \lambda_4 = \frac{2l}{4} = \frac{l}{2}$$



Representándola en forma de ecuación nos da:

$$\lambda_n = \frac{2l}{n}; n = 1, 2, 3, \dots$$

Dónde:

λ_n = longitud de onda de los modos superiores de oscilación.

l = longitud de la cuerda

n = múltiplo entero en el que se divide la longitud de onda

La frecuencia de vibración se obtiene de: $v = \lambda f \Rightarrow f = v / \lambda$ Sustituyendo a λ_n , nos da:

$$f_n = nv / 2l = n (v / 2l); n = 1, 2, 3, \dots$$

Donde:

f_n = frecuencias características de vibración

v = velocidad de propagación de ondas transversales ($v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$)

Es decir:

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{o} \quad f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{FL}{M}} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

De ésta fórmula, sí: $n = 1 \Rightarrow f_1$ es la frecuencia más baja llamada también **frecuencia fundamental**: $f_1 = v / 2l$

Las otras frecuencias que son múltiplos enteros de la fundamental se conocen como **sobretonos**; es decir:

$$f_n = n f_1; n = 1, 2, 3, \dots$$

A la serie completa que consta de la frecuencia fundamental y de los sobretonos se le conoce como: **serie armónica**, esto es:

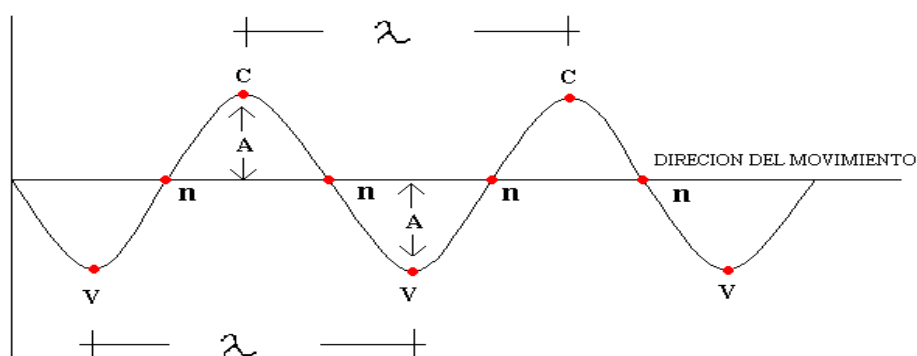
- f_1 = primera armónica o frecuencia fundamental
- $f_2 = 2 f_1$ = primer sobretono o segunda armónica
- $f_3 = 3 f_1$ = segundo sobretono o tercera armónica

Conclusión: A la serie $f_n = n f_1$ se le conoce como: Serie armónica que es múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS.

Haciendo un breve análisis de las ondas mecánicas transversales del agua del estanque, encontramos que se forman una serie de crestas y valles, como se muestra en la siguiente figura:

Representación gráfica de un movimiento ondulatorio



CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE UN MOVIMIENTO ONDULATORIO

λ = longitud de onda. Es la distancia entre una cresta y otra o entre valles consecutivos.

n = nodo. Es el punto donde la amplitud de onda es nula.

C = cresta. Es el punto más distante o extremo que alcanza una onda.

V = valle. Es el punto más bajo con respecto a su posición de equilibrio.

A = amplitud de onda. Es la distancia entre el punto extremo que alcanza una partícula vibrante y su posición de equilibrio.

Una onda completa, tiene una cresta y un valle, es decir, dura un determinado tiempo.

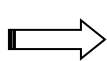
T = periodo. Es el tiempo en el que se produce una onda, o requiere para llevar a cabo una vibración.

f = frecuencia. Es el número de ondas que se producen por segundo.

$\therefore$

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

v = velocidad de onda. Es la relación entre la longitud de onda (λ) y el periodo.



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

Como

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

ó

$$V = f\lambda$$

La unidad de frecuencia es el hertz (Hz)

$$= \frac{1 \text{ onda}}{s} = \frac{1 \text{ ciclo}}{s} = \frac{1}{s}$$

Velocidad de onda. Supóngase que la figura anterior, representa el pulso transversal de una cuerda, la elasticidad de la cuerda se mide por la tensión F , la inercia de las partículas individuales se determina por la masa por la unidad de longitud μ de la cuerda. La velocidad de un pulso transversal de la cuerda es:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{Fl}{m}}$$

Donde:

v = velocidad de una onda (m / s)

F = tensión de la cuerda (N)

μ = densidad lineal = (Kg / m)

m = masa de la cuerda (kg)

l = Longitud de la cuerda (m)

Ejercicios resueltos:

1. Un alambre metálico de 500gr de masa y 50 cm de longitud, está bajo una tensión de 80N, (a) ¿Cuál es la velocidad de la onda transversal en el alambre? (b) Si la longitud se reduce a la mitad. ¿Cuál será la nueva masa del alambre? a) $v = 8.94 \text{ m/s}$ b) $m = 250 \text{ gr}$

Datos:

$$m = 500\text{g} = 0.5\text{Kg}$$

Fórmula:

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}}$$

$$L = 50\text{cm} = 0.5\text{m}$$

Desarrollo:

a)

$$v = \sqrt{\frac{80\text{N}(0.5\text{m})}{0.5\text{Kg}}} = 8.94 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{R, } v = 8.94\text{m/s}$$

$$m = \frac{FL}{v^2}$$

b)

$$m = \frac{80 \text{ N}(0.25\text{m})}{(8.94 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 0.25 \text{ Kg}$$

$$\text{R. } m = 250 \text{ g}$$

2. Una cuerda de 30 m bajo una tensión de 200 N, sostiene una onda transversal cuya velocidad es de 72 m/s. ¿Cuál es la masa de la cuerda?

Datos:

$$L = 30\text{m}$$

Fórmula:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

$$F = 200\text{N}$$

$$v = 72 \text{ m/s}$$

Despejando:

$$m = ?$$

$$\mu = \frac{F}{v^2} = \frac{m}{L}$$

Desarrollo:

$$\mu = \frac{200\text{Kg m} / \text{s}^2}{(72\text{m} / \text{s})^2} = 0.0386 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

Para calcular la masa:

$$m = \mu L = 0.0386(30\text{m}) = 1.16\text{Kg}$$

$$\text{R. } m = 1.16\text{Kg}$$

$$\therefore m = \mu L$$

3. Una cuerda de 4m de longitud y de masa de 10 gr, tiene una tensión de 64 N (a) ¿Cuál es la frecuencia de su modo fundamental de vibración? (b) ¿Cuál es la frecuencia del primer y segundo sobretono?

Datos:

$$L = 4\text{m}$$

Fórmula:

$$f = \frac{nv}{2L}$$

Desarrollo:(a) Para $n = 1$:

$$m = 10\text{g} = 0.01\text{ Kg}$$

Además:

$$f_1 = \frac{v}{2L} = \frac{\sqrt{\frac{64\text{N}(4\text{m})}{0.010\text{kg}}}}{2(4\text{m})} = 20\text{Hz}$$

$$F = 64\text{N}$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{FL}{m}}$$

(b) Para $n = 2$

$$f_2 = \frac{2v}{2L} = 2f_1 = 2(20\text{Hz}) = 40\text{Hz}$$

(a) $f_1 = ?$ (b) $f_2 = ?$ (c) Para $n = 3$

$$f_3 = \frac{3v}{2L} = 3f_1 = 3(20\text{Hz}) = 60\text{Hz}$$

(c) $f_3 = ?$ R. a) $f_1 = 20\text{Hz}$ b) $f_2 = 40\text{Hz}$ c) $f_3 = 60\text{Hz}$

4. Una cuerda de 4.3 m tiene una tensión de 300 N y una masa de 0.5 gr, si se fija en ambos extremos y vibra en tres segmentos. ¿Cuál es la frecuencia de la onda estacionaria?

Datos:**Fórmula:****Desarrollo:**

$$L = 4.3\text{m}$$

$$f_3 = \frac{3v}{2L} = 3 \frac{\sqrt{\frac{F L}{m}}}{2L}$$

$$f_3 = 3 \frac{\sqrt{\frac{300\text{N}(4.3\text{m})}{5 \times 10^{-4}\text{kg}}}}{2(4.3\text{m})} = 560\text{Hz}$$

$$F = 300\text{N}$$

$$m = 0.5\text{g} = 5 \times 10^{-4}\text{Kg}$$

$$f_3 = ?$$

R. $f_3 = 560\text{Hz}$

Ejercicios propuestos:

1. Una cuerda de guitarra de 750 mm de longitud, se estira con suficiente tensión para producir una vibración fundamental de 220 Hz ¿Cuál es la velocidad de las ondas transversales en la cuerda?

R. $v = 330 \text{ m/s}$

2. La segunda armónica de una cuerda vibrante es de 200 Hz. Si la longitud de la cuerda es de 3 m y su tensión de 200 N. Calcula la densidad lineal.

R. $\mu = 5.55 \times 10^{-4} \text{ Kg / m}$

3. Una barra que se mueve hacia abajo y hacia arriba a una distancia de 0.50 cm, genera en un extremo de una cuerda larga horizontal una onda sinusoidal transversal. El movimiento es continuo y se repite regularmente 120 veces por segundo. Si la cuerda tiene una densidad lineal de 0.25 Kg/m y se mantiene bajo una tensión de 90N, determina la rapidez, amplitud, frecuencia y longitud de onda del movimiento ondulatorio.

R. $v = 18.97 \text{ m/s}$

$A = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}$

$f = 120 \text{ Hz}$

$\lambda = 0.158 \text{ m}$

EL SONIDO

Un hecho comprobado es, que las ondas sonoras longitudinales se producen como consecuencia de una perturbación periódica en el aire, y que el oído humano actúa como receptor de estas ondas sonoras periódicas, percibiéndolas como sonido. La frecuencia de una onda es igual a la frecuencia de su fuente. Las ondas en un resorte pueden ser generadas por la mano. En un caso como este, la frecuencia de la onda se determina por la persona que la genere. Las ondas sonoras las provocan objetos que vibran, por lo tanto, la frecuencia de una onda sonora es la misma que la frecuencia del objeto vibratorio.

**Concepto de ondas sonoras.**

El sonido, fenómeno físico que estimula el sentido del oído. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 20 a 20 000 Hz llega al oído interno. El ergio (Hz) es una unidad de frecuencia que corresponde a un ciclo por segundo. Estas vibraciones llegan al oído interno transmitidas a través del aire. A veces se restringe el término sonido a la transmisión en este medio. Sin embargo, en la física moderna se extiende el término a vibraciones en medios líquidos o sólidos. Los sonidos con frecuencias superiores a 20 000 hz, se denominan ultrasónicas.

Acústica

Parte de la física que trata del estudio del sonido y de sus características.

El sonido para su estudio se subdivide en tres apartados:

- 1) Las fuentes sonoras
- 2) La transmisión del sonido
- 3) Detección del sonido

En este curso, trataremos de las propiedades de las ondas mecánicas longitudinales, usando las ondas sonoras como prototipos.

Sonido

Es una forma especial del movimiento vibratorio que tiene lugar en el seno de la materia; ya sea que se presente está en el estado sólido, gaseoso o líquido, que se origina por una perturbación producida en un cuerpo sonoro.

Fuentes sonoras

La fuente de cualquier sonido es un objeto que vibra. Casi cualquier objeto puede vibrar y, por tanto, ser fuente de sonido. Algunas fuentes sencillas de sonido son, en especial los instrumentos musicales. En éstos, la fuente se hace vibrar ya sea golpeándola, pulsándola, rasgándola o soplando dentro de ella. Esto produce ondas estacionarias que hacen vibrar la fuente a su frecuencia resonante natural. Un tambor tiene una membrana tensa que vibra. Los xilófonos y marimbas tienen teclas de metal o madera que se hacen vibrar. Las campanas, martillos y gong consisten en un metal en vibración. Los instrumentos más populares, como el violín, la guitarra y el piano, están provistas de cuerdas vibratorias, o bien deben su sonido a la vibración de columnas de aire, como la flauta, la trompeta y el órgano tubular. Las ondas estacionarias en una cuerda son la base de todos los instrumentos de cuerda. La altura está por lo general determinada por la frecuencia resonante mínima, o **fundamental**, en la cual sólo hay nodos en los extremos. Como ya hemos visto, en el tema anterior, la longitud de onda de la fundamental es igual al doble de la longitud de la cuerda. Por lo tanto, la frecuencia fundamental es:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}$$

Donde.

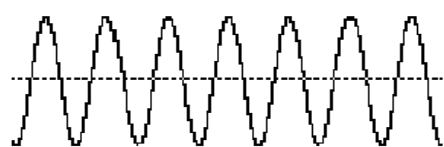
v = velocidad de la onda en la cuerda (m /s)

Cuando se coloca un dedo en una cuerda de, digamos, una guitarra o de un violín, la longitud efectiva de ésta se acorta y con ello se eleva su altura, pues la longitud de onda de la fundamental es menor. Las cuerdas de una guitarra o de un violín tienen la misma longitud. Suenan a diferentes alturas porque tienen distintas masas por unidad de longitud, m/L , lo cual afecta la velocidad, de acuerdo con la ecuación:

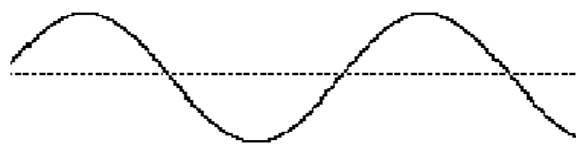
$$v = \sqrt{\frac{F}{m/L}} = \sqrt{\frac{FL}{m}}$$

También la tensión puede ser distinta; al ajustarla mediante las clavijas se afina el instrumento. Así, la velocidad de una cuerda más gruesa es menor y la frecuencia será menor para la misma longitud de onda. En los pianos y arpas, cada cuerda tiene una longitud diferente. Para las notas más graves, las cuerdas no sólo son más largas, sino también más gruesas.

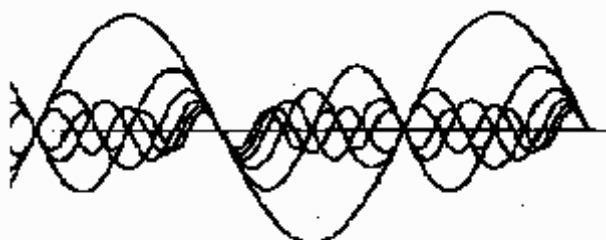
Los instrumentos musicales, para que sean más sonoros, hacen uso de una especie de amplificador mecánico, conocido como **tablero de resonancia** (para el piano) o **caja de resonancia** (para la guitarra y el violín). Su función es amplificar el sonido mediante un área superficial mayor en contacto con el aire, puede producir una onda sonora mayor y, por lo tanto, se amplifica el sonido. En una guitarra eléctrica, la caja de resonancia no es tan importante, pues las vibraciones de sus cuerdas se amplifican mediante la electricidad. Los instrumentos como las flautas, los metales y el órgano tubular producen el sonido mediante la vibración de ondas estacionarias en la columna de aire que llena un tubo.



Sonido agudo



Sonido grave



Ondas generadas por varios instrumentos

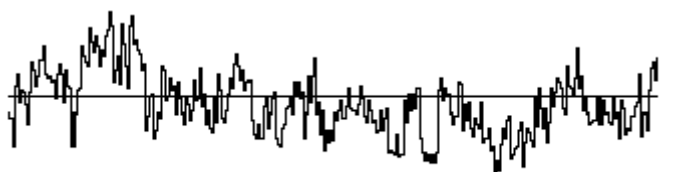
Características del sonido

Introducción:

¿Has pensado por qué puedes identificar un sonido? o ¿Por qué identificas el instrumento que lo produce?

Al golpear un tambor, produce una onda sonora en el aire. Escuchamos las ondas sonoras como algo que viaja por el aire, porque por lo regular son las vibraciones de éste las que llegan hasta nuestros tímpanos. Pero las ondas sonoras pueden también propagarse en otros materiales. Si golpeas dos piedras bajo el agua, las podrás oír alguien que nade bajo la superficie, pues el agua hará llegar las vibraciones hasta su oído. Asimismo, si pones la oreja contra el piso, podrás oír un tren o camión que se aproxime. En este caso el piso no toca realmente el tímpano, pero la onda longitudinal transmitida por el terreno también se considera una onda sonora, pues sus vibraciones hacen vibrar el oído externo y el aire dentro de él. En realidad, a cualquier onda longitudinal que viaje a través de un medio material se le suele llamar onda sonora. Es claro que el sonido no puede viajar en ausencia de la materia. Es imposible oír una campana que se haga sonar en un recipiente al vacío.

Cualquier sonido sencillo, como una nota musical, puede describirse en su totalidad especificando tres características de su percepción: **la intensidad, el tono y el timbre**. Estas características corresponden exactamente a tres características físicas: la amplitud, la frecuencia y la composición armónica o forma de onda. El ruido es un sonido complejo, una mezcla de diferentes frecuencias o notas sin relación armónica.



El ruido se compone ondas desordenadas

TRANSMISIÓN, DETECCIÓN Y VELOCIDAD DEL SONIDO.

PRODUCCIÓN DEL SONIDO (LAS FUENTES SONORAS).

Las vibraciones que originan las ondas sonoras pueden ser de varios tipos. El cuerpo sonoro puede vibrar longitudinal o transversalmente, o puede ejecutar vibraciones torcionales por medio de rápidos giros, en un sentido y en otro, alrededor de un eje; en cualquiera de dichos casos el sonido actúa sobre un determinado medio elástico con el cual esté en contacto, con objeto de formar en él las ondas características del sonido. Es necesario entonces que exista una fuente sonora y un medio elástico que permita la transmisión del sonido. La fuente puede ser un diapasón, una cuerda vibrante, una columna de aire en un tubo de órgano, etc.

TRANSMISIÓN DEL SONIDO.

El sonido se transmite en cualquier medio ya sea sólido, líquido o gaseoso, pero no en el vacío.

DETECCIÓN DEL SONIDO.

Sin duda alguna el instrumento más importante por el cual se detecta el sonido es el oído. Varios aparatos eléctricos, llamados en general, micrófonos, se han inventado para detectar las ondas sonoras y transformarlas en corrientes eléctricas variables. Estas corrientes se pueden ampliar, transmitir a distancias cortas o largas y convertirse de nuevo en sonido. Algunas veces alimentan un osciloscopio para el estudio del movimiento ondulatorio, una cabeza grabadora de discos, una fuente luminosa para registrar la voz en una película sonora o un electroimán para grabar sobre alambre o sobre cinta.

VELOCIDAD DEL SONIDO.

Cuando vemos la luz de un relámpago distante y escuchamos después el trueno, sabemos que la diferencia de tiempo se debe a la, relativamente, baja velocidad del sonido. Como el sonido requiere 5 segundos para recorrer una milla, se puede saber dónde está la tormenta, tomando el tiempo con un reloj.

Los primeros intentos con éxito para medir la velocidad del sonido en el aire, fueron realizados en 1640 por Marin Mersenne, un físico francés. Desde entonces muchos científicos han mejorado estas mediciones usando varios métodos diferentes; las medidas más recientes y más precisas fueron hechas por Dayton C. Miller en 1934, físico norteamericano, obtuvo una **velocidad del sonido de 331 m/s, a la temperatura de 0° C, lo que equivale a 1192 km /hr ó 1087 ft /s.**

Como regla general, el sonido se propaga más rápidamente en sólidos y líquidos, que en gases. Es bien sabido, que la temperatura tiene un efecto pequeño pero mensurable sobre la velocidad del sonido. **Por cada grado centígrado de elevación de temperatura, la velocidad aumenta 61 cm/s o su equivalente a 2 ft /s. Escrito como ecuación se tiene:**

$$v = V_0 + 0.61t$$

Donde: V_0 = velocidad del sonido a $0^\circ \text{C} = 331 \text{ m/s}$
 t = temperatura en $^\circ \text{C}$.

La velocidad de una onda longitudinal depende de la elasticidad del medio y de la inercia de sus partículas, los medios más elásticos permiten mayores velocidades de onda, mientras que medios con mayor densidad retardan el movimiento de las mismas. Por lo tanto, tenemos que:

Velocidad del sonido en los sólidos (alambre o varilla).

La siguiente ecuación es válida para barras o varillas cuyos diámetros son pequeños en comparación con las ondas sonoras que se propagan por ellas.

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Donde: Y = Módulo de Young del material (N/m^2)
 ρ = densidad del sólido (kg/m^3)

Velocidad en un sólido extendido.

Es función del módulo de corte S , el módulo volumétrico B y la densidad del medio ρ , entonces:

$$v = \sqrt{\frac{B + \frac{4}{3}S}{\rho}}$$

Velocidad del sonido en un gas.

La representación algebraica para esta medición, es:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\delta P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\delta RT}{M}}$$

Velocidad del sonido en los fluidos.

Su fórmula es:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Donde: B = módulo volumétrico = P (N/m^2)
 ρ = densidad del gas (kg/m^3)
 δ = constante adiabática para el aire y gases diatómicos (1.4)
 P = presión del aire (N/m^2)

R = constante universal de los gases (0.0821 atm lt /mol K)

T = temperatura absoluta del gas (°K)

M = masa molecular del gas (kg /kmol)

FENÓMENOS ACÚSTICOS

Hemos definido el sonido como una onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico, la cual es amplia y no restringe la frecuencia del sonido, pero como estas ondas afectan el aparato auditivo, es importante conocer el espectro del sonido basándose en las siguientes definiciones:

Sonido audible: Son las ondas sonoras en el intervalo de 20 A 20 000 Hz.

Ondas infrasónicas: Son las ondas sonoras cuyas frecuencias están por debajo de la gama audible.

Son producidas ordinariamente por grandes centros emisores, por ejemplo, las ondas de los temblores.

Ondas ultrasónicas: Son ondas sonoras que tienen frecuencias por arriba del intervalo audible.

Es posible producirlas por vibraciones elásticas en un cristal de cuarzo, inducidas por resonancia al aplicar un campo eléctrico alterno (efecto piezoeléctrico). Es posible producir ondas de frecuencia ultrasónica hasta 6×10^8 ciclos/s; donde $\lambda = 5 \times 10^{-5}$ cm, igual que la longitud de onda de la luz visible. Las ondas que son aproximadamente periódicas o que consisten en pequeños números de componentes aproximadamente periódicas dan lugar a una sensación agradable, como, por ejemplo, los sonidos musicales.

Los sonidos que corresponden a formas de ondas muy irregulares se perciben como ruido. ***El ruido se puede representar como una superposición de ondas periódicas, donde el número de componentes es muy grande.***

Reflexión del sonido

Este fenómeno físico se produce cuando las ondas sonoras que se propagan encuentran una superficie dura y se reflejan.



Eco

Un eco es una onda sonora reflejada. El intervalo entre la emisión y la repetición del sonido corresponde al tiempo que tardan las ondas en llegar al obstáculo y volver.



Resonancia

Este fenómeno físico se presenta cuando un cuerpo vibra y pone en vibración a otro cuerpo cercano con la misma frecuencia.

Reverberación

Este fenómeno se manifiesta como una persistencia de un sonido dentro de un local después de haber desaparecido la causa.



El sonido se desplaza de forma muy distinta en interiores y al aire libre. En un gimnasio, por ejemplo, los bancos, las paredes y el techo hacen que las ondas sonoras reboten o reverberen. Al aire libre, el sonido parece menos intenso porque hay menos obstáculos que reflejen las ondas.

CUALIDADES DEL SONIDO (PROPIEDADES FÍSICAS):

Una cualidad determina si un sonido es fuerte o débil, la intensidad depende de la amplitud de una onda, ya que a medida que ésta aumenta, la intensidad también aumenta y a la distancia que existe entre la fuente sonora y el oyente, pues a mayor distancia, menor intensidad, es decir:

Intensidad

Es la potencia transferida por una onda sonora, a través de la unidad de área normal a la dirección de propagación.

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

Donde:

P = potencia (W)

A = área normal a la dirección de propagación (m²)

I = intensidad (W / m²)

Sabemos que: un watt = 1 joule / s y 1 μ W = 10⁻⁶ watt.

En términos de frecuencia f y la amplitud A de una onda sonora, la intensidad del sonido es:

$$I = 2\pi^2 f^2 A^2 \rho v$$

Donde:

I = intensidad del sonido (Watt / cm^2) (μW / cm^2) (Watt / m^2)

f = la frecuencia (Hz).

A = amplitud de la onda sonora (m ó cm)

ρ = densidad del medio de propagación (gr/ cm^3) (kg / m^3)

v = velocidad del sonido en el medio (m/s) (cm / s).

El sonido apenas perceptible por el oído humano es el orden de $10^{-16} \text{ W} / \text{cm}^2$, esta intensidad se conoce como **el umbral de audición**.

Ha sido adoptada por los expertos en acústica como el cero en la intensidad del sonido.

Umbral de audición.

Representa el cero estándar de la intensidad del sonido.

Su valor es de **$10^{-10} \mu\text{W} / \text{cm}^2$** , es de una frecuencia de 1000 Hz. Es decir: $I_0 = 10^{-10} \mu\text{W} / \text{cm}^2 = 10^{-16} \text{ W} / \text{cm}^2$

El oído humano es capaz de percibir un enorme intervalo de intensidades del sonido. Se extiende desde el umbral de audición hasta una intensidad desde 10^{12} veces mayores, que se conoce como umbral de dolor.

Umbral de dolor

Representa la intensidad máxima que el oído promedio puede registrar sin sentir dolor.

Su valor es de **$100 \mu\text{W} / \text{cm}^2$ ó $10^{-4} \text{ W} / \text{cm}^2$**

Como se puede observar, existe un amplio intervalo de intensidades al que el oído humano es sensible, por lo que es conveniente establecer una escala logarítmica para medir las intensidades del sonido, mediante la siguiente regla:

Cuando la intensidad I_1 , de un sonido es diez veces mayor que la intensidad I_2 de otro, se dice que la intensidad es de 1 Bel (B).

Matemáticamente:

$$B = \log \frac{I_1}{I_2}$$

Donde:

B = diferencia en los niveles de intensidad (Bel)

I_1 = intensidad del sonido (W / cm^2) (μW / cm^2) (W / m^2)

I_2 = intensidad del sonido (W / cm^2) (μW / cm^2) (W / m^2)

En la práctica para obtener una unidad más útil que un Bel que resulta muy grande, se ha definido al decibel (dB) como la décima parte de un Bel, entonces si empleamos a la intensidad I_0 como patrón

para comparar todas las intensidades, se ha establecido una escala general para determinar cualquier sonido, es decir:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_o}$$

Donde:

β = Nivel de intensidad (dB)

I = Intensidad de cualquier sonido (W / cm²) (μ W / cm²) (W / m²)

I_o = Intensidad en el umbral de audición (10⁻¹⁶ W / cm²)

Tono

Depende de la frecuencia del movimiento vibratorio del instrumento que lo produce.

A mayor frecuencia, el sonido es más bajo o grave.

Timbre

Es la cualidad que permite identificar al instrumento que produce un sonido, debido a la frecuencia.

Niveles de intensidad de algunos sonidos más comunes.

SONIDO	NIVEL DE INTENSIDAD (d B)
Umbral de audición	0
Susurro de las hojas	10
Cuchicheo	20
Radio a bajo volumen	40
Conversación normal	65
Esquina de calle transitada	80
Transporte subterráneo (metro)	100
Umbral de dolor	120
Motor a propulsión	140 A 160

Nota: La relación de intensidades (o de potencia) del sonido se llama Bel, en honor de Alexander Graham Bell, el inventor del teléfono eléctrico.

EFEECTO DOPPLER.

Cuando un foco sonoro (fuente), un observador o ambos, están en movimiento respecto al aire, el tono percibido por el observador, no es, en general, el mismo que cuando el foco y el observador están en reposo.

Cuando un observador que escucha está en movimiento hacia una fuente sonora en reposo, la frecuencia del sonido es mayor que cuando está en reposo. Si el observador se mueve alejándose de la fuente en reposo, escucha un tono más bajo que cuando está en reposo.

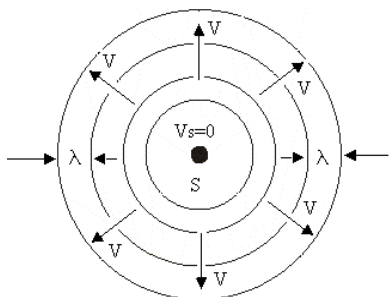
La altura del silbato de una locomotora es mayor cuando la fuente se acerca al observador, que después de que ha pasado y se va alejando.

Christian Johann Doppler (1803 -1853), físico austriaco, en sus memorias presentadas en 1842, hizo llamar la atención al hecho de que el color de un cuerpo luminoso, lo mismo que la frecuencia de un cuerpo sonoro, debe cambiar con el movimiento del cuerpo y del observador. Este efecto Doppler, como se llama, se aplica a las ondas en general.

Efecto Doppler

Es un fenómeno físico que se refiere al cambio aparente en la frecuencia de un sonido cuando hay un movimiento relativo de la fuente y del observador (o del oyente).

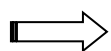
Este fenómeno físico, se puede demostrar gráficamente representando las ondas periódicas emitidas por una fuente mediante círculos concéntricos, que se mueven de manera radial hacia afuera, como se muestra en la siguiente figura. La distancia entre dos círculos adyacentes cualesquiera, representa la longitud de onda (λ) del sonido que se propaga con velocidad v . La frecuencia con que dichas ondas inciden en el oído, determina el tono del sonido escuchado.



Representación gráfica de ondas sonoras emitidas desde una fuente en reposo

Como ya sabemos, la velocidad de una onda está dada por:

$$v = \lambda f, \text{ si } v = \text{velocidad del sonido}$$



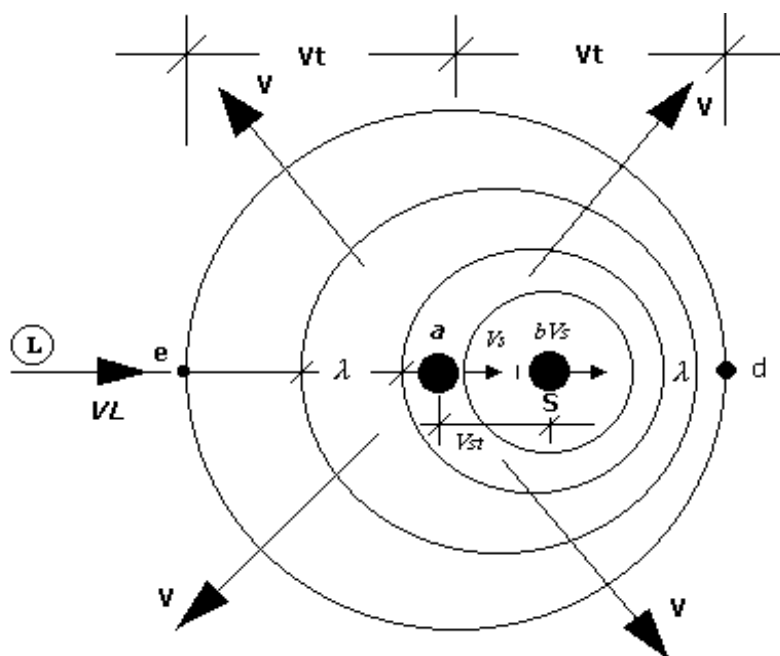
$$v = \lambda f_s, \text{ Despejando: } \lambda = \frac{v}{f_s}$$

Donde:

λ = longitud de onda estacionaria (o en reposo)

v = velocidad del sonido

f_s = frecuencia de la fuente



Superficies de ondas emitidas por un foco móvil (Efecto Doppler)

Las ondas enfrente de la fuente móvil están más cercanas entre sí que las ondas detrás de la fuente.

Consideraremos solamente el caso especial en el cual las direcciones de las velocidades del observador (v_L) y del foco (v_s) coinciden con el de la recta que los une. Puesto que estas velocidades pueden tener el mismo sentido o sentidos opuestos y el observador puede estar delante o detrás del foco, se requiere un convenio de signos, **tomaremos como sentido positivo de v_L y v_s el que va desde la posición del observador hacia la del foco**. La velocidad v de propagación de las ondas sonoras se considera siempre positiva.

En el instante $t = 0$, el foco sonoro se encuentra en el punto **a** y en un instante t , en el punto **b**. La circunferencia exterior representa la superficie de la onda en el instante $t=0$, la cual en el espacio libre es una esfera cuyo centro está en **a** y que se propaga radialmente hacia afuera con todos los puntos en velocidad v . El radio de esta esfera (distancia $\overline{ea}$ ó $\overline{ad}$) es por tanto, $v t$. La distancia $\overline{ab}$ es igual a $v_s t$, o sea:

$$\overline{ea} = \overline{ad} = v t; \quad \overline{ab} = v_s t$$

$$\Rightarrow \overline{eb} = \overline{ea} + \overline{ab} = v t + v_s t = (v + v_s) t$$

$$\overline{bd} = \overline{ab} - \overline{ad} = \overline{ab} - \overline{ad} = v t - v_s t = (v - v_s) t$$

Por definición, sabemos que: en el intervalo de tiempo comprendido entre $t = 0$ y $t = t$. El número de ondas emitidas por el foco, es:

$$\text{Número de ondas} = f_s t$$

Donde:

f_s = la frecuencia del foco.

Delante de la fuente, estas ondas se aprietan dentro de la distancia $\overline{bd}$, mientras que detrás del foco se espacian en la distancia $\overline{eb}$.

Por lo anterior, la longitud de onda delante del foco (λ_D), está dada por :

$$\lambda_D = \overline{bd} / \text{no de ondas} = (v - v_s) t / f_s \quad t = v - v_s / f_s \quad \therefore \lambda_D = v - v_s / f_s$$

Longitud de onda detrás del foco (λ_d)

$$\lambda_d = \overline{eb} / \text{No de ondas} = (v + v_s) t / f_s \quad t = v + v_s / f_s \quad \therefore \lambda_d = v + v_s / f_s$$

Las ondas que se aproximan al observador móvil L , tienen una velocidad de propagación respecto a él, dado por $v + v_L$.

La frecuencia con que se encuentra estas ondas, es:

$$f_L = \frac{v + v_L}{\lambda_d} = \frac{v + v_L}{\frac{v + v_s}{f_s}} = \frac{f_s (v + v_L)}{v + v_s} \quad \therefore f_L = \frac{f_s (v + v_L)}{v + v_s}$$

Dónde:

f_L = frecuencia percibida por un observador móvil (Hz)

f_s = frecuencia de la fuente (Hz)

v = velocidad del sonido (m / s)

v_L = velocidad del observador hacia el foco (m / s)

v_s = velocidad de la fuente (m / s)

Simplificando la ecuación anterior, nos da:

$$f_L = \frac{f_s (1 \pm v_L/v)}{(1 \pm v_s/v)}$$

La elección correcta del signo más (+) o menos (-) se consigue fácilmente recordando que cuando el foco o bien el receptor se acerca al otro, la frecuencia aumenta, mientras que cuando se alejan, la frecuencia disminuye. Así, por ejemplo, si el foco y el receptor se aproximan uno a otro, se utiliza el signo más (+) en el numerador y/o el signo menos en el denominador.

Ejercicios resueltos

1.- Si la velocidad del sonido en el agua es de 1450 m/s. Calcula el módulo de compresibilidad del agua.

Datos

$$v = 1450 \text{ m/s}$$

Fórmula:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Desarrollo:

$$\rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$B = (1450)^2 (1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}) = 2.1 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\therefore B = v^2 \rho$$

$$\text{R. } B = 2.1 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

2- Calcula la velocidad del sonido en el aire a una temperatura de 27°C. El peso molecular medio del aire es de 28.8; Si $\gamma = 1.4$ y $R = 8.31 \times 10^7$ ergios/ mol °K

Datos**Fórmula:****Desarrollo:** $V = ?$

$$V = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

$$V = \sqrt{\frac{1.4(8.31 \times 10^7 \text{ ergios/molK})(300K)}{28.8g/mol}}$$

$$t = 27^\circ\text{C} + 273 = 300^\circ\text{K}$$

$$M = 28.8 \text{ g/mol}$$

$$\gamma = 1.4$$

$$R = 8.31 \times 10^7 \frac{\text{ergios}}{\text{molK}}$$

$$V = 34811 \text{ cm/s}$$

$$\text{R } V = 348 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.- ¿Qué velocidad tendrá el sonido en la zona polar antártica donde la temperatura es de -60°F ?

Datos:**Fórmula:****Desarrollo:** $V = ?$

$$V = V_o + 0.61t$$

$$^\circ\text{C} = \frac{-60 - 32}{1.8} = -51.1$$

$$t = -60^\circ\text{F}$$

$$^\circ\text{C} = \frac{^\circ\text{F} - 32}{1.8}$$

$$V = 331 \text{ m/s} + 0.61 \text{ m/s}^\circ\text{C}(-51.1^\circ\text{C}) = 300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.- Si un sonido es de 35 db más sonoro que otro. ¿Cuáles son las energías relativas?

Datos:**Fórmula:****Desarrollo:**

$$\beta = 35 \text{ db}$$

$$\beta = 10 \log \frac{E}{E_o}$$

$$\therefore \frac{E}{E_o} = \text{antilog} \frac{E}{E_o}$$

$$\frac{E}{E_o} = \text{antilog} \frac{35}{10} = 3162$$

$$E/E_o = ?$$

$$\text{R. } \frac{E}{E_o} = \frac{3162}{1}$$

5.- El silbato de una locomotora, a 90 km/hr, tiene una frecuencia de 2000 Hz. Si la velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s. Calcula la frecuencia del silbato oída por una persona antes de que la locomotora pase por delante de ella y después de haber pasado.

Datos:**Fórmula:****Desarrollo:**

$$V = 340 \text{ m/s}$$

$$V_s = 90 \text{ Km/hr} = 25 \text{ m/s}$$

$$f_s = 2000 \text{ Hz}$$

$$f_o = \frac{f_s(V + V_o)}{V - V_s}$$

$$f_o = \frac{f_s(V + V_o)}{V + V_s}$$

$$f_o = \frac{2000 \text{ Hz}(340 \text{ m/s})}{(340 \text{ m/s} - 25 \text{ m/s})} = 2158.7 \text{ Hz}$$

$$f_o = \frac{2000 \text{ Hz}(340)}{340 \text{ m/s} + 25 \text{ m/s}} = 1863.01 \text{ Hz}$$

Ejercicios propuestos

1. ¿Con qué velocidad se propaga el sonido en el aire cuando la temperatura es de 113°F ?

$$\text{R. } 358.45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2.- Si un sonido es de 50 Db más intenso que otro ¿cuáles son sus potencias relativas?

$$\text{R. } \frac{P}{P_0} = \frac{100000}{1}$$

3.- Las sirenas de dos barcos "A" Y "B" suenan simultáneamente, ambas sirenas tienen una frecuencia de 200 Hz. La velocidad del sonido en el aire es de 332 m/s. Se supone que el barco "A" está parado y que el barco "B" se mueve a lo largo de la línea que los une. El capitán del barco "A" percibe una nota de 204 Hz procedente del barco "B". Determina si "B" se está aproximando o alejando de "A" y calcula la velocidad del barco "B" con respecto a la del barco "A".

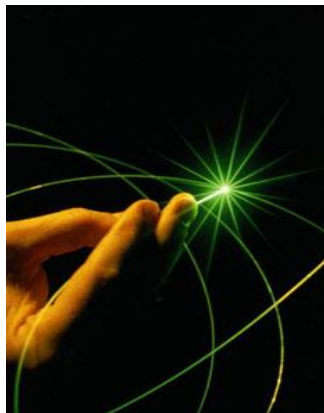
$$\text{R. Se aproxima; } 6.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.- Dos silbatos "A" y "B", tienen cada uno una frecuencia de 500 ciclos/s. "A" esta fijo, y "B" se mueve hacia la derecha (alejándose de "A") a la velocidad de 60 m/s. Un observador situado entre ambos silbatos se mueve hacia la derecha con una velocidad de 30 m/s. (a) ¿Cuál es la frecuencia procedente de "A" percibida por el observador? (b) ¿Cuál es la frecuencia procedente de "B" percibida por el observador? (c) ¿Cuál es la frecuencia de la pulsación que percibe el observador?

$$\begin{aligned} \text{R. (a) } f_A &= 454.63 \text{ HZ} \\ \text{(b) } f_B &= 461.63 \text{ HZ} \\ \text{(c) } f_P &= 7 \text{ HZ} \end{aligned}$$

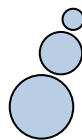
5.- Contesta correctamente el siguiente cuestionario:

- ¿Qué es el efecto Doppler? Explica con tus propias palabras.
- ¿Cómo es la frecuencia de las ondas sonoras de una fuente que se acerca a un observador?
- ¿Cómo es la longitud de onda de las ondas que se emiten delante de una fuente sonora, cuando esta se mueve hacia un observador?
- ¿Si una fuente sonora se encuentra en reposo y un observador es el que se mueve, se presenta el efecto Doppler? Justifica tu respuesta.
- Cita dos ejemplos donde hayas observado el Efecto Doppler.



TEMA II

ÓPTICA



LA HABILIDAD ES LO QUE PERMITE HACER CIERTAS COSAS.
LA MOTIVACIÓN DETERMINA LO QUE SE HACE.
LA ACTITUD DETERMINA CUÁN BIEN SE HACE.

AHORA, SI NO PUEDES SOBRESALIR CON TU TALENTO, HAZLO CON TU ESFUERZO.



OBJETIVO GENERAL:

En este tema conocerás los conceptos que para su estudio requiere la Óptica, y así lograr explicarte los fenómenos físicos relacionados con la naturaleza de la luz y lo más importante, dominarlos para darles una aplicación en beneficio y comodidad del ser humano.

De la Óptica Geométrica, interrelacionarás las teorías, propiedades y características de la luz, así como los fenómenos y enfermedades de la visión; para entender la diferencia entre la reflexión en los espejos y la refracción en las lentes, y así obtener correctamente la formación, reducción o ampliación de imágenes; logrando entender con estas relaciones, como se lleva a cabo la fabricación de lentes y de esta manera poder observar el medio que nos rodea con más claridad.

Con estos fundamentos tendrás la capacidad de diferenciar las características en los instrumentos ópticos que encontramos en nuestras actividades diarias como son: la cámara fotográfica, el microscopio, la lupa y algunos otros tan comunes en nuestra sociedad.

De la Óptica Ondulatoria, explicarás cuando una onda está en fase o desfasada; cuando una región que no está expuesta directamente a una fuente de luz se ilumina con cierta intensidad y otros fenómenos que tienen utilidad en la industria, la medicina, entre otros.

Al término del tema, darás a conocer el estudio de la luz polarizada en diferentes sustancias, soluciones o cuerpos para su aplicación en nuestro entorno.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender los conceptos que para su estudio requiere la Óptica.
- Explicar los fenómenos físicos relacionados con la naturaleza de la luz.
- Interrelacionar las teorías, propiedades y características de la luz, así como los fenómenos relacionados con la visión, para entender la diferencia entre la reflexión en los espejos y la refracción en las lentes, dentro de la Óptica Geométrica.
- Obtendré analíticamente la formación, reducción y ampliación de imágenes en espejos y lentes.
- Mostrar los problemas visuales más comunes y su corrección respectiva con la aplicación de las lentes.
- Tendré la capacidad para diferenciar las características de los instrumentos ópticos (microscopio, lupa, cámara fotográfica, etc.)
- Explicar cuando una onda está en fase o desfasada, dentro de la Óptica Ondulatoria.
- Comprobar que el fenómeno de la polarización se comporta como una onda transversal.
- Explicar que la luz polarizada nos permitirá diferenciar sustancias, soluciones o cuerpos.

INTRODUCCIÓN.

¿Serías capaz de explicar la razón por la cual, en una carretera recta, generalmente se ve húmedo al final de la misma? ¿Por qué el cielo normalmente tiene un color azul? ¿Cómo se forma el arco iris? ¿Cómo se forman los espejismos? ¿Cómo es posible observar objetos muy pequeños a través de un microscopio? ¿Cómo podemos ver los fenómenos astronómicos a través de un telescopio?

Pues esto es solo una parte de las interrogantes que este tema de la Física te ayudará a comprender, también te proporcionará la información necesaria para entender y comprender todos los fenómenos relacionados con la Óptica y las aplicaciones que puedes encontrar en tu entorno.



Arco iris fenómeno óptico natural.

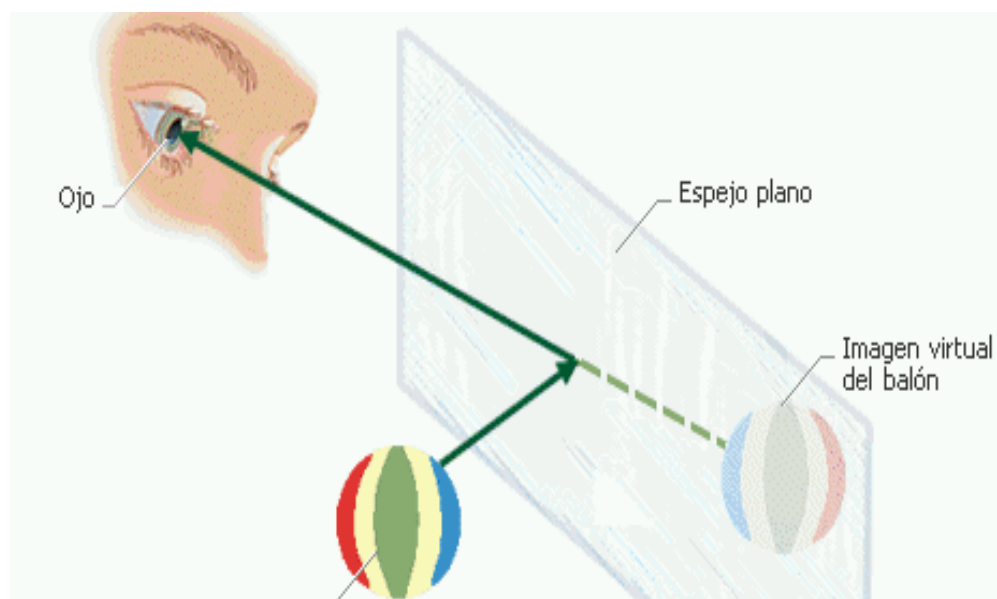
En este tema generalmente teórico se recomienda el uso de la física recreativa, observando algunos fenómenos sencillos como la trayectoria rectilínea de la luz, en un cuarto oscuro, o en un día nublado, observar cómo los rayos luminosos pasan entre las nubes. El uso de videos afines al tema, son muy interesantes, ya que con este material se observa, además de la trayectoria rectilínea, la reflexión, desviación, dispersión y la difracción de la luz, que permitirá al alumno entender mejor estos fenómenos físicos.

Teorías sobre la luz

TEORÍA CORPUSCULAR O NEWTONIANA.

Isaac Newton, estableció que la luz estaba formada por pequeñas partículas que eran emitidas por los cuerpos luminosos. Dichas partículas viajaban hacia afuera de la fuente en líneas rectas y a gran velocidad. Haciendo una comparación, al igual como sucede con la corriente eléctrica que está formada por un flujo de electrones, el rayo de luz estaba compuesto por una corriente de partículas luminosas. Cuando las partículas entraban al ojo, se estimulaba el sentido de la vista.

Los fenómenos sencillos como la **trayectoria rectilínea**, la **reflexión** y la **desviación** que experimenta la luz al pasar de un medio a otro de distinta densidad o sea **la refracción**, los explicaba Newton en esta su teoría corpuscular.



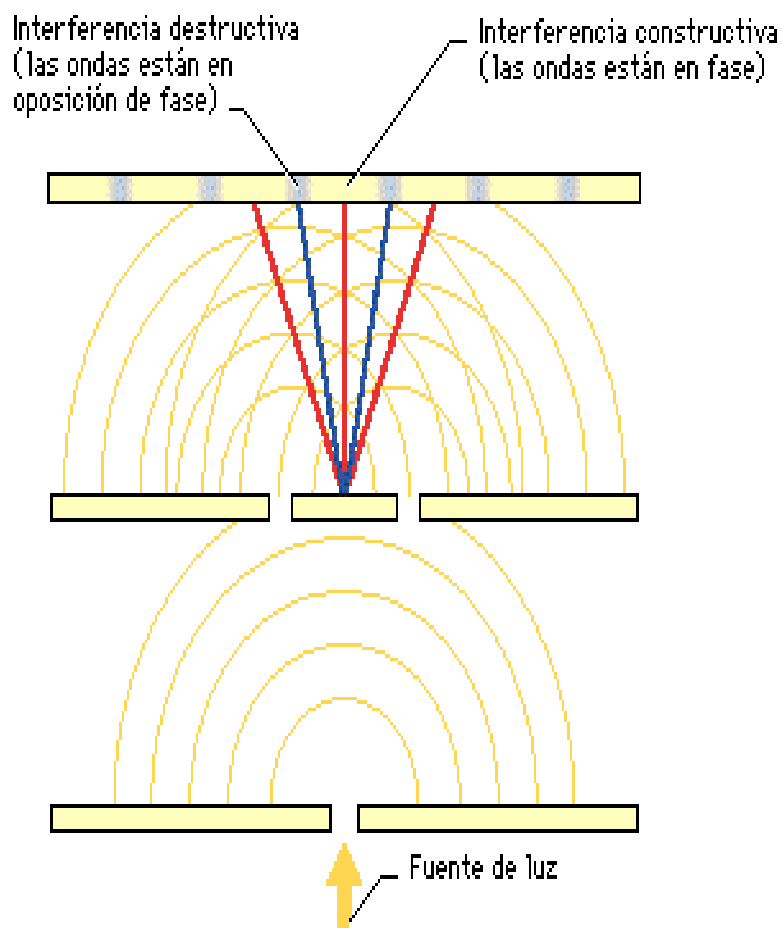
Trayectoria rectilínea y reflexión de la luz

TEORÍA ONDULATORIA DE LA LUZ.

En el año de 1650 el matemático holandés Christian Huygens formula esta teoría, que explicaba perfectamente los fenómenos que la teoría anterior no hacía. Estos fenómenos que Huygens dejó claramente entendidos son: **la dispersión**, **la difracción** y **la interferencia**, que son fenómenos ondulatorios característicos de la luz.

Esta teoría nos dice que toda radiación está formada por ondas electromagnéticas que son perturbaciones del campo electromagnético, las cuales se propagan en el vacío, así como en cualquier medio transparente, aunque sea de diferente densidad. Los campos electromagnéticos y magnéticos son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, esta forma de concebir la luz permite explicar el fenómeno de la polarización y otros fenómenos.

Dos ejemplos de interferencias, es la que se presenta en la siguiente figura:



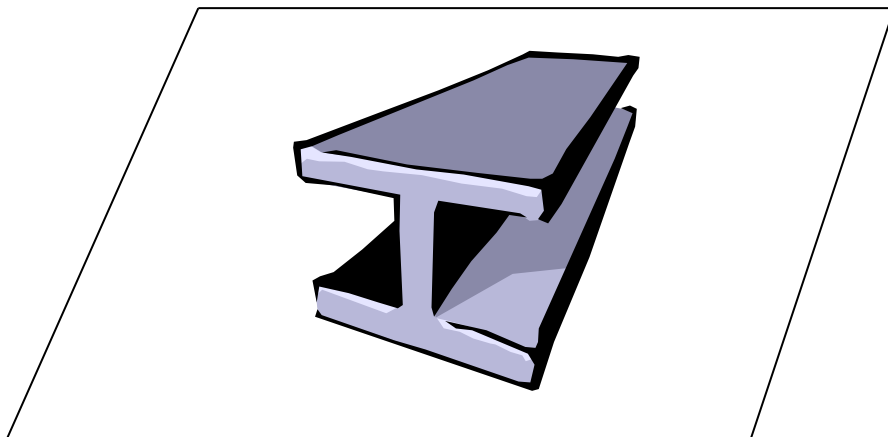
Difracción e interferencia de la luz

Cuando la luz pasa a través de una rendija cuyo tamaño es próximo a la longitud de onda de la luz, ésta se difracta, se produce un cambio en la forma de la onda. Cuando la luz pasa a través de dos rendijas, las ondas procedentes de una rendija interfieren con las ondas que vienen de la otra. La interferencia constructiva tiene lugar cuando las ondas llegan en fase, es decir, cuando las crestas (o los valles) de una onda coinciden con las crestas (o los valles) de la otra onda, formando una onda con una cresta (o un valle) mayor. La interferencia destructiva se produce cuando las ondas llegan en oposición de fase, es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de la otra onda, cancelándose mutuamente para producir una onda más pequeña o no producir onda alguna.

Ejemplo de cuando una radiación se hace visible:

Cuando una barra de hierro se coloca sobre una superficie en condiciones normales, dicha barra se encontrará en equilibrio con sus alrededores.

La barra se mantiene en equilibrio térmico solo porque está radiando y absorbiendo energía con la misma rapidez.



Barra de hierro en condiciones normales

Si ahora la sacamos de equilibrio al colocar una llama en uno de sus extremos, ésta llega a estar más activa internamente y emite energía térmica con mayor rapidez.

Si se continúa calentando hasta aproximadamente 600° C, parte de la radiación emitida por la barra se hace **visible**, es decir, afecta o estimula el sentido de la vista.

$$E = hf$$



Radiación visible que estimula el sentido de la vista

La naturaleza de la luz no es fundamentalmente distinta de las otras radiaciones electromagnéticas, es decir, calor, ondas de radio o radiación ultravioleta; la característica que distingue a la luz de otras radiaciones es su energía calorífica.

Con lo mencionado anteriormente tenemos que:

LA LUZ

Es una radiación electromagnética formada por un campo eléctrico y uno magnético que vibran u oscilan perpendicularmente entre sí, capaz de afectar o estimular el sentido de la vista.

La luz visible solo representa una banda muy estrecha del espectro electromagnético, que incluye muchos tipos de onda. Cada color de la luz visible corresponde a una frecuencia determinada del espectro.

El contenido de energía de la luz visible varía desde $2,8 \times 10^{-19}$ J hasta aproximadamente 5×10^{-19} J.

Planck encontró también que, los problemas que presentaban la teoría de la radiación se originaba en las hipótesis de que la energía se irradia en forma cuántica. Postuló que la energía electromagnética se absorbe o se emite en paquetes o cuántos; el contenido electromagnético de dichos cuántos o fotones, es proporcional a la frecuencia de la radiación.

Con esto Planck estableció la siguiente ecuación:

$$E = hf$$

Donde:

E = energía del fotón (J)

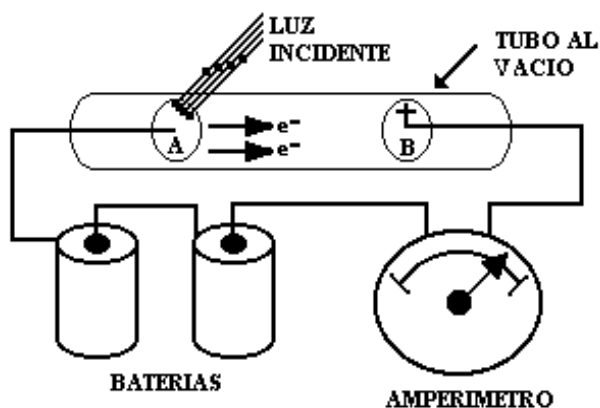
f = frecuencia del fotón.(Hz)

h = factor de proporcionalidad, llamado constante de Planck (6.62×10^{-34} J s)

En 1905 Einstein amplió la propuesta por Planck y postuló que la energía de un haz de luz no se esparce en forma continua a través del espacio.

Otra confirmación sorprendente de que la luz está formada por fotones, es el efecto Compton. A.H. Compton en 1921, logró determinar el movimiento de un fotón y un solo electrón, antes y después de un choque entre ellos y encontró que se comportaban como cuerpos materiales, con energía cinética y cantidad de movimiento, conservándose ambas magnitudes después del choque.

Tanto el efecto fotoeléctrico como el efecto Compton parecen pues exigir una vuelta a la teoría corpuscular de la luz.



Efecto fotoeléctrico

Una célula fotoeléctrica se compone, en esencia, de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible. La luz que incide sobre el cátodo libera electrones que son atraídos hacia el ánodo originando un flujo de corriente proporcional a la intensidad de la radiación.

El punto de vista actual de los físicos, enfrentados en experimentos aparentemente contradictorios, es aceptar la **dualidad de la luz**, es decir, que la luz parece tener una doble naturaleza.

Los fenómenos de propagación de la luz, encuentran su mejor explicación dentro de la teoría ondulatoria electromagnética, mientras que la acción mutua entre luz y materia, en los procesos de absorción, y emisiones un fenómeno corpuscular.

Por lo tanto, la luz parece ser **dual**. Y así, puede definirse como:

LA LUZ

También es una energía radiante transportada por fotones y transmitida por un campo ondulatorio.

Aunque a veces la luz se comporta más como una partícula que como una onda, especialmente cuando interacciona con los átomos; un átomo absorbe siempre una cantidad determinada o cuanto, de energía luminosa.

Como la interacción implica una cantidad de energía fija deducimos que la luz se comporta como una partícula llamada fotón.

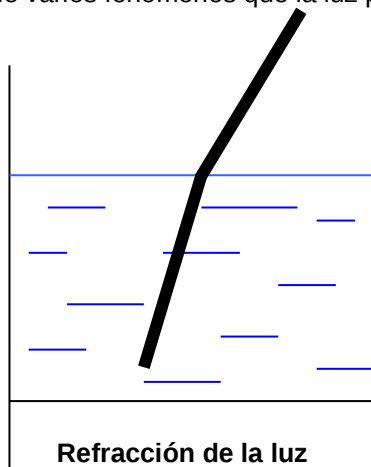
FOTÓN

Es la cantidad mínima de energía de la luz u otra radiación electromagnética.

Un átomo excitado libera su exceso de energía emitiéndolo en forma de otro fotón. Midiendo la frecuencia de los fotones con el espectrómetro, los científicos pueden determinar qué tipos de átomos los emitieron y si proceden de la Tierra, el Sol o de galaxias muy lejanas.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA LUZ

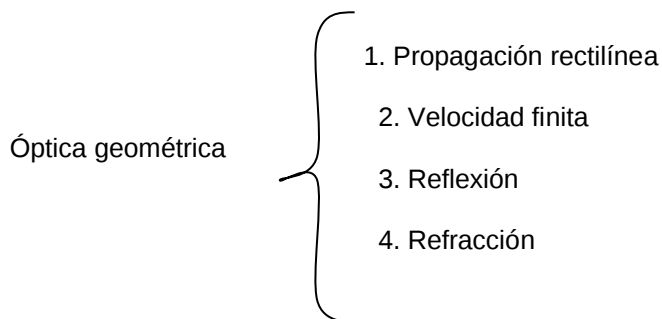
Un hecho importante que debemos observar de la luz, es cuando ésta incide sobre cualquier superficie u objeto aumentándole su temperatura, lo que indica que la luz contiene energía térmica y la transporta en el vacío, lo que se pensaba era sólo un atributo de las partículas. Sin embargo, el carácter ondulatorio se manifiesta a través de varios fenómenos que la luz presenta en algún momento.



Cuando se introduce parte de una varilla u objeto recto, en un recipiente transparente con agua, se observa que cualquiera de los dos aparece doblado en el límite de los dos medios; otro ejemplo: es lo que ocurre con las ondas en el agua, cuando éstas pasan de una profundidad a otra y se hace pasar

un rayo de luz, observaremos como el haz de luz, se reduce o amplía a lo ancho; la gran semejanza que existe entre estos dos hechos, revelan la naturaleza de la luz.

La óptica geométrica, trata de los fenómenos ópticos que se describen más fácilmente con líneas rectas y geometría plana. La óptica geométrica, para su estudio se subdivide en:



PROPAGACIÓN RECTILÍNEA DE LA LUZ.

Características de la energía radiante.

La energía radiante se transmite por ondas electromagnéticas que atraviesan el aire y el vacío con la velocidad de la luz y se distinguen entre sí por su longitud de onda. Actualmente se sabe que el intervalo de frecuencias del espectro electromagnético es muy grande. La longitud de onda (λ) de la radiación electromagnética está relacionada con su frecuencia (f) por medio de la ecuación general.

$$c = \lambda f$$

Donde:

c = velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

λ = longitud de onda (m)

f = frecuencia (Hz)

Como ya hemos visto λ se reduce en el espectro electromagnético a la región visible que está comprendido entre 0.00004 y 0.00007 cm.

Debido a que las longitudes de onda de la radiación luminosa son muy pequeñas, se emplea el nanómetro (nm), que es una unidad del SI y equivale a:

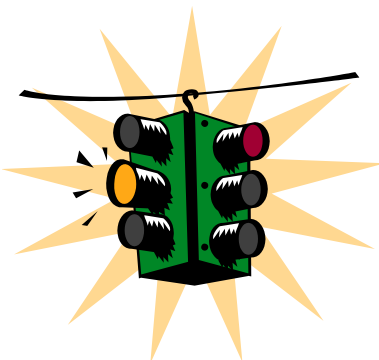
$$1 \text{ nm} = \text{una billonésima parte de un metro}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$$

De acuerdo con lo anterior, la región visible del espectro electromagnético se extiende desde 400 nm para la luz violeta, hasta aproximadamente 700 nm para la luz roja.

Cuando se habla de la trayectoria rectilínea de la luz, debemos pensar en haces ondulatorios suficientemente estrechos. Esto nos permite explicar las fajas de luz, rectas y anchas que se forman cuando la luz pasa por un pequeño orificio o una pequeña rendija.

Por otra parte, cuando observamos cualquier objeto, no vemos ningún rayo luminoso, lo que vemos son las imágenes producidas por los haces luminosos que reflejan en todas direcciones a dichos objetos.



Propagación rectilínea de la luz

VELOCIDAD FINITA.

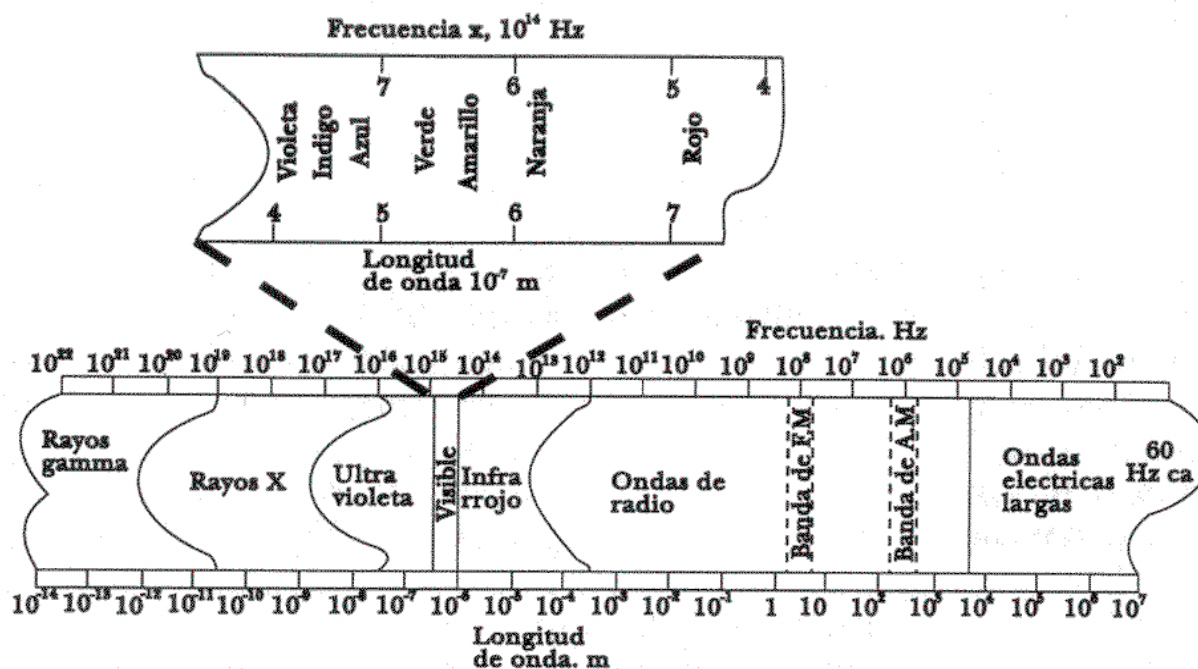
Varios científicos intentaron medir experimentalmente la velocidad de la luz, pero Albert A. Michelson, quien utilizando el método de Foucault, fue capaz de obtener mediciones muy exactas. Michelson determinó que la velocidad de la luz en el aire es de 2.997×10^8 m/s. Se acepta que este valor es una de las mediciones con mayor precisión existentes.

En la actualidad, el valor aceptado para la velocidad de la luz es: $c = 299\,792\,458 \pm 1.2$ m/s

Una aproximación que resulta útil emplear en los cálculos es: (SI)= 3×10^8 m/s é (IN)= 186 000 mi/s

Estos valores pueden emplearse con la mayor parte de los diferentes cálculos físicos sin que se cometa un error significativo.

Otra característica de las ondas electromagnéticas es su amplia gama de longitudes de onda o frecuencias, donde el visible abarca en un estrecho rango que va desde 4×10^{-4} m hasta 7.5×10^{-7} m, mientras que el rango total abarca de 10^{-15} m hasta 10^4 m. En la siguiente figura observaremos estos rangos:



Espectro electromagnético de frecuencias y longitudes de onda

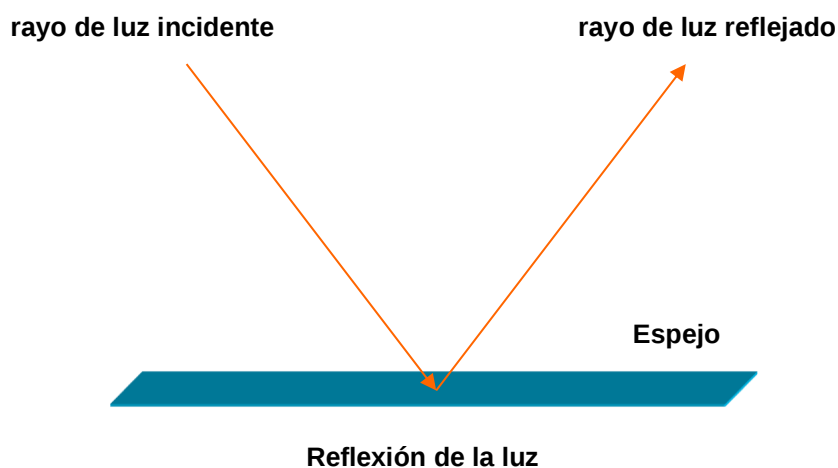
La teoría electromagnética de Maxwell (1865, físico escocés), abrió las puertas de muchas otras clasificaciones de radiación. Actualmente el espectro electromagnético se divide en 8 regiones principales, como se muestra en la figura anterior.

Descripción del espectro electromagnético:

- ⇒ **Las ondas de radio.** Se producen por un circuito eléctrico oscilante.
- ⇒ **Los rayos infrarrojos.** Se conocen como radiación térmica y son emitidos por los cuerpos calientes.
- ⇒ **Luz o energía luminosa.** Es la única visible y se produce por cuerpos luminosos como el sol, las estrellas, un foco eléctrico, una vela encendida, etc.
- ⇒ **Los rayos ultravioleta.** Son parte de la luz solar y su importancia se debe a que son necesarios en los seres vivos para la síntesis de la vitamina D.
- ⇒ **Los rayos x.** Atraviesan cuerpos opacos como el papel, la madera, la carne, etc. se utiliza para obtener radiografías de los órganos internos del cuerpo.
- ⇒ **Los rayos gamma.** Resultan de la desintegración de los átomos de sustancias radioactivas naturales como el uranio. También se producen en los reactores atómicos y en explosiones atómicas. El contador Geiger es un aparato que descubre y mide estas radiaciones.
- ⇒ **Los rayos cósmicos.** Son radiaciones que llegan continuamente del espacio exterior a la tierra; se cree que son partículas emitidas por explosiones estelares.

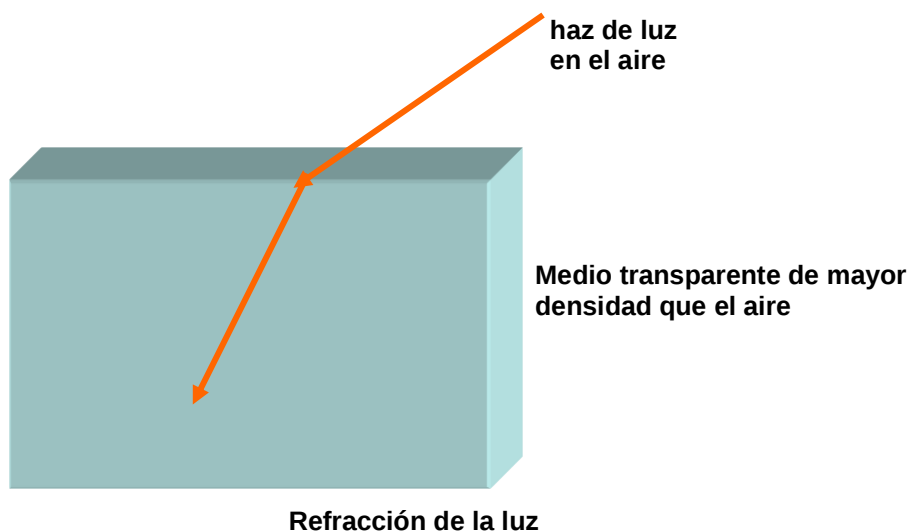
REFLEXIÓN DE LA LUZ.

Cuando la luz incide sobre una superficie lisa, aquella regresa al medio ambiente original.



LA REFRACCIÓN.

La trayectoria de la luz cambia cuando entra en un medio transparente de diferente densidad.



La investigación sobre la naturaleza de la luz aún continúa, pero los experimentos muestran que algunas veces se comporta como partículas y otras como ondas. La teoría moderna sostiene que la luz es radiación electromagnética y que su energía radiante es transportada en fotones a lo largo de un campo de onda.

INTENSIDAD LUMINOSA Y FLUJO LUMINOSO.

Los cuerpos que nos rodean presentan dos características: que algunos emiten luz y otros las reciben y reflejan.

CUERPO LUMINOSO

Son todos aquellos que emiten luz.

Ejemplo de cuerpos luminosos: el Sol, las estrellas, un foco eléctrico, una vela encendida, una hoguera, etc.

Superficie del sol como fuente luminosa

CUERPO ILUMINADO

Son todos los que reciben la luz que emite un cuerpo luminoso reflejándola con modificaciones de intensidad y color

Ejemplo de estos cuerpos, son: la luna, una roca, un árbol, etc. Éstos se dividen además en:

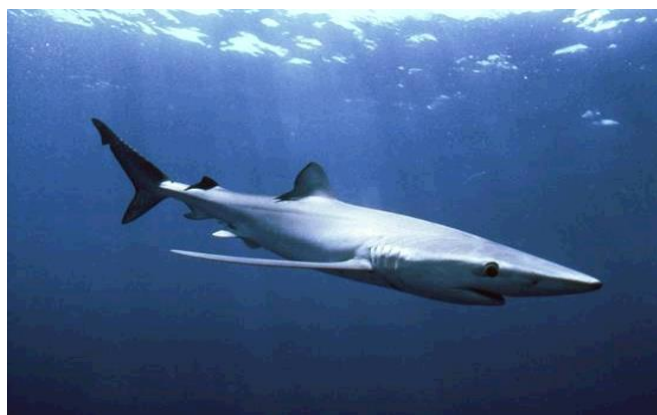


luna iluminada

CUERPOS TRANSPARENTES

Son los que dejan pasar la luz y permiten que se vean los objetos que están colocados detrás de él.

Ejemplos: El aire, la mica, el vidrio y el agua.



La tintorera o tiburón azul se distingue dentro del agua debido a que el agua es transparente

CUERPOS TRANSLUCIDOS: Son los que dejan pasar la luz pero no permiten distinguir los objetos que se encuentran detrás de él.

Por ejemplo: el papel encerrado, el vidrio esmerilado, etc.



Recipiente que representa un cuerpo translúcido

CUERPOS OPACOS: Son los que impiden totalmente el paso de la luz.



Rocas metamórficas

Cuando se estudia la incidencia de una radiación electromagnética en la superficie de cualquier objeto, se deben diferenciar los siguientes conceptos:

FLUJO LUMINOSO (Φ)(Φ_I)

Es aquella parte de la potencia radiante, que provoca en el ojo la sensación de luz, y se valora por la sensación luminosa.

Su unidad es el ***lumen (lm)***.

En una lámpara común de luz incandescente, sólo alrededor del 10% de la energía radiante es flujo luminoso. La mayor parte de la potencia radiante no es luminosa.

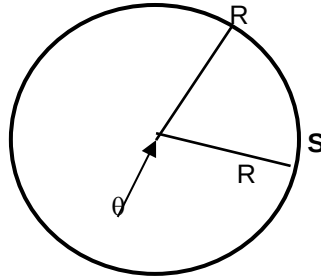
El ojo humano no es igualmente sensible a todos los colores, es decir, una misma potencia radiante de diferentes longitudes de onda no produce igual brillo.

UN LUMEN (lm)

Es el flujo luminoso (o potencia radiante visible) emitido por una fuente tipo, a través de una abertura de 1 /60 cm² realizada en un ángulo sólido de un estereorradián (sr).

Para comprender la definición del lumen, primero debe desarrollarse el concepto de ángulo sólido. Un ángulo sólido en estereorradianes (sr) se define en la misma forma que un ángulo plano en radianes. En la siguiente figura, el ángulo θ en radianes es:

$$\theta = \frac{S}{R}$$



Donde: θ = ángulo plano (rad)
 S = longitud del arco
 R = radio (m)

ESTEREORRADIÁN (sr)

Es el ángulo sólido subtendido en el centro de una esfera por un área A sobre su superficie, que es igual al cuadrado de su radio R.

Este ángulo sólido en estereorradianes está dado por la siguiente ecuación:

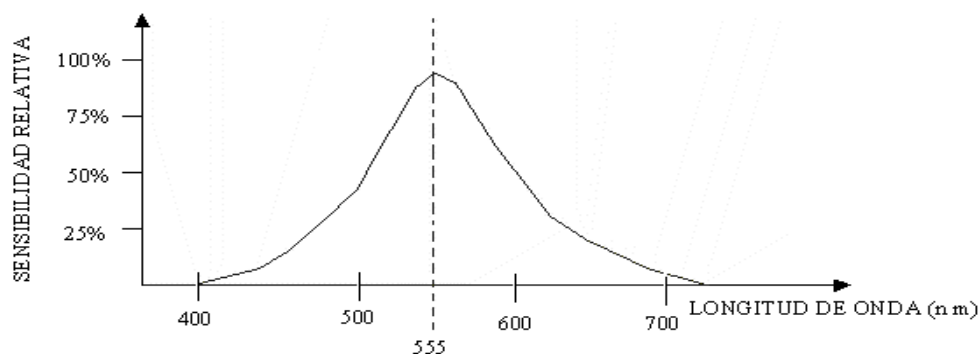
$$\Omega = \frac{A}{R^2}$$

Donde: Ω = ángulo sólido (sr)
 A = área (m²)
 R = radio (m)

POTENCIA RADIANTE

Es la energía que emite una fuente luminosa por la unidad de tiempo.

Por consiguiente, el ojo humano no es igualmente sensible a todos los colores, es decir, una misma potencia radiante de diferentes longitudes de onda no produce **igual brillo**, como se representa en la siguiente figura.



Curva de sensibilidad del ojo humano

En condiciones normales, el ojo humano, es más sensible a la luz amarilla-verde, de longitud de onda igual a 555 nm.

INTENSIDAD LUMINOSA.

Su definición es la siguiente:

INTENSIDAD LUMINOSA (I)

Es la cantidad de energía que un cuerpo luminoso puede emitir.

Su unidad es la candela (cd) y su definición oficial establecida por la Conferencia Internacional de Pesas y Medidas, a partir del año de 1979 es:

LA CANDELA

Es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y cuya intensidad energética en esa dirección es $\frac{1}{683}$ watt por estereorradián $\frac{W}{sr}$.

Una fuente pequeña emite radialmente energía luminosa hacia fuera en líneas rectas, para una fuente de luz de este tipo, el flujo luminoso comprendido dentro del ángulo sólido continúa siendo el mismo a todas las distancias desde la fuente. Por tanto, muchas veces es más útil hablar de flujo por unidad de ángulo sólido que simplemente expresar el flujo total. La cantidad física que expresa ésta relación se llama intensidad luminosa. Su expresión matemática es:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

Donde: I = intensidad luminosa (cd)

Φ = flujo luminoso (lm)

Ω = ángulo sólido (sr)

La siguiente característica de la luz, es:

LA ILUMINACIÓN (E)

Es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre la unidad de área de cualquier superficie y que ésta refleja.

Su unidad es el lux (lx) y se define como:

LUX (lx)

Es igual a un lumen / m².

Si se incrementa la intensidad luminosa de la fuente, el flujo luminoso transmitido a cada unidad de área de superficie en la vecindad de la fuente se incrementa. La superficie aparece más brillante. Al medir la eficiencia o rendimiento de la luz, el interés es básicamente en la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. Por consiguiente la iluminación E de una superficie A, se define como el flujo luminoso F por unidad de área. Su fórmula es:

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

Donde: E = la iluminación (lux ó $\frac{lm}{m^2}$)

Φ = flujo luminoso (lm)

A = superficie (m²)

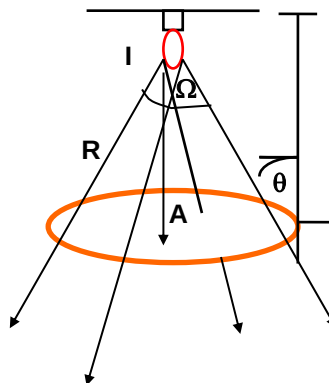
Para ver la relación entre la intensidad y la iluminación, considérese una superficie A a una distancia R de una fuente puntual de intensidad I, como se muestra en la siguiente figura. El ángulo sólido Ω subtendido por la superficie en la fuente es:

$$\Omega = \frac{A}{R^2}$$

Donde: Ω = ángulo sólido (sr)

A = superficie (m²)

R = distancia (m)



Iluminación de una superficie cuando el flujo incidente forma un ángulo con la normal a la superficie

Donde el área A es perpendicular a la luz emitida. Si el flujo luminoso forma un ángulo θ con la normal de la superficie, como se muestra en la figura anterior, es necesario considerar la proyección del área $A \cos \theta$. Esta representa el área afectiva normal al flujo. Con esto, el ángulo sólido, también se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\Omega = \frac{A \cos \theta}{R^2}$$

Interrelacionando esta fórmula con la de intensidad luminosa, tenemos que:

$$\Phi = I\Omega = \frac{IA \cos \theta}{R^2}$$

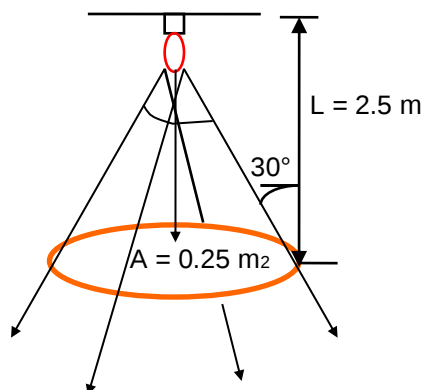
Ahora observamos que la iluminación está en función de la intensidad. Sustituyendo la ecuación anterior con la de intensidad, obtenemos:

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{IA \cos \theta}{AR^2}$$

$$E = \frac{I \cos \theta}{R^2}$$

Ejercicios resueltos:

1. Una lámpara de intensidad de 350 cd está colocada a 2.5 m de una superficie de 0.25 m² de área. El flujo luminoso forma un ángulo de 30° con la normal a la superficie. ¿Cuál es la iluminación y el flujo luminoso que incide sobre la superficie?



Datos

$I = 350 \text{ cd}$
 $L = 2.5 \text{ m}$
 $A = 0.25 \text{ m}^2$
 $\theta = 30^\circ$
 $E = ?$

Fórmula

$$E = \frac{I \cos \theta}{L^2}$$

Desarrollo

$$E = \frac{(350 \text{ cd})(\cos 30^\circ)}{(2.5 \text{ m})^2}$$

La iluminación:

$$E = 48.49 \text{ lx}$$

$$\Phi = EA$$

$$\Phi = (48.49 \text{ lx}) (0.25 \text{ m}^2)$$

El flujo luminoso:

$$\Phi = 12.12 \text{ lm}$$

2. La luz de una fuente de iluminación 55 lx, es colocada en el centro de una esfera de 2 m de radio. ¿Cuál será el flujo luminoso que pasa a través de la esfera?

Datos

$$I = 55 \text{ lx}$$

$$R = 2 \text{ m}$$

$$\Phi = ?$$

Fórmula

$$I = \frac{\Phi}{A} \therefore \Phi = IA$$

Desarrollo

El área de la circunferencia es: $A = \pi r^2 = (3.14) (2 \text{ m})^2 = 12.56 \text{ m}^2$

$$\Phi = (55 \text{ lx}) (12.56 \text{ m}^2) = \Phi = 691.1 \text{ lm}$$

REFLEXIÓN, ESPEJOS Y FORMACIÓN DE IMÁGENES

Actividad motivacional.

Para poder entender y explicarse mejor estos temas, el uso de la Física recreativa es muy práctico, ya que con demostraciones sencillas se pueden comprender más fácilmente los fenómenos físicos que se tratan ahora. Algunos ejemplos pueden ser los siguientes: un espejo al colocarlo directamente a los rayos del sol refleja casi el 100% de la totalidad de la luz, dirigiéndolo hacia todas direcciones demostramos la proyección rectilínea de la misma; así como también que algunas superficies son muy buenas reflectoras. Las visitas a los espejos locos de las ferias, aunque parezca chusco y muy común, es un buen ejemplo para entender físicamente los diferentes fenómenos que se presentan en espejos de diferentes tipos.

Reflexión.

Todos los objetos y el medio que nos rodea son vistos gracias a la luz, ya sea por luz emitida por el objeto o por luz reflejada en él. Aunque toda la luz se debe a fuentes de energía como el sol, una lámpara eléctrica encendida, un cerillo encendido, etc., la mayor parte de la que se ve en el mundo físico es el resultado de la luz reflejada.

La reflexión de la luz se presenta cuando ésta llega sobre cualquier superficie de cualquier material y regresa nuevamente al medio.



VISTA DE UN PAISAJE POR LA REFLEXIÓN DE LA LUZ

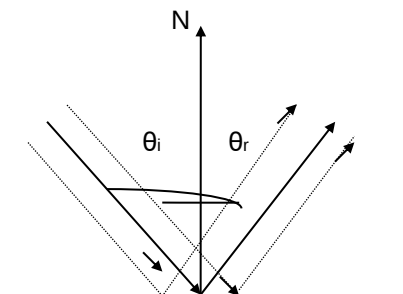
LEYES DE LA REFLEXIÓN.

Las reflexiones que producen los objetos se clasifican de la siguiente manera:

REFLEXIÓN ESPECULAR O REGULAR

Es la reflexión de la luz debida a una superficie pulida.

La luz que incide sobre la superficie de un espejo se refleja especularmente. Si toda la luz que llega sobre una superficie fuera reflejada especularmente, ésta no podría verse, solo serían visibles las imágenes de otros objetos.

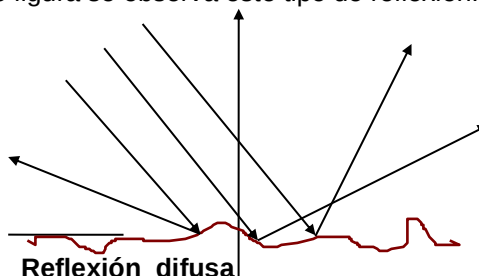


Reflexión especular

REFLEXIÓN DIFUSA

Es la reflexión de la luz que se presenta en todas las superficies irregulares. Ésta es la responsable de que una superficie u objeto se vea.

Una superficie irregular dispersará y distribuirá la luz incidente hacia todas direcciones, dando como resultado que se ilumine la superficie. Tal es el ejemplo de la reflexión en el concreto, en un ladrillo, en un papel opaco, etc. En la siguiente figura se observa este tipo de reflexión:



Reflexión difusa

La reflexión de la luz obedece a la misma ley general de la mecánica que explica otros fenómenos de rebote. A continuación, se tienen las dos leyes básicas de la reflexión:

1ª LEY DE LA REFLEXIÓN

Cuando la luz se refleja en un espejo, el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie, se encuentran en un mismo plano.

2ª LEY DE LA REFLEXIÓN

El ángulo de incidencia (θ_i), es igual al ángulo de reflexión (θ_r).

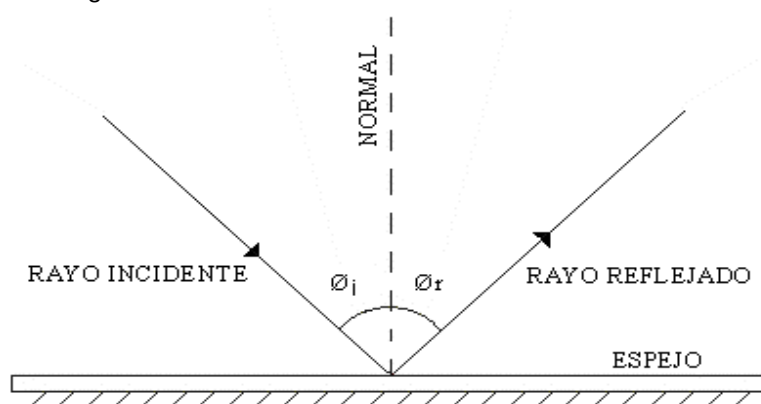
Las dos leyes anteriores nos explican la formación de imágenes en los **espejos**.

ESPEJO

Es una superficie bien pulida, en la que se forman imágenes por reflexión especular de la luz.

Reflexión de la luz en espejos.

Éste fenómeno físico se presenta cuando un rayo de luz incidente, se refleja sobre una superficie, como se muestra en la siguiente figura.



Reflexión regular o especular

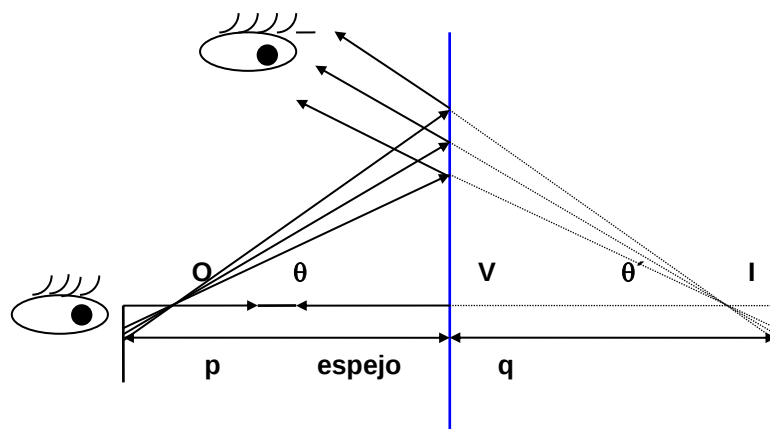
La naturaleza de la luz reflejada se puede describir en función de leyes sencillas y respecto a la normal a la superficie bien definidas, donde los ángulos de incidencia (θ_i) y de reflexión (θ_r) se miden con respecto a la normal o eje vertical.

Espejos planos.

Cuando estamos frente a un espejo plano nuestra imagen es derecha, del mismo tamaño que nosotros, atrás de la superficie reflectora y a la misma distancia de donde nos encontramos colocados de la misma superficie. A este tipo de imágenes se les llama **virtuales** porque la luz parece provenir de la imagen que se encuentra colocada dentro del espejo, además la imagen no se formará en una pantalla que se coloque en la posición de la imagen, ya que la luz no converge en ese lugar.

Con el fin de comprender la formación de imágenes, por reflexión especular, en un espejo plano, consideremos primero la imagen I formada por los rayos emitidos desde un punto O, como se muestra en la siguiente figura. Se proyectan cuatro rayos de luz desde la fuente puntual; el rayo de luz OV se refleja sobre sí mismo en el espejo. Ya que la luz reflejada parece haber viajado la misma distancia que la luz incidente, la imagen que aparece estará a una distancia igual detrás del espejo cuando se observa a lo largo de la normal a la superficie de reflexión.

Cuando se ve la luz reflejada a un cierto ángulo del espejo, puede deducirse una cosa parecida; es decir, que la distancia de la imagen q es igual que la distancia al objeto p. Esto es cierto ya que el ángulo θ es igual que el ángulo θ' en la figura.



Espejos planos angulares

Se forman espejos de este tipo cuando se unen dos espejos planos por uno de sus lados formando un cierto ángulo. Al colocar un objeto entre ellos se observará un número n de imágenes, que dependerá de la medida del ángulo.

El número de imágenes que se producirán entre dos espejos planos angulares se calcula con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{360^\circ}{a} - 1$$

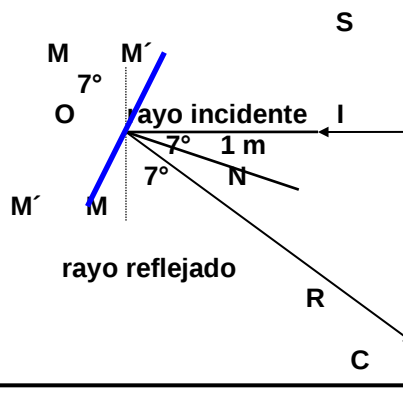
Donde: n = número de imágenes
 a = ángulo entre los espejos

Ejercicios resueltos.

- Un rayo de luz IO llega sobre un espejo plano. El espejo refleja el rayo sobre una superficie recta SC, paralela al espejo MM y se localiza a 1 m de distancia de éste. Cuando el espejo gira un ángulo de 7° y toma la posición $M'M'$, ¿qué distancia se desplazará sobre la superficie recta, la mancha de luz?
- Cuando el espejo gira un ángulo de 7° , la normal también gira ese ángulo de 7° , y el rayo incidente formará un ángulo de 7° con la normal ON del espejo $M'M'$. Como el rayo incidente IO y el rayo reflejado OR forman ángulos iguales con la normal, el ángulo IOR es el doble del ángulo que giró el espejo, o sea 14° . Entonces tenemos que:

$$IR = IO \tan 14^\circ = (1 \text{ m})(0.249)$$

$$IR = 0.249 \text{ m}$$



2. Si dos espejos planos forman un ángulo de 60° , ¿cuántas imágenes producirán de un objeto?

Datos

$$a = 60^\circ$$

$$n = ?$$

Fórmula

$$n = \frac{360^\circ}{a} - 1$$

Desarrollo

$$n = \frac{360^\circ}{60^\circ} - 1 = 6 - 1$$

n = 5 imágenes

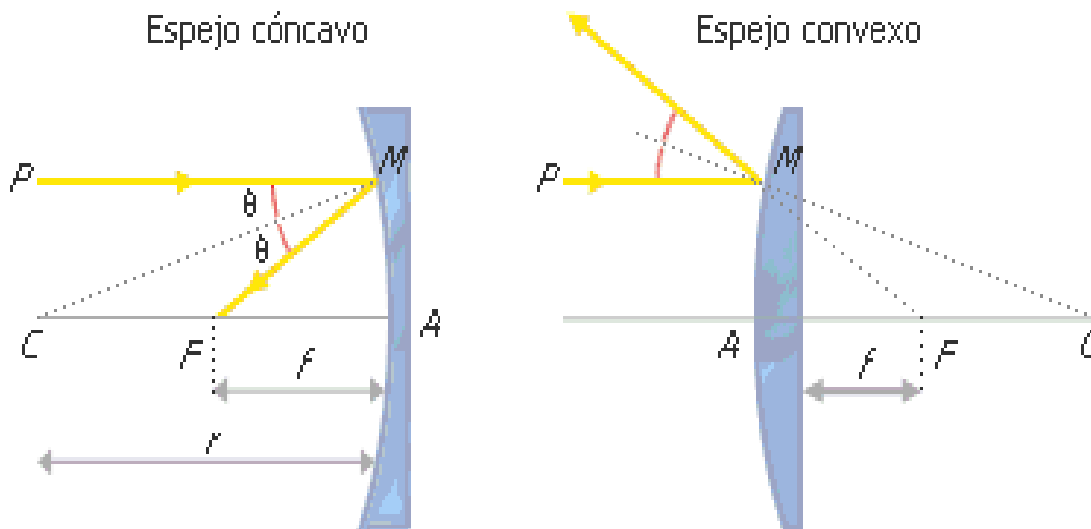
ESPEJOS ESFÉRICOS.

Otro tipo de superficies reflejantes son las llamadas superficies especulares parabólicas, esféricas o curvas cuya aplicación es muy común en nuestra vida diaria. Los mismos métodos geométricos aplicados para la reflexión de la luz en un espejo plano pueden aplicarse a un espejo curvo. El ángulo de incidencia es igual que el ángulo de reflexión, pero la normal a la superficie cambia en cada punto a lo largo de la misma. La mayor parte de los espejos curvos utilizados en la práctica son esféricos.

Los espejos de este tipo se clasifican en:

CÓNCAVOS

Son espejos cuya superficie reflejante, es la que se encuentra en la parte interior de su curvatura.



Espejos cóncavos y convexos

CONVEXOS

Son aquellos cuya superficie reflejante se encuentra en la cara externa de su curvatura.

Los espejos parabólicos reflejan los haces de luz de tal forma que, respetando las leyes de reflexión, utilizan las características geométricas de la parábola, es decir, todo rayo de luz incidente que es paralelo a su eje de simetría, se refleja pasando por el foco.

El foco principal de un espejo esférico, como los que se muestran en las siguientes figuras, es el punto **F** donde los rayos paralelos al eje principal **XX'** del espejo y los más cercanos a este eje son enfocados. En estos espejos, los focos pueden ser reales o virtuales.

El foco es **real (F)** para un espejo cóncavo y **virtual (F')** para un espejo convexo. Este foco se localiza sobre el eje principal **XX'** y a la mitad de la distancia entre **C** y el espejo.

Formación de imágenes.

El mejor método para lograr la formación de imágenes en espejos es por medio de la óptica geométrica y por el trazado de rayos. Este método consiste en considerar la reflexión de algunos rayos divergentes de un punto de un objeto **O** que no se encuentre en el eje del espejo. El punto donde se intersectan todos los rayos reflejados determinará la ubicación de la imagen.

Los espejos cóncavos forman imágenes reales e invertidas de un objeto que se encuentra atrás del foco principal. Si el objeto se halla entre el foco principal y el espejo, la imagen es virtual, derecha y aumentada.

Los espejos convexos sólo producen imágenes virtuales y derechas de un objeto que se encuentra frente a ellos. Las imágenes son disminuidas, o sea más pequeñas que el objeto, en tamaño.

Como parte de estas definiciones, obtenernos la clasificación de las imágenes:

IMAGEN VIRTUAL

Son aquellas que se observan en el interior de un espejo y no pueden ser captados en una pantalla.

IMAGEN REAL

Son aquellas imágenes que se pueden proyectar en una pantalla.

Cada uno de los rayos que necesitamos para la formación de imágenes en espejos convergentes (cóncavos) y divergentes (convexos), se muestran en las siguientes figuras:

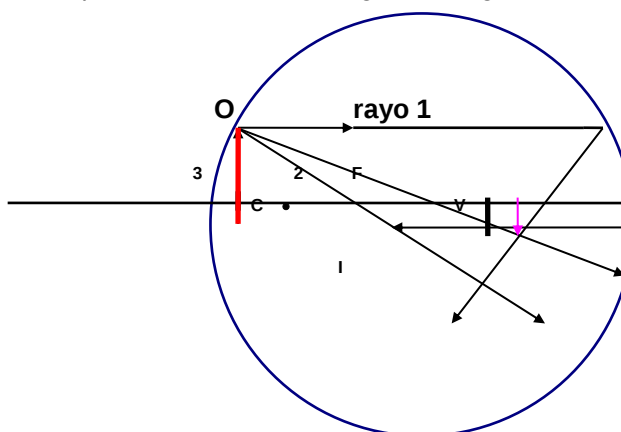


Imagen en un espejo parabólico cóncavo, formado con tres rayos principales

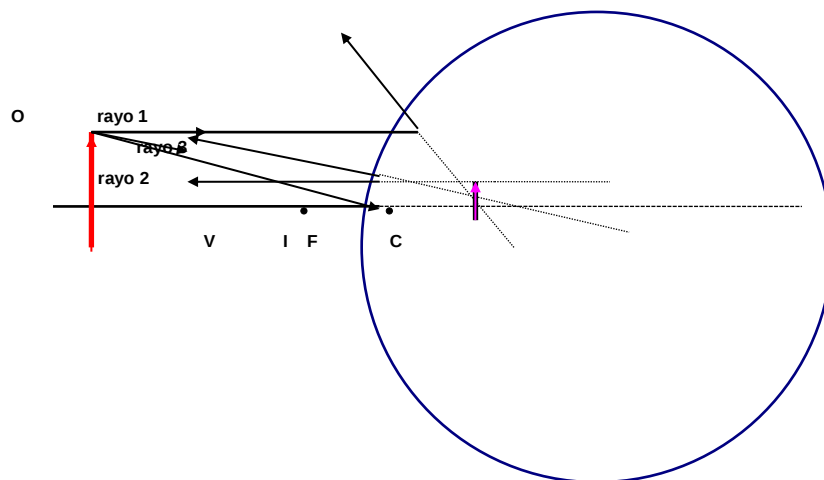
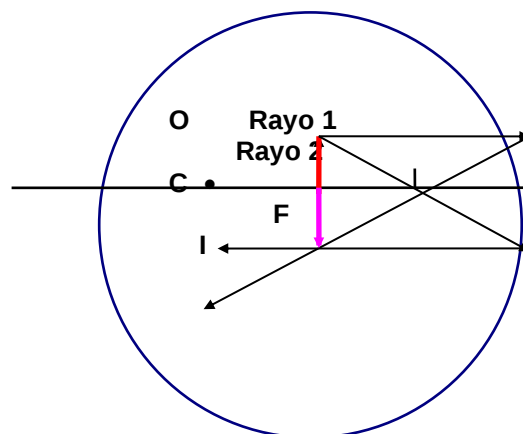


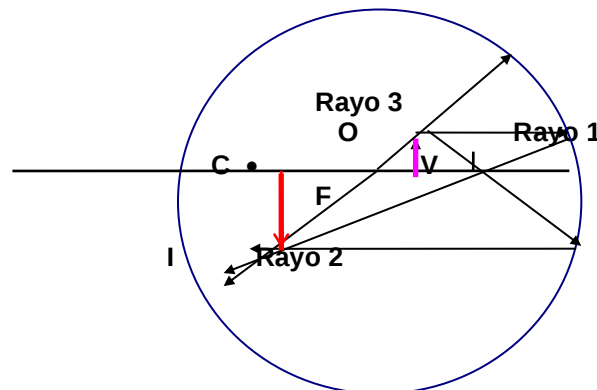
Imagen en un espejo parabólico convexo, formado con tres rayos principales.

En las siguientes figuras tenemos ejemplos de imágenes formadas en espejos cóncavos, para diferentes situaciones:

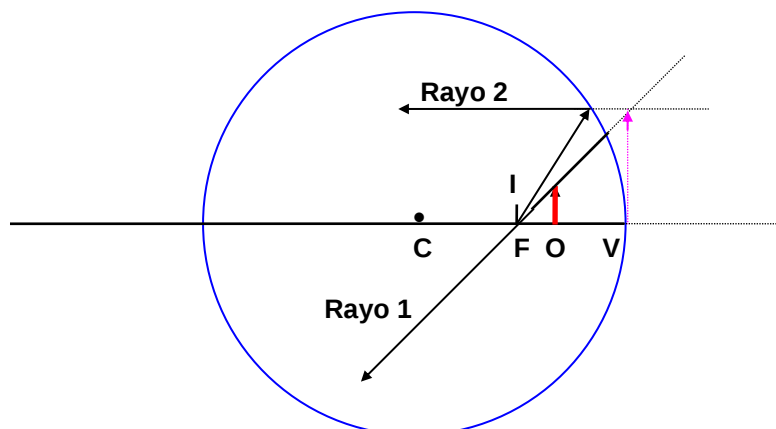
a) Imagen formada en un espejo convergente, de un objeto colocado en el centro de curvatura C.



b) Imagen de un objeto colocado entre el centro de curvatura C y el foco F.



c) Imagen de un objeto colocado entre el foco F, y el vértice V. La imagen es virtual.



El rayo 1 es paralelo al eje del espejo que, al reflejarse, pasa por el punto focal de un espejo cóncavo, alejándose del eje.

Para un espejo convexo este rayo se refleja hacia afuera, alejándose del eje del espejo.

El rayo 2 pasa por el punto focal de un espejo cóncavo, reflejándose en forma paralela al eje, cruzándose con la reflexión del rayo número uno.

En un espejo convexo este rayo al reflejarse, regresa en forma paralela al eje, alejándose indefinidamente.

El rayo 3 en el espejo cóncavo, avanza a lo largo de un radio del mismo, pasando por el centro de curvatura (C), llega al espejo y se regresa a lo largo de su trayectoria original.

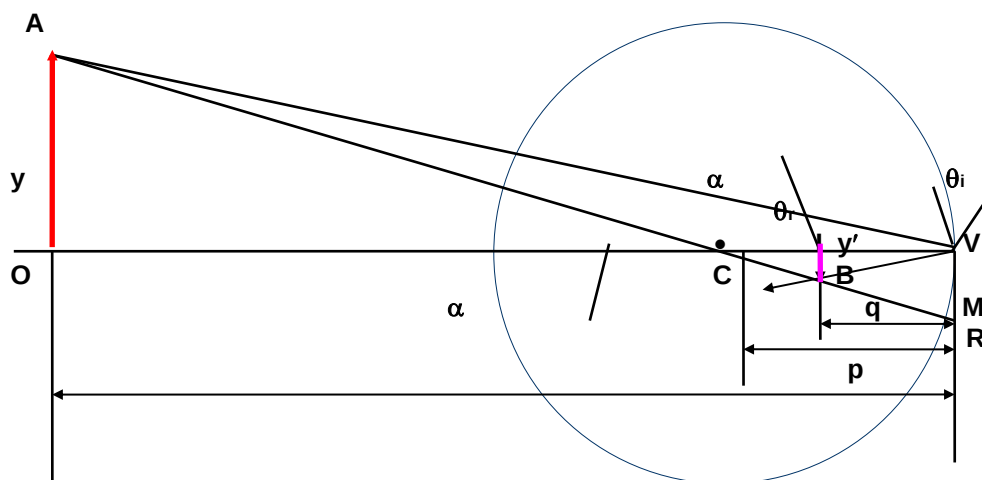
En el cruce de los tres rayos reflejados, encontramos la posición de la imagen, en el espejo cóncavo. En el espejo convexo la posición de la imagen, la encontramos en el cruce de los rayos uno y tres, al proyectarse al foco virtual; del rayo número dos lo que se proyecta es el rayo reflejado paralelo al eje, hacia el cruce de los dos rayos anteriores, este comprobará la posición de la imagen.

La ecuación de los espejos.

Ya que se ha dado una idea de las características y la formación de las imágenes, es necesario desarrollar un procedimiento analítico para encontrar dicha imagen.

A continuación, consideramos la imagen de un objeto extendido, delimitado por OA, como se muestra en la siguiente figura. Trazando los rayos desde la punta de flecha, es posible dibujar la imagen de A en B. El rayo AM pasa por el centro de curvatura y se refleja hacia atrás sobre sí mismo. Un rayo AV, que incide sobre el vértice del espejo forma ángulos iguales θ_i y θ_r . Los rayos VB AM se cruzan en B, formándose la imagen de la punta de la flecha en ese punto.

El resto de la imagen IB puede construirse trazando rayos similares para puntos correspondientes sobre el objeto AO.



DEDUCCIÓN DE LA ECUACIÓN DEL ESPEJO

En la figura anterior encontramos gráficamente las siguientes cantidades:

Distancia del objeto al espejo	-----	OV = p
Distancia de la imagen al espejo	-----	IV = q
Radio de curvatura	-----	CV = R
Tamaño del objeto	-----	O = y
Tamaño de la imagen	-----	IB = y'
Distancia focal del espejo	-----	f = R/2

Ahora, relacionando las cantidades anteriores tenemos que: en la figura, se puede notar que los ángulos OCA y VCM son iguales. Si este ángulo se representa por α , puede escribirse:

$$\tan \alpha = \frac{y}{p - R} = \frac{-y}{R - q}$$

de la cual

$$\frac{y'}{y} = \frac{R - q}{p - R}$$

El tamaño de la imagen y' es negativo ya que está invertida en la figura. En forma parecida los ángulos θ_i y θ_r en la figura son iguales, así que:

$$\tan \theta_i = \tan \theta_r \therefore \frac{y}{p} = \frac{-y'}{q}$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores, obtenemos:

$$\frac{-y'}{y} = \frac{q}{p} = \frac{R - q}{p - R}$$

Reordenando los términos anteriores, se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \qquad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{2f}$$

pero sabemos que $f = \frac{R}{2}$ y $R = 2f$; sustituyendo este valor en la ecuación anterior, tenemos que:
reduciendo ésta ecuación, obtenemos:

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}}$$

Esta expresión aritmética se conoce como **ecuación de los espejos**, que se utiliza tanto para espejos cóncavos como para convexos.

Convección de signos de las literales anteriores:

- * p es positiva cuando el objeto se encuentra frente del espejo.
- * q es positiva cuando la imagen es real, es decir, frente al espejo.
- * q es negativa cuando la imagen es virtual, o sea atrás del espejo.
- * R y f son positivas para un espejo cóncavo y negativas para un espejo convexo.

El tamaño de la imagen.

Las imágenes formadas por espejos esféricos son de menor, igual o mayor tamaño que los objetos; la razón del tamaño de la imagen al tamaño del objeto es el aumento lateral M del espejo. Este tamaño de la imagen se encuentra con las siguientes relaciones:

$$\text{Amplificación lineal} = \frac{\text{longitud de la imagen}}{\text{longitud del objeto}}$$

$$\text{Amplificación lineal} = \frac{\text{distancia de la imagen al espejo}}{\text{distancia del objeto al espejo}}$$

$$\text{Amplificación lineal} = \frac{-q}{p}$$

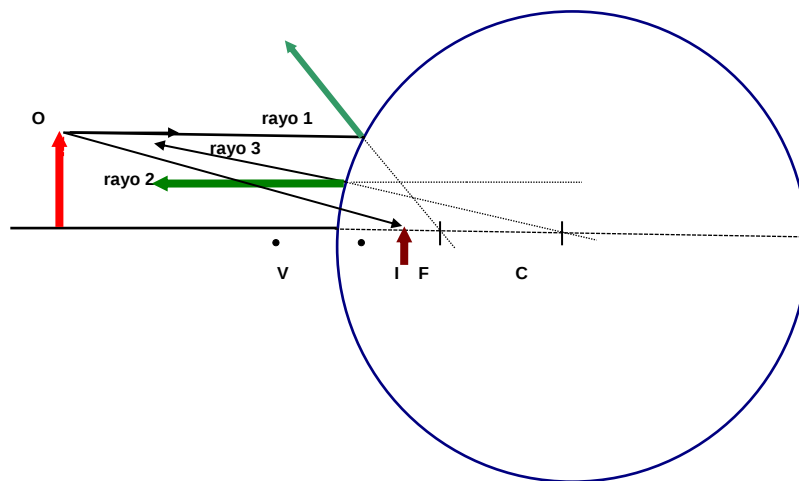
$$\boxed{M = \frac{y'}{y}}$$

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

Ejercicios resueltos.

1. Encuéntrese la posición de la imagen de un objeto que se encuentra a 5 cm de un espejo convexo cuya longitud focal es de 7 cm.

En este ejercicio $p = 5 \text{ cm}$ y $f = -7 \text{ cm}$. f será negativa ya que se trata de un espejo convexo y por lo tanto es divergente. Como la distancia a la imagen es negativa, esto nos indica que la imagen será virtual.

**Datos:**

$$p = 5 \text{ cm}$$

$$q = -2.92 \text{ cm}$$

$$f = 7 \text{ cm}$$

Fórmula:

$$q = \frac{pf}{p - f}$$

Desarrollo:

$$q = ?$$

$$q = \frac{(5\text{cm})(-7\text{cm})}{(5\text{cm}) - (-7\text{cm})} = \frac{-35\text{cm}^2}{5\text{cm} + 7\text{cm}} = \frac{-35\text{cm}^2}{12\text{cm}}$$

2. Un espejo esférico cóncavo, tiene un radio de curvatura de 5 m. Un objeto real, de 6 cm de alto, está colocado a 3.5 m frente al espejo. Determina el tamaño de la imagen algebraicamente.

Datos:

$$R = 5 \text{ m}$$

$$OA = 6 \text{ cm} = 0.06 \text{ m}$$

$$p = 3.5 \text{ m}$$

$$y = ?$$

$$q = ?$$

Fórmula:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \therefore \frac{1}{q} = \frac{2}{R} - \frac{1}{p}$$

Desarrollo:

$$\frac{1}{q} = \frac{2}{5\text{m}} - \frac{1}{3.5\text{m}} = \frac{7\text{m} - 5\text{m}}{17.5\text{m}^2} = \frac{2\text{m}}{17.5\text{m}^2}$$

$$\text{amplificación} - \text{lineal} = \frac{q}{p} = \frac{8.75\text{m}}{3.5\text{m}}$$

$$y' = My = (2.5)(0.06\text{m})$$

$$q = 8.75 \text{ m}$$

$$\text{a.l.} = 2.5 \text{ veces}$$

$$y' = 0.15 \text{ m}$$

3. Un objeto de 7 cm de alto se encuentra a 45 cm frente a un espejo esférico convexo de radio 30 cm, determínese el tamaño de la imagen.

Datos:

$$OA = 7 \text{ cm}$$

$$P = 45 \text{ cm}$$

$$R = -30 \text{ cm}$$

$$y = z$$

$$q = z$$

Fórmula:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \therefore \frac{1}{q} = \frac{2}{R} - \frac{1}{p}$$

Desarrollo:

$$\frac{1}{q} = \frac{2}{-30\text{cm}} - \frac{1}{45\text{cm}} = \frac{6\text{cm} + 2\text{cm}}{-90\text{cm}^2} = \frac{8\text{cm}}{-90\text{cm}^2} \therefore 1 = \frac{8\text{cm}}{-90\text{cm}^2} q = \frac{-90\text{cm}^2}{8\text{cm}}$$

$$a.l. = \frac{q}{p}$$

$$a.l. = \frac{-11.25\text{cm}}{45\text{cm}}$$

$$y' = My$$

$$y' = (0.25)(7\text{cm})$$

$$\begin{aligned} q &= -11.25 \text{ cm} \\ a.l. &= 0.25 \text{ veces} \\ y' &= 1.75 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ejercicio propuesto:

Contesta las siguientes cuestiones, marcando el paréntesis correcto:

1. Estudia el comportamiento de la luz, usando la geometría como su fundamento matemático:

- a) Óptica
- b) Óptica física
- c) Óptica geométrica

2. La teoría en que se fundamenta la Óptica Geométrica, dice que, los rayos de luz al bañar un objeto, emite rayos en todas direcciones, estimulando:

- a) El sentido de la vista
- b) Los órganos sensoriales
- c) El sentido del tacto

3. Los fenómenos físicos que explica la teoría Newtoniana son:

- a) La trayectoria rectilínea, reflexión y refracción de la luz
- b) La dispersión, difracción e interferencia de la luz
- c) La polarización y la radiación electromagnética de la luz

4. Toda radiación está formada por ondas electromagnéticas, que se propagan en el vacío:

- a) Teoría cuántica de la luz
- b) Teoría electromagnética de la luz
- c) Teoría corpuscular

5. La característica que distingue a la luz de otras radiaciones es:
- Que viaja por un medio transparente
 - Su energía calorífica
 - Su estado de agregación molecular
6. La luz es una radiación electromagnética que afecta o estimula:
- La energía
 - El calor
 - La vista
7. El contenido de energía, en joule, de la luz varía desde:
- $2.8 \times 10^{-19} \text{ J}$ hasta $5 \times 10^{-19} \text{ J}$
 - $2.8 \times 10_9 \text{ J}$ hasta $5 \times 10_9 \text{ J}$
 - $5.2 \times 10^{-9} \text{ J}$ hasta $9.8 \times 10^{-9} \text{ J}$
8. Max Planck supone que la luz está formada por:
- Rayos luminosos
 - Cuantos de energía
 - Energía potencial
9. La luz es dual porque es transportada por fotones y transmitida por:
- Un campo ondulatorio
 - Fuentes de energía potencial
 - La interferencia
10. ¿Qué es lo que vemos cuando observamos un objeto iluminado?
- Solamente sus colores
 - La distancia a la que se encuentra
 - Las imágenes producidas por la reflexión de la luz
11. El valor de la velocidad de la luz más acertado y aceptado actualmente es:
- $c = 33 \times 10_8 \text{ m/s}$
 - $c = 299\,792\,458 \pm 1.2 \text{ m/s}$
 - $c = 300\,000 \text{ Km/s}$
12. El rango de longitudes de onda de la luz visible es:
- Desde $4 \times 10^{-4} \text{ m}$ hasta $7.5 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - Desde $4 \times 10_4 \text{ m}$ hasta $7.5 \times 10_7 \text{ m}$
 - Desde $4.2 \times 10^{-2} \text{ m}$ hasta $6.5 \times 10^{-6} \text{ m}$
13. Las principales características de la luz son:
- Su energía, dirección y sentido
 - Su energía calorífica y transferencia
 - Su propagación rectilínea, reflexión y refracción
14. La teoría moderna sobre la luz sostiene que:
- La luz es radiación electromagnética y transportada en fotones
 - La luz es radiación electromagnética y transportada en un conductor
 - La luz es radiación electromagnética y transportada en un cuerpo sencillo
15. La unidad de flujo luminoso es:
- El lux
 - La candela
 - El lumen

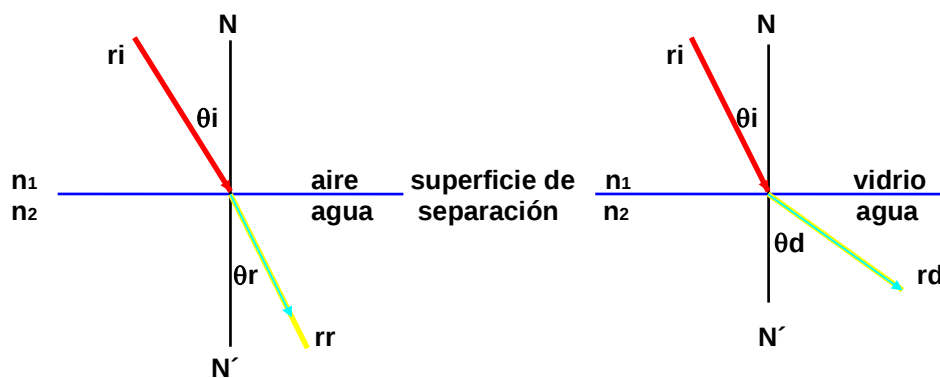
16. La reflexión de la luz debida a una superficie pulida, la llamamos:
- Reflexión especular
 - Reflexión difusa
 - Reflexión variable
17. Es la reflexión responsable de que una superficie se vea:
- Reflexión variable
 - Reflexión difusa
 - Reflexión especular
18. Una de las leyes de la reflexión dice:
- Que el ángulo de incidencia = al ángulo reflejado
 - Que el ángulo de incidencia = a la normal
 - Que el ángulo de incidencia es diferente del reflejado
19. Nuestra imagen al pararnos frente a un espejo plano es:
- Derecha, virtual, del mismo tamaño y a la misma distancia del objeto
 - Derecha, real e invertida
 - Derecha, disminuida y a la misma distancia
20. ¿Por qué decimos que una imagen es virtual?
- Porque aparece con todos los colores
 - Porque parece provenir del interior del espejo
 - Porque se relaciona con la persona

REFRACCIÓN, LENTES Y FORMACIÓN DE IMÁGENES

La causa que origina la refracción de la luz es el cambio en la velocidad de los rayos luminosos al penetrar a un medio de diferente densidad. La desviación que sufre un rayo luminoso dependerá del medio al que pasa. A mayor densidad, el rayo se acerca a la normal (se refracta); si el medio tiene una menor densidad, se aleja de la normal (se deflexta).

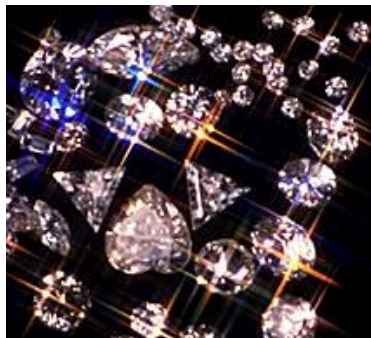
REFRACCIÓN

Es la desviación que sufren los rayos luminosos cuando llegan a la superficie entre dos sustancias o medios de diferente densidad.



refracción (rr se acerca a la normal)

deflexión (rd se aleja de la normal)

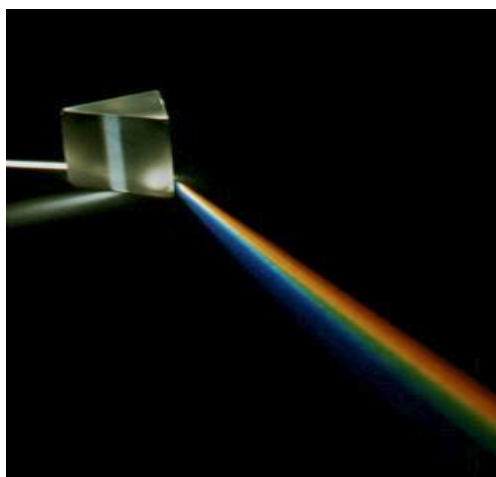


Refracción de la luz en diamantes

LEYES DE LA REFRACCIÓN.

PRIMERA LEY

El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran siempre en el mismo plano.



Espectro de la luz blanca

Muchas fuentes de luz, como el Sol, emiten luz blanca. Esta luz es una mezcla de varios colores: cuando pasa por un prisma, se divide formando un espectro. El prisma desvía (refracta) más o menos la luz de diferentes colores. La luz roja es la menos refractada, y la violeta la más refractada.

SEGUNDA LEY

El producto del índice de refracción del primer medio y el seno del ángulo de incidencia de un rayo es igual al producto del índice de refracción del segundo medio y el seno del ángulo de refracción.

Para cada par de sustancias transparentes, la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción, tiene un valor constante al que le llamamos **índice de refracción**.

ÍNDICE DE REFRACCIÓN (n ó μ)

Es la desviación que sufre la luz cuando pasa del vacío o del aire a cualquier otro medio transparente.

Algebraicamente, el índice absoluto de refracción de un material se define como:

$$n = \frac{\text{velocidad de la luz en el vacío}}{\text{velocidad de la luz en el material}}$$

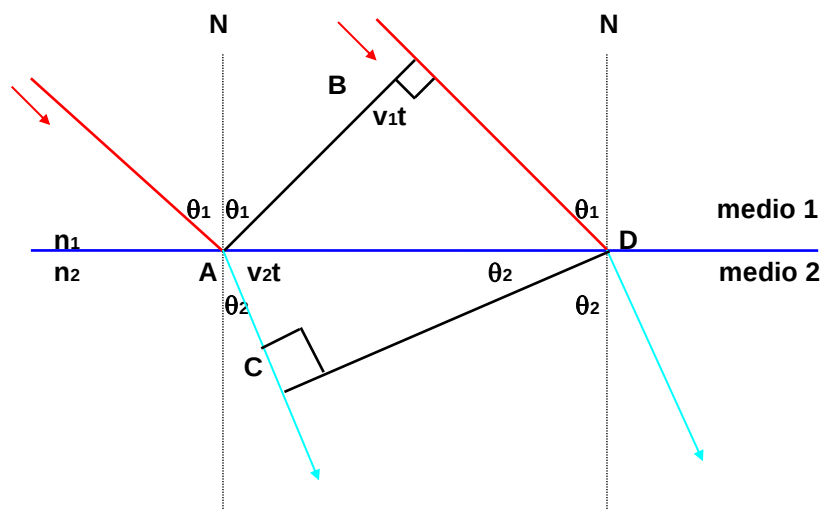
$$n = \frac{c}{v}$$

Para cualquiera de los dos materiales, **el índice relativo de refracción** del material 1, con respecto al material 2, se representa matemáticamente:

$$n_r = \frac{n_1}{n_2}$$

Donde: n_1 y n_2 son los índices de refracción absolutos de los dos materiales transparentes.

La segunda ley de la refracción también se conoce como **ley de Snell**, la cual se deduce en la siguiente figura:



El cambio de dirección de la luz cuando entra a otro medio

El ángulo de incidencia es θ_1 , y el ángulo refractado está dado por θ_2 . En la figura, tenemos que el segundo medio es de una densidad óptica mayor que la del primero ($n_2 > n_1$). Por ejemplo, cuando la luz pasa del agua ($n_1 = 1.33$) al vidrio ($n_2 = 1.5$). La línea AB representa el frente de onda en el tiempo $t = 0$ justo antes de tener contacto con el medio 2. La línea CD representa el mismo frente de onda después del tiempo t necesario para entrar por completo en el medio 2. La luz se propaga de B a D en el medio 1 en el mismo tiempo t requerido por la luz para propagarse de A a C en el medio 2.

Suponiendo que la velocidad v_2 en el segundo medio es menor que la velocidad v_1 en el primero, la distancia AC será más corta que la BD. Estas longitudes están dadas de la siguiente manera:

$$AC = v_2 t \quad BD = v_1 t$$

Con la ayuda de la geometría se puede demostrar que el ángulo BAD es igual que θ_1 , y que el ángulo ADC es igual que θ_2 , lo que se puede observar en la figura. La línea AD forma una hipotenusa que es común a los triángulos ADB y ADC. De la figura deducimos que: dividiendo la primera ecuación entre la segunda se obtiene:

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{v_1 t}{AD}$$

$$\text{sen}\theta_2 = \frac{v_2 t}{AD}$$

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

La razón del seno del ángulo de llegada (θ_1) al seno del ángulo de refracción (θ_2) es igual a la razón de la velocidad de la luz en el medio de llegada entre la velocidad de la luz en el medio de refracción.

Otra fórmula opcional para esta ley puede obtenerse al expresar las velocidades v_1 y v_2 en términos de los índices de refracción de los dos medios. Recordando que:

$$v_1 = \frac{c}{n_1}$$

$$v_2 = \frac{c}{n_2}$$

utilizando estas relaciones en la ecuación anterior, obtenemos:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Tabla de algunos índices de refracción	
Sustancia	Índice de refracción (n)
Aire	1.003
Agua	1.33
Alcohol etílico	1.63
Glicerina	1.47
Sal de roca	1.54
Acrílico	1.49
Cuarzo cristalino	1.54
Fluoruro de magnesio	1.38
Solución azucarada (50 %)	1.42
Sulfuro de carbono	1.63
Diamante	2.42
Vidrio *	1.5 - 1.9
Aceite	1.65
*La variación en el índice, depende de su composición o pureza.	

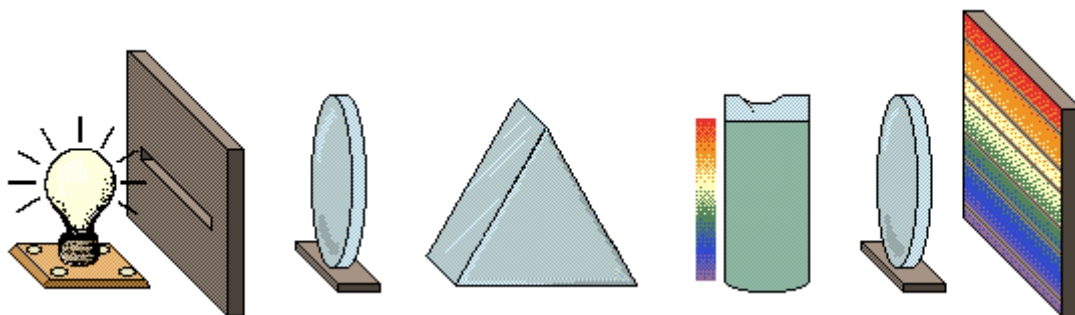
DISPERSIÓN DE LA LUZ.

Este fenómeno físico se puede demostrar haciendo pasar la luz blanca a través de un prisma de vidrio. En virtud de las diferentes velocidades dentro del medio, la velocidad se dispersa en sus colores componentes y se define como:

DISPERSIÓN

Es la separación de la luz en las longitudes de onda que la componen.

Los experimentos han demostrado que la luz blanca es realmente una mezcla que se compone de diferentes colores y la proyección de un haz dispersado, se llama **espectro**.



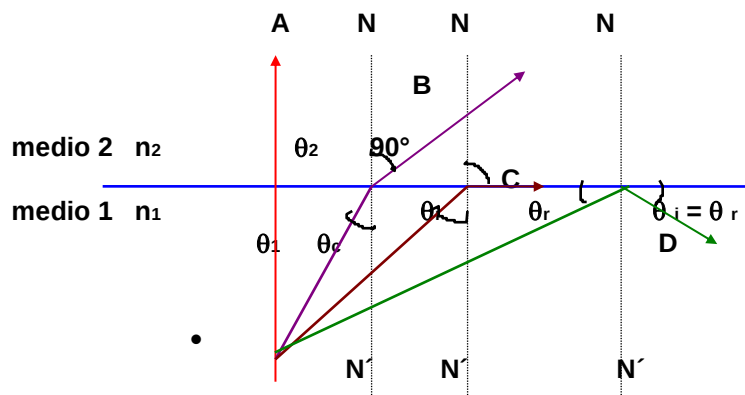
Espectrómetro de absorción

Los espectrómetros son instrumentos que generan, analizan y registran espectros. En la figura anterior se ilustra el uso de un espectrómetro de absorción para determinar el espectro creado por una sustancia desconocida. Las lentes del instrumento enfocan la luz, mientras que un prisma central la divide en el espectro de los colores que la constituyen. Los colores que aparecen en la pantalla representan las longitudes de onda no absorbidas por la muestra.

REFLEXIÓN INTERNA TOTAL.

Si tenemos una fuente de luz dentro de un medio n_1 , como se muestra en la figura, y si consideramos cuatro rayos A, B, C y D, los cuales divergen de la fuente inmersa. El rayo A pasa al medio n_2 ; tanto el ángulo de incidencia como el ángulo de reflexión, son iguales a cero para este caso. El rayo B incide con un ángulo θ_1 y se refracta alejándose de la normal con otro ángulo θ_2 . El ángulo θ_2 es mayor que θ_1 , ya que el índice de refracción del medio 1 es mayor que el medio 2 ($n_1 > n_2$). Conforme aumenta θ_1 , θ_2 también aumenta hasta que el rayo refractado C sale tangente a la superficie. El ángulo de incidencia θ_c por el cual esto ocurre, se conoce como ángulo crítico. El ángulo crítico θ_c es el ángulo de incidencia del medio 1, límite en el medio 2 más denso, el cual da como resultado un ángulo de refracción de 90° .

Un rayo que incida a la superficie de la entrecara, con un ángulo mayor que el ángulo crítico se refleja y vuelve al medio original (medio 1). El rayo D no pasa al medio 2, pero en la entrecara se refleja internamente en forma total.



Con la ley de Snell se puede calcular el ángulo crítico para dos medios dados, como podemos observar en la figura anterior: $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin \theta_2$ donde el ángulo crítico (θ_c) y $\theta_2 = 90^\circ$; simplificando, tenemos que: $n_1 \sin \theta_c = n_2 \therefore$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Ejercicios resueltos.

1. ¿Cuál es el ángulo crítico para una superficie vidrio-aire si el índice de refracción del vidrio es 1.8?

Datos:

$$\theta_c = ?$$

$$n_2 \text{ aire} = 1.0$$

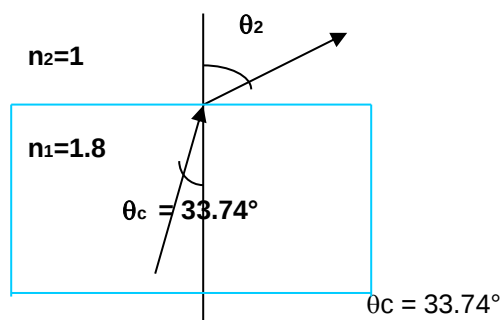
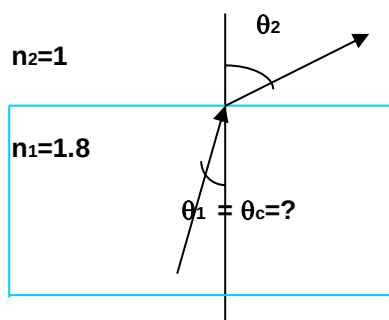
$$n_1 \text{ vidrio} = 1.8$$

Fórmula:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Desarrollo:

$$\sin \theta_c = \frac{1.0}{1.8} = 0.555$$



2. Un rayo de luz en el aire golpea una placa de vidrio ($n = 1.5$) con ángulo de incidencia de 60° con respecto a la normal. Encuentra los ángulos reflejados y refractados. Para el aire ($n = 1.003$).

Datos:

$$n_2 \text{ vidrio} = 1.5$$

$$\theta_1 = 60^\circ$$

$$\theta_r = ?$$

$$\theta_2 = ?$$

$$n_1 \text{ aire} = 1.003$$

Fórmula:

Por la 2ª ley de la reflexión: $\theta_r = \theta_i$ ∴

$$\theta_r = 60^\circ$$

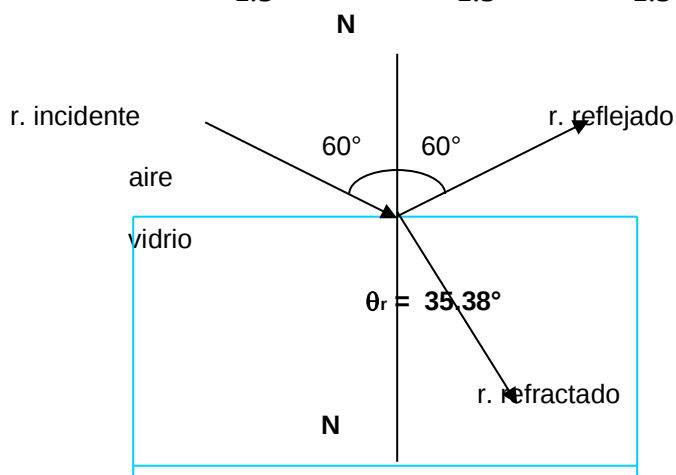
Para la refracción ocupamos la ley de Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \text{ despejando:}$$

$$\frac{n_1 \sin \theta_1}{n_2} = \sin \theta_2$$

Desarrollo:

$$\sin \theta_2 = \frac{1.003(\sin 60^\circ)}{1.5} = \frac{(1.003)(0.866)}{1.5} = \frac{0.8686}{1.5} = 0.579$$



$$\theta_2 = 35.38^\circ$$

3. Tenemos al aire libre una plancha de vidrio cuyo índice de refracción es de 1.526 y sobre ella incide luz con un ángulo de 45° . ¿Con qué ángulo saldrá desviada la luz después de sufrir la refracción en la superficie del cristal, considerando al índice de refracción del aire como 1,0?

Datos:

n_2 vidrio = 1.526

Fórmula:

De la ley de Snell:

Desarrollo:

$$\text{sen} \theta_2 = \frac{1.0(\text{sen} 45^\circ)}{1.526} = \frac{1.0(0.7071)}{1.526} = 0.4634$$

$\theta_i = 45^\circ$

$\theta_r = ?$

n_1 aire = 1.0

$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$

$$\theta_2 = 27.6^\circ$$

$$\frac{n_1 \text{ sen } \theta_1}{n_2} = \text{sen } \theta_2$$

4. Una cantidad de aceite lubricante ($n = 1.65$) se encuentra sobre del agua. Encuentra el ángulo refractado en el agua, si el rayo de luz en el interior del aceite es de 36° .

Datos:

n_1 aire = 1.003

n_2 aceite = 1.65

n_3 agua = 1.33

θ_r agua = ?

θ_i aire = ?

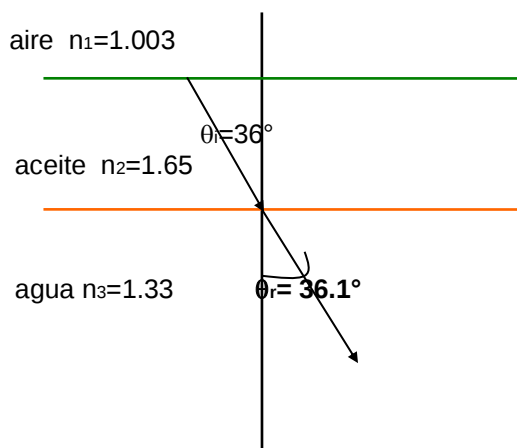
Fórmula:

$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$

Desarrollo:

$$\frac{n_1 \text{ sen } \theta_1}{n_2} = \text{sen } \theta_2$$

$$\text{sen } \theta_3 = \frac{(1.65)(\text{sen} 36^\circ)}{1.33} = \frac{1.65(0.5877)}{1.33} = \frac{0.9698}{1.33} = 0.729$$



$$\theta_3 = 36.1^\circ$$

$$\text{sen } \theta_1 = \frac{(1.65)(\text{sen} 36^\circ)}{1.003} = \frac{1.65(0.5877)}{1.003} = 0.9669$$

$$\theta_1 = 75.23^\circ$$

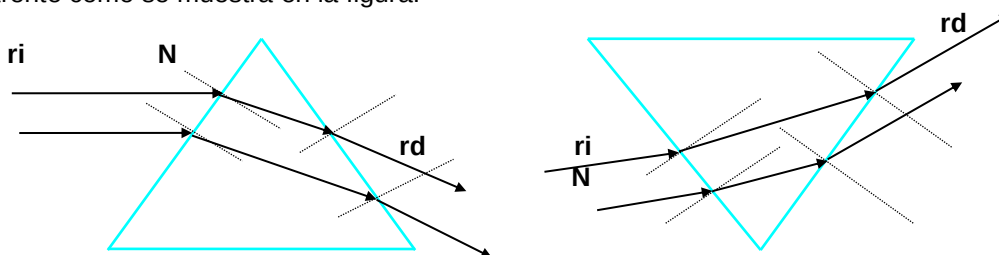
LENTEs.

Para corregir defectos visuales en las personas con **hipermetropía** (*este padecimiento en el ojo se caracteriza porque los rayos paralelos al eje forman su foco atrás de la retina*). Las personas que tienen este padecimiento y no usan lentes, al leer, se alejan el libro.

LENTEs

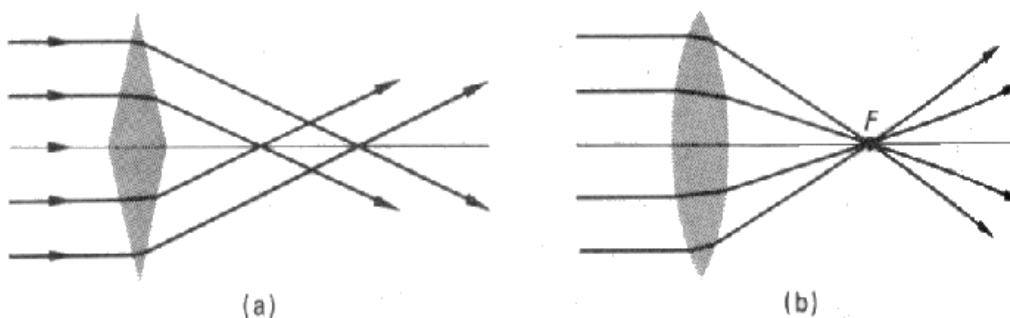
Las lentes son cuerpos transparentes limitados por dos superficies lisas esféricas o una esférica y una plana.

Estas pueden hacer que un haz de luz después de atravesarla se disperse o se refracte y se unan en un punto al que llamamos foco. Las mismas lentes se emplean para desviar los rayos luminosos con base en las leyes de la refracción. Para entender los efectos que produce una lente sencilla al hacerle pasar un rayo de luz, tomaremos como punto de partida la refracción de la luz ocasionada por un prisma transparente como se muestra en la figura:

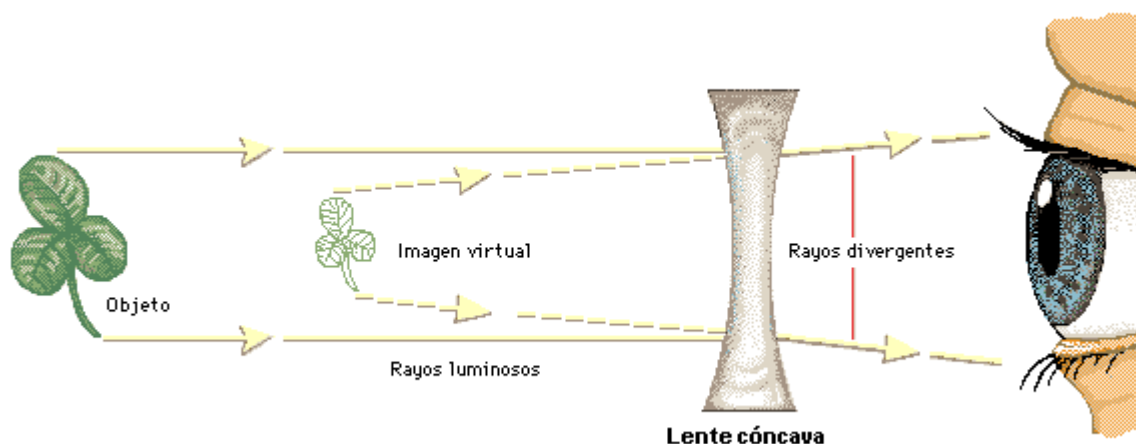


Observemos que los rayos de luz permanecen paralelos ya que tanto la superficie de entrada como la de salida son planas y forman ángulos iguales con todos los haces de luz que pasan por el prisma.

Por consiguiente observamos también que, un prisma solamente altera la dirección de un frente de onda. Si colocamos dos prismas base a base, como se muestra en las siguientes figuras:



Los rayos de luz que inciden en el prisma izquierdo podrán convergir, pero no se enfocarán en un punto. Para que se puedan enfocar en un solo punto, los rayos extremos, deben desviarse más que los centrales. Esto se logra desbastando las superficies de manera que tengan una sección transversal uniformemente curvada, como en la segunda figura.



Lente cóncava

Las lentes cóncavas están curvadas hacia dentro. La luz que atraviesa una lente cóncava se desvía hacia fuera (diverge). A diferencia de las lentes convexas, que producen imágenes reales, las cóncavas sólo producen imágenes virtuales, es decir, imágenes de las que parecen proceder los rayos de luz.

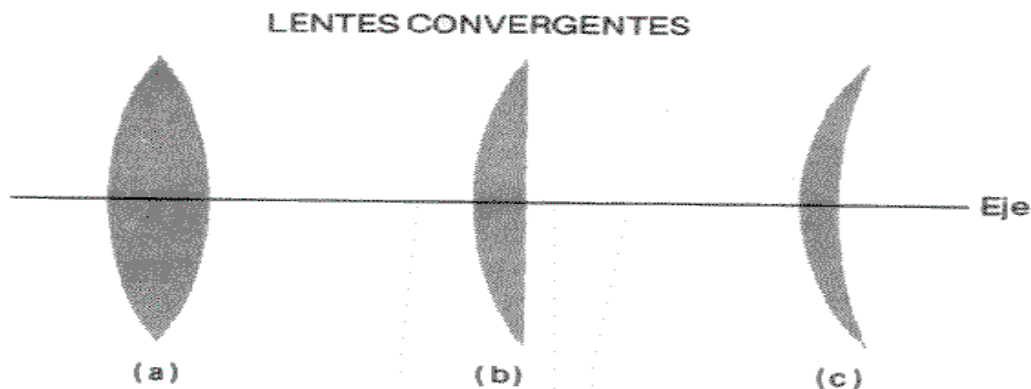
En este caso es una imagen más pequeña situada delante del objeto (el trébol). En las gafas o anteojos para miopes, las lentes cóncavas hacen que los ojos formen una imagen nítida en la retina y no delante de ella.

Las lentes para su estudio se clasifican en convergentes y divergentes.

LENTES CONVERGENTES

También llamadas positivas, son aquellas cuyo espesor va disminuyendo del centro hacia los bordes, por lo cual su centro es más grueso que en las orillas. Éstas tienen la propiedad de desviar los rayos hacia el eje de la lente y hacerlos converger en el foco.

Estas lentes a su vez se clasifican en biconvexas (a), plano convergentes (b) y menisco convergentes (c).

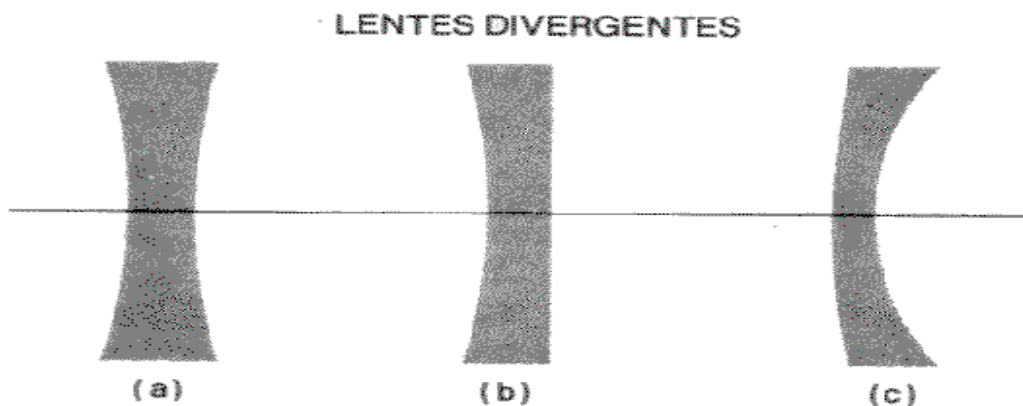


A las lentes convergentes las utilizamos para obtener imágenes reales de los objetos, como en las cámaras fotográficas, en los proyectores de cine, en los sistemas amplificadores de imágenes ópticas de los microscopios.

LENTES DIVERGENTES

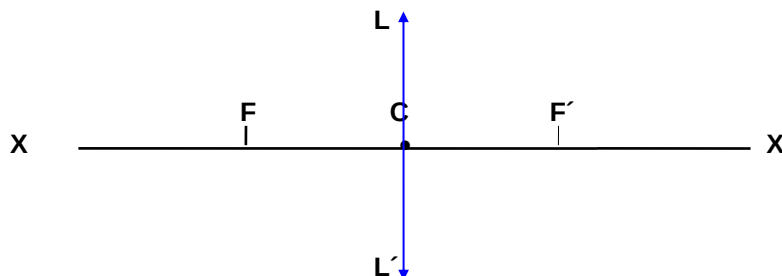
Llamadas también negativas, son aquellas en que el espesor disminuye de los bordes hacia el centro, con esto los extremos son más gruesos y desvían los rayos hacia el exterior, alejándolos del eje óptico de la lente.

Estas lentes divergentes se usan para corregir **la miopía, que se caracteriza en los ojos enfermos, por tener una curvatura excesiva en el cristalino, con esto las imágenes se forman delante de la retina**. Las personas miopes tienen que acercarse mucho el libro o lo que estén leyendo, si no usan lentes.



Partes principales de una lente.

En la siguiente figura observamos las principales partes de una lente que son: **el eje principal** (xx'), es una recta que pasa por **el centro óptico** y por **los focos**; el plano central de la lente ó **plano óptico** (LL'), es la línea perpendicular al eje principal; **el centro óptico** (C), es el cruce de las dos líneas anteriores, cuando un rayo luminoso pasa por él no sufre ninguna desviación; el foco principal (F), es el punto donde se cruzan los rayos que llegan a la lente en forma paralela al eje principal, esta es la distancia focal y es aquella entre el centro óptico y el foco.



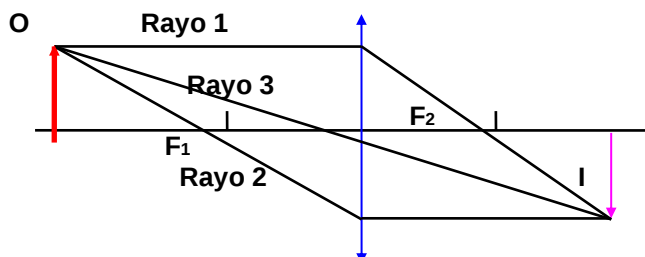
Representación gráfica de las partes de una lente

En las lentes convergentes, un rayo luminoso que pase paralelamente a su eje principal, al refractarse, pasará por el foco principal. En las lentes divergentes, el rayo que pase paralelamente al eje principal, al refractarse se separará como si procediera de un foco principal.

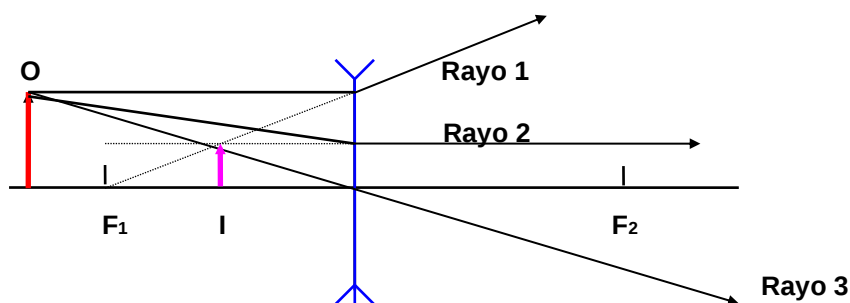
FORMACIÓN DE IMÁGENES.

Las imágenes formadas de un objeto por las lentes delgadas mencionadas anteriormente, se encuentran gráficamente en forma parecida de como se obtuvieron las imágenes en los espejos, con la diferencia en las lentes de que los rayos de luz, se refractan y no se reflejan como en los espejos.

En las siguientes figuras observaremos los rayos principales a través de una lente, para la formación de imágenes tanto en lentes convergentes como en divergentes:



Rayos principales en la formación de una imagen empleando una lente convergente.



Rayos principales en la formación de una imagen empleando una lente divergente.

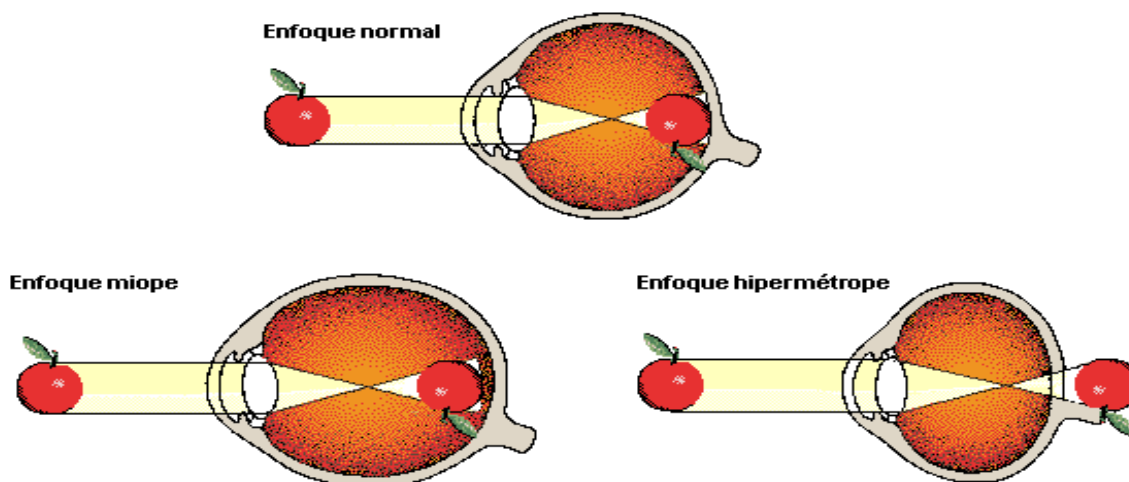
Rayo 1. En la lente convergente, el rayo paralelo al eje principal, se hace pasar por el foco 2. En la lente divergente, el rayo parece provenir del foco 1.

Rayo 2. Este rayo pasa por el foco 1, refractándose en la lente, prosiguiendo en forma paralela al eje principal, en la lente convergente. Para la lente divergente, se refracta paralelamente al eje principal.

Rayo 3. El rayo que pasa por el centro geométrico de la lente no se desviará.

La intersección de estos rayos y sus extensiones que vienen de un punto, de un objeto, representan la imagen de ese punto.

Las lentes convergentes forman imágenes invertidas y reales de objetos que se encuentran fuera del foco principal. Cuando el objeto se localiza entre el foco principal y la lente, la imagen es virtual (y del mismo lado en que se encuentra el objeto), derecha y montada. Las lentes divergentes solo producen imágenes virtuales, derechas y disminuidas.



Funcionamiento del ojo y visión estereoscópica

Los rayos de luz que entran en el ojo son refractados, o reflejados, al pasar por el cristalino. En una visión normal, los rayos de luz se enfocan justo sobre la retina. Si el globo ocular es demasiado ancho, la imagen se enfoca más cerca que la posición donde está la retina. Esto se llama miopía, es decir, una persona corta de vista que no distingue con claridad los objetos distantes. La condición contraria se llama hipermetropía; se produce cuando los globos oculares son demasiado estrechos. En este caso, una imagen enfocada de forma correcta queda detrás de la retina.

Estas condiciones también se pueden dar si los músculos oculares son incapaces de variar la forma del cristalino para que enfoquen los rayos de luz de forma correcta.

Los seres humanos son capaces de enfocar un objeto con ambos ojos. Este tipo de visión, llamada visión estereoscópica, es importante ya que permite la percepción de la profundidad. Además de los seres humanos, todos los vertebrados depredadores tienen visión estereoscópica.

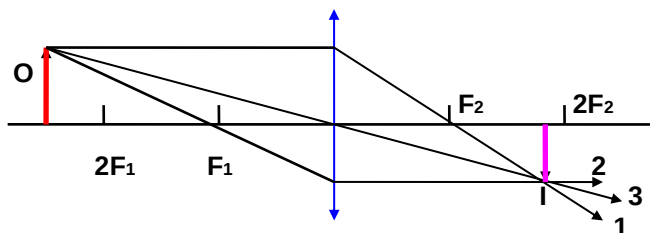
Ojo de un pulpo



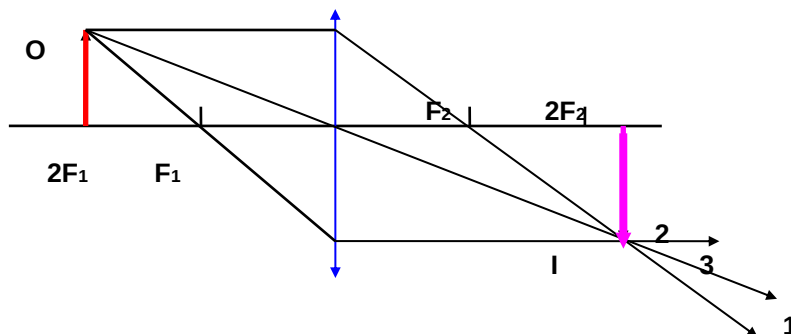
El pulpo tiene el ojo más desarrollado de todos los invertebrados. Su estructura y función son muy similares a las de los ojos de los vertebrados superiores como peces, mamíferos y seres humanos.

Ejemplos de imágenes formadas por una lente convergente, y la divergente:

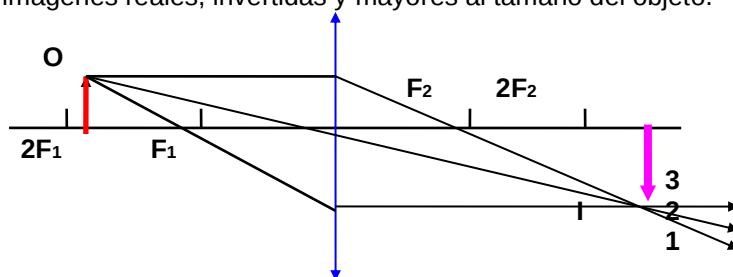
- a) Cuando el objeto se encuentra más allá del doble de la longitud focal, tenemos una imagen real, invertida y disminuida.



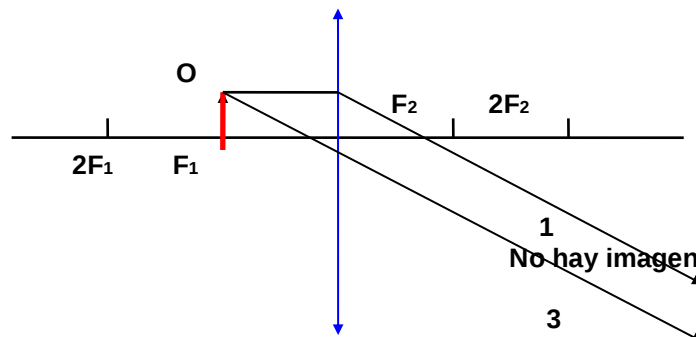
- b) Localización de un objeto a una distancia igual al doble de la longitud focal. En este caso se tiene una imagen real, invertida, y del mismo tamaño que el objeto.



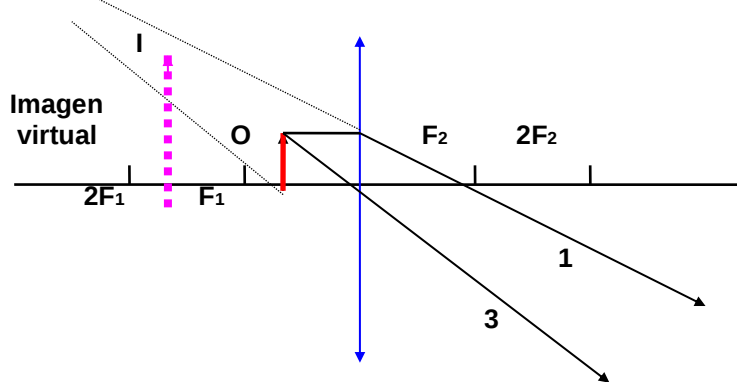
- c) Un objeto localizado a una distancia comprendida entre una y dos longitudes focales de la lente. En este caso se forman imágenes reales, invertidas y mayores al tamaño del objeto.



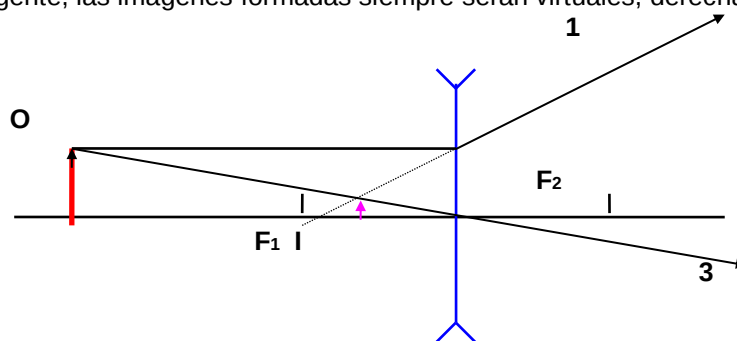
- d) Si colocamos el objeto en el primer punto focal F_1 , no se forma imagen, porque los rayos refractados son paralelos.



- e) Si colocamos al objeto dentro del primer punto focal, se forma una imagen virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto.



En una lente divergente, las imágenes formadas siempre serán virtuales, derechas y disminuidas.



Algunas veces es frecuente emplear lentes divergentes para reducir el efecto de lentes convergentes.

ECUACIÓN DE LAS LENTES Ó RELACIÓN OBJETO-IMAGEN.

También pueden determinarse las características, tamaño y colocación de las imágenes, tanto en lentes convergentes como en lentes divergentes, analíticamente mediante la ecuación de las lentes. La deducción es parecida al procedimiento que se utilizó, para encontrar la ecuación de los espejos, y la forma final es igual. Algebraicamente la ecuación es la siguiente:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Donde: p = es la distancia de la lente al objeto (m)

q = la distancia de la lente a la imagen (m)

f = la longitud focal de la lente (m)

Las mismas convenciones de signos que se establecieron en los espejos, se pueden usar en las lentes, comparando las lentes convergentes y divergentes con los espejos convergentes y divergentes. Además, se considera que las lentes son delgadas y los rayos de luz son paraxiales. Entonces, tenemos que:

- p es positiva para un objeto real y negativa para un objeto virtual.
- q es positiva para una imagen real y negativa para una imagen virtual.
- f es positiva para una lente convergente y negativa para una lente divergente.

También, la amplificación lineal la representamos de la siguiente manera:

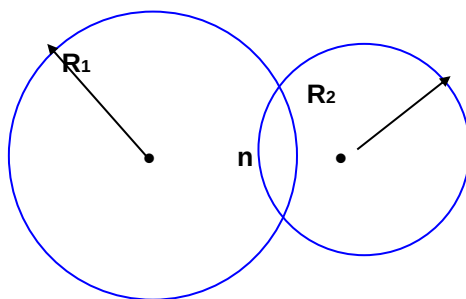
$$\text{Amplificación lineal} = \frac{\text{tamaño de la imagen}}{\text{tamaño del objeto}} = \frac{\text{dis tan cia entre la imagen y la lente}}{\text{dis tan cia entre el objeto y la lente}}$$

Recordando que el aumento lateral es M y se define como la razón del tamaño de la imagen y' al tamaño del objeto y , entonces:

$$M = \frac{y'}{y} = -\frac{q}{p}$$

ECUACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE LENTES.

Para las lentes la longitud focal f no es igual a la mitad del radio de curvatura, como en los espejos esféricos, éste depende del índice de refracción n del material del cual está hecha. Otro aspecto que determina la longitud focal, son los radios de curvatura R_1 y R_2 de sus superficies, como se muestra en la siguiente figura.



Para las lentes delgadas, las cantidades anteriores, se relacionan con la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Donde: f es la longitud focal (m)

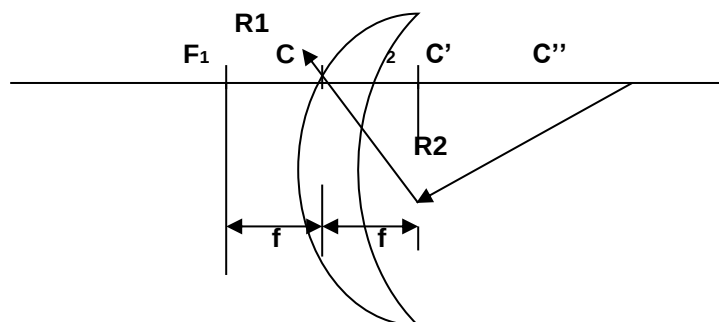
n es el índice de refracción del material de que está hecho la lente (constante)

R_1 y R_2 son los radios de curvatura de las caras de la lente (m)

Esta ecuación para la fabricación de lentes se aplica de igual manera para lentes convergentes como divergentes, tomando en consideración la siguiente convención de signos:

El radio de curvatura R_1 ó R_2 son positivos si la superficie se encuentra curvada hacia afuera (convexa) y negativo cuando la superficie está curvada hacia adentro (cóncava).

La longitud focal f en una lente convergente es positiva, y la de una lente divergente, es negativa. Observa la siguiente figura.



Cuando una lente con índice de refracción n_1 se sumerge en un material con índice n_2 , entonces n_1 en la ecuación para la fabricación de lentes, se debe sustituir por n_1/n_2 .

El resultado que se obtiene de las ecuaciones anteriores es que, si se cambia la curvatura de la lente, varían el tamaño y la posición de la imagen. Esto se logra mientras no se cambie al objeto ni la distancia entre éste y la lente. Ahora, esto es importante ya que lo que determina las propiedades ópticas de las lentes, es la **potencia óptica**, la cual se define en términos de f de la siguiente manera:

POTENCIA ÓPTICA DE LALENTE

Es el recíproco de la distancia focal de la misma lente.

Y su unidad de medida es **la dioptría**, la cual se define como:

Es la potencia de una lente cuya distancia focal es igual a un metro.

Por ejemplo, una lente de 1 dioptría tiene una distancia focal de 1 m, y una de 2 dioptrías tiene una distancia focal de 0.5 m. La relación entre la distancia focal y el diámetro de una lente determina su capacidad para recolectar luz o luminosidad.

La potencia óptica de la lente es positiva para las lentes convergentes y negativa para las divergentes, igual que la distancia focal.



Lentes de contacto

El primero en proponer el uso de lentes de contacto para corregir los defectos de la visión fue Leonardo da Vinci en 1508. Casi cuatro siglos después se fabricaban en Alemania las primeras lentes de contacto con un cristal que recubría toda la superficie del ojo. Las lentes de contacto actuales aparecieron en la década de 1940. Hoy, mucha gente las prefiere a las gafas o anteojos, sobre todo por motivos estéticos, aunque estas últimas ofrecen una protección mayor a los ojos.

Ejercicios resueltos:

1. Un objeto O de 6 cm de alto, está a 25 cm frente a una lente convexa, de longitud focal +16 cm. Calcula algebraicamente la posición y la altura de la imagen I.

Datos:

O = 6 cm
p = 25 cm
f = +16 cm
q = ?
I = ?

Fórmula

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \therefore \frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$

Desarrollo

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{16\text{cm}} - \frac{1}{25\text{cm}} = \frac{25\text{cm} - 16\text{cm}}{400\text{cm}^2} = \frac{9\text{cm}}{400\text{cm}^2} \therefore \frac{1}{q} = \frac{9\text{cm}}{400\text{cm}^2}$$

Despejando q :

$$\frac{1}{\frac{9\text{cm}}{400\text{cm}^2}} = q \therefore q = \frac{400\text{cm}^2}{9\text{cm}}$$

$$q = 44.44\text{ cm}$$

$$M = \frac{q}{p}$$

$$M = \frac{44.44\text{cm}}{25\text{cm}}$$

$$M = 1.78 \text{ veces}$$

$$I = M O$$

$$I = (1.78)(6\text{cm})$$

$$I = 10.67\text{ cm}$$

2. Un objeto O de 10 cm de alto, está a 29 cm frente a una lente cóncava de longitud focal -19 cm. Encuentra la posición y la altura de su imagen.

Datos:

O = 10 cm
p = 29 cm
f = -19 cm
q = ?
I = ?

Fórmula:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \therefore \frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$

Desarrollo:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{-19\text{cm}} - \frac{1}{29\text{cm}} = \frac{29\text{cm} - (-19\text{cm})}{-551\text{cm}^2} = \frac{48\text{cm}}{-551\text{cm}^2}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{48\text{cm}}{-551\text{cm}^2} \therefore 1 = \frac{48\text{cm}}{-551\text{cm}^2} q \therefore q = \frac{-551\text{cm}^2}{48\text{cm}}$$

$$q = -11.47\text{ cm}$$

$$M = \frac{q}{p}$$

$$M = \frac{-11.47\text{cm}}{29\text{cm}}$$

$$M = -0.395 \text{ veces}$$

$$I = OM$$

$$I = (10\text{cm})(0.3958)$$

$$I = -3.958\text{ cm}$$

3. Una lente con dos caras convexas tiene radios de 20 y 22 cm. Cuando un objeto se encuentra a 25 cm de la lente, se forma una imagen real a 33 cm de la lente. Determina el índice de refracción del material de la lente.

Datos:

$$R_1 = 20 \text{ cm}$$

$$R_2 = 22 \text{ cm}$$

$$p = 25 \text{ cm}$$

$$q = 33 \text{ cm}$$

$$n = ?$$

$$f = ?$$

Fórmula:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Desarrollo:

$$\frac{1}{25 \text{ cm}} + \frac{1}{33 \text{ cm}} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{33 \text{ cm} + 25 \text{ cm}}{825 \text{ cm}} = \frac{58 \text{ cm}}{825 \text{ cm}}$$

$$f = \frac{825}{58} = 14.22 \text{ cm} \quad \mathbf{f = 14.22 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{f} = n - 1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{14.22 \text{ cm}} = n - 1 \left(\frac{1}{20 \text{ cm}} + \frac{1}{22 \text{ cm}} \right)$$

$$0.0703 \text{ cm} = n - 1 (0.05 \text{ cm} + 0.045 \text{ cm})$$

$$0.0703 \text{ cm} = n - 1 (0.095 \text{ cm})$$

$$\frac{0.0703 \text{ cm}}{0.095 \text{ cm}} = n - 1$$

$$0.74 = n - 1$$

$$0.74 + 1 = n$$

$$\mathbf{n = 1.74}$$

Ejercicios propuestos:

1. Una capa de aceite ($n = 1.45$) flota sobre el agua ($n = 1.33$), un rayo de luz incide sobre la capa de aceite con una inclinación de 60° . ¿Cuál será el ángulo de inclinación del rayo de luz en el agua?

$$\mathbf{R. \theta_2 = 70.76^\circ}$$

2. ¿Cuál es el ángulo crítico para la luz que pasa del vidrio ($n = 1.58$) al agua?

$$\mathbf{R. \theta_c = 57.32^\circ}$$

3. Un objeto O, de 6 cm de alto, está a 22 cm frente a una lente convexa delgada de longitud focal de +15 cm. Encuentra la posición y la altura de su imagen.

$$\mathbf{R. q = 47.12 \text{ cm}, M = 2.14 \text{ veces e } l = 12.85 \text{ cm}}$$

4. ¿Cuál será la altura y el tipo de imagen, de un objeto O de 9 cm de altura, colocado a 27 cm de una lente cóncava, con una distancia focal de -18 cm?

$$\mathbf{R. Virtual de 3.6 \text{ cm de alto}}$$

5. ¿Cuál será la distancia focal de una lente que combina una lente con cara convexa de radio de curvatura 20 cm y la otra lente con cara de curvatura cóncava de 40 cm, si el índice de refracción del vidrio es de 1,54?

$$\mathbf{R. f = 74.1 \text{ cm}}$$

INSTRUMENTOS ÓPTICOS.

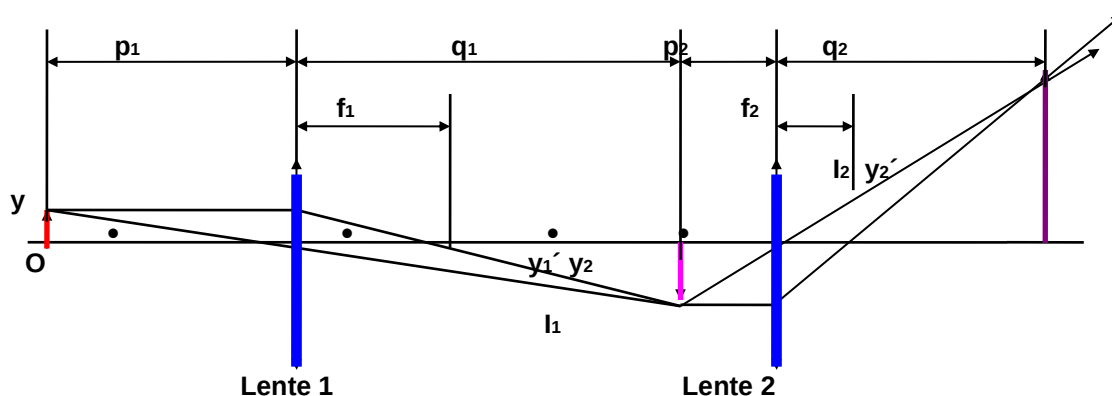
Combinación de lentes delgadas. Para localizar la imagen que se produce cuando la luz pasa por la combinación de dos o más lentes, esta acción combinada, se determina de la siguiente manera:

Primero. Calcula la posición de la imagen construida por la primera lente, sin tomar en cuenta la segunda lente.

Segundo. La imagen obtenida se considera ahora, como objeto para la segunda lente, y localiza la imagen producida por la segunda lente; la imagen obtenida es la requerida en la combinación establecida, y así sucesivamente.

Nota: Si la imagen formada por la primera lente está en la parte posterior de la segunda lente, entonces tenemos como resultado que la imagen es un objeto virtual para la segunda lente y por lo tanto, la distancia de ésta es considerada negativa.

En la siguiente figura tenemos un ejemplo de esta combinación. La lente 1 forma una imagen real e invertida I_1 del objeto O . Si esta imagen localizada a la mitad de las dos lentes se considera como objeto real para la lente 2, la imagen final I_2 será real, derecha y aumentada. Para encontrar analíticamente la imagen final de las dos ó más lentes, aplicamos la ecuación de las lentes, en forma sucesiva.



La ampliación total obtenida por una combinación de lentes, es el producto de los aumentos producidos por cada lente en el sistema. Las ampliaciones en esta situación son:

$$M_1 = \frac{y_1'}{y_1} \quad M_2 = \frac{y_2'}{y_2}$$

Como $y_1' = y_2$ el producto de $M_1 M_2$ da como resultado: $\frac{y_1' y_2'}{y_1 y_2} = \frac{y_2'}{y_1}$

Pero $\frac{y_2'}{y_1}$ es la ampliación M total, por lo tanto, en forma general esta ecuación se escribe:

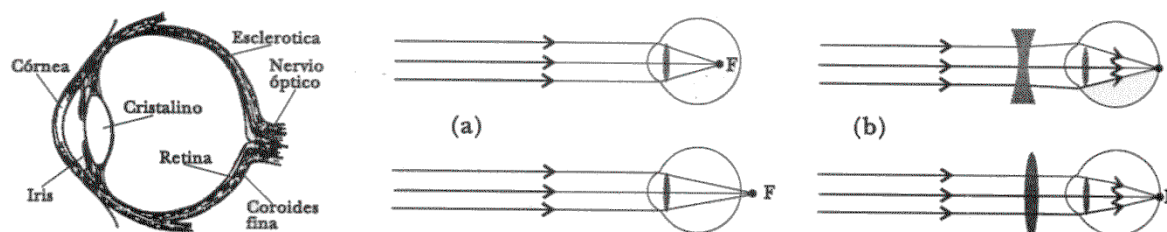
$$M = M_1 M_2$$

EL OJO HUMANO.

Este es considerado como un sistema óptico perfecto. Su tamaño es de aproximadamente 2.5 cm de diámetro y está constituido por una lente convergente a la cual llamamos cristalino, que tiene un índice de refracción de 1.4 aproximadamente, este lente proyecta una imagen real, disminuida e invertida. En el iris tiene un orificio que es la pupila, que realiza el papel de diafragma, el cual regula la cantidad de luz que penetra en el ojo, de tal manera que cuando la iluminación es intensa la pupila se contrae, cerrándose; mientras que si la iluminación es débil, se dilata, abriéndose. Otra parte del ojo es la córnea, que es una membrana con una curvatura normalmente mayor que la del cristalino, y es ahí donde la luz sufre la primera refracción, antes de llegar al cristalino. La imagen se forma en la retina, la cual está formada de células fotosensibles, las cuales reaccionan ante las distintas intensidades y colores de la luz que inciden sobre ella y manda una proyección invertida de lo que observamos, al cerebro, mismo que las interpreta en forma de imagen; mediante el nervio óptico llegan al mismo, y ya en el cerebro se cambia la imagen invertida a su posición correcta.

Las imágenes en un ojo sano se forman en la retina, pero algunas veces se forman antes o después de la misma, esto se debe a malformaciones oculares o curvaturas inadecuadas de la córnea y cristalino. A la distancia mínima con la que se debe ver con claridad, se llama distancia óptima de visión y para una persona normal debe de ser igual a 25 cm. Cuando esta distancia es menor a los 25 cm, la persona sufre de miopía y en el caso contrario sufre hipermetropía. La forma de corregir estos defectos es con lentes que dispersen o concentren la luz en la retina. Otra enfermedad es el astigmatismo, originado por imperfecciones en el cristalino, el cual no refracta correctamente los rayos luminosos.

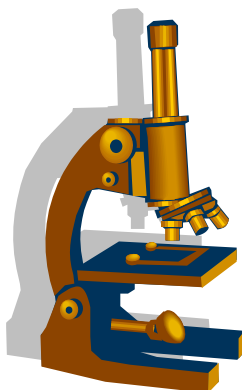
Es muy importante señalar que el consumo de alcohol o drogas produce una visión borrosa o doble y puede provocar daños irreversibles en los nervios ópticos.



Miopía e hipermetropía

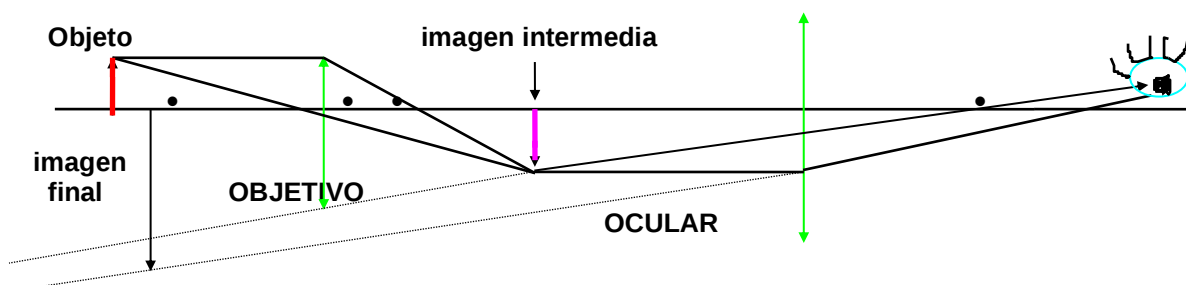
EL MICROSCOPIO.

Es un aparato que consta de dos lentes convergentes de alta potencia óptica. El primero tiene una longitud focal pequeña y se llama objetivo. Este logra una gran ampliación y forma una imagen real e invertida del objeto observado. En la segunda lente la imagen es ampliada aún más por el ocular, que forma una imagen virtual final. Generalmente se dispone de varios oculares, cada uno de ellos lleva grabado el aumento que produce: $\times 10$, $\times 100$, $\times 1000$, etc. El aumento total es logrado gracias al producto de los aumentos del objetivo y el ocular.



Microscopio

En la siguiente figura observaremos la imagen formada por una combinación de lentes, en un microscopio compuesto.



Actualmente, existe un ultramicroscopio cuyo aumento es de 10 mil veces el tamaño del objeto observado. Y se cuenta también con el microscopio electrónico, que es más potente que el microscopio óptico porque su ampliación llega a los 100 mil diámetros. En este aparato, los rayos luminosos son substituidos por haces de electrones.

EL TELESCOPIO.

Este nombre se les da a los instrumentos que sirven principalmente para observar a los astros. Existen dos tipos de telescopios: los refractores y los reflectores.



El sistema óptico en un telescopio de refracción es básicamente el mismo que el microscopio. Los dos aparatos emplean un ocular para ampliar la imagen producida por el objetivo, sólo que un telescopio se utiliza para examinar grandes objetos distantes y el microscopio para objetos pequeños y cercanos. El objetivo consta de una lente convergente que recoge la luz y proyecta una imagen real al otro extremo; ésta es enfocada y ampliada por el ocular que está formado por un sistema de lentes convergentes, con las cuales es posible apreciar de cerca a los objetos lejanos.

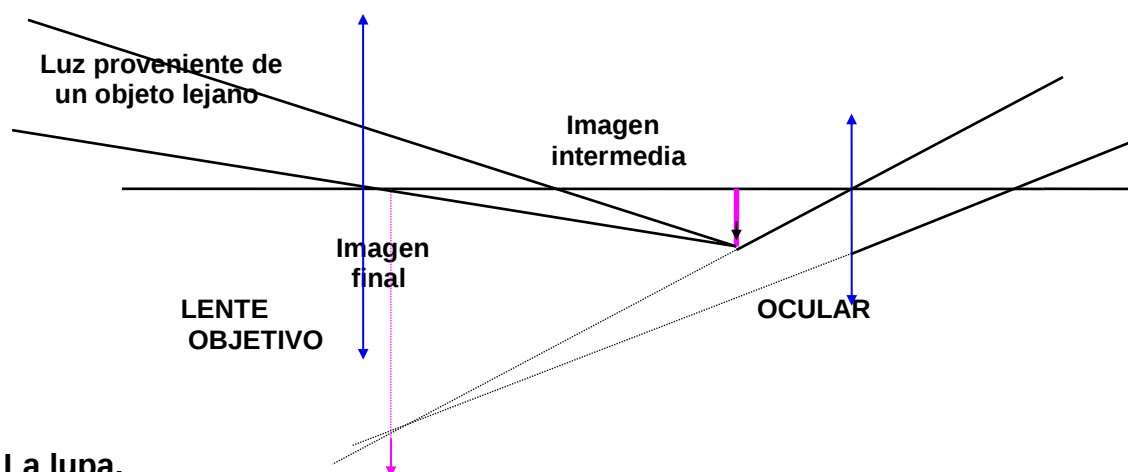
Telescopio espacial *Hubble*



El telescopio espacial Hubble, libre de los efectos deformantes de la atmósfera terrestre, tiene una visión sin precedentes de las galaxias lejanas. Fue puesto en órbita en 1990, pero poco después de que el telescopio entrase en funcionamiento los científicos descubrieron que su espejo principal de 240 cm estaba mal construido. Sin embargo, fue reparado en diciembre de 1993 por los astronautas de una lanzadera espacial.

Telescopio reflector.

En este instrumento, el objetivo es un espejo cóncavo, parabólico, que refleja los rayos luminosos y los concentra en un foco; cercano a él, un espejo pequeño los desvía para que la imagen real se forme fuera del tubo en un punto en el que sea posible observarla desde el exterior. En la siguiente figura se muestra un telescopio de refracción.



La lupa.



Es una lente convergente utilizada para formar una imagen virtual, derecha y ampliada de un objeto colocado dentro de su distancia focal. También una lupa es una lente convexa grande empleada para examinar objetos pequeños. La lente desvía la luz incidente de modo que se forma una imagen virtual ampliada del objeto (en este caso un hongo) por detrás del mismo

La cámara fotográfica.

Aparato óptico que está formado por una lente convergente colocada al frente de una caja cerrada y que permite el paso de la luz que imprime una placa fotográfica colocada en la pared posterior de la cámara. En la placa se produce una reacción química que fija la imagen real del objeto, en forma invertida. La cantidad de luz que llega a la película es controlada por un obturador y un regulador de tiempo.



Cámara instantánea Polaroid

La cámara Polaroid, o instantánea, produce una imagen acabada instantes después de la exposición. Aunque la mayoría de los modelos son algo más grandes que las cámaras normales, la ventaja del sistema está en el resultado cómodo y rápido. Utiliza una película especial que está conjuntamente diseñada con la cámara y para ser revelada por ésta, lo cual representa una de las más recientes revoluciones químicas en la fotografía.

ÓPTICA ONDULATORIA

Nuestro entorno está lleno de movimientos ondulatorios, como son las ondas en la superficie del agua, las de la luz, del sonido, las electromagnéticas, etc. Al inicio de ésta unidad se analizó el movimiento ondulatorio desde el punto de vista de la óptica geométrica, donde el aspecto direccional de los rayos de luz fue quien determinó la formación de imágenes en los espejos y las lentes.

Pero, ahora, en esta parte de la óptica se estudiarán tres fenómenos, que la teoría corpuscular de Newton no puede explicar. Los tres fenómenos son la **interferencia, la difracción y la polarización**. Estos fenómenos en estudio son producidos por ondas longitudinales y transversales, aunque la polarización solo es explicada por ondas de tipo transversal.

Algo que no debemos olvidar es el hecho de que la luz es dual, pues en algunas ocasiones presenta propiedades de partículas y en otras se comporta como onda. Los tres fenómenos mencionados en líneas anteriores demuestran que la luz tiene naturaleza ondulatoria; estudios más actuales han demostrado también que la polarización, a diferencia de las ondas sonoras, es producida por ondas transversales en lugar de longitudinales.

En esta parte de la unidad, los fenómenos antes mencionados, se estudiarán y se conceptualizarán a partir de la óptica física.

DIFRACCIÓN

Cuando una onda de luz pasa por una abertura o por el borde de un obstáculo opaco, ésta se deflexiona un poco hacia la región que no está expuesta directamente a la luz, a este fenómeno físico luminoso, se le llama difracción, que significa roto o quebrado.

DIFRACCIÓN

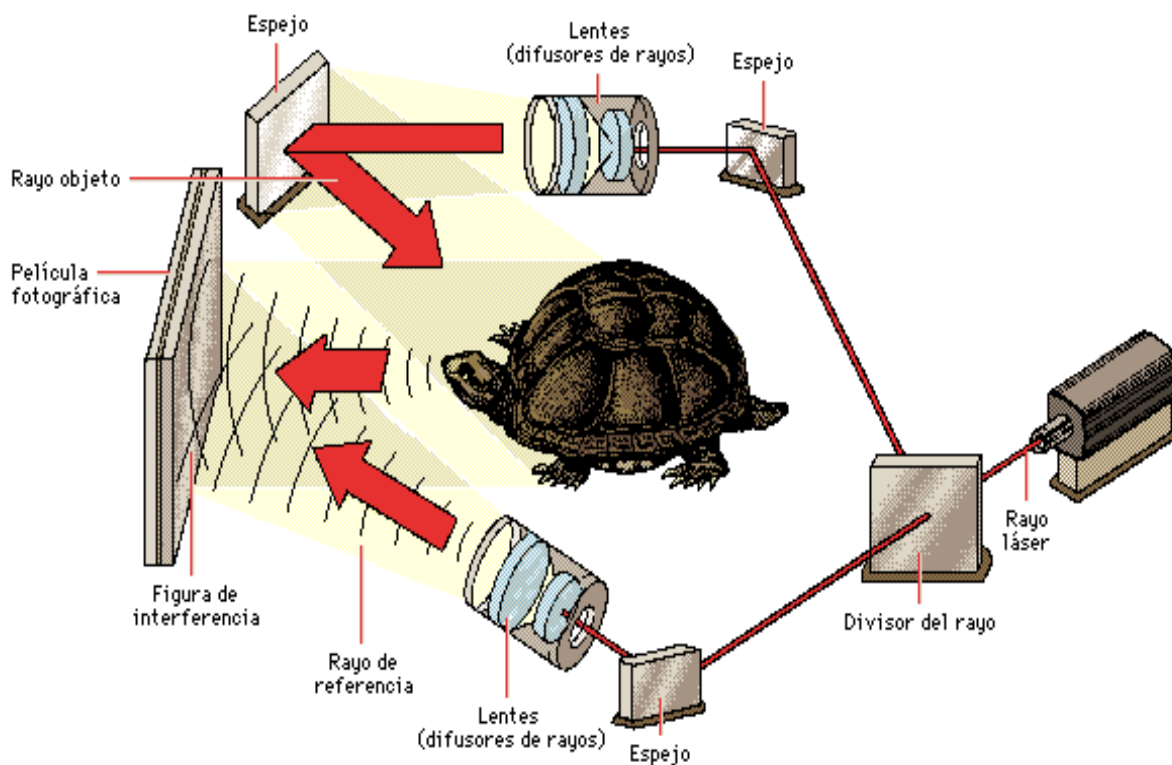
Es la capacidad que tienen las ondas de deflectarse, propagarse o cambiar de dirección alrededor de los obstáculos opacos en su trayectoria, o de los bordes de un orificio.

Gracias a este fenómeno podemos escuchar sonidos que se han producido por una fuente localizada detrás de un obstáculo.

La difracción de la luz depende del tamaño del obstáculo y de la longitud de onda. Entonces si reducimos el tamaño del obstáculo, las ondas prácticamente lo bordean; y si la onda es pequeña con respecto al obstáculo, tendremos una sombra o una región sin ondas detrás de él.

Al desviar la luz de su trayectoria rectilínea, da origen a los patrones de difracción, los cuales hacen que las orillas de las sombras se vean borrosas, limita el tamaño de los detalles a observar y también limita la precisión de las mejores medidas.

Para entender mejor la deflexión de las ondas, consideremos ¿qué pasa cuando ondas planas en el agua inciden en una abertura angosta de una barrera?; sucede que las ondas planas se reflejan en la barrera, pero al llegar al orificio, éstas pasan por el mismo, saliendo al otro lado en forma de ondas circulares, como se muestra en la siguiente figura. El punto donde salen las nuevas ondas parece ser una nueva fuente de las mismas.

**Aplicación de la difracción**

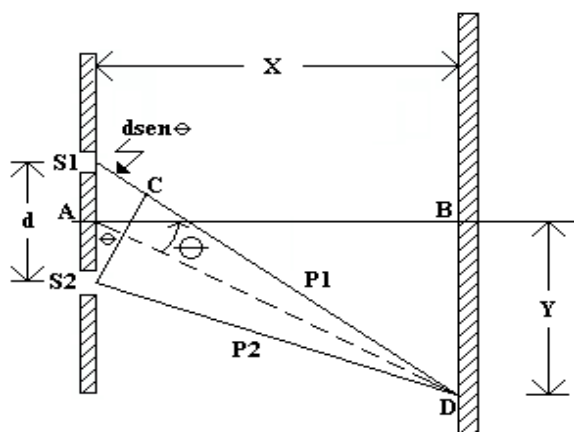
Los hologramas se confeccionan exponiendo un fragmento de película a la luz de un láser, que sufre una dispersión por el objeto que se desea reproducir. La película también se expone a la luz que

procede directamente del láser (el haz de referencia). Los dos haces de luz interfieren al incidir sobre la película, ya que siguen trayectorias diferentes y ya no están en fase entre sí.

La película registra este patrón de interferencia, que constituye el holograma. Para reconstruir (ver) la imagen, se ilumina el holograma con un haz de luz, que sufre **difracción** en el patrón de interferencia sobre la película. Esto reproduce el modelo original del objeto en tres dimensiones.

En conclusión, por su comportamiento ondulatorio, la luz se difracta y se convierte en una fuente emisora secundaria cuando incide en las orillas de los obstáculos opacos o cuando pasa por aberturas muy pequeñas, cuyo tamaño es parecido a su longitud de onda (λ).

Ecuación de la difracción por una reja (rendija doble).



Representación esquemática del experimento de doble rendija, para determinar la ecuación de la difracción

$$\Delta P = P_1 - P_2 = d \sin \theta$$

Para la interferencia constructiva en D será cuando la diferencia en la longitud de

onda sea: $0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots n\lambda$.

Por lo que: para las franjas brillantes:

$$d \sin \theta = n\lambda \quad n = 0, 1, 2, 3$$

Para las franjas oscuras en D:

$$d \sin \theta = n \frac{\lambda}{2} \quad n = 1, 3, 5$$

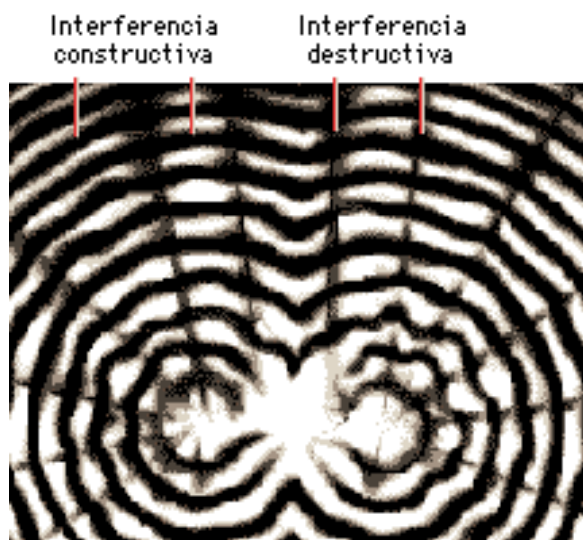
Como para ángulos pequeños:

$$\sin \theta = \tan \theta = \frac{Y}{X}$$

$$\text{Para franjas brillantes:} \quad \frac{Yd}{X} = n\lambda \quad : \quad n = 0, 1, 2$$

$$\text{Para franjas oscuras:} \quad \frac{Yd}{X} = n \frac{\lambda}{2} \quad n = 1, 3, 5$$

La manifestación de la difracción generalmente trae como consecuencia al fenómeno de la interferencia.



Interferencia de fuentes puntuales

Este diagrama de interferencias se formó moviendo dos varillas rítmicamente arriba y abajo en una bandeja de agua. Se pueden observar efectos similares al meter y sacar del agua dos dedos u observando a dos patos nadando en un estanque cerca uno de otro. Las ondas procedentes de una de las fuentes puntuales (la varilla, el dedo o el pato) interfieren con las que proceden de la otra fuente. Si dos crestas llegan juntas a un punto, se superponen para formar una cresta muy alta; si dos valles llegan juntos, se superponen para formar un valle muy profundo (interferencia constructiva). Los anillos brillantes y oscuros son zonas de interferencia constructiva. Si la cresta de una fuente llega a un punto a la vez que el valle de la otra, se anulan mutuamente (interferencia destructiva). Las líneas oscuras radiales son zonas de interferencia destructiva.

INTERFERENCIA

La interferencia es una prueba contundente para comprobar si un movimiento es o no ondulatorio.

INTERFERENCIA

Este fenómeno se produce cuando se superponen en forma simultánea dos o más trenes de ondas.

Si observamos a dos ondas o perturbaciones ondulatorias que viajan en un mismo medio, y en sentido contrario, al encontrarse, ocurre el fenómeno ondulatorio de la superposición, que produce una onda de características diferentes a las dos ondas que le dan origen; a los efectos físicos de la superposición de dos o más trenes de onda, se le llama interferencia.

El estudio de la interferencia de dos o más ondas y su onda resultante se aplica tanto al sonido como a la luz.

Si tenemos dos ondas que avanzan en un mismo medio, sucede que sus puntos máximos o mínimos, ocupan un punto determinado al mismo tiempo, en ese momento las ondas se encuentran **en fase**; en

ese instante de tiempo, encontramos una onda resultante, que es igual a la suma de las amplitudes de las ondas componentes; cuando se presenta esta situación ocurre la **interferencia constructiva**.

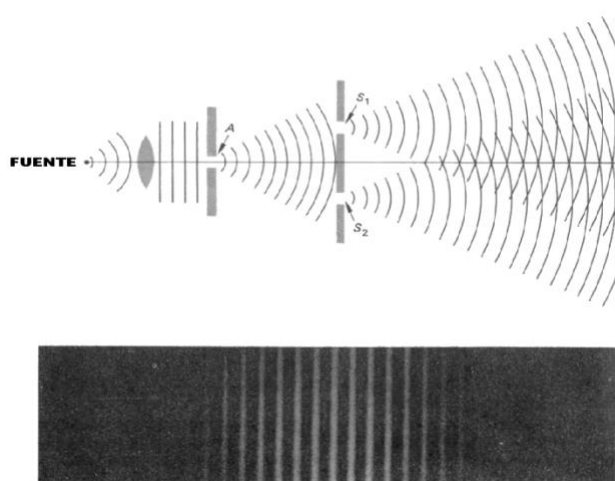
Por lo contrario, si la superposición da como resultado una onda de menor amplitud que cualquiera de las ondas componentes, entonces tendremos una **interferencia destructiva**. Un ejemplo de esta situación es cuando la onda resultante tiene una amplitud nula, esto indica que se cruzaron una cresta y un valle al mismo tiempo con amplitudes iguales.

Thomas Young (1773-1829) llevó a cabo un experimento donde mostraba la difracción y la interferencia, al hacer pasar un haz de luz por una rendija, pasando después por dos rendijas muy angostas y próximas entre sí, las cuales funcionaron como fuentes secundarias; estas rendijas se encontraban paralelas y equidistantes a la primera. La luz que proviene de la primera rendija llega hasta una pantalla. Si no se difractara la luz, la pantalla estaría completamente oscura, pero no sucedió así, sino que la pantalla se iluminó con bandas o franjas claras y oscuras alternadas. Esto demostró que:

A una distancia de media longitud de onda la superposición fue de una cresta y un valle, produciendo una franja oscura alrededor de la franja central, y media longitud de onda después de ambos lados del centro aparecen franjas claras, y así sucesivamente; la intensidad de las franjas claras va desapareciendo, al alejarse del centro.

Si la luz que se ocupa en este experimento es blanca, la parte central será una franja blanca, pero hacia los lados de ésta se encuentran franjas con diferentes colores, lo que demuestra que la luz está compuesta por varios colores y longitudes de onda.

En la siguiente figura se muestra una gráfica del experimento de Young.



Espectro de la interferencia de la luz

Si la luz que se ocupa en este experimento es blanca, la parte central será una franja blanca, pero hacia los lados de ésta se encuentran franjas con diferentes colores, lo que demuestra que la luz está compuesta por varios colores y longitudes de onda.

Newton también observó la interferencia de la luz mediante los anillos que llevan su nombre. Éstos se forman cuando la luz se refleja en una lente curva colocada sobre una lente plana. Cuando se hace pasar la luz en la lente curva y la lente plana (placa de vidrio), en el punto donde éstos hacen contacto se forma un punto oscuro y alrededor de él se formarán anillos brillantes y oscuros.

La formación de anillos se explica porque la luz se propaga como una onda. Cuando se hace pasar un rayo de luz a través de la lente curva, parte de él se refleja en ella y otra parte lo refleja la superficie de

la placa de vidrio. Al principio las ondas de ambos rayos están en fase, solo que una recorre más distancia que la otra y cuando se combinan pueden no estar en la misma fase. Si están en fase, la reflexión es brillante, pero si están desfasadas, la reflexión se anula y el resultado es un anillo oscuro.

Algunos ejemplos provocados por la interferencia son: la coloración de la capa de petróleo que se encuentra en la superficie del agua, o la de las pompas de jabón, las multicromadas alas de insectos y los colibríes, se deben a este fenómeno, producida por los diferentes espesores de la misma luz. Este fenómeno comúnmente se ocupa para encontrar las imperfecciones de las superficies pulidas en los telescopios, puesto que las irregularidades producen imágenes imperfectas. La longitud del metro patrón fue medida con este procedimiento, ya que permite mediciones con una precisión de hasta 8 cifras.

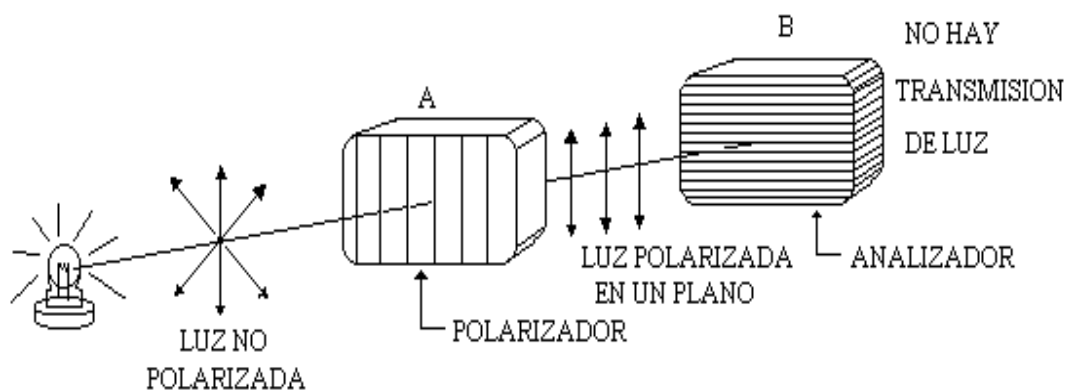
POLARIZACIÓN DE LA LUZ

Este fenómeno también comprueba la naturaleza ondulatoria de la luz, y además tiene bastantes aplicaciones prácticas. Debemos recordar que, cuando un movimiento ondulatorio es longitudinal, las partículas vibran en la misma dirección en que se propaga la onda, como en el caso del sonido. Pero si el movimiento ondulatorio que tenemos ahora es transversal, las partículas vibran perpendicularmente en cualquiera de las direcciones hacia donde se propague la onda. Si logramos que todas las partículas vibren en una misma dirección, tendremos que el movimiento ondulatorio transversal está polarizado.

LA POLARIZACIÓN

Es el proceso por el cual las vibraciones de una onda luminosa son transversales y todas sus direcciones posibles son perpendiculares a la dirección en la cual se propaga.

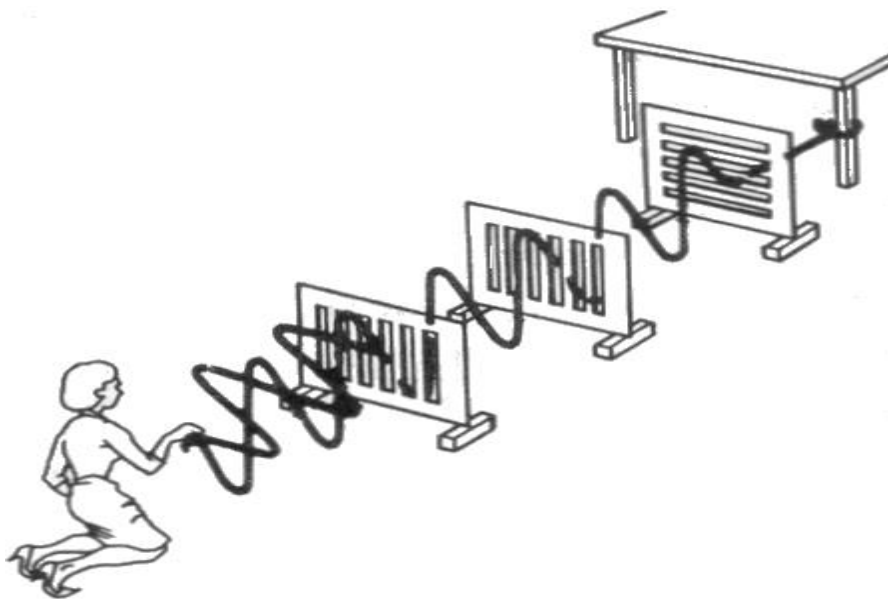
Las vibraciones no polarizadas, pasan a través de una rejilla que se llama polarizador, donde solo las ondas con vibraciones verticales pueden pasar por él. Con un analizador se puede probar si las ondas incidentes están polarizadas en un plano. Si se gira el analizador de tal modo que sus rejillas sean perpendiculares, todas las ondas que incidan serán bloqueadas.



Científicamente podemos explicar el fenómeno de la polarización de la luz, considerando que las vibraciones de una onda luminosa son transversales y todas sus direcciones son perpendiculares a su dirección de propagación.

Experimentalmente podemos reproducir este tipo de vibraciones, sujetando una cuerda por uno de sus extremos, y moviendo el otro extremo de arriba hacia abajo y luego de izquierda a derecha, produciendo movimientos rápidos. Si colocamos una reja como se muestra en la siguiente figura, con las rejillas en

forma vertical, solo permitirán el paso de vibraciones que van de arriba hacia abajo. Con esto demostramos que la onda se ha convertido en polarizada plana, ya que todas sus vibraciones están en un solo plano, en este caso verticalmente. Cuando la vibración pasa a la segunda reja con sus rejillas también en forma vertical, las ondas siguen su movimiento sin ninguna interferencia, pero al pasar a la tercera reja con sus rejillas en forma horizontal, el movimiento deja de ser ondulatorio y por lo tanto ya no continúa al final de la cuerda.



Polarización de ondas de una cuerda

Actualmente, es muy común encontrar en el comercio, lentes polarizados que no permiten el deslumbramiento reflejado en las carreteras, el pavimento, la superficie del agua, etc., así como también filtros que polarizan la luz.

La luz se puede polarizar por varias formas como son: por reflexión, por doble refracción y por absorción selectiva. La más común es por reflexión. Ejemplo: la luz reflejada en la arena de una playa es parcialmente polarizada en el plano horizontal, por ello, los filtros polarizadores de las lentes se producen de tal manera que puedan quitar los rayos que están polarizados horizontalmente.

Dichos filtros polarizantes generalmente están hechos con cristales de yodo y sulfatos de quinina, que se fijan al colocarse entre dos caras delgadas de plástico, como si fuera un emparedado. Los cristales son de forma muy delgada (cadenas moleculares), y se orientan o alinean en misma dirección al aplicarles un campo eléctrico durante la fabricación del filtro. De esta manera, los filtros polarizados sólo dejan pasar las ondas de luz que oscilan en el mismo plano en el que están orientados los cristales, absorbiendo todas aquellas ondas que se encuentran en otras direcciones.

Si la luz polarizada por un filtro se transmite a un segundo filtro que tenga la misma dirección de polarización, la luz pasará libremente. Si giramos el segundo filtro, observaremos que empieza a disminuir la intensidad de dicha luz, hasta llegar a girar 90 grados con respecto al primero; con lo cual observaremos nuevamente que se detiene toda la luz que este filtro polariza.

El polarímetro es un instrumento que se utiliza para el estudio de la luz polarizada en sustancias, soluciones o cuerpos.

En la actualidad se fabrican materiales artificiales llamados Láminas Polaroid, que sirven para polarizar la luz en la dirección que queramos. Algunos ejemplos son:

- Los fotógrafos usan filtro Polaroid para variar la intensidad y reducir el resplandor de la luz reflejada.
- Los insectos y aves utilizan la luz polarizada por la atmósfera para dirigir su vuelo, ya que de esta manera tienen una imagen sin reflejos.
- Con luz polarizada se pueden realizar estudios de patrones elásticos (tensiones o compresiones) de materiales sometidos a esfuerzos, en la fabricación de herramientas y equipo industrial. Las franjas claras y oscuras que forma la luz polarizada dan una indicación del área de esfuerzos variables.
- Si contamos con un filtro analizador calibrado en cero grados (mínimo paso de luz), le colocamos una sustancia o alguna solución y giramos el filtro, observaremos que aumenta el paso de luz; para que nuevamente disminuya la luz al mínimo es necesario girar el analizador un determinado ángulo. Este fenómeno se debe a que la sustancia o solución tiene cierto poder rotativo de la polarización, llamado **actividad óptica**, o sea que ocasiona una rotación en el plano original de polarización de la luz polarizada que entra a la sustancia o solución. Con el giro del segundo filtro del polarímetro (analizador) es posible medir este ángulo de rotación. Algunas sustancias o soluciones rotan el plano de polarización en el sentido de las manecillas del reloj (sustancias o soluciones dextrógiras) y otras en sentido contrario (sustancias levógiras).

La actividad óptica de sustancias o soluciones se debe a la estructura helicoidal (en forma de hélice), de las moléculas que la componen. Presentan actividad óptica los azúcares, el ADN y muchas otras sustancias de interés para la química y la biología.

PROPÓSITO GENERAL.

Aplicar principios físicos en que se fundamentan las leyes de la electricidad y sus aplicaciones a su vida cotidiana, al manejar un sin número de aparatos electrodomésticos, que son indispensables en este nuevo milenio. Además de entender los avances tecnológicos que ya son de carácter mundial en lo que a intercomunicación se refiere, con el empleo de teléfonos celulares, Internet, etc.

PROPÓSITOS ESPECÍFICOS.

- El estudiante debe asimilar los principios teóricos que permitan explicar los fenómenos electromagnéticos.
- Resolver problemas que permitan entender los conceptos operantes en el esquema de resolución de problemas reales.

PROPÓSITO DE APRENDIZAJE.

Se pretende que el estudiante pueda explicar y calcular campos eléctricos y magnéticos en diferentes situaciones de cargas o corrientes eléctricas.

PRESENTACIÓN

En la segunda unidad, electricidad, abordaremos los temas relacionados con las cargas eléctricas en reposo y en movimiento.

Cada tema tiene su parte teórica, ejercicios resueltos, actividades complementarias, ejercicios propuestos, tratando de integrar con esto el conocimiento de una manera clara y sencilla.

En la actualidad nos encontramos rodeados de aparatos eléctricos de toda clase: lámparas, relojes de batería, equipos de sonido estereofónicos, teléfonos, faxes, computadoras, etc.

Estos aparatos se han convertido en parte de nuestra vida cotidiana, por lo que es necesario entender que es la electricidad. La electricidad es una manifestación de la energía y para su estudio la Física la divide en cuatro partes:

- a) Electrostática, que estudia las cargas eléctricas en reposo.
- b) Electrodinámica, que estudia las cargas eléctricas en movimiento.
- c) Electromagnetismo, que se ocupa de la relación entre las corrientes eléctricas y el campo magnético.
- d) Electromecánica.

ELECTROSTÁTICA

INTRODUCCIÓN:

Es imposible decir cuando se descubrió por primera vez la electricidad. Los datos históricos demuestran que desde 600 años a. C. Se conocieron las propiedades atractivas del ámbar. A Tales de Mileto (640 a 546 a. d. C.) Uno de los siete sabios de la antigua Grecia, se le atribuye haber observado la atracción del ámbar, previamente frotando, sobre pequeños materiales de fibra y pedacitos de paja. El ámbar se usaba entonces por la gente, lo mismo que ahora, en adornos. Igual que los metales preciosos tienen su nombre de oro y plata, el ámbar tenía su nombre de **electrón**.

La electrización del ámbar por fricción se transmitió de un escritor a otro, pero nada nuevo fue descubierto durante más de 2000 años. Fue a principios del siglo XVII cuando el filósofo y físico experimental inglés Sir William Gilbert anunció el descubrimiento de que muchas sustancias podían ser electrizadas por frotamiento. Gilbert denominó este efecto como **eléctrico** de acuerdo con la palabra **electrón**. Ahora se ha establecido claramente que todos los cuerpos cuando se frotan entre sí, se electrizan y que el ámbar es precisamente uno de los muchos materiales que manifiestan el efecto con más intensidad.

Un peine de plástico duro, una barra del mismo material, adquieren una capacidad extraña para atraer a otros objetos después de frotarlos con un suéter. En algunas ocasiones se experimenta un molesto choque al tocar la manija de un automóvil después de estacionarlo, estos ejemplos son fenómenos de electrización que ocurren cuando se frotan los objetos entre sí. Desde tiempos remotos se le llamó **cargar** al proceso de frotamiento y se decía que el cuerpo electrizado se había cargado.

La **electrostática** es la rama de la Física que estudia los efectos mutuos que se producen entre los cuerpos como consecuencia de su carga eléctrica, es decir, el estudio de las cargas eléctricas en reposo, sabiendo que las cargas puntuales son cuerpos cargados cuyas dimensiones son despreciables frente a otras dimensiones del problema. La carga eléctrica es la propiedad de la materia responsable de los fenómenos electrostáticos, cuyos efectos aparecen en forma de atracciones y repulsiones entre los cuerpos que la poseen.

Históricamente, la electrostática fue la rama del electromagnetismo que primero se desarrolló. Con la postulación de la Ley de Coulomb fue descrita y utilizada en experimentos de laboratorio a partir del siglo XVII, y ya en la segunda mitad del siglo XIX las leyes de Maxwell concluyeron definitivamente su estudio y explicación, y permitieron demostrar cómo las leyes de la electrostática y las leyes que gobiernan los fenómenos magnéticos pueden ser estudiadas en el mismo marco teórico denominado electromagnetismo.

OBTENCIÓN DE LA ELECTRICIDAD.

La fuente más común de electricidad y en realidad de casi toda la energía eléctrica que usamos, es la que se obtiene por la interacción de los conductores con los campos magnéticos. La segunda fuente más común incluye la acción química, y el ejemplo que has visto con más probabilidad es el de la batería. Otras fuentes de energía para generar electricidad son las siguientes por orden de importancia: la luz, el calor, la presión y la fricción. Generará electricidad es convertir otra forma de energía en voltaje que se requiere para producir un flujo de corriente.

La electricidad se puede usar, a su vez, para producir los mismos efectos que se utilizaron originalmente para producir esa electricidad, a excepción de la fricción. Estos usos comunes de la electricidad son la energía mecánica para los motores, la acción química, la luz, calor y presión, y para operar dispositivos electrónicos.

ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR ENERGÍA DE FRICCIÓN.

De todos los métodos de producción de electricidad éste es el menos común, pero es conveniente estudiarla ya que tiene algunas aplicaciones útiles y es importante en la compresión de las cargas eléctricas.

La electricidad estática se puede producir frotando dos materiales distintos. La fuente de energía proviene de la forma como se haga mover los materiales a frotar.

El físico estadounidense Robert Van de Graaff (1901-19667) desarrolla un método para generar grandes potenciales electrostáticos. Tales generadores se utilizan comúnmente para generar electrostática en demostraciones dentro del salón de clases y se pueden desarrollar diferencias de potencial superiores a 5000 volts.

Una de las aplicaciones más importantes en el uso de la electricidad electrostática es en los precipitadores electrostáticos para eliminar el carbón y la ceniza muy fina y otras partículas de los gases que salen de las chimeneas.

Esto se hace dando a las partículas una carga de una polaridad cuando comienzan a pasar por la chimenea y luego atrayéndolas a la superficie recolectora con una carga de polaridad opuesta, alejándolas de las chimeneas.

**Uso de la electrostática para eliminar el carbón de las chimeneas**

Otra aplicación importante de la electricidad estática es su uso en el desarrollo de la copiadora xerográfica. Los efectos electrostáticos se usan en las técnicas para la impresión de las fotocopias.

Otra aplicación útil es la de los procesos de pintura electrostática para pintar grandes volúmenes en las líneas de ensamble, aún los objetos de formas tan irregulares como: carrocerías para autos, gabinetes para refrigeradores, etc.

ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR PRESIÓN.

A este tipo de electricidad se le llama piezoelectricidad, la cual es generada por ciertos materiales cristalinos. Los cristales son arreglos de átomos ordenados, en contraste con los materiales no cristalinos cuyos átomos son modelos dispersos. Dos ejemplos de cristales que existen en la naturaleza son el cuarzo y el diamante, que es la forma cristalina del carbón. Los materiales más comúnmente

usados para la producción de la piezoelectricidad son: el cuarzo, el titanato de bario (una cerámica) y las sales de Rochelle.

Si se coloca un cristal hecho con estos materiales entre dos placas de metal y se aplica una presión sobre las placas, se generará una carga eléctrica. La cantidad de esta carga dependerá de la cantidad de presión que se aplique. El uso real de la presión como fuente de electricidad se le encuentra en distintos tipos de equipo, como son: micrófonos de cristal, fonógrafos de cristal y equipos de sonar.



Reloj de cuarzo

ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR CALOR.

Si se calienta uno de los extremos de una porción de un metal, como el cobre, los electrones tienden a alejarse de la terminal caliente hacia la terminal fría. En el hierro se comporta de manera contraria; esto es, los electrones tienden a fluir hacia la terminal caliente. Si se trenzan un alambre de hierro con uno de cobre para formar la unión, la cual se calienta, el flujo de electrones dará como resultado una diferencia de cargas entre las terminales libres de los alambres. La cantidad de carga producida depende de la diferencia de temperatura entre la unión de las terminales opuestas de los dos alambres. Una diferencia de temperatura más grande da como resultado una carga mayor, e inversamente.

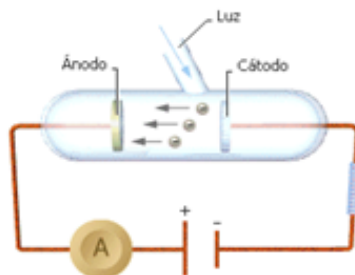
A la unión de este tipo se le llama termopar y producirá electricidad siempre que se le aplique calor.

Ya que el flujo de corriente es proporcional a la temperatura de la unión, un termopar se puede usar para medir temperatura cuando se conecta a un dispositivo indicador conveniente (voltímetro de baja escala). Su uso con frecuencia para este propósito, por ejemplo, en el indicador de temperatura de un automóvil. Se pueden conectar muchos termopares para formar una termopila o generador termoeléctrico. Las termopilas se usan para medir la temperatura interna de los hornos de fundición, también en los dispositivos térmicos con flama piloto de seguridad en los hornos de gas caseros, para cerrar la válvula del gas en caso de que el piloto se apague.



ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR LUZ.

La electricidad se puede producir usando la luz como fuente de energía. Esto ocurre porque los materiales como el potasio, sodio, germanio, cadmio, cesio, selenio y silicio emiten electrones cuando son excitados por la luz bajo condiciones adecuadas. A esta emisión de electrones se le llama efecto fotoeléctrico.



Célula fotoeléctrica

Una célula fotoeléctrica se compone, en esencia, de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible. La luz que incide sobre el cátodo libera electrones que son atraídos hacia el ánodo originando un flujo de corriente proporcional a la intensidad de la radiación.

El efecto fotoeléctrico se emplea de tres maneras:

La luz produce **fotoemisión**, el rayo luminoso incidente hace que la superficie emita electrones, los cuales se agrupan para formar una corriente eléctrica.

La luz produce un cambio en la forma en que un material conduce electricidad. A esto se le llama **fotoductivo**.

El tercer efecto es el **fotovoltaico**; la energía del rayo de luz incidente se convierte directamente en flujo de electrones. Las celdas solares que se usan para la potencia de los vehículos, los satélites espaciales, plantas de electricidad solares, etc. son de este tipo.

ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR ACCIÓN QUÍMICA.



Las baterías son la fuente más común de electricidad por acción química. Todas ellas constan de dos placas metálicas distintas llamadas electrodos, sumergidos en un electrolito que puede ser una pasta o un líquido. La electricidad es producida por las reacciones químicas que se producen entre los electrodos y el electrolito. Existen pilas o baterías de diferentes tipos y materiales.

Una pila voltaica aprovecha la electricidad de una reacción química espontánea para encender una bombilla (foco). Las tiras de cinc y cobre, dentro de disoluciones de ácido sulfúrico diluido y sulfato de cobre respectivamente, actúan como electrodos. El puente salino (en este caso cloruro de potasio) permite a los electrones fluir entre las cubetas sin que se mezclen las disoluciones. Cuando el circuito entre los dos sistemas se completa (como se muestra a la derecha), la reacción genera una corriente eléctrica. Obsérvese que el metal de la tira de cinc se consume (oxidación) y la tira desaparece. La tira de cobre crece al reaccionar los electrones con la disolución de sulfato de cobre para producir metal adicional (reducción). Si se sustituye la bombilla por una batería la reacción se invertirá, creando una célula electrolítica.



ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR MAGNETISMO.

El método más común para producir la electricidad que se utiliza como corriente eléctrica es el que emplea el magnetismo.

Casi toda la energía eléctrica empleada, excepto para equipos de emergencia y portátiles operados con baterías, provienen originalmente de un generador de una planta eléctrica. El generador puede ser accionado por la fuerza hidráulica, una turbina de vapor con calentamiento de combustible fósil, como carbón, petróleo, gas o energía atómica o un motor de combustión interna. No importa la manera de accionar el generador, la energía eléctrica que produce es el resultado de la acción entre los alambres y los imanes dentro del generador. Cuando los alambres se desplazan junto a un imán o el imán se desplaza junto a los alambres, se produce en éstos la electricidad.

Uno de los métodos por el cual el magnetismo produce electricidad, es mediante el movimiento de un imán cerca de un conductor estacionario. Si se conecta un instrumento de medición muy sensible (galvanómetro) en los extremos de un conductor fijo y entonces se hace pasar un imán cerca del conductor, la aguja del instrumento se desviará. Esta desviación indica que se ha producido electricidad en el conductor. El movimiento es necesario porque el campo magnético alrededor del imán, producen una corriente eléctrica en un conductor solamente cuando el campo magnético se mueve a través del alambre. Cuando el imán y su campo están fijos, el campo no se desplaza a través del conductor y no producirá n movimiento de electrones en su interior.

Aumentando la velocidad de movimiento también se produce un mayor flujo de electrones. En la producción de corriente eléctrica, la cantidad de corriente sale de un generador, por lo general se regula modificando, la potencia del imán o la velocidad de rotación de la bobina.



Generadores eléctricos

MÉTODOS DE ELECTRIZACIÓN.

Debido a que los cuerpos se electrizan al ganar o perder electrones, existen tres formas de cómo electrizar a los cuerpos.

CARGA POR FRICCIÓN.

Este fenómeno es el más comúnmente conocido, se presenta cuando peinamos nuestro cabello con un peine de plástico, al quitarnos un suéter o una camisa de seda o poliéster, vemos y oímos el chispazo de la electricidad.

CARGA POR FRICCIÓN

Es la transferencia de electrones por la fricción o frotamiento de un material con otro.

CARGA POR CONTACTO.

Este fenómeno se origina cuando un cuerpo saturado de electrones cede algunos a otro cuerpo, con el cual tiene contacto. Para un cuerpo carente de electrones o con carga positiva, se une otro, que atrae la parte de los electrones de dicho cuerpo.

CARGA POR CONTACTO

Es la transferencia de electrones de un material a otro por simple contacto.

CARGA POR INDUCCIÓN.

Este fenómeno físico se presenta cuando un cuerpo se carga eléctricamente al acercarse a otro ya electrizado.

CARGA POR INDUCCIÓN

Se presenta cuando un cuerpo se carga eléctricamente al acercarse a otro ya electrizado. Un cuerpo se carga por inducción al comunicarle una carga sin tocarlo.



Mediante el proceso de ionización se produce el efecto del rayo en forma de luz

CARGAS ELÉCTRICAS.

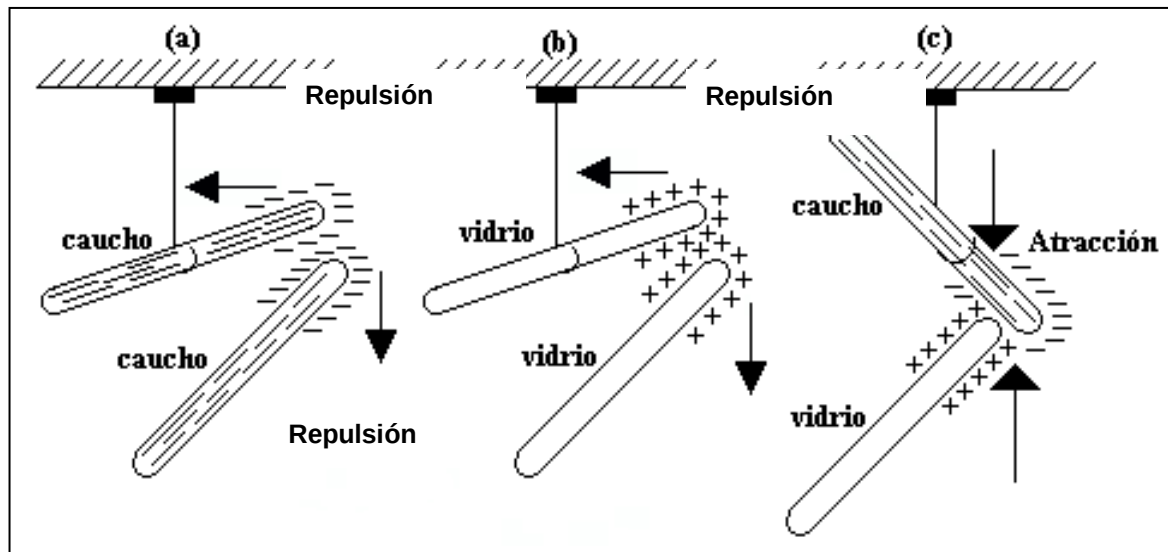
Cuando se frotan entre si dos sustancias diferentes y luego se separan, se dice que ambas se han electrizado, una con una clase de electricidad y la otra con electricidad distinta. Para ilustrar esto, consideraremos el caso del experimento mostrado en la siguiente figura, donde una barra de caucho se carga por frotamiento con una piel y luego se suspende de un pequeño gancho de alambre, posteriormente se hace lo mismo con una barra de vidrio, que se frota con un paño de seda y luego se suspende, si se acerca una barra de caucho cargada a la barra de caucho de la figura (a) se observa que se repelen, se dice que están cargados negativamente.

Normalmente, cada átomo de una sustancia es eléctricamente neutro; en otras palabras, los electrones y los protones tienen una propiedad llamada **carga eléctrica**.

CARGA ELÉCTRICA

Es el exceso o deficiencia de electrones en una sustancia. Todas las partículas eléctricamente cargadas llevan una carga igual en valor absoluto a una cantidad llamada carga elemental, e . El protón posee una carga $+e$ y el electrón lleva una carga $-e$. Esta carga elemental equivale a $1,6 \times 10^{-19}$ C.

Si se acerca una barra de vidrio cargada a la otra barra de vidrio (b), se repelen, se dice que están cargadas positivamente, pero si se acerca la barra de vidrio cargada por frotamiento a la de caucho, se atraen, por lo que se concluye:



Cargas eléctricas semejantes se repelen y las diferentes se atraen.

PRIMERA LEY Ó LEY CUALITATIVA DE LA ELECTROSTÁTICA

Las cargas iguales se repelen, las cargas contrarias se atraen

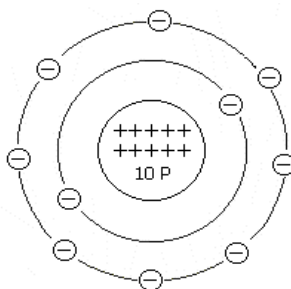
Históricamente ha habido dos teorías sobresalientes de la electrización: la teoría de un fluido de Benjamín Franklin y la de los dos fluidos la de Charles Du Fay que establece que, todos los objetos tienen el contenido de cantidades iguales de dos fluidos.

Cuando dos sustancias distintas se frotan entre sí, una clase de fluido (positivo) se esparce sobre uno de los objetos y la otra clase de fluido (negativo) sobre el otro.

De acuerdo con la teoría de Franklin de un solo fluido, los cuerpos tienen una sola cantidad específico de un **fuego eléctrico** o fluido que los mantiene en estado neutro o sin cargar. Cuando dos objetos se frotan entre sí, uno de ellos acumula un exceso de fluido y resulta cargado positivamente, mientras que el otro pierde fluido y queda cargado negativamente; a B. Franklin le debemos los términos **más** y **menos**, y electricidad **positiva** y **negativa**.

Ambas teorías son correctas en parte, porque ahora sabemos el mecanismo por medio del cual los cuerpos se electrizan por fricción. La teoría moderna, se basa en el principio de que todas las sustancias están formadas por átomos y moléculas. Cada átomo contiene un núcleo que tiene una cantidad conocida de carga positiva que se debe a la presencia en el núcleo de cierto número de **protones**. Alrededor de cada núcleo atómico hay un número de partículas cargadas negativamente, llamadas **electrones**.

Los neutrones son eléctricamente neutros, porque carecen de carga. Los electrones poseen una carga negativa (-), mientras que los protones tienen una carga positiva (+). En la figura, se tiene un diagrama esquemático de un átomo de neón, donde se puede mostrar el número de protones y neutrones de que consta dicho átomo y que lo hace eléctricamente neutro.



Esquema de un átomo de neón con su núcleo en el centro de 10 cargas positivas (protones) rodeadas en el exterior por diez cargas negativas (electrones).

Si por alguna razón un átomo neutro pierde uno o más de sus electrones alejados del núcleo, el átomo adquiere una carga positiva y se denomina ion positivo. Un ion negativo se presenta cuando un átomo ha ganado una o más cargas adicionales (electrones).

Sobre lo anterior, podemos concluir: ***un cuerpo o sustancia que tenga un exceso de electrones se dice que está cargado negativamente y un cuerpo o sustancia con diferencia de electrones se dice que tiene carga positiva.***

IONIZACIÓN

Es el proceso de ganar o perder electrones.

CONDUCTORES Y AISLADORES.

No todas las sustancias son buenas conductoras de la electricidad. Como una regla general, los metales son buenos conductores, mientras que los no metales son malos conductores. Los peores conductores se llaman comúnmente ***aisladores o no conductores.***

CONDUCTOR

Es un material por medio del cual se puede transferir la carga fácilmente.

Ejemplos de conductores son: la mayor parte de los metales (aluminio, cobre, hierro, mercurio, níquel, oro, plata, platino, etc.); soluciones de ácidos, bases y sales disueltas en agua, el cuerpo humano.

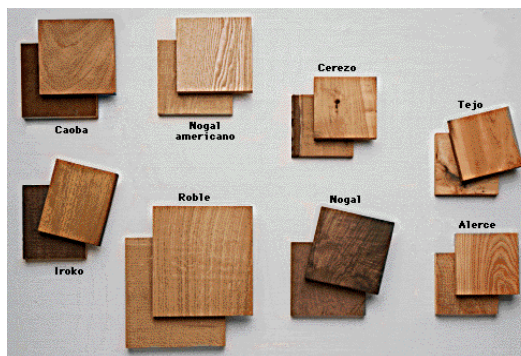


Enciclopedia Encarta, H. Schneebeli/Science Source/Photo Researchers, Inc.

AISLADOR O DIELECTRICO

Es un material que se resiste al flujo de carga a través de él.

Algunos ejemplos de aisladores son: ámbar, azufre, caucho, mica, papel, porcelana, seda y vidrio, que son utilizados en las cuchillas, apartarayos y aisladores que vemos en las redes de distribución eléctrica.



La diferencia entre un conductor y un aislador o dieléctricos es que, en un conductor hay electrones libres, mientras que en un aislador todos los electrones están firmemente ligados a sus respectivos átomos.

SEMICONDUCTOR

Son aquellos que ni son buenos conductores de la electricidad ni son buenos aisladores.

En ellos los electrones son movidos con dificultad, es decir, por una fuerza considerable. Para su aplicación práctica, es importante saber que ningún aislador es absolutamente perfecto, ni tampoco existe ningún conductor perfecto, sino que por el contrario hay cuerpos que son más conductores que otros y cuerpos más aisladores que otros.

CARGAS PUNTUALES

Son cuerpos cargados cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con la distancia que los separa.

Se ha demostrado que las cargas iguales se repelen y que las cargas contrarias se atraen. Por lo tanto, es necesario conocer lo fuerte que puede ser la atracción o la repulsión y cómo depende, de la repulsión de las cargas y de la distancia que las separa.

Las primeras mediciones cuantitativas de la fuerza entre dos cuerpos cargados (cargas puntuales), fueron realizadas por el científico e ingeniero francés Charles Coulomb, en 1780, este probó la ley que lleva su nombre.

Charles de Coulomb (1736-1806), físico francés, pionero en la teoría eléctrica. Nació en Angulema y trabajó como ingeniero militar al servicio de Francia en las Indias Occidentales (actuales Antillas), pero se retiró a Blois (Francia) durante la Revolución Francesa para continuar con sus investigaciones en magnetismo, rozamiento y electricidad. En 1777 inventó la balanza de torsión para medir la fuerza de atracción magnética y eléctrica. Con este invento, Coulomb pudo establecer el principio, conocido ahora como ley de Coulomb, que rige la interacción entre las cargas eléctricas. En 1779 publicó el tratado *Teoría de las máquinas simples*, un análisis del rozamiento en las máquinas. Después de la Revolución, Coulomb salió de su retiro y ayudó al nuevo gobierno en la planificación de un sistema métrico decimal.

de pesos y medidas. La unidad de medida de carga eléctrica, el culombio, recibió este nombre en su honor.

LEY DE COULOMB.

LEY DE COULOMB

La fuerza de atracción o de repulsión entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las dos cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Matemáticamente, ésta ley se representa como:

$$F \propto \frac{q q'}{r^2}$$

Para quitar el signo de proporcionalidad y que esta expresión se convierta en una ecuación, se le agrega el signo de proporcionalidad K.

De lo anterior, se obtiene:

$$F = K \frac{q q'}{r^2}$$

Donde:

F = fuerza de atracción o repulsión (N)

q y q' = cargas puntuales (C)

r = distancia que separa a las cargas (m)

K = constante de proporcionalidad ($9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$)

En el sistema internacional de unidades (SI), la unidad de carga es el Coulomb que se define en función de la intensidad de corriente, el Amperio.

COULOMB (C)

Es la carga que se transfiere a través de cualquier sección transversal de un conductor en un segundo en el cual circula una corriente constante de un Amperio.

Equivalencias:

1C = 3×10^9 unidades electrostáticas

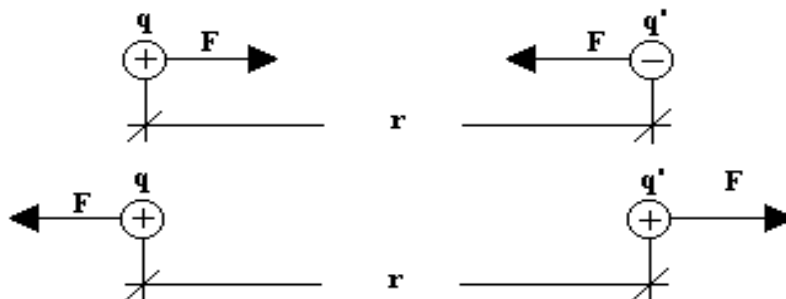
1C = 6.25×10^{18} electrones

e⁻ = 1.6×10^{-19} C (carga de un electrón)

$1\mu\text{C} = 10^{-6}$ C

K = $9 \times 10^9 \text{ N} \times \text{m}^2 / \text{C}^2$ ó K = $1 \text{ dina} \times \text{cm}^2 / \text{ues}^2$ (sistema electroestático)

Nota: La fuerza (F) es una cantidad vectorial cuya dirección y sentido se determina exclusivamente de la naturaleza de las cargas q y q'. Por lo que es más fácil utilizar el valor absoluto de q y q' en la ley de Coulomb y recordar que cargas iguales se repelen y cargas opuestas se atraen. Cuando sobre una carga actúan más de una fuerza, la resultante es la suma vectorial de las fuerzas componentes, gráficamente:



Ejercicios resueltos.

1. Una carga de $-5 \times 10^{-7} \text{ C}$ está situada a 20 cm delante de otra carga de $-5 \times 10^{-7} \text{ C}$. Calcular la fuerza en newton ejercida por una carga sobre la otra.

Datos

$$q_1 = -5 \times 10^{-7} \text{ C}$$

$$R = 20 \text{ cm}$$

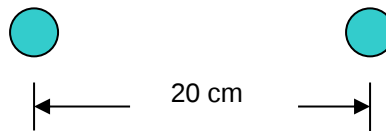
$$q_2 = -5 \times 10^{-7} \text{ C}$$

$$F = ?$$

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

Fórmula

$$F = K \frac{q q^1}{r^2}$$

Desarrollo

$$F = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \left[\frac{(5 \times 10^{-7})(5 \times 10^{-7})}{0.04 \text{m}^2} \right]$$

$$\text{R. } F = 0.056 \text{ N}$$

2. ¿Cuál debe ser la separación entre dos cargas de $-4 \mu\text{C}$, si la fuerza de repulsión entre ellas es de 20 N?

Datos

$$q = 4 \mu\text{C}$$

$$q = 4 \mu\text{C}$$

$$F = 20 \text{ N}$$

Fórmula

$$F = K \frac{q q^1}{r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{k q q^1}{F}}$$

Desarrollo

$$r = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2 [(4 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})]}{20 \text{ N}}}$$

$$\text{R. } r = 0.0849 \text{ m}$$

3. Una carga q_1 de $+60 \mu\text{C}$ se coloca a 60 mm a la izquierda de una carga q_2 de $+20 \mu\text{C}$. Como se muestra en la figura ¿Cuál es la fuerza resultante sobre una carga q_3 de $-35 \mu\text{C}$ colocada en el punto medio de las dos?

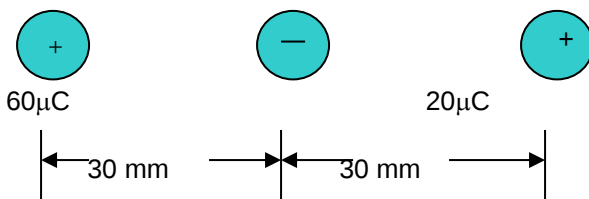
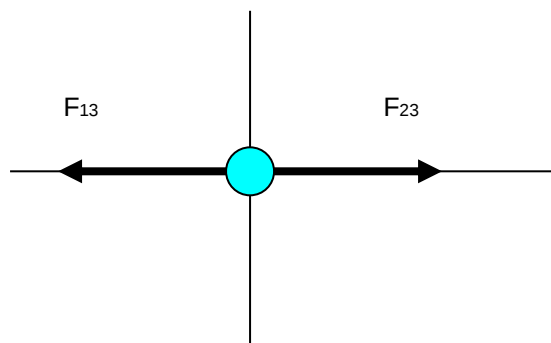


Diagrama de cuerpo libre (D.C.L.)

$$\sum F_x = F_{23} - F_{13}$$



Datos**Fórmula****Desarrollo**

$$q_1 = +60 \times 10^{-6} \text{ C} \quad F_{13} = K \frac{q_1 q_3}{r^2} \quad F_{13} = 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \left[\frac{(60 \times 10^{-6})(35 \times 10^{-6})}{(0.03 \text{ m})^2} \right] = 21000 \text{ N}$$

$$q_3 = -35 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$q_2 = +20 \times 10^{-6} \text{ C} \quad F_{23} = K \frac{q_3 q_2}{r^2} \quad F_{23} = 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \left[\frac{(35 \times 10^{-6})(20 \times 10^{-6})}{(0.03 \text{ m})^2} \right] = 7000 \text{ N}$$

$$r = 60 \text{ mm} = 0.06 \text{ m}$$

$$F_R = F_{13} - F_{23}$$

$$F_R = 21000 \text{ N} - 7000 \text{ N}$$

$$F_R = 14000 \text{ N} \rightarrow$$

4. Se tienen 2 pequeñas esferas separadas 2 cm. Cada una, está cargada en forma positiva con 0.2 microcoulombs (μC). Calcular la fuerza de repulsión entre ellas.

Datos**Fórmula****Desarrollo**

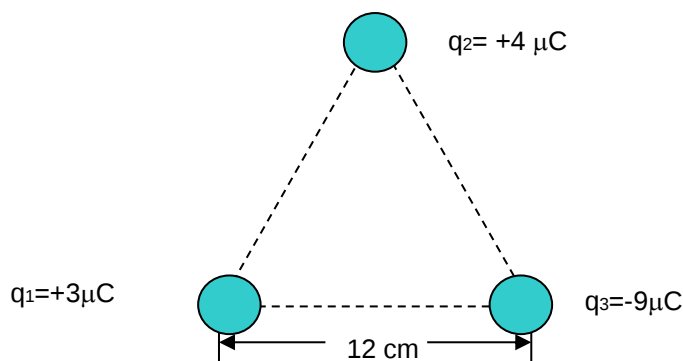
$$q = 0.2 \mu\text{C} = 2 \times 10^{-7} \text{ C} \quad F = K \frac{q q}{r^2} \quad F_{32} = 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \left[\frac{(0.20 \times 10^{-6})(0.20 \times 10^{-6})}{(0.02 \text{ m})^2} \right]$$

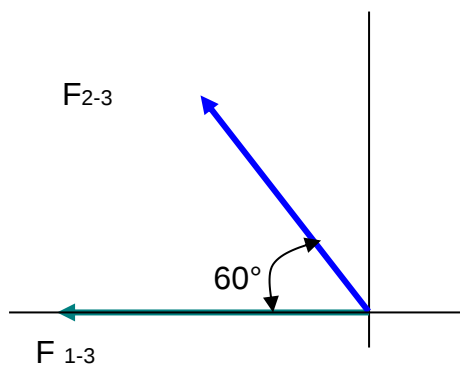
$$q = 0.2 \mu\text{C} = 2 \times 10^{-7} \text{ C}$$

$$r = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m}$$

$$R. F = 0.9 \text{ N}$$

5. Se sitúan cargas de $+3 \mu\text{C}$, $+4 \mu\text{C}$, y $-9 \mu\text{C}$ en los vértices de un triángulo equilátero de 12 centímetros de lado. Encontrar la fuerza ejercida sobre la carga de $-9 \mu\text{C}$ por la acción de las otras dos cargas, suponiendo que el medio es el aire.



**Datos**

$$q_1 = +3\mu$$

$$q_2 = +4\mu\text{C}$$

$$q_3 = -9\mu\text{C}$$

$$R = 12 \text{ cm}$$

$$F = ?$$

Fórmula

$$F = K \frac{q q}{r^2}$$

Desarrollo

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \left[\frac{(3 \times 10^{-6})(-9 \times 10^{-6})}{0.0144 \text{m}^2} \right]$$

$$F_{23} = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \left[\frac{(4 \times 10^{-6})(-9 \times 10^{-6})}{0.0144 \text{m}^2} \right]$$

$$\Sigma F_x = F_1 \cos 180^\circ + F_2 \cos 120^\circ$$

$$R_x = -16.87 - 11.25$$

$$R_x = -28.12 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = F_1 \sin 180^\circ + F_2 \sin 120^\circ$$

$$R_y = 0 + 19.48$$

$$R_y = 19.48 \text{ N}$$

$$R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$$

$$R = \sqrt{(-28.12)^2 + (19.48)^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{-19.48}{28.12} \right)$$

$$\theta = -34.7^\circ$$

$$\theta_R = 180 - 34.7 = 145.3^\circ$$

Ejercicios propuestos:

1. Dos esferas, cada una con una carga de $3 \mu\text{C}$, están separadas por 20 mm. Calcula la fuerza de repulsión entre ellas.

$$F = 202.5 \text{ N}$$

2. Tres cargas iguales de $+8 \times 10^{-3} \text{ C}$ están situadas en los vértices de un triángulo rectángulo cuyos lados son de 10 cm, 24 cm, y 26 cm. encontrar la fuerza ejercida sobre la carga situada en el ángulo de 90° .

$$\mathbf{F = 5.84 \times 10^{-7} \text{ N a } \varnothing = 260.05^\circ}$$

3. Dos cargas de $1 \times 10^{-9} \text{ C}$ cada una están separada 8 cm en el aire. Hallar la magnitud y dirección de la fuerza ejercida por estas cargas sobre una tercera de $5 \times 10^{-11} \text{ C}$ que dista 5 cm de cada una de las dos primeras.

$$\mathbf{F = 2.16 \times 10^{-7} \text{ N a } \varnothing = 90^\circ}$$

4. Cuatro cargas iguales de $+8 \times 10^{-8} \text{ C}$ están situadas en los vértices de un cuadrado de 5 cm de lado. Calcular la fuerza resultante sobre una carga y mostrar su dirección.

$$\mathbf{F = 0.0441 \text{ N a } \varnothing = 45^\circ}$$

5. Dos cargas q_1 y q_2 están separadas por una distancia r , estas cargas experimentan una fuerza F a esa distancia. Si la separación inicial se reduce a 40 mm, se encuentra que la fuerza entre las cargas se duplica. ¿Cuál es la separación inicial?

$$\mathbf{r = 136.57 \text{ mm}}$$

6. La carga total positiva de dos pequeñas esferas es de 26 u.e.c. (cgs). ¿Cuál es la carga de cada esfera si se repelen con una fuerza de 3 dinas cuando está separadas una distancia de 4 cm?

$$\mathbf{q_1 = 24 \text{ u.e.c. } q_2 = 2 \text{ u.e.c.}}$$

7. 6.02×10^{23} átomos de hidrógeno monoatómico tienen una masa de 1 gr. ¿Cuánto tendrá que ser alejado del núcleo el electrón de un átomo de hidrógeno para que la fuerza de atracción sea igual al peso del átomo?

$$\mathbf{r = 0.383 \text{ mm}}$$

CAMPO ELÉCTRICO.

Introducción:

En el universo existen fuerzas de contacto, son aquellas producidas por cuerpos en movimiento estudiadas por las leyes del físico Isaac Newton; pero también existen fuerzas producidas por un enorme número de objetos que no están en contacto, éstas se rigen por las siguientes leyes:

Ley de Newton de la Gravitación Universal.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

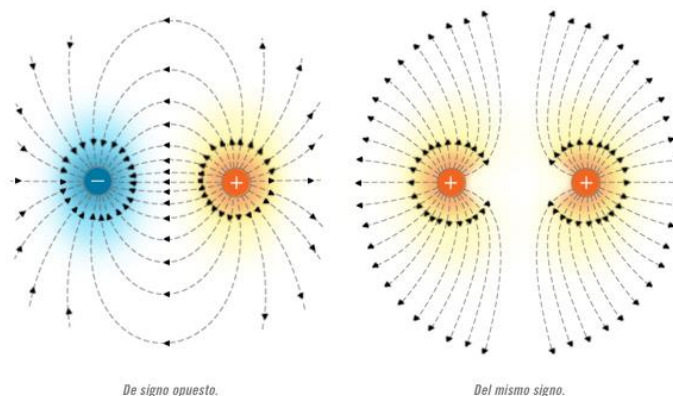
Ley de Coulomb de las fuerzas electrostáticas.

Ambas leyes demuestran que las fuerzas producidas por grandes masas (m) o cargas eléctricas (q) dependen de la distancia de separación entre ellas. Por lo tanto, al aplicarlas es importante considerar ciertas propiedades del espacio que las rodea.

CAMPO ELÉCTRICO (E).

Como hemos visto, tanto la fuerza eléctrica como la gravitacional son ejemplos de fuerza de acción a distancia. Los físicos interesados en el estudio de este fenómeno difícil de explicar a simple vista han demostrado de manera experimental que la fuerza gravitacional se ejerce de una masa a otra cercana, como se puede constatar con todos los cuerpos que se encuentran dentro del campo gravitacional de la tierra y de la misma manera se puede aplicar este concepto a todos los objetos cargados eléctricamente. El espacio que rodea a dicho objeto cargado se altera con la presencia de un campo eléctrico en este espacio. Por lo que definiremos al campo eléctrico como: **“Es el espacio que rodea a una carga eléctrica dentro del cual experimenta una fuerza eléctrica”**

Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales.



Líneas de fuerza eléctricas que forman un campo eléctrico

Las líneas de fuerza eléctrica indican la dirección y el sentido en que se movería una carga de prueba positiva si se situara en un **campo eléctrico**. El diagrama de la izquierda muestra las líneas de fuerza de un campo eléctrico creado por dos cargas positivas. Una carga de prueba positiva sería repelida por ambas. El diagrama de la derecha muestra las líneas de fuerza de un campo eléctrico creado por dos cargas de signo opuesto. Una carga de prueba positiva sería atraída por la carga negativa y repelida por la positiva.

INTENSIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO.

INTENSIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO.

Es el valor del cociente obtenido al dividir la fuerza F ejercida sobre un cuerpo de prueba colocado en un punto, sobre la cantidad de carga del cuerpo de prueba.

$$E = \frac{F}{q} \quad \text{ó} \quad E = \frac{Kq}{r^2}$$

Donde: E = intensidad del campo eléctrico (N / C)

F = fuerza (N)

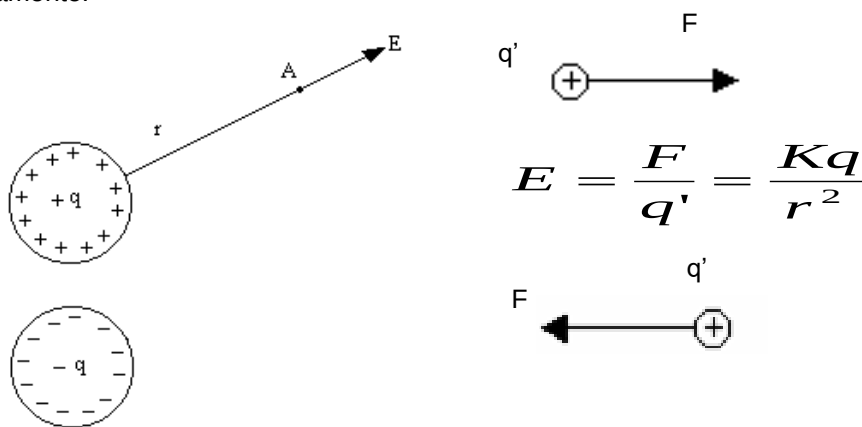
q = carga (C)

r = distancia (m)

El campo eléctrico o intensidad de campo es una **cantidad vectorial**, ya que, posee módulo, dirección y sentido.

El sentido del campo eléctrico en un punto es el mismo que el de la fuerza ejercida sobre una carga de prueba positiva colocada en el punto. El campo eléctrico se le da la carga positiva y llega a la negativa.

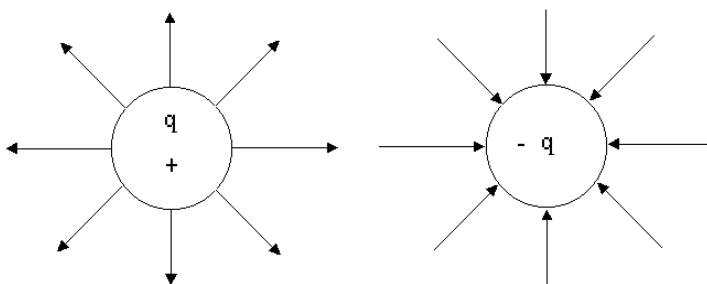
Gráficamente:



La dirección de la intensidad del campo eléctrico, es la misma de una carga positiva (+q) cuando se coloca en dicho punto.

Es importante recordar que el campo eléctrico es una propiedad asociada con el espacio que rodea a la carga eléctrica, es decir, que existirá siempre un campo eléctrico alrededor de un cuerpo cargado independientemente si se coloca o no una carga en el campo.

Si q es positiva, E y F tendrán la misma dirección; si q es negativa, la fuerza F será opuesta al campo E .



El campo alrededor de una carga positiva está dirigido radialmente hacia afuera. Para una carga negativa está dirigido hacia adentro de la carga

Ejercicios resueltos

1. Una carga de $2 \times 10^{-6} \text{ C}$ colocada en un campo eléctrico experimenta una fuerza de $8 \times 10^{-4} \text{ N}$. ¿Cuál es la magnitud de la intensidad del campo eléctrico?

Datos:

$$q = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$F = 8 \times 10^{-4} \text{ N}$$

$$E = ?$$

Fórmula:

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

Desarrollo:

$$E = \frac{8 \times 10^{-4} \text{ N}}{2 \times 10^{-6} \text{ C}}$$

$$\text{R. } E = 400 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

2. ¿Cuál es la intensidad del campo eléctrico a una distancia de 2 cm de una carga de $-12 \mu\text{C}$?

Datos:

$$D = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m}$$

Fórmula:

$$E = \frac{kQ}{d^2}$$

Desarrollo:

$$E = \left(\frac{\left(9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \right) (-12 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.02 \text{ m})^2} \right)$$

$$Q = -12 \mu\text{C}$$

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

$$E = ?$$

$$\text{R. } E = 27 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

POTENCIAL ELÉCTRICO (V).

A continuación, definimos lo que es este concepto:

POTENCIAL ELÉCTRICO. Es la razón de la energía de potencial de una carga de prueba que colocada en el punto con respecto al valor de la carga.

VOLTAJE. Es el trabajo por unidad de carga realizado en contra de las fuerzas eléctricas al traer una carga $+q$ desde el infinito a dicho punto.

$$\text{Potencial} = \frac{\text{Energía potencial de la carga}}{\text{carga de prueba}} = \frac{F r}{q'} = E r$$

Sabemos que: $E = \frac{F}{q}$ por lo tanto:

$$V = Er = \frac{Kq}{r}$$

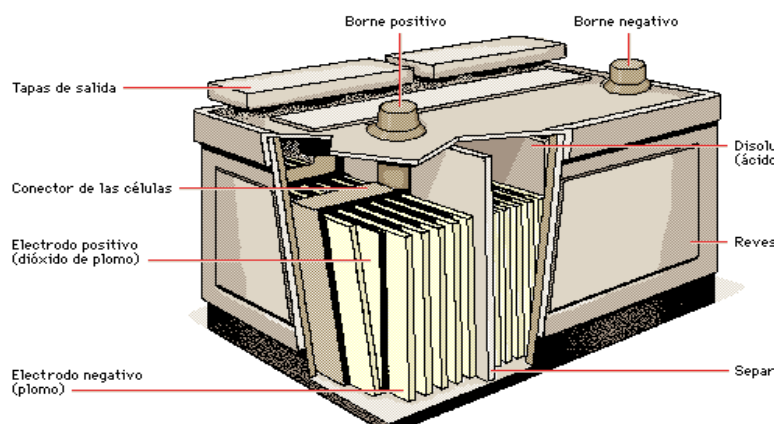
Donde: V = voltaje ó potencial (V)

E = intensidad del campo eléctrico (N / C)

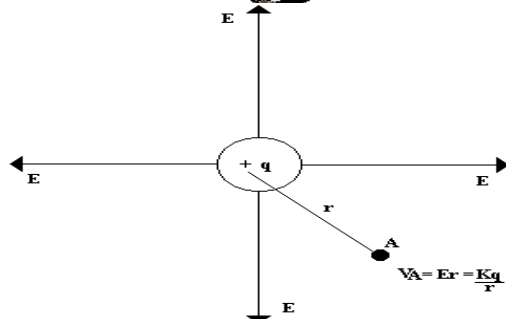
r = distancia (m)

K = constante de Coulomb

q = carga eléctrica (C)



Gráficamente:



El potencial es una **cantidad escalar**, ya que, la energía potencial es escalar.

Unidades del potencial:

$$V = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Carga}} = \frac{\text{Ergio}}{\text{Coulomb}} = \frac{J}{C} = 1\text{Volt}$$

$$V = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Carga}} = \frac{\text{Ergio}}{u.e.c}$$

El Volt o Voltio, recibe este nombre en honor al físico italiano Alessandro Volta inventor de la pila voltaica (primera pila eléctrica) y se define como:

VOLTIO. El potencial en un punto de un campo eléctrico es un voltio, si para traer una carga de un Coulomb desde el infinito al punto venciendo las fuerzas del campo, es necesario realizar un trabajo de un Joule.

EL POTENCIAL EN UN CAMPO. Se define en términos de una carga positiva. Esto es, que el potencial será negativo en un punto en el espacio que rodea a una carga negativa

Diferencia de potencial o voltaje.

En la práctica, es de mayor interés conocer el trabajo necesario para mover cargas entre dos puntos, lo que lleva al concepto de diferencia de potencial.

DIFERENCIA DE POTENCIAL. Es el trabajo por unidad de carga positiva realizado por fuerzas eléctricas para mover una pequeña carga de prueba desde el punto de mayor potencial hasta el punto de menor potencial o es la diferencia de los potenciales de dichos puntos.

Matemáticamente:

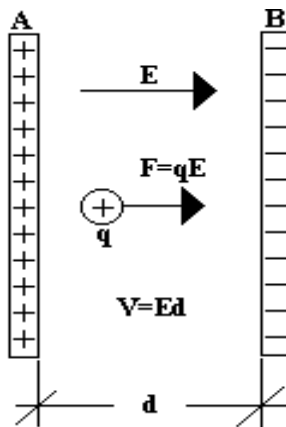
$$V_{AB} = V_A - V_B$$

Donde: V_{AB} = diferencia de potencial entre las placas A y B (V)

V_A = voltaje en la placa A (V)

V_B = voltaje en la placa B (V)

Gráficamente:



Diferencia de potencial entre dos placas con cargas de igual magnitud y de signos contrarios

Por lo que el trabajo realizado por el campo eléctrico para mover una carga q desde el punto A hasta B se da por:

$$W_{AB} = q(V_A - V_B)$$

Donde:

W_{AB} = Trabajo realizado por el campo eléctrico (J)

q = Carga eléctrica dentro del campo (C)

V_A = Voltaje en la placa A (V)

V_B = Voltaje en la placa B (V)

Ejercicio resuelto:

1. Determinar la distancia entre dos placas metálicas paralelas si al aplicar una diferencia de potencial de 100 Volts, entre ellas se produce un campo eléctrico de 700 V /m.

Datos

Fórmula

desarrollo

$$V = Er$$

$$r = \frac{V}{E}$$

$$E = 700 \text{ v /m}$$

$$V = 100 \text{ V}$$

$$r = \frac{100V}{700V / m}$$

$$r = ?$$

$$\text{R. } r = 0.1428m$$

Ejercicios propuestos.

1. Entre dos placas horizontales hay un campo eléctrico uniforme de $8 \times 10^4 \text{ N /C}$. La placa superior está cargada positivamente y la placa inferior está cargada negativamente. ¿Cuál es la magnitud y la dirección de la fuerza ejercida en un electrón, que pasa a través de estas placas? **R. $F = 12.8 \times 10^{-15} \text{ N}$**

2. Se determina que la intensidad el campo eléctrico en un punto en el espacio es de $5 \times 10^5 \text{ N /C}$, orientado hacia occidente. ¿Cuál es la magnitud y dirección de la fuerza sobre una carga de $-4 \mu\text{C}$ colocada en este punto? **R. $F = 2 \text{ N}$**

3. Determina la intensidad del campo eléctrico en el punto medio entre dos cargas de $+40 \text{ nC}$ y $+8 \text{ nC}$. Las cargas están separadas 70 mm en el aire. **R. $E = 293877.55 \text{ N /C}$**

4. Dos cargas de $+16$ y $+8 \mu\text{C}$ están separadas 200 mm en aire. ¿En qué punto entre las cargas la intensidad del campo es cero? **r = 5 mm**

5. Un pequeño objeto que tiene una carga de $-5 \times 10^{-9} \text{ C}$ experimenta una fuerza hacia abajo de $20 \times 10^{-9} \text{ N}$ cuando se coloca en un punto determinado de un campo eléctrico. a) ¿Cuál es la intensidad del campo en dicho punto? b) ¿Cuál sería la magnitud y sentido de la fuerza ejercida sobre una partícula α colocada en ese punto? (partícula α = núcleo del helio). **E = 4 N /C**

6. ¿Cuál debe ser la carga de una partícula de 2 gr de masa para que quede fija en el espacio cuando se coloca en un campo eléctrico dirigido hacia abajo, de intensidad 500 N /C ? **q = 0.4 μC**

7. Una carga de $+6 \mu\text{C}$ está a 30 mm de otra carga de $16 \mu\text{C}$. a) ¿Cuál es la energía potencial del sistema? B) ¿Cuál es el cambio de energía potencial si la carga de $+6 \mu\text{C}$, se mueve una distancia de 5 mm, acercándose? C) ¿Esto es un incremento o decremento de energía potencial?

R. a) $EP = 28.8 \text{ J}$; b) $EP_{AB} = \Delta EP = 34.56 \text{ J}$; c) incremento

ELECTRODINÁMICA.

Introducción:

Se designa con este nombre al estudio de la electricidad en movimiento y de todos los fenómenos físicos relacionados con ella. Al contrario de lo que ocurre con la electrostática, la electrodinámica se caracteriza porque las cargas eléctricas se encuentran en constante movimiento. La electrodinámica se fundamenta, precisamente, en el movimiento de los electrones o cargas eléctricas que emplean como soporte un material conductor de la corriente eléctrica para desplazarse.

El estudio de las relaciones entre los fenómenos eléctricos, magnéticos y mecánicos. Incluye el análisis de los campos magnéticos producidos por las corrientes, las fuerzas electromotrices inducidas por campos magnéticos variables, la fuerza sobre las corrientes en campos magnéticos, la propagación de las ondas electromagnéticas y el comportamiento de partículas cargadas en campos magnéticos y eléctricos.

La electrodinámica clásica se ocupa de los campos y las partículas cargadas en la forma original descrita sistemáticamente por [James Clerk Maxwell](#), en tanto que la electrodinámica cuántica aplica los principios de la mecánica cuántica a los fenómenos eléctricos y magnéticos. La electrodinámica relativista trata de la conducta de las partículas cargadas y de los campos, cuando la velocidad de ellas se aproxima a la de la luz.

CORRIENTE ELÉCTRICA.

Algunas de las leyes eléctricas más importantes son las siguientes:

LEY DE OHM

Esta ley es fundamental para la electricidad, ya que, hace posible determinar la intensidad de la corriente que fluye por un conductor, cuando la resistencia del mismo y la diferencia de potencial que se le aplica, son conocidas. Esta ley se define como:

LEY DE OHM

En un conductor dado, la relación de potencial a la intensidad de corriente es constante.

Se representa con la letra R y se llama resistencia eléctrica.

Unidades de la resistencia eléctrica:

$$R = \frac{\text{Volts}}{\text{Ampere}} = 1\text{Ohm} = 1\Omega$$

De la ley de Ohm estudiaremos:

LA RESISTENCIA ELÉCTRICA (R). Es la oposición que presentan los conductores al paso de la corriente eléctrica y origina una elevación de temperatura.

Las aplicaciones más importantes de esta resistencia eléctrica son la calefacción y los sistemas de alumbrado.

Los primeros estudios realizados sobre los efectos de la resistencia al paso de la corriente eléctrica, de manera cualitativa, se deben al físico George Simón Ohm en 1826, encontró que la resistencia es una

propiedad que depende de la longitud del conductor. La resistencia aumenta proporcionalmente a la longitud, cuando se trata de un conductor de sección transversal constante. Al aumentar la sección transversal disminuye proporcionalmente la resistencia del conductor al estudiar la Ley de Ohm vemos con mayor detalle:

La resistividad. Es una característica peculiar de cada elemento o material con que se forma un conductor, que es representado por ρ y su expresión algebraica es:

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

Donde:

R = Resistencia del material eléctrico (Ω)

L = Longitud del conductor (m)

A = Área del conductor (m^2)

ρ = Resistividad del material eléctrico ($\Omega.m$)

ENERGÍA ELÉCTRICA GASTADA EN UN CONDUCTOR.

Debido a que una batería o un generador al surtir corriente a un sistema eléctrico, mantienen una diferencia de potencial entre las dos terminales del circuito, entonces se realiza un trabajo que como ya hemos visto, se conoce como diferencia de potencial, debido a la carga q, es decir.

$$V = \frac{W}{q}$$

Donde: V = Diferencia de potencial que se mide en volts (V)

W = trabajo que se mide en joules (J)

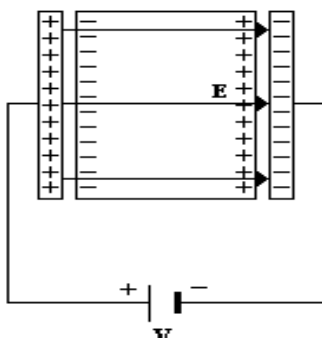
Q = carga que se mide en Coulomb (C)

ELEMENTOS DE UN CIRCUITO

Se recordará que un conductor es un cuerpo en cuyo interior hay cargas libres que se mueven por las fuerzas ejercidas sobre ellas por campo eléctrico. Las cargas libres en un conductor metálico son electrones, por esta razón definimos que:

Corriente eléctrica. Es la rapidez de flujo de carga Q que pasa por un punto dado en un conductor eléctrico.

Un gas en condiciones adecuadas, como el de un anuncio luminoso de neón o el de una lámpara fluorescente, es también un conductor y sus cargas libres son iones positivos y negativos y electrones. Cuando un conductor aislado se le coloca en un campo eléctrico, las cargas dentro del conductor se reagrupan de modo que el interior del conductor sea una región libre de campo, en toda la cual el potencial es constante. El movimiento de las cargas en el proceso de reagrupación, constituye una corriente de corta duración y se denomina corriente transitoria.

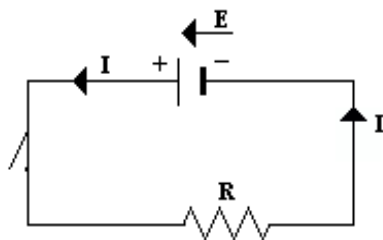


Corriente transitoria durante el proceso de reagrupación (polarización) de cargas de un conductor introducido en un campo eléctrico.

Si deseamos que circule una corriente permanente en un conductor, debemos de mantener un campo eléctrico continuo, es decir, un gradiente (caída) de potencial dentro de él. Si el campo tiene siempre el mismo sentido, aunque pueda variar su intensidad, la corriente se denomina continua. Si el campo se invierte periódicamente, se denomina corriente alterna.

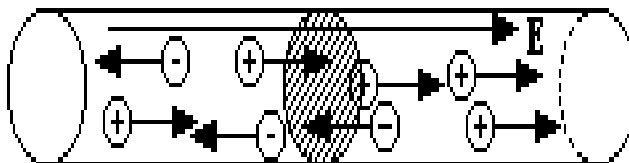
DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA.

Cuando existe un campo eléctrico en un conductor, las cargas libres de su interior se ponen en movimiento, desplazándose las positivas en sentido del campo y las negativas en sentido opuesto. Definiremos la dirección de la corriente como: **aquella en la que se mueven las cargas positivas, aun si la corriente realmente consiste en flujo de electrones**, esto es que la corriente convencional tiene una dirección de la corriente eléctrica: dirección de la terminal positiva (+) a la terminal negativa (-) como se muestra en la figura.



Dirección de la corriente convencional es siempre del borde positivo al negativo.

Por razones prácticas: **El sentido de la corriente eléctrica es igual que el de las cargas positivas.**



La corriente eléctrica se manifiesta como un flujo de cargas negativas que atraviesan de derecha a izquierda una sección y equivalen a las cargas positivas que la atraviesan de izquierda a derecha.

En la figura se presenta una porción de conductor dentro del cual hay un campo eléctrico de intensidad E , también se indican algunas cargas libres positivas y negativas. En un intervalo de tiempo dado, cierto número de cargas positivas atraviesan la sección sombreada de izquierda a derecha, mientras que las cargas negativas lo hacen de derecha a izquierda.

INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA (I).

En base a la descripción hecha en la figura, la corriente eléctrica se define como:

INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Es la carga total positiva que pasa por una sección de un conductor en la unidad de tiempo.

Su representación algebraica es la siguiente:

$$I = \frac{q}{t}$$

Donde:

q = carga total que pasa por un conductor (C)

t = tiempo en que dura el paso de carga (s)

I = intensidad de la corriente eléctrica (A)

Unidad de la corriente eléctrica en el S.I.

$$I = \frac{q}{t} = \frac{C}{s} = 1 \text{ Ampere} = 1A$$

De esta manera podemos establecer la siguiente definición:

UN AMPERE. Es la corriente que se presenta cuando una carga de un Coulomb, fluye por un conductor en un tiempo de un segundo.

De igual manera, el elemento del circuito que nos proporciona la corriente eléctrica que va a circular dentro del circuito se definirá como:

LA FUENTE DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (FEM). Es un dispositivo que convierte energía química, mecánica u otras formas de energía en energía eléctrica necesaria para mantener un flujo continuo de carga eléctrica

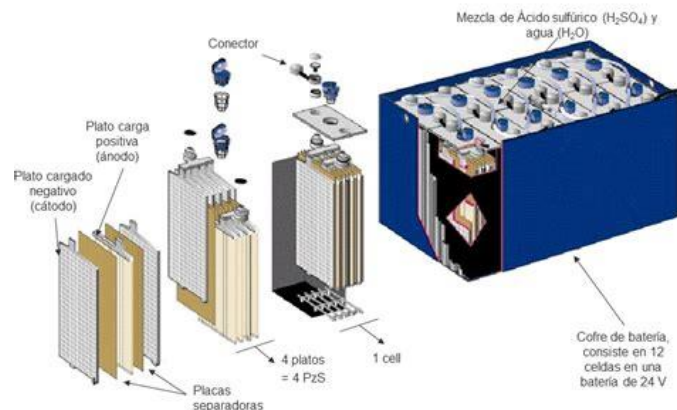
La fuerza electromotriz, se abrevia como “fem” y en los circuitos eléctricos se representa por el símbolo ε .

La función de la fem es: **suministrar energía a un circuito eléctrico, generando una diferencia de potencial entre dos puntos que permita un flujo continuo de carga.**

Algunos ejemplos de dispositivos convertidores de energía, son los siguientes:

ACUMULADORES

Son aquellas pilas reversibles en las que el producto químico que al reaccionar en los electrodos produce energía eléctrica, puede ser reconstituido pasando una corriente eléctrica a través de él en sentido opuesto a la operación normal de la pila.



Acumulador de plomo

Ejercicios resueltos:

1. Calcula la corriente en amperes, si 690 C de carga circulan por un alambre en dos minutos.

Datos

$$q = 690 \text{ C}$$

$$T = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$$

Fórmula

$$I = \frac{q}{t}$$

Desarrollo

$$I = \frac{690 \text{ C}}{120 \text{ s}} = 5.75 \text{ A}$$

R. 5.75 A

2. ¿Cuántos electrones pasan cada segundo por un punto en un alambre por el que circulan 20 A ?.
¿Cuánto tiempo es necesario para transportar una carga de 40 C más allá de ese punto?

Datos

$$q = ?$$

$$I = 20 \text{ A}$$

$$1 \text{ C} = 6.25 \times 10^{-18} \text{ e}^-$$

$$t = ?$$

$$q = 40 \text{ C}$$

Fórmula

$$I = \frac{q}{t}$$

$$t = \frac{q}{I} = \frac{40 \text{ C}}{20 \text{ C/s}} = 2 \text{ s}$$

Desarrollo

$$q = I \cdot t = (20 \text{ C/s})(1 \text{ s}) = 20 \text{ C}$$

$$q = 20 \text{ C} = 20 (6.25 \times 10^{-18} \text{ e}^-) = 125 \times 10^{-18} \text{ e}^-$$

R = 1.25×10^{20} electrones; 2 s

Circuitos en Serie, Paralelo y Combinados de C. C.

INTRODUCCIÓN:

Cuando decimos que un circuito eléctrico es importante, es en virtud de sus aplicaciones, y lo que pudiera pasar si no los utilizamos. La electricidad como tema de estudio de la física, define el comportamiento de los seres humanos en esta época al utilizar de manera indiscriminada y en algunos casos hasta de manera excesiva aparatos electrodomésticos y electrónicos; de ahí la importancia de que conozcas las leyes que rigen el comportamiento de los circuitos eléctricos más elementales y las Leyes Eléctricas que se utilizan para demostración científica.

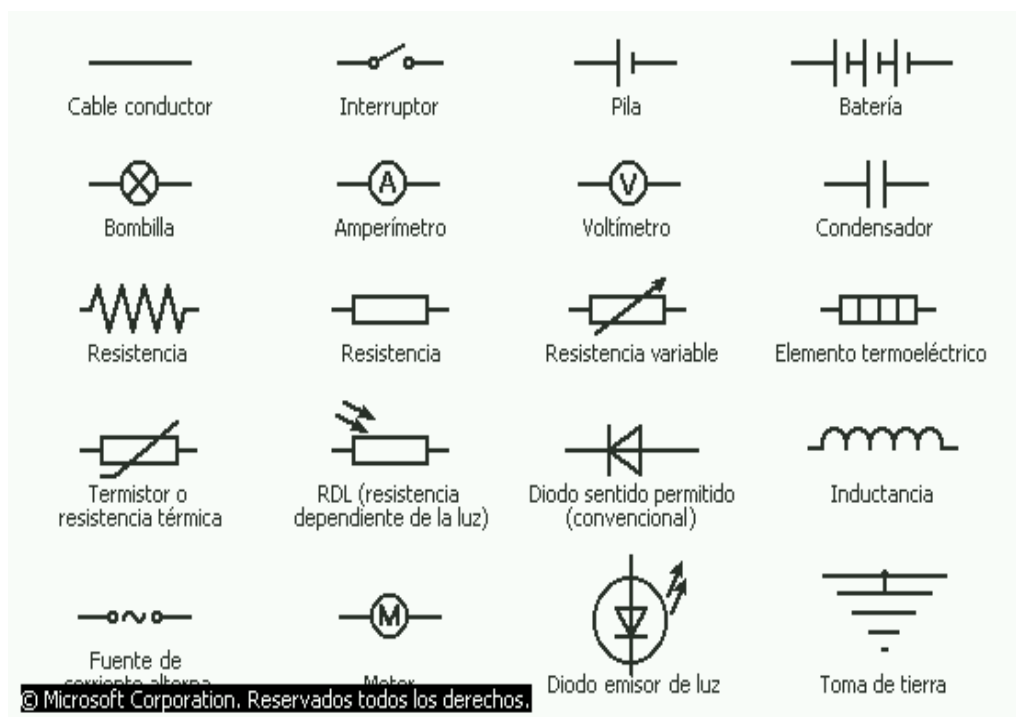
El término se utiliza principalmente para definir un trayecto continuo compuesto por conductores y dispositivos conductores, que incluye una fuente de fuerza electromotriz que transporta la corriente por el circuito. Un circuito de este tipo se denomina circuito cerrado, y aquellos en los que el trayecto no es continuo se denominan abiertos. Un cortocircuito es un circuito en el que se efectúa una conexión directa, sin resistencia, inductancia ni capacitancia apreciables, entre los terminales de la fuente de fuerza electromotriz.

Circuitos de corriente continua.

CIRCUITO ELÉCTRICO

Es aquel que está constituido ordinariamente por una fuente de energía y un conductor por los cuales circula la corriente, cuya dirección convencional es la misma dirección que el campo eléctrico "E" que produce la corriente en serie, en paralelo o mixtas.

A continuación, se presentan algunos de los principales símbolos de los elementos usados en los circuitos eléctricos:



Algunos símbolos empleados en circuitos eléctricos más comunes.

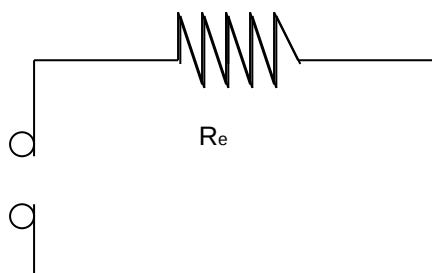
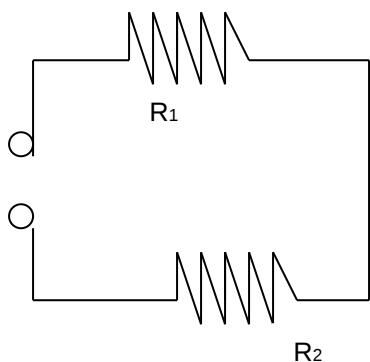
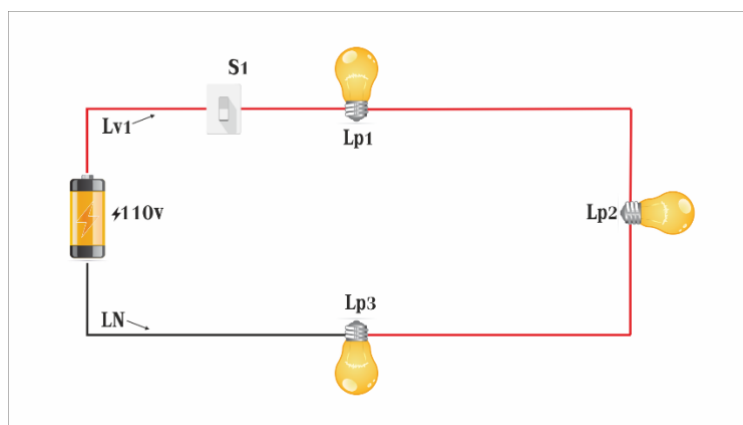
Uno de los elementos más importantes dentro de un circuito eléctrico es:

RESISTENCIA ELÉCTRICA (R). Es la oposición que presenta un material al flujo de la corriente eléctrica.

Las resistencias pueden estar conectadas de las siguientes formas:

CONEXIÓN EN SERIE:

Se caracteriza porque las resistencias solamente tienen un punto en común que no se encuentra conectado a un tercer elemento; además, la corriente en todas las partes de un circuito en serie es la misma.



Conexión de un circuito en serie y su equivalente.

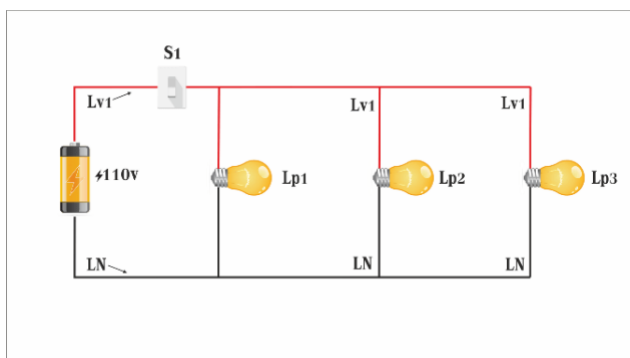
El voltaje total de resistores conectados en serie es igual a la suma de los voltajes en cada resistencia. La resistencia equivalente de resistores conectados en serie es la suma de las resistencias individuales.

$$I_e = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_e = V_1 + V_2 + V_3$$

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3$$

Nota: Existen varias limitaciones para operar los circuitos en serie, ya que, si un elemento falla, cesa la corriente por el circuito, además, cada elemento en un circuito en serie hace que aumente la resistencia total, limitando la corriente total a suministrar, una de las aplicaciones en las series de focos navideños.

CONEXIÓN EN PARALELO.

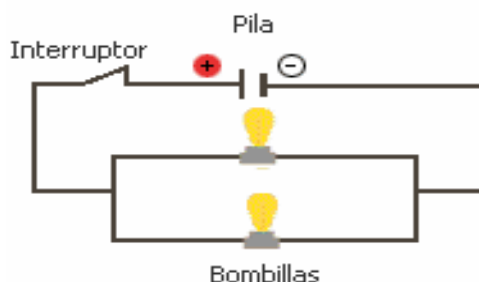
En un circuito en paralelo los dispositivos eléctricos, por ejemplo, las lámparas incandescentes o las celdas de una batería, están dispuestos de manera que todos los polos, electrodos y terminales positivos (+), se unen en un único conductor y todos los negativos (-), en otro, de forma que cada unidad se encuentra, en realidad, en una derivación paralela. El valor de dos resistencias iguales en paralelo es igual a la mitad del valor de las resistencias componentes y, en cada caso, el valor de

las resistencias en paralelo es menor que el valor de la más pequeña de cada una de las resistencias implicadas. En los circuitos de CA, o circuitos de corrientes variables, deben considerarse otros componentes del circuito además de la resistencia.

Para los resistores conectados en paralelo, se debe cumplir con:

- ✓ La corriente total en un circuito en paralelo es igual a la suma de las corrientes en cada elemento.
- ✓ La caída de voltaje a través de todas las ramas en un circuito paralelo debe ser el mismo.
- ✓ La inversa de la resistencia equivalente es igual a la suma de las inversas de las resistencias individuales

Circuito en paralelo

**ECUACIONES PARA CIRCUITOS EN PARALELO:**

Se debe considerar la ley de Ohm, que establece: $V = IR$

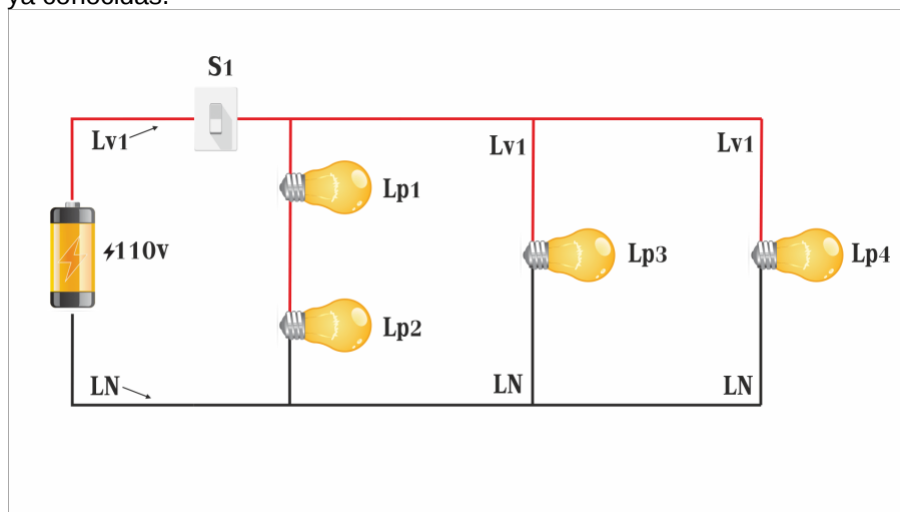
$$V_e = V_1 = V_2 = V_3 \dots$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

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

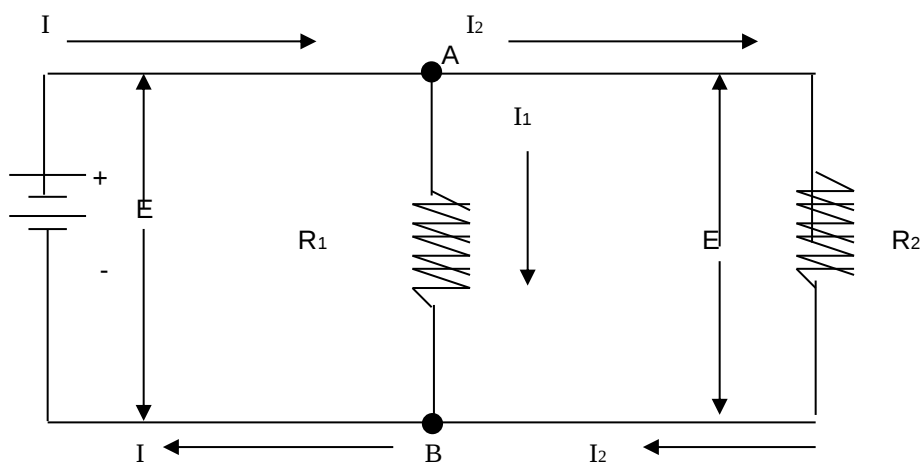
CIRCUITO MIXTO:

Este circuito es una combinación de los dos anteriores y para obtener el resistor equivalente, se utilizan las fórmulas ya conocidas.



Conexión mixta de resistores.

En la figura siguiente se muestra el circuito de dos resistores conectados en paralelo y una batería. Obsérvese que en un circuito paralelo circulan distintas corrientes a través de cada componente.



Circuito en paralelo.

La corriente a través de cada resistor es:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad I_2 = \frac{V}{R_2}$$

Si se observa la dirección de las corrientes con respecto a la unión A, I_1 circulando a través de R_1 , está saliendo de A. La corriente I de la batería está circulando hacia A. También I , I_1 e I_2 son las únicas corrientes entrando o saliendo de la unión, en consecuencia:

$$I = I_1 + I_2$$

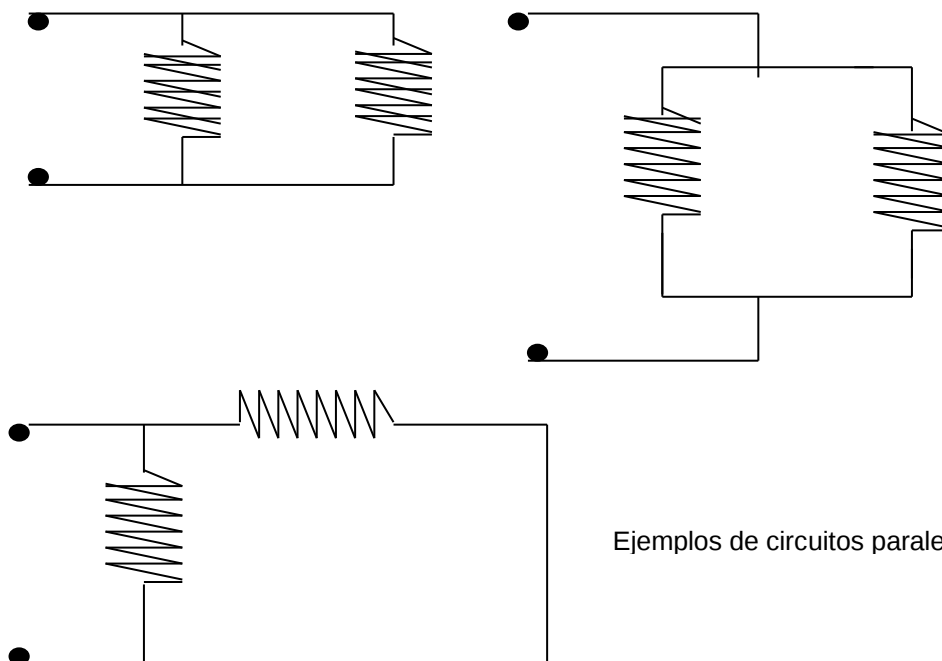
El mismo razonamiento es aplicable en la unión B donde I_1 e I_2 están entrando a B y al corriente I saliendo de B, por lo que:

$$I = I_1 + I_2$$

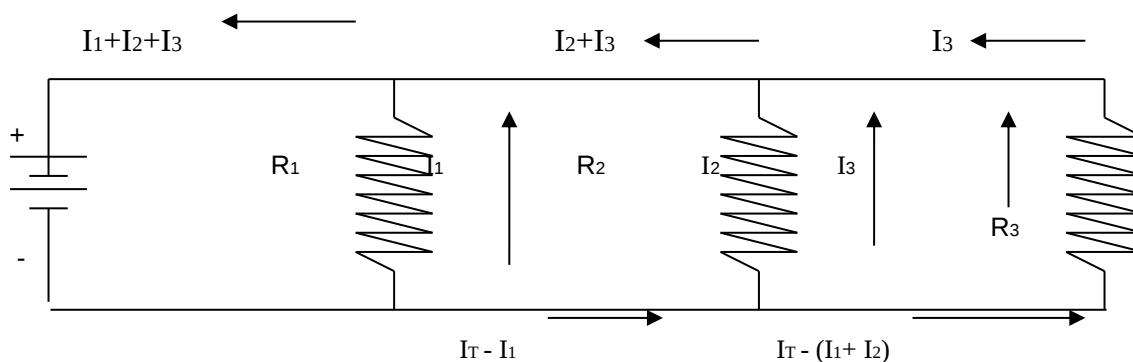
En el caso donde hallan (N) resistores en paralelo la corriente de la batería, es:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_N$$

A las distintas trayectorias de corriente en un circuito se les conoce como ramas, y no deben ser necesariamente los mismos valores en cada trayectoria. Algunas formas de conexión de ramas en paralelo se muestran a continuación:



Ejemplos de circuitos paralelo de c. c.



Si en la figura anterior, se aplica la Ley de Ohm a cada una de las ramas con resistencia, se obtiene:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

De manera que la corriente total es:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

Se puede escribir, como:

$$I_T = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \qquad I_T = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

La ecuación anterior se puede escribir como:

$$I_T = \frac{V}{R_{EQ}} = V \left(\frac{1}{R_{EQ}} \right)$$

Donde: R_e = resistencia equivalente del circuito.

$$V \left(\frac{1}{R_e} \right) = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

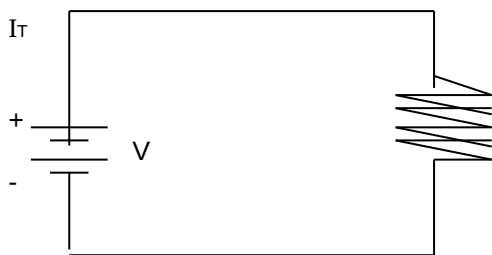
Por lo tanto:

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

La ecuación se puede escribir también, como:

$$R_e = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} \right) + \left(\frac{1}{R_2} \right) + \left(\frac{1}{R_3} \right)}$$

El circuito equivalente, es el siguiente:

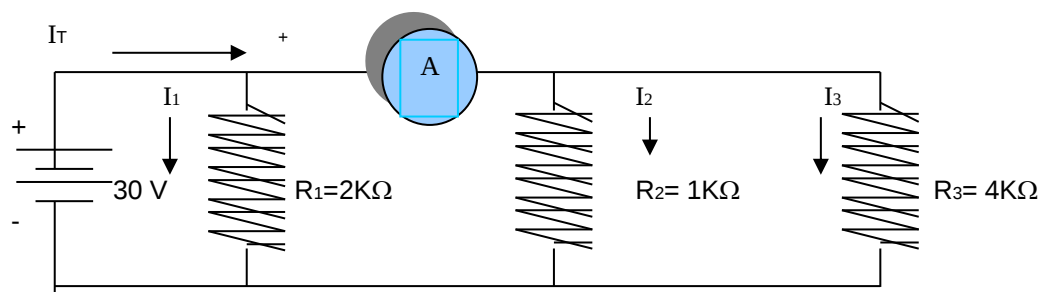


Ejercicios resueltos:

1. Una fuente de 30 volts se conecta a través de tres resistores en paralelo que tienen valores de: $R_1 = 2 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ K}\Omega$ y $R_3 = 4 \text{ K}\Omega$, como se muestra en la figura.

Calcular:

- La corriente que circula por el resistor.
- La corriente total.
- La resistencia equivalente del circuito.
- El valor de corriente que se lee en un amperímetro entre R_1 y R_2 .
- La potencia disipada por cada resistor.
- La potencia total que entrega la fuente.

**Datos:**

$$V = 30 \text{ V}$$

$$R_1 = 2\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_3 = 4\text{k}\Omega$$

a) La corriente que circula por cada resistor:

Fórmula:**Desarrollo:**

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{30\text{V}}{2000\Omega} = 0.015\text{A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$I_2 = \frac{30\text{V}}{1000\Omega} = 0.030\text{A}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$I_3 = \frac{30\text{V}}{4000\Omega} = 0.0075\text{A}$$

Nota: También se puede calcular de acuerdo con la expresión obtenida para la resistencia equivalente en circuito paralelo.

b) La corriente total:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 15 + 30 + 7.5 = 52.5 \text{ miliamperios}$$

$$I_T = 52.5 \text{ mA}$$

c) La resistencia equivalente del circuito se puede calcular, como:

$$R_{EQ} = \frac{V}{I_T}$$

$$R = \frac{30\text{V}}{0.0525\text{A}} = 571.428\Omega$$

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

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{2000\Omega} + \frac{1}{1000\Omega} + \frac{1}{4000\Omega} = 0.00175 \text{ Siemens}$$

$$R_{EQ} = \frac{1}{0.00175 \text{ Siemens}} = 571.428\Omega$$

d) El valor de corriente que se lee en el amperímetro entre R_1 y R_2 es:

$$I_T - I_1 = 52.5 - 15 = 37.5 \text{ miliamperios}$$

$$I_1 = 37.5 \text{ mA} \quad \text{ó} \quad I_2 + I_3 = 30 + 7.5 = 37.5 \text{ miliamperios}$$

e) La potencia disipada en cada resistor es:

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} \quad P_1 = \frac{(30V)^2}{2000\Omega} = 0.450W$$

$$P_2 = \frac{V^2}{R_2} \quad P_2 = \frac{(30V)^2}{1000\Omega} = 0.900W$$

$$P_3 = \frac{V^2}{R_3} \quad P_3 = \frac{(30V)^2}{4000\Omega} = 0.225W$$

f) La potencia total que entrega la fuente se puede calcular, como:

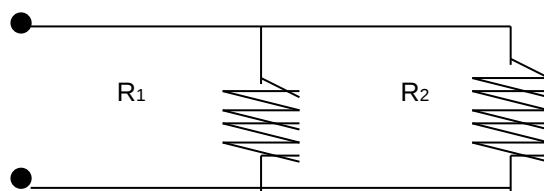
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad P_T = 0.450W + 0.900W + 0.225W = 1.575W$$

También se puede calcular como:

$$P_T = VI_T = (30V)(0.0525A) = 1.575W$$

Nota: Existen dos formas útiles para calcular la resistencia equivalente en redes con resistencias en paralelo.

Para cuando se tienen únicamente dos resistencias en paralelo



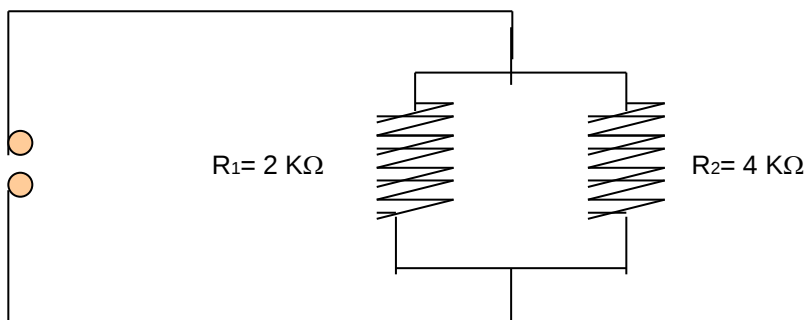
$$R_{EQ} = \frac{(R_1)(R_2)}{(R_1 + R_2)}$$

Cuando se tiene N resistencias del mismo valor R en paralelo:

$$R = \frac{R}{N}$$

Donde: R = (Resistencia de un resistor) /(Número de resistores).

2. Calcular la resistencia equivalente de dos resistencias en paralelo, una de $2\text{ K}\Omega$ y otra de $4\text{ K}\Omega$.



Datos:

Fórmula

Desarrollo

$R_e = ?$

$$R_{EQ} = \frac{(R_1)(R_2)}{(R_1 + R_2)}$$

$$R_{EQ} = \frac{(2000 \times 4000)}{(2000 + 4000)} = 1330\ \Omega$$

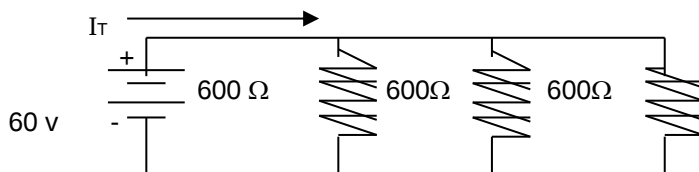
$R_1 = 2\text{ k}\Omega$

$R_2 = 4\text{ k}\Omega$

3. Se tienen 3 resistencias en paralelo de $600\ \Omega$ cada una, conectadas a través de una fuente de 60 volts.

Calcular:

- La resistencia total del circuito.
- La corriente total que se demanda de la fuente.
- La corriente en cada rama en paralelo.



Datos:

$R_1 = 600\ \Omega$

$R_2 = 600\ \Omega$

$R_3 = 600\ \Omega$

$V = 60\text{ V}$

$R_e = ?$

$I_T = ?$

$I_{c/u} = ?$

La resistencia total del circuito es:

$$R_{EQ} = \frac{R}{N}$$

$$R = \frac{600\Omega}{3} = 200\Omega$$

La corriente total que se demanda de la fuente.

$$I_T = \frac{V}{R_{EQ}}$$

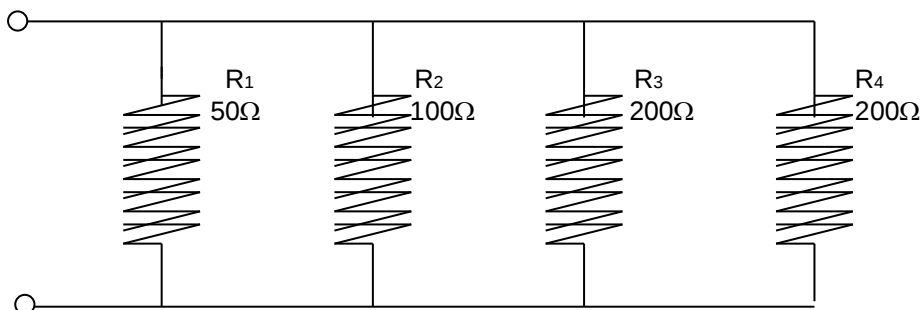
$$I = \frac{60V}{200\Omega} = 0.3A$$

La corriente en cada rama en paralelo. Debido a que las tres resistencias son iguales, la corriente es igual en todas las ramas, es decir:

$$I_1 = I_2 = I_3 = 0.3A$$

$$I_T = \frac{I}{3} = \frac{0.3A}{3} = 0.1A$$

4. Dado el circuito, mostrado en la siguiente figura, obtener la resistencia equivalente.



Datos:

$$R_1 = 50\Omega$$

$$R_2 = 100\Omega$$

$$R_3 = 200\Omega$$

$$R_4 = 200\Omega$$

$$R_e = ?$$

Se puede usar la técnica de combinar resistencias en paralelo por parejas de final hacia la fuente, es decir:

Fórmulas: $R_e = \frac{(R_3)(R_4)}{(R_3 + R_4)}$ $R_e = \frac{R}{N}$

Desarrollo:

1) Combinando R_3 y R_4 :

$$R_{3-4} = 200\Omega / 2 = 100\Omega$$

$$R_{3-4} = 100\Omega$$

2) Combinando R_2 con R_{3-4} :

$$R_{2-3-4} = 100\Omega / 2 = 50\Omega$$

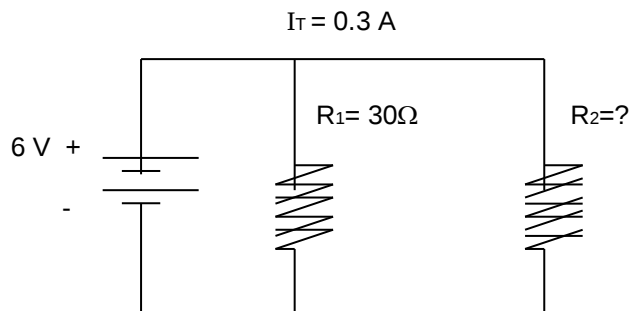
$$R_{2-3-4} = 50\Omega$$

3) Finalmente combinando las resistencias en paralelo:

$$R_{EQ} = 50\Omega / 2 = 25\Omega$$

$$R_{EQ} = 25\Omega$$

5. En el circuito mostrado en la figura $I_T = 0.3 A$. Calcular el valor de R_2 .



La resistencia equivalente del circuito se puede obtener como:

Datos:

$$I_T = 0.3 \text{ A}$$

$$R_1 = 30 \, \Omega$$

$$V = 6 \text{ V}$$

$$R_2 = ?$$

Fórmula Desarrollo

$$R_{EQ} = V / I_T = (6 \text{ volts}) / (0.3 \text{ A}) = 20 \, \Omega$$

$$R_{EQ} = 20 \, \Omega$$

De la fórmula para el cálculo de la resistencia equivalente de dos resistencias en paralelo:

$$R_{EQ} = \frac{(R_1 R_2)}{(R_1 + R_2)} \quad R_2 = \frac{(R_1 R_{EQ})}{(R_1 - R_{EQ})} = \frac{(30 \times 20)}{(30 - 20)} = 60 \, \Omega$$

Se puede también el valor de esta resistencia con otro método alternativo.

La corriente de rama de $30 \, \Omega$ es:

$$I_1 = V / R_1 = (6 \text{ volts}) / (30 \, \Omega) = 0.2 \text{ amperes}$$

$$I_1 = 0.2 \text{ A}$$

$$I_2 = I_T - I_1 = 0.3 - 0.2 = 0.1 \text{ amperes}$$

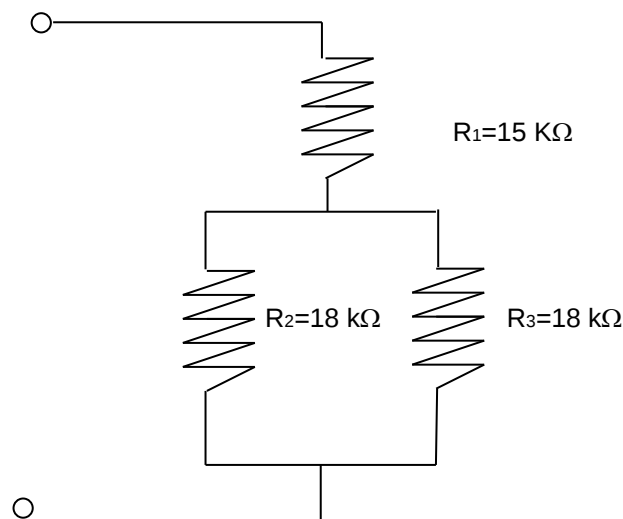
$$I_2 = 0.1 \text{ A}$$

Por lo tanto:

$$R_2 = V / I_2 = (6 \text{ volts}) / (0.1 \text{ amperes}) = 60 \, \Omega$$

$$R_2 = 60 \, \Omega$$

6. Encontrar la resistencia equivalente para el circuito siguiente:

**Datos:**

$$R_1 = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 18 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 18 \text{ k}\Omega$$

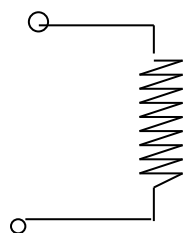
Fórmula**Desarrollo**

Combinando en paralelo

$$R_2 \text{ y } R_3 \quad R_{2-3} = (18\text{k}\Omega) / 2 = 9 \text{ k}\Omega$$

Combinando en serie R_1 con R_{2-3}

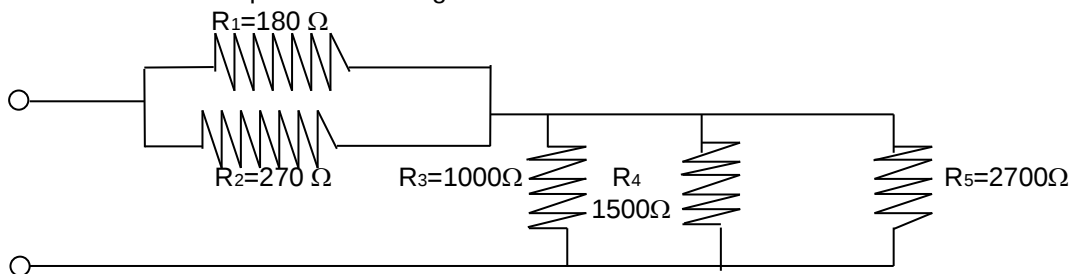
$$R_{EQ} = R_1 + R_{2-3} = 15 \text{ k}\Omega + 9 \text{ k}\Omega = 24 \text{ k}\Omega$$



$$R_{EQ} = 24 \text{ k}\Omega$$

Ejercicios propuestos:

1. Obtener la resistencia equivalente del siguiente circuito.

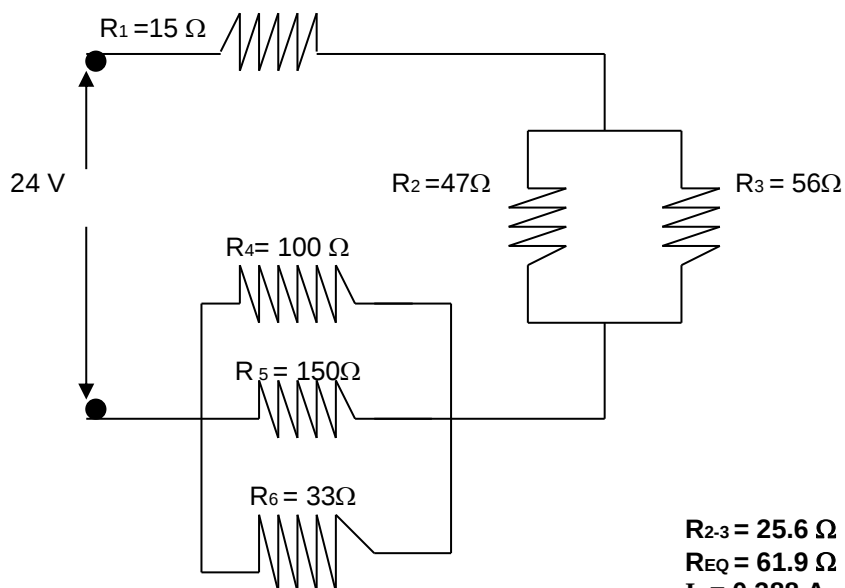


$$R_{1-2} = 108 \Omega$$

$$R_{3-4-5} = 491 \Omega$$

$$R_{EQ} = 599 \Omega$$

2. Obtener la caída de voltaje en cada una de las resistencias del circuito mostrado en la figura.



$$R_{2-3} = 25.6 \Omega$$

$$R_{EQ} = 61.9 \Omega$$

$$I_1 = 0.388 \text{ A}$$

$$I_3 = 0.177 \text{ A}$$

$$I_5 = 0.0551 \text{ A}$$

$$V_1 = 5.82 \text{ V}$$

$$V_3 = 9.92 \text{ V}$$

$$V_5 = 8.26 \text{ V}$$

$$V_t = 24 \text{ V}$$

$$R_{4-5-6} = 21.3 \Omega$$

$$I_T = 0.388 \text{ A}$$

$$I_2 = 0.211 \text{ A}$$

$$I_4 = 0.0826 \text{ A}$$

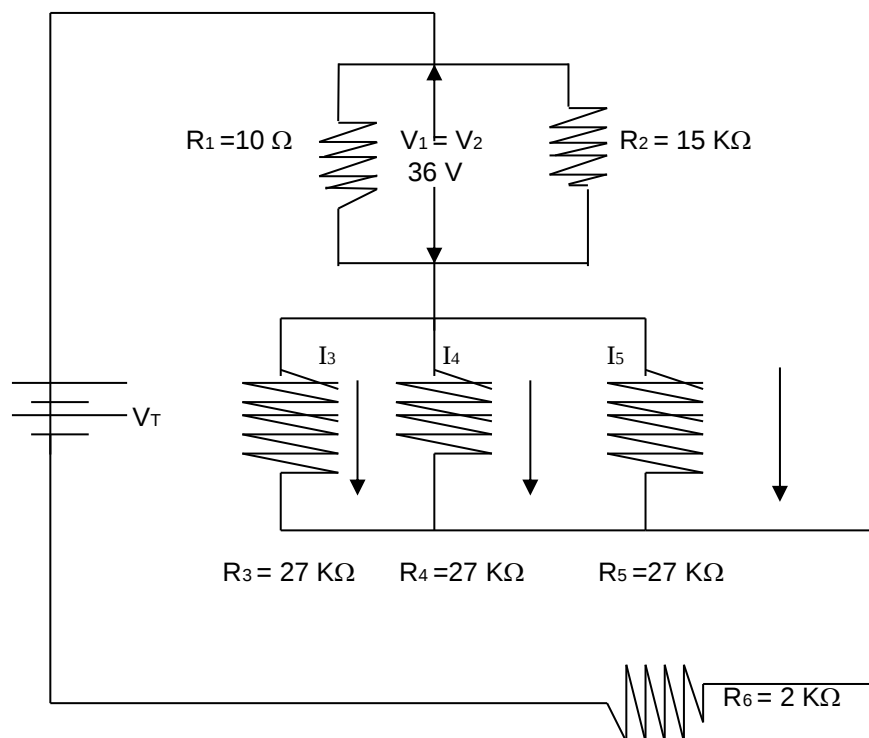
$$I_6 = 0.25$$

$$V_2 = 9.92 \text{ V}$$

$$V_4 = 8.26 \text{ V}$$

$$V_6 = 8.26 \text{ V}$$

3. Para el circuito serie-paralelo mostrado. Calcular la resistencia total y los voltajes, así como las intensidades de corriente en cada resistencia.

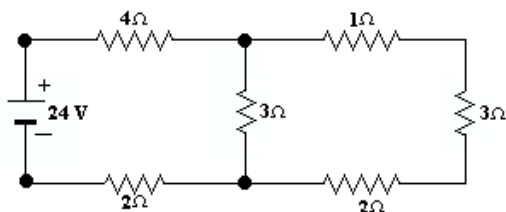


$R_T = 17 \text{ k}\Omega$
 $I_1 = 3.6 \text{ mili amperes}$
 $I_2 = 2.4 \text{ mili amperes}$
 $I_T = 6 \text{ mili amperes}$
 $V_3 = 54 \text{ volts}$
 $V_4 = 54 \text{ volts}$
 $V_5 = 54 \text{ volts}$
 $I_3 = 2 \text{ mili amperes}$
 $I_4 = 2 \text{ mili amperes}$
 $I_5 = 2 \text{ mA}$
 $V_6 = 12 \text{ volts.}$
 $I_6 = 6 \text{ mA}$

4. Un resistor R_1 de 18Ω y otro de R_2 de 9Ω se conectan en paralelo y posteriormente en serie con un acumulador de 24 V . ¿Cuál es la resistencia eficaz para cada conexión? ¿Qué conexión toma más corriente del acumulador?

$R = 6\Omega ; 27\Omega ; \text{ en paralelo}$
 $R = 4 \text{ A; } 0.88 \text{ A; paralelo}$

5 Calcula la resistencia equivalente del circuito mostrado



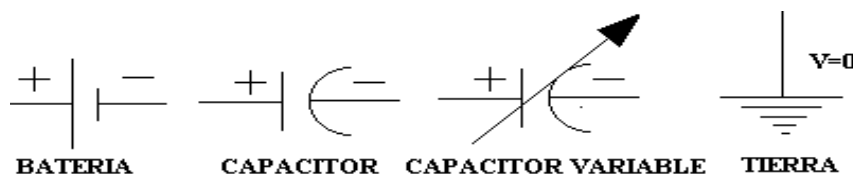
$R = 8\Omega$

Capacidad eléctrica.

Introducción:

Cuando se tiene una gran demanda de cantidades enormes de energía eléctrica, el almacenamiento de carga eléctrica es un factor importante de tipo industrial, por lo que a continuación estudiaremos los principios básicos que nos permiten almacenar una cierta cantidad de carga en los capacitores o condensadores.

CONDENSADOR O CAPACITOR. Es un dispositivo eléctrico que consiste en dos conductores separados por un aislador o dieléctrico que permite almacenar carga eléctrica.



Símbolos que se usan con los capacitores.

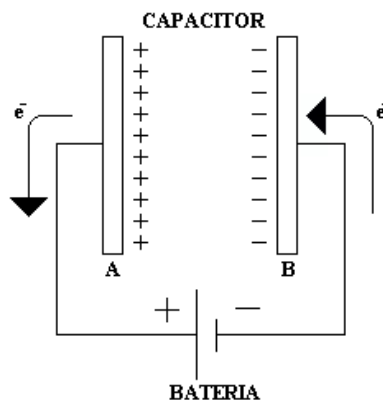


Componentes de una radio de transistores

Este circuito muestra la complejidad de los modernos receptores de radio. Los seis componentes rectangulares negros son los circuitos integrados (CI) que contienen cientos de transistores. Los otros componentes son resistencias (pequeños elementos redondos planos), condensadores (cilindros negros) e inductores (bobinas de cable). Los circuitos más modernos poseen menor número de elementos, a menudo un único CI y algunas pocas resistencias. Estas mejoras se deben al desarrollo de CI más evolucionados y la transición de la sintonía LC (inductor-condensador) a la PLL (bucle fijo de fase). Esta última, además de proporcionar la visualización digital de la frecuencia, no precisa componentes individuales.

En la aplicación práctica, se presenta un caso particular importante cuando dos conductores próximos reciben cargas del mismo valor y signo opuesto. Esto se consigue comúnmente conectando entre ambos conductores, descargados inicialmente, a los bornes de una batería, lo que ocasiona un paso de carga de un conductor a otro. Este dispositivo de dos conductores se le denomina condensador o capacitor.

El hecho de que cada conductor este próximo a otro que lleve una carga de signo opuesto, permite el paso de cantidades relativamente grandes de carga de un conductor a otro con diferencia de potencial relativamente pequeña, como se muestra en la siguiente figura:



Capacitor que consta de dos placas conductoras cuya separación es pequeña en comparación con las dimensiones lineales de los conductores

CAPACIDAD O CAPACITANCIA DE UN CAPACITOR (C)

Es la razón de la carga q de cualquiera de los dos conductores con la diferencia de potencial V_{AB} entre ellas.

Matemáticamente:

$$C = \frac{q}{V_{ab}}$$

Donde:

C = capacidad eléctrica (F)

q = carga del condensador o carga de los conductores, sin tomar en cuenta el signo (C)

V_{AB} = diferencia de potencial entre los conductores (V)

Unidades de capacitancia.

$$C = \frac{(ues)^2}{ergio}$$

1 Microfarad = $\mu F = 10^{-6}$ F

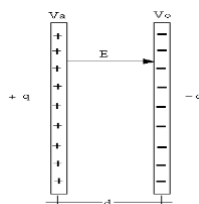
1 Picofaradio = $pF = 10^{-12}$ F

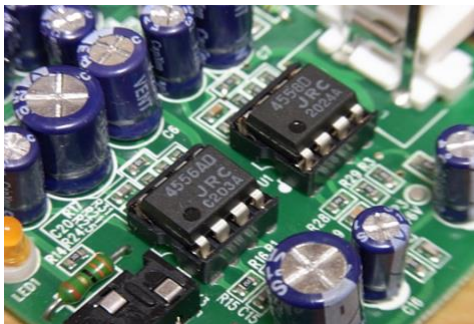
$C = C / V = \text{Farad (F)} = 1F$

La capacitancia de un condensador es un **faradio**, “si, para una diferencia de potencial de un voltio entre ambos conductores, la carga transmitida de uno a otro es de un Coulomb”.

CAPACITOR DE PLACAS PARALELAS

El tipo de capacitor o condensador más común se compone de dos placas o láminas conductoras paralelas, separadas por una distancia d que es pequeña comparada con las dimensiones lineales de las láminas.





Placa de circuitos y transistores

La imagen ampliada de la placa de circuitos de un detector de humo muestra sus componentes, entre los que se incluyen transistores, reóstatos, condensadores, diodos y bobinas. Los transistores que permiten el funcionamiento del circuito están encerrados en unos contenedores redondos plateados. Los transistores pueden efectuar diversas funciones, sirviendo, por ejemplo, de amplificadores, interruptores y osciladores. Cada transistor consta de un pequeño trozo de silicio al que se le han aplicado átomos de impurezas para crear semiconductores de tipo *n* y de tipo *p*. Inventados en 1948, los transistores son un componente fundamental en casi todos los dispositivos electrónicos modernos.

Cálculo de la capacitancia.

Es un hecho comprobado que un capacitor formado por un solo conductor puede almacenar una cantidad de carga, pero dos conductores de placas paralelas, pueden almacenar una mayor cantidad de carga debido al fenómeno físico de la inducción de dos conductores estrechamente separados como en la figura anterior. El efecto inductivo aumenta, si los conductores se encuentran más próximos, por lo que se facilita la transferencia de carga de un conductor a otro. Por lo anteriormente expuesto, se cumple que:

La capacitancia de un capacitor dado será directamente proporcional al área de las placas e inversamente proporcional a la separación entre ellas.

Se ha comprobado que para un capacitor con aire o vacío entre sus placas la intensidad de campo **E** está dada por:

$$E = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{q}{A}$$

Donde:

q = carga de cualquiera de las placas (C)

A = área de cualquiera de las placas (m^2)

ϵ_0 = permisividad del vacío = $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot m^2$.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi^{\circ}K} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot m^2$$

Además:

$$V = Ed \Rightarrow E = \frac{V}{d}$$

Donde:

V = diferencia de potencial entre las placas (V)

d = separación entre las placas (m)

Si igualamos las fórmulas de intensidad de campo, nos da:

$$\frac{1}{\epsilon_0} \frac{q}{A} = \frac{V}{d} \therefore \frac{q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d} = C_0$$

Donde:

C_0 = capacitancia de un capacitor con vacío entre las placas (F)

ϵ_0 = permisividad del vacío (C_2 / Nm^2)

q = carga de cualquiera de una de las placas (C)

V = diferencia de potencial entre los conductores (V)

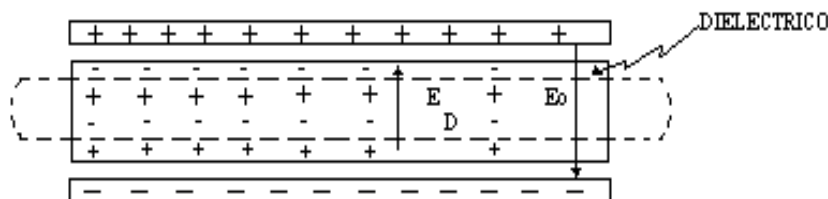
A = área de cualquiera de una de las placas (m^2)

CONSTANTE DIELECTRICA (K)

En la práctica, para obtener una mayor eficiencia en los capacitores, se inserta un material no conductor entre las dos placas, que recibe el nombre de **dieléctrico**, el cual produce un efecto sobre el campo y potencial eléctrico entre las placas consiguiendo una mayor rigidez dieléctrica, variando la capacitancia, como se muestra en la siguiente figura, logrando las siguientes ventajas:

El dieléctrico permite una menor separación entre las placas del capacitor evitando que haya contacto.
El dieléctrico incrementa la capacitancia del capacitor.

Se pueden emplear voltajes mayores sin que se corra el riesgo de romperse el dieléctrico.



Capacitor con dieléctrico. El dieléctrico proporcionará generalmente una mayor resistencia mecánica.

CAPACIDAD ELÉCTRICA

La inserción de un dieléctrico entre las placas de un capacitor ocasiona una polarización del dieléctrico que da como resultado una reducción del campo eléctrico y como consecuencia una caída en la diferencia de potencial, produciendo un incremento en la capacitancia.

Existe una gran diversidad de material dieléctrico, siendo los más comunes la mica, el papel parafinado, la cerámica y los plásticos; pueden enrollarse hojas alternadas de chapa metálica y papel impregnado de parafina para obtener un capacitor compacto con una capacitancia mayor.

La intensidad del campo eléctrico **E** se obtiene como:

$$E = E_0 - E_D$$

Donde:

E = Campo eléctrico disminuido al insertar el dieléctrico.

E_0 = Campo eléctrico en vacío (sin el dieléctrico).

E_D = Campo eléctrico en el dieléctrico.

$$C = \frac{q}{V}$$

Donde:

C = la capacidad del dieléctrico (F)

q = la carga (C)

V = potencial eléctrico (V)

Sabemos que: si antes de insertar el dieléctrico, la capacitancia es C_0 y después de insertar el dieléctrico, la capacitancia es C_D , entonces: C_0 debido a la caída de potencial (o voltaje), el incremento relativo de la capacitancia es constante y depende del material de que esté constituido el dieléctrico.

CONSTANTE DIELECTRICA (K)

Es la razón de la capacitancia C de un capacitor con un dieléctrico entre sus placas con respecto a la capacitancia C_0 en el vacío.

Matemáticamente:

$$K = \frac{C}{C_0} \quad \text{ó} \quad K = \frac{V_0}{V} = \frac{E_0}{E} = \frac{e}{e_0}$$

Donde:

V_0 = diferencia de potencial con vacío entre las placas (V)

V = diferencia de potencial después de insertar el dieléctrico (V)

E_0 = intensidad del campo con vacío entre las placas (N/C)

E = intensidad de campo después de insertar el dieléctrico (N/C)

C_0 = capacitancia con vacío entre las placas (F)

C = capacitancia después de insertar el dieléctrico (F)

K = constante dieléctrica igual a 1 para el aire (adimensional)

La capacitancia C de un capacitor con un dieléctrico entre sus placas esta dado por la fórmula:

$$C = KC_0 = \frac{Ke_0A}{d} \quad \text{ó} \quad C = \frac{eA}{d}$$

Donde:

K = constante dieléctrica (adimensional)

C_0 = capacitancia con vacío entre las placas (μF) ó (F)

E_0 = permisibilidad del vacío = $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2$

A = área de una de las placas (m^2)

D = separación de las placas (m)

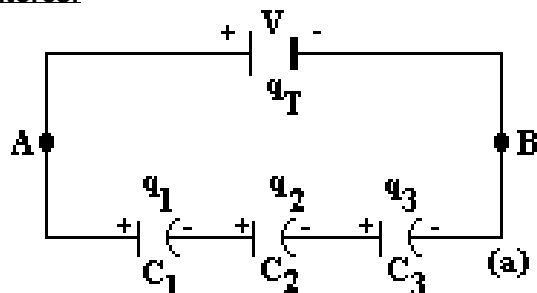
E = permisividad del dieléctrico

Circuitos de capacitores.

Los circuitos eléctricos por lo general contienen a dos o más capacitores conectados entre si, esta conexión puede ser:

- circuito o conexión en serie
- circuito o conexión en paralelo
- circuito o conexión mixta

Para poder resolver ejercicios de capacitores agrupados entre si, es conveniente hacer uso del diagrama del circuito, que es la representación por medio de símbolos de los dispositivos eléctricos.

Circuito en serie de capacitores:

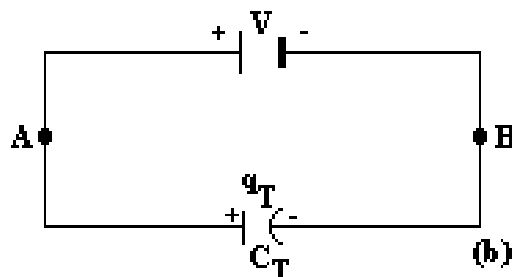
Donde:

$$q_T = q_1 = q_2 = q_3$$

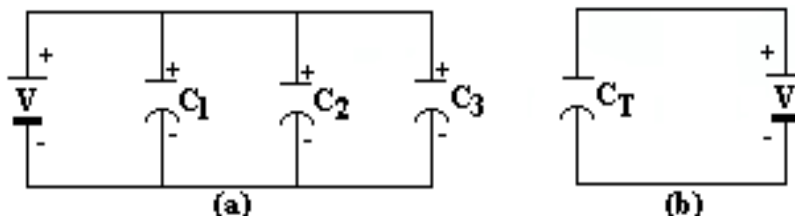
$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Nota: Una conexión de capacitores en serie tiene la característica de que se conecta la placa positiva del capacitor a la negativa, además, no hay transferencia de carga, es decir ésta permanece constante.

**CAPACITANCIA TOTAL DE UNA CONEXIÓN EN SERIE DE CAPACITORES.**

El diagrama del circuito de la figura (a), se puede sustituir por uno solo equivalente como se muestra en la figura (b), produciendo el mismo efecto.

CONEXIÓN DE CAPACITORES EN PARALELO.

Capacitancia total de una conexión en paralelo

Matemáticamente:

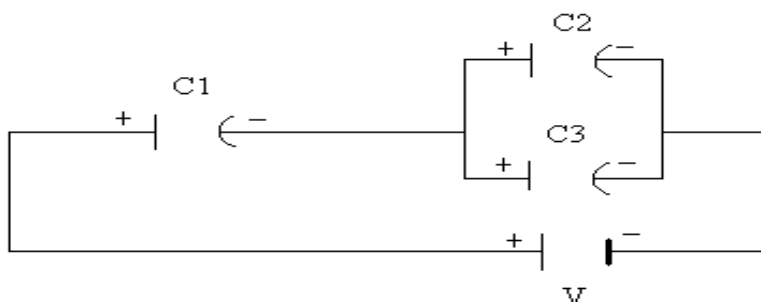
$$q_T = q_1 + q_2 + q_3 \quad V_T = V_1 = V_2 = V_3$$

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Nota: Una conexión en paralelo tiene la característica de que varios capacitores están conectados directamente a la misma fuente de potencial, por lo tanto, las cargas no son iguales en tres capacitores conectados en paralelo, se pueden sustituir por uno solo equivalente.

CONEXIÓN MIXTA DE CAPACITORES.

Es una combinación de las dos conexiones anteriores y la capacitancia total se obtiene simplificando cada conexión. En la conexión mixta de capacitores: el capacitor total equivalente se obtiene simplificando cada circuito.



ENERGÍA ALMACENADA POR UN CAPACITOR.

La energía almacenada por un capacitor que está inicialmente descargado hasta quedar completamente cargado es equivalente al trabajo efectuado por una carga q en contra de las fuerzas electrostáticas y vale:

$$W = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{Q^2}{2 C}$$

Donde:

W = energía potencial electrostática del capacitor cargado (J)

Q = carga total transferida (C)

V = diferencia de potencial final (V)

C = capacitancia (F)

Ejercicios resueltos

- Encuéntrese la capacitancia de un capacitor de placas paralelas si el área de cada placa es de 0.08 m^2 y la separación entre ellas es de 4 mm . (a) El dieléctrico es aire, (b) el dieléctrico es papel parafinado ($K = 2$).

Datos

$C = ?$

Fórmula

$$C = K \epsilon \frac{A}{d}$$

Desarrollo

$A = 0.08 \text{ m}^2$

$D = 4 \text{ mm} = 0.004 \text{ m}$

$K = 1.00059$

$\epsilon = 8.8552 \times 10^{-12} \text{ C}_2/\text{Nm}_2$

$K = 2$

$\epsilon = 28 \times 10^{-12} \text{ C}_2/\text{Nm}_2$

$$C = 1.00059 \left(8.8552 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \right) \frac{0.08 \text{ m}^2}{0.004 \text{ m}} = 1.77 \times 10^{-10} \text{ F}$$

$$C = 2 \left(28 \times 10^{-12} \frac{\text{C}_2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \right) \frac{0.08 \text{ m}^2}{0.004 \text{ m}} = 1.12 \times 10^{-10} \text{ F}$$

a) $C = 1.77 \times 10^{-10} \text{ F}$

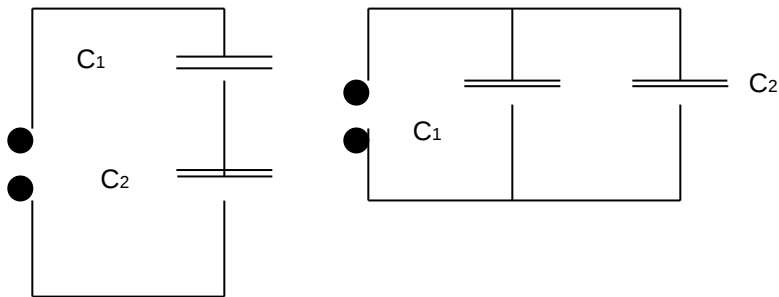
b) $C = 1.12 \times 10^{-10} \text{ F}$

2. Un capacitor de $6\ \mu\text{F}$ se conecta en serie con un capacitor de $15\ \mu\text{F}$. ¿Cuál es la capacitancia efectiva? Si el arreglo se conecta en paralelo. ¿Cuál será la capacitancia efectiva?

Datos

$$C_1 = 6\ \mu\text{F}$$

$$C_2 = 15\ \mu\text{F}$$



Fórmula serie

$$\frac{1}{C_E} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Desarrollo

$$\frac{1}{C_E} = \frac{1}{6} + \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{C_E} = \frac{5+2}{30} = \frac{7}{30} = 0.2333\ \mu\text{F}$$

$$\text{R. } C = \frac{1}{0.2333} = 4.2863\ \mu\text{F}$$

Fórmula paralelo

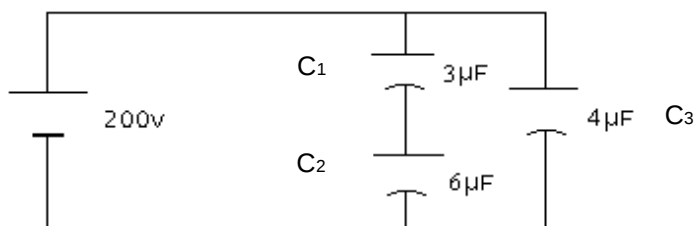
$$C_E = C_1 + C_2$$

Desarrollo

$$C_E = 6 + 15 = 21\ \mu\text{F}$$

$$\text{R. } 21\ \mu\text{F}$$

3. Calcula la capacitancia equivalente para el circuito mostrado en la figura. ¿Cuál es la carga total? ¿Cuál es el voltaje a través de cada capacitor?



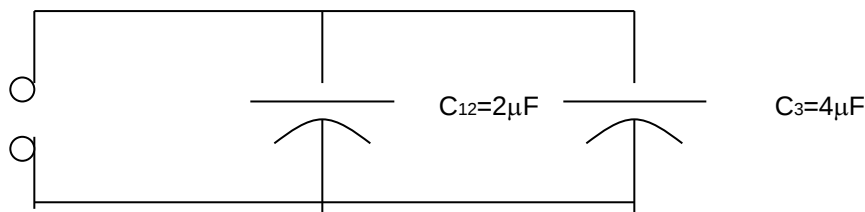
Datos

$$V = 200\ \text{V}$$

$$C_1 = 3\ \mu\text{F}$$

$$C_2 = 6\ \mu\text{F}$$

$$C_3 = 4\ \mu\text{F}$$



Fórmula

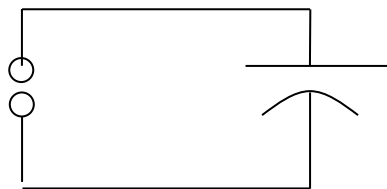
$$\frac{1}{C_E} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Desarrollo

$$\frac{1}{C_E} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6} \quad C_{12} = \frac{6}{3} = 2\ \mu\text{F}$$

$$C_E = C_1 + C_2$$

$$C_E = 2 + 4 = 6\ \mu\text{F}$$



$$R. C_e = 6\mu F$$

La carga total se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{q}{V} \quad \text{despejando "q"} \quad q = C.V = (6 \times 10^{-6} F)(200 V) = 1.2 \times 10^{-3} C.$$

$$1C = \left(\frac{C^2}{Nm} \right) \left(\frac{Nm}{C} \right)$$

El voltaje en cada condensador se calcula de la siguiente manera:

$$V = \frac{q}{C}$$

$$V_{c3} = V_{total} = 200 V \quad q = C_x V = (2 \times 10^{-6})(200 v) = 400 \times 10^{-6} C = 4 \times 10^{-4} C$$

$$V_{C1} = \frac{(4 \times 10^{-4} C)}{(3 \times 10^{-6} F)} = 133.33 V$$

$$V_{C2} = \frac{(4 \times 10^{-4} C)}{(6 \times 10^{-6})} = 66.66 V$$

Comprobación:

$$V_{TOTAL} = V_{C1} + V_{C2} = 133.33 V + 66.66 V = 200 V$$

Ejercicios propuestos

1. Las placas de cierto capacitor tienen una separación de 3 mm y un área de 0.04 m². Para un dieléctrico de aire, calcula (a) la capacitancia, (b) la intensidad del campo eléctrico entre las placas, (c) la carga en cada placa si se aplican 200 V al capacitor.

$$R. a) C = 1.18 \times 10^{-10} C_2/Nm \quad b) E = 66666.6 N/C \quad c) q = 2.3 \times 10^{-8} C$$

2. Un capacitor tiene una capacitancia de 12 μF cuando sus placas están separadas por 0.3 mm de espacio vacío. Se usa un acumulador para cargar las placas con una diferencia de potencial de 400 V y después se desconecta del sistema. (a) ¿Cuál será la diferencia de potencial a través de las placas si una hoja de baquelita ($K = 7$) llena el espacio entre las placas? (b) ¿Cuál es la capacitancia después de que la baquelita se ha insertado? (c) ¿Cuál es la permisividad de la baquelita?

$$R. a) V = 57.15 v \quad b) C = 84 \mu F \quad c) \epsilon = 6.2 \times 10^{-11} C_2/Nm$$

3.- Un condensador de 1 μF se carga a 100 V y otro condensador de 2 μF se carga a 200 V. Después se conectan en paralelo uniendo entre si las láminas positivas. Determina la energía inicial y final.

$$R. W_i = 250 \times 10^{-6} J \\ W_f = 8.33 \times 10^{-2} J$$

MAGNETISMO

Introducción:

En Grecia antigua, hace más de 2000 años, se sabía que ciertas piedras procedentes de magnesias, ahora denominadas magnetita, atraían trocitos de hierro no magnetizado. Algunas personas creen que las piedras magnéticas son simples objetos curiosos o raros, y que los imanes son juguetes, pero aun cuando es divertido jugar con los imanes, están lejos de ser juguetes nada más, y los hay de varias formas.

El magnetismo sólo fue estudiado y comprendido en el siglo pasado con los inmensos progresos que hicieron los investigadores en el conocimiento de los fenómenos eléctricos y atómicos. Entonces fue cuando también se comprendió que la tierra era semejante a un gigantesco imán que producía un campo magnético que iba del polo norte al polo sur geográfico. Una aplicación práctica del magnetismo es el potente electroimán fijado a una grúa de un depósito de recuperación de chatarra. La primera aplicación práctica del imán fue acerca del uso de una aguja magnética para indicar direcciones, que fue el antecedente de la brújula.

El magnetismo representa un hecho importante en el estudio de la electricidad. Siempre que hay una corriente eléctrica, también aparece el magnetismo. Los dos no pueden separarse. La operación de aparatos como radios, TV, motores y medidores eléctricos depende de los efectos magnéticos de la corriente.

MAGNETOSTÁTICA

Es el estudio de todas las propiedades y acciones de los imanes y materiales magnéticos

IMANES.

En el caso del magnetismo, desde tiempos remotos el hombre se dio cuenta de que el mineral magnetita o imán (óxido de hierro) tenía la propiedad peculiar de atraer el hierro. A esta fuerza de atracción se le debe el nombre de magnetismo, y al dispositivo que ejerce una fuerza magnética se le llamó imán.

Los primeros experimentos realizados sobre el magnetismo se refirieron principalmente al comportamiento de los imanes permanentes. No se sabe con exactitud cuándo se utilizó por vez primera un imán para la navegación, pero existen referencias del empleo de un imán con este objetivo en el siglo XII.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE IMANES.

Pierre Maricourt realizó en 1269 un importante descubrimiento, cuando dejó una aguja sobre un imán natural esférico en diversas posiciones y marcó las direcciones que señalaba la aguja. Las líneas rodeaban al imán del mismo modo que las líneas meridianas rodean la tierra, pasando a través de dos puntos en los extremos opuestos a la esfera. Debido a la analogía con las líneas meridianas de la tierra, denominó a estos puntos, **polos del imán**.

En 1600, William Gilbert descubrió la razón que la aguja de una brújula se oriente por sí misma en dirección definida, la Tierra es un imán permanente. Puesto que el polo norte de la aguja de una brújula se ve atraído hacia el polo geográfico norte de la tierra, éste es realmente un polo magnético sur. (ver figura)



Polos geográficos



La tierra actúa como un enorme imán cuyos polos no coinciden con los polos geográficos

Imanes.

Los materiales magnéticos son atraídos por un imán; pueden poseer o no la propiedad de la polaridad y pueden o no tener el poder de atraer a otros materiales magnéticos.

IMÁN

Sustancia que, por condición natural o adquirida, tiene la propiedad de atraer al hierro.

La magnetita o piedra imán es un imán natural compuesto, fundamentalmente, de óxido de hierro (Fe_3O_4). Se puede imanar un trozo de hierro sometándolo a un campo magnético creado por un imán o por una corriente eléctrica se convierte en un imán artificial que pierde su magnetismo cuando deja de estar en contacto con el primer imán (o, como en el caso de un electroimán, cuando deja de pasar

la corriente eléctrica por el arrollamiento conductor). El acero imanado es un imán artificial permanente porque sí conserva su magnetismo.

Si un imán se coloca entre limaduras de hierro, éstas se agrupan alrededor de sus extremos o polos, llamados polo norte y polo sur. Si se fragmenta un imán, cada fragmento presenta de nuevo un polo norte y un polo sur.

Estas dos observaciones nos llevan a la conclusión de que todos los imanes son materiales magnéticos, pero no todos los materiales magnéticos son imanes.

LOS IMANES SE CLASIFICAN EN:

- **Imanes Naturales.**

Hace siglos se descubrió que ciertas piedras existentes en la tierra, tenían dos propiedades particulares: una era que poseían el poder de atraer y retener a otros trozos de piedras similares o hierro; la otra era que, cuando se suspendía de una cuerda un trozo alargado de esta piedra, siempre se paraba con un extremo apuntando al norte. Los chinos fueron los primeros en descubrir y usar esta piedra para determinar direcciones. Estas piedras también se denominan **imanes naturales** porque poseen poder magnético cuando se extraen de la tierra. Los imanes naturales ya no tienen valor práctico, pues ahora es posible fabricar potentes imanes artificiales de formas diferentes para satisfacer requisitos particulares.

- **Imanes Artificiales.**

La piedra imán poseía la propiedad de recoger trozos de acero, y aunque todos estos podían ser atraídos por la piedra imán, se apreciaba que los diferentes trozos de acero no se atraían entre sí antes de ser tocados por la piedra imán. Si se frota o golpea una barra de acero con una piedra imán, se observará que la barra de acero adquiere las mismas propiedades de la piedra imán y es capaz de atraer hacia sí trozos de acero. Un material magnetizado de esta forma se denomina imán artificial. La imitación que se consigue por este procedimiento es muy pequeña en comparación con la de los imanes modernos; tal como se hacen colocando la barra de acero dentro de una bobina por la que pasa corriente eléctrica.

- **Imanes Permanentes.**

Si se endurece una pieza de acero con tratamiento térmico y se convierte entonces en imán artificial, al situarla en una bobina por la que circula una corriente eléctrica, se apreciará que el acero endurecido permanece imantado durante un largo período después de haber retirado la fuerza magnetizante. Este tipo de imán artificial se denomina imán permanente.

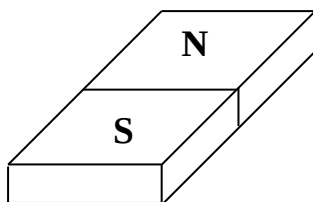
- **Imanes Temporales.**

Si una pieza de hierro, acero suave o níquel se convierte en imán artificial por medio de una bobina por la que pasa una corriente eléctrica, se apreciará que pierden prácticamente todo su magnetismo casi inmediatamente después de ser retirada de la fuerza magnetizante. Este tipo de imán artificial se denomina **imán temporal**.

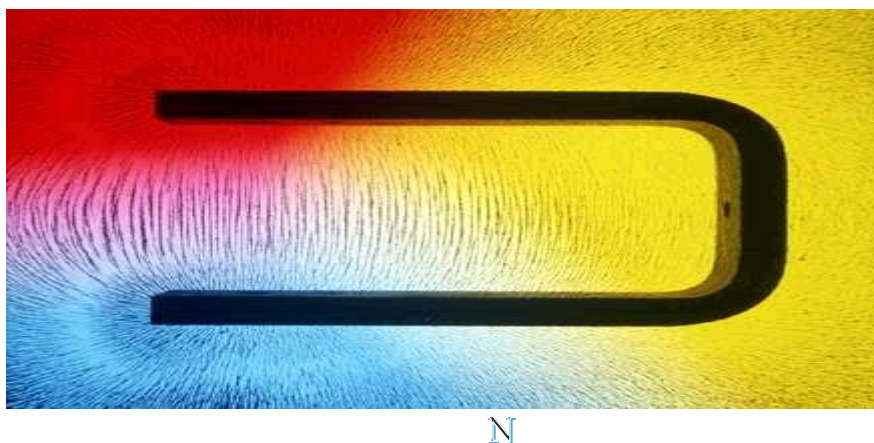
Los imanes temporales se emplean generalmente en donde el imán tiene una bobina que le rodea por la que pasa una corriente eléctrica. Ejemplos de éstos son: los generadores, motores, transformadores, timbres eléctricos, zumbadores telegráficos, micrófonos, cápsulas fonográficas y las bobinas deflectoras y de enfoque que se usan en los tubos de pantalla de los aparatos de televisión. Los imanes permanentes se emplean en brújulas, auriculares, altavoces, aparatos de medición, tacómetros eléctricos, etc.

TIPOS DE IMANES:

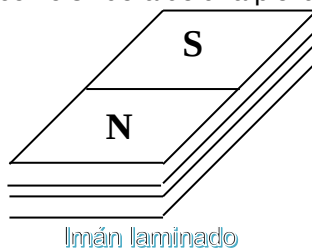
1. **Imanes de barra.** Los imanes se utilizan para muchos fines y se encuentran, por lo tanto, en una gran variedad de formas y tipos. La barra imantada que se muestra en la siguiente figura, se emplea normalmente en los laboratorios de las escuelas, ya que permiten demostrar satisfactoriamente las leyes del magnetismo y el camino de las líneas magnéticas.



2. **Imanes de Herradura.** Los imanes de uso comercial son generalmente de forma de herradura o de alguna variante de ésta forma, porque son más potentes que una barra imantada del mismo tamaño y peso. Esto es cierto, porque al estar ambos polos muy próximos, se pueden utilizar ambos simultáneamente. Cuando este imán no se usa se debe situar un guardián de acero dulce sobre sus polos, para impedir que el imán pierda su fuerza. (ver la siguiente figura)

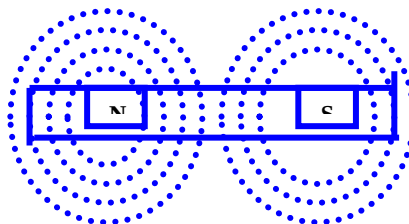
**3. Imanes laminados.**

Se puede aumentar la potencia de los imanes construyéndolos de un conjunto de chapas, cuyo espesor total sea equivalente a sus espesores como si fuera de una pieza. (ver la siguiente figura)

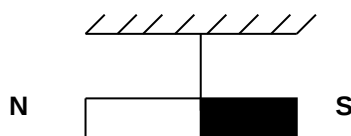


Los imanes tienen polos.

Cuando una barra imantada recta se introduce dentro de una caja con limaduras de hierro, se observa que trocitos diminutos de éste se adhieren a los extremos de la barra como se muestra en la siguiente figura.



Estas regiones de atracción se llaman polos magnéticos. Si este mismo imán se suspende de un hilo, como se ve en la figura siguiente, quedará en reposo en una posición cercana a la dirección norte-sur. El extremo dirigido hacia al norte se llama **N** o polo que apunta al norte y el otro extremo **S** o polo que apunta al sur.



Polos magnéticos

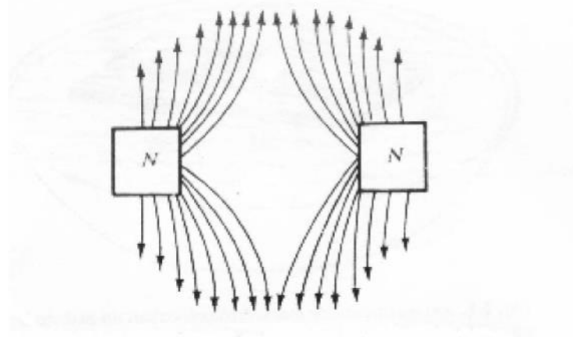
Muchos imanes se fabrican con níquel y aluminio, o de hierro con cromo, cobalto, tungsteno o molibdeno.

Campo magnético

Hace más de un siglo que el inglés Michael Faraday estudiaba los efectos que producían los imanes. Observó que un imán permanente ejerce una fuerza sobre un trozo de hierro o sobre cualquier imán que se encuentre cerca de él. Explicó que, esta acción a distancia se debe a la presencia de un campo de fuerzas cuyos efectos se hacen sentir a través de un espacio vacío.

Faraday consideró útil el imaginar que de un imán salían hilos o líneas que se esparcían y las llamó líneas de fuerza magnéticas y dado que en los extremos de un imán su intensidad es mayor, consideró que en los polos existirían más líneas que en las otras partes.

El espacio o zona que rodea a un imán y dentro del cual se manifiestan las fuerzas de atracción o repulsión que ejerce, recibe el nombre de campo magnético. Así como los campos gravitacionales y eléctricos constituyen los medios a través de los cuales se propagan los efectos gravitacional y eléctrico, el campo magnético es el medio a través del cual se propagan los efectos magnéticos. Las

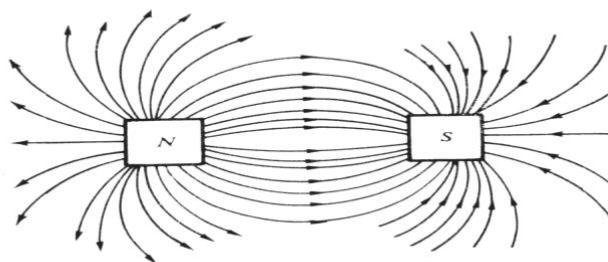


líneas de fuerza producidas por un imán, ya sea de barra o de herradura, se esparcen desde el polo norte y se curvan para entrar al sur.

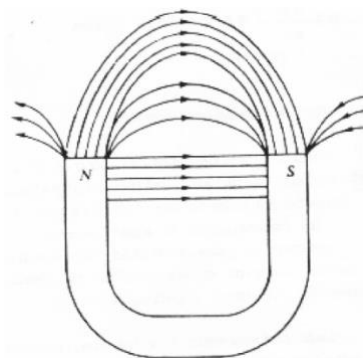
CAMPO MAGNETICO

Es la zona o espacio que rodea a un imán y en el cual su influencia puede detectarse.

Faraday señaló que cuando dos imanes se encuentran cerca uno de otro, sus campos magnéticos se interfieren recíprocamente. Cuando un polo norte se encuentra cerca de un sur, las líneas de fuerza se dirigen del norte hacia sur; cuando se acercan dos polos iguales, las líneas de cada uno se alejan de las del otro. (ver las siguientes ilustraciones)



Líneas de fuerzas entre polos diferentes



Líneas de fuerza entre polos del mismo nombre

Espectro magnético de un imán en forma de herradura

MAGNETISMO TERRESTRE.

En el lugar donde habitamos (tierra) se comporta como un enorme imán que produce un campo magnético cuyos polos no coinciden con los polos geográficos. Existen varias teorías que tratan de explicar la causa del magnetismo terrestre. Una de ellas señala que la tierra contiene una gran cantidad de depósitos de mineral de hierro, que en tiempos remotos se magnetizaron en forma gradual y prácticamente con la misma orientación, por lo que actúan como un enorme imán. Otra teoría explica que el magnetismo terrestre se debe a las corrientes eléctricas que circulan alrededor de la tierra, tanto en la corteza terrestre como en la atmósfera.

CAMPO MAGNÉTICO.

Se sabe que el campo magnético terrestre sufre pequeñas variaciones, pero son constantes, la declinación magnética de un lugar también sufre variaciones provocadas por cambios que se presentan cada siglo aproximadamente, y que hacen que el ángulo de declinación varíe de 5° a 10° de arco. También existen variaciones diurnas que alteran en 10° dicho ángulo y variaciones accidentales originadas por las tormentas magnéticas que se producen por los paroxismos de la actividad solar, que llegan incluso a suspender momentáneamente las comunicaciones por radio a larga distancia.

DECLINACIÓN MAGNÉTICA.

Como los meridianos magnéticos y terrestres no coinciden, el extremo norte de una brújula no apuntará hacia el verdadero norte geográfico, el **ángulo** de declinación es la abertura que se desvía una brújula del norte geográfico real.

INCLINACIÓN MAGNÉTICA.

Como las líneas de fuerza de un campo magnético salen del polo norte y entran al polo sur, una aguja magnetizada que gire libremente se orientará en forma paralela a las líneas del campo. Así, el polo norte de la aguja se orientará al polo norte magnético de la tierra, y además tendrá una cierta inclinación respecto al polo horizontal. Veamos, en el caso de que se coloque en algún punto cerca del Ecuador, su posición respecto al plano horizontal será casi en forma paralela; sin embargo, al ubicársele en algún punto cercano a los polos magnéticos terrestres, la posición de ésta respecto al plano horizontal será en forma perpendicular a él. Por definición:

LA INCLINACIÓN MAGNÉTICA

Es el ángulo que forma la aguja magnética o sea las líneas de fuerza del campo magnético, con el plano horizontal.

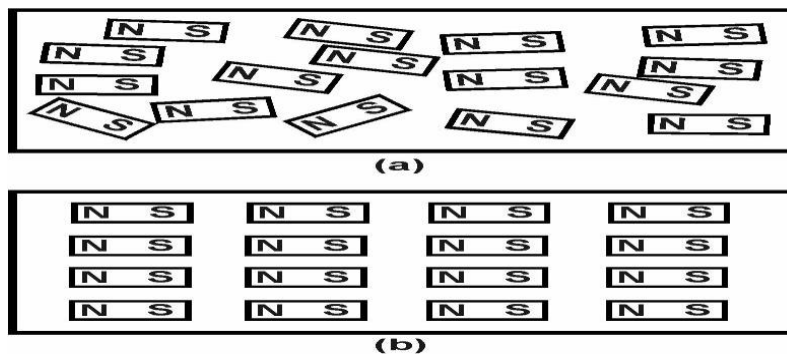
Una brújula de inclinación es aquella que tiene una suspensión tal, que le permite oscilar en un plano vertical por lo que puede medir el ángulo de inclinación.

LA TEORÍA DE LOS DOMINIOS.

Si se desea saber por qué hay fuerzas magnéticas, no podrá encontrarse una respuesta. Las fuerzas magnéticas existen, lo mismo que las fuerzas gravitacionales y las eléctricas. Los científicos pueden describir su comportamiento, pero no pueden explicarlas. Hay otros “por qué”, sobre los materiales magnéticos, que los físicos pueden responder formulando una teoría que explique cómo actúan las fuerzas magnéticas. Algunas preguntas que deben responder son las siguientes ¿por qué algunos materiales son más magnéticos que otros? ¿Por qué una barra imantada, cuando se rompe a la mitad, tiene nuevos polos en los dos extremos? ¿Por qué puede conseguirse un imán frotando una pieza de hierro con otro imán? ¿Por qué el calentamiento o la vibración destruyen los imanes? ¿Por qué atrae un imán a un pedazo de hierro desimantado?

La teoría que contesta mejor estas preguntas es la del físico alemán Guillermo Weber. Dicha teoría establece que los metales magnéticos como el fierro, cobalto y níquel, están formados por innumerables imanes elementales muy pequeños.

Antes de que cualquier trozo de alguno de estos metales sea magnetizado, los diminutos imanes elementales están orientados al azar, o sea en diferentes direcciones (ver figura a). Cuando se comienza a magnetizar algún trozo de estos metales, los imanes elementales giran hasta alinearse en forma paralela al campo que los magnetiza totalmente, según la siguiente figura.



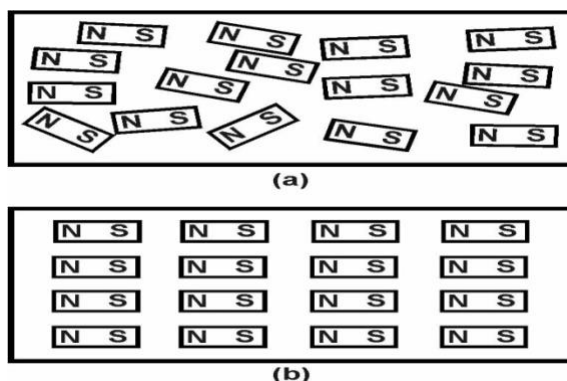
Cuando se magnetiza al hierro dulce por inducción, se observa que al retirar el campo magnetizante desaparece la imantación del hierro y los diminutos imanes elementales vuelven a su antigua orientación desordenada. En cambio, cuando se imanta al acero templado, estos imanes quedan alineados, aún después de haber sido retirado el campo magnetizante.

Los imanes pueden perder su magnetismo por las siguientes causas:

- ✓ Por golpes o por vibraciones constantes.
- ✓ Por calentamiento.
- ✓ Por influencia de su propio campo magnético.

A la temperatura del rojo desaparece totalmente el magnetismo (la temperatura a la cual un material pierde sus propiedades magnéticas se les llama temperatura de Curie).

Una preocupación de los científicos es la de producir nuevos materiales que permitan la construcción de imanes más potentes. Para ello, se han basado en el conocimiento de que un cuerpo magnético presenta zonas de pequeñas dimensiones llamadas **dominios magnéticos**, los cuales consisten en pequeños átomos imantados que se alinean paralelamente entre sí. Unos dominios incrementan su tamaño por la influencia cercana de otros hasta que se logra la saturación y todos ellos quedan orientados. Los investigadores han encontrado materiales magnéticos que pueden alterar sus dominios, por lo que los átomos imantados se alinean con el campo que está a su alrededor; esto resulta en la formación de imanes fuertes y permanentes, ya que los dominios permanecen iguales aun después de que se ha retirado el magnetizante.



La teoría de los dominios permitió considerar la posibilidad de triturar un material magnético hasta darle la consistencia de polvo fino, en el que cada partícula constituyera un dominio. Al comprimir el polvo para darle cualquier forma o tamaño apropiado y moldearlo con plástico o hule, se le somete a la influencia de un campo magnético fuerte que orienta a casi todos los dominios en una sola dirección,

con lo cual se forma un excelente imán que puede usarse en bandas magnéticas flexibles de múltiples usos, como las utilizadas para mantener cerradas las puertas de los refrigeradores.

Actualmente, se investigan nuevos y potentes imanes que pueden utilizarse en el funcionamiento de carros de ferrocarril y de transporte colectivo. En Japón se realizan experimentos con carros que utilizan la propulsión, la cual mantiene a los carros arriba de los rieles, pero sin tocarlos. La ventaja de este sistema magnético consiste en reducir considerablemente la fricción, el desgaste de las piezas metálicas y la contaminación por ruido.

Leyes magnéticas

La existencia de dos tipos de fuerzas de interacción magnética (atractivas y repulsivas) fue demostrada por W. Gilbert, donde observó que existen fuerzas de atracción entre polos de diferente especie y de repulsión si son de la misma especie.

La atracción y repulsión de los polos magnéticos fue estudiada cuantitativamente por John Michell en el año de 1750; utilizando una balanza de torsión, Michell demostró que la atracción y repulsión de los polos de los imanes son **de igual intensidad y varían inversamente al cuadrado de la distancia entre polos**. Estos resultados fueron confirmados poco después por Coulomb. La de la fuerza existente entre dos polos magnéticos, es semejante a lo que existe entre dos cargas eléctricas, pero existe una diferencia importante: los polos magnéticos siempre se presentan por parejas. De esto Coulomb establece la siguiente ley general para los polos magnéticos:

$$F = K \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Donde; F = fuerza (N)
 m_1 y m_2 = masas magnéticas de los polos (Am)
 r = distancia entre ellas (m)
 $k = 1 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$



Una de las aplicaciones de las leyes magnéticas en la fabricación de vehículos de transporte tan modernos como los trenes de alta velocidad. Este tren de levitación magnética, que alcanza velocidades de 435 km/h, se está desarrollando en Alemania.

INDUCCIÓN MAGNÉTICA

El concepto propuesto por Faraday de las líneas de fuerzas es imaginario, pero resulta muy útil para dibujar los campos magnéticos y cuantificar sus efectos.

Una sola línea de fuerza equivale a la unidad del flujo magnético en el sistema cgs y recibe el nombre de Maxwell.

Sin embargo, ésta es una unidad muy pequeña de flujo magnético, por lo que en el Sistema Internacional se emplea una unidad mayor llamada Weber (S.I.) y cuya equivalencia es la siguiente:

$$1 \text{ Weber} = 1 \times 10^8 \text{ Maxwell}$$

$$1 \text{ Maxwell} = 1 \times 10^{-8} \text{ Webers}$$

INDUCCION MAGNÉTICA. Al flujo magnético (ϕ) que atraviesa perpendicularmente una unidad de área A recibe el nombre de densidad de flujo magnético o inducción magnética (B).

DENSIDAD DE FLUJO

La densidad del flujo magnético en una región de un campo magnético equivale al número de líneas de fuerzas (o sea el flujo magnético) que atraviesan perpendicularmente a la unidad de área.

Matemáticamente se expresa por:

$$B = \frac{\phi}{A}$$

Donde: B = densidad del flujo magnético o inducción magnética (Wb /m²)

ϕ = flujo magnético (Wb)

A = área sobre la que actúa el flujo magnético (m²)

Nota: La densidad del flujo magnético también recibe el nombre de inducción magnética.

La unidad de densidad del flujo magnético en el SI como se observa, es el Wb /m² que recibe el nombre de tesla (T), en honor del físico yugoslavo Nicolás Tesla.

En el sistema cgs la unidad usada es el Maxwell /cm² que recibe el nombre de gauss y cuya equivalencia con el tesla es la siguiente:

$$1 \text{ Wb /m}^2 = 1 \text{ T} = 1 \times 10^4 \text{ Maxwell /cm}^2 = 1 \times 10^4 \text{ gauss}$$

Cuando el flujo magnético no penetra perpendicularmente a un área sino que lo hace con un cierto ángulo, la expresión para calcular la densidad del flujo magnético será:

$$B = \frac{\phi}{A \sin \theta}$$

Donde: θ = ángulo formado por el flujo magnético y la normal a la superficie.

En conclusión, podemos decir que la densidad de flujo magnético es un vector que representa la intensidad, dirección y sentido del cuerpo magnético en un punto.

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO.

En virtud de que la densidad de flujo B en cualquier región particular de un campo magnético sufre alteraciones originadas por el medio que rodea el campo, así como por las características de algún material que se interponga entre los polos de un imán, conviene definir dos nuevos conceptos: la permeabilidad magnética (μ) y la intensidad del campo magnético (H).

Permeabilidad magnética (μ).

Es el fenómeno que se presenta en algunos materiales, como en el hierro dulce, en los que las líneas de fuerza de un campo magnético pasan con mayor facilidad por el material de hierro que por el aire o el vacío.

Esto provoca que, cuando un material permeable se coloca en un campo magnético, concentre un mayor número de líneas de flujo por unidad de área, lo que aumenta el valor de la densidad de flujo magnético.

La permeabilidad magnética para diferentes medios se representa con la letra griega μ (mu). La permeabilidad magnética del vacío μ_0 tiene un valor en el SI:

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb /Am} = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Tm /A}$$

Para fines prácticos la permeabilidad del aire se considera igual a la permeabilidad del vacío.

La permeabilidad relativa de una sustancia se calcula con la expresión:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Donde: μ_r = permeabilidad relativa (adimensional)

μ = permeabilidad de la sustancia (Tm /A)

μ_0 = permeabilidad del vacío (Tm /A)

En el caso de aquellas sustancias que prácticamente no se imantan, el valor de su permeabilidad relativa μ_r es menor a uno. Los materiales que sin ser ferromagnéticos se logran imantar tienen permeabilidades relativas ligeramente mayores a la unidad. Las sustancias ferromagnéticas alcanzan valores muy elevados de permeabilidad relativa; como el fierro, silicio cuyo valor llega a ser de 66 000.

INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO.

Para un medio dado, el vector intensidad del campo magnético es el cociente que resulta de la densidad del flujo magnético entre la permeabilidad magnética del medio.

Matemáticamente:

$$H = \frac{B}{\mu}$$

Donde: H = intensidad del campo magnético para un medio dado (A /m)

B = densidad del flujo magnético (T).

μ = permeabilidad magnética del medio (Tm /A)

Ejercicios resueltos.

1. En una placa circular de 3 cm de radio, existe una densidad de flujo magnético de 2 teslas. Calcular el flujo magnético total a través de la placa, en Webers y Maxwell.

Datos

Fórmula

$$B = \frac{\varphi}{A}$$

$$r = 3\text{cm} = 0.03 \text{ m}$$

$$\varphi = B.A$$

$$B = 2 \text{ T}$$

$$\varphi = ?$$

Cálculo del área de la placa

$$1 \text{ Wb} = 1 \times 10^8$$

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

$$A = 28.26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Desarrollo

$$\phi = 2 \text{ Wb/m}^2 \times 28.26 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \phi = 56.52 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\phi = 56.52 \times 10^{-4} \text{ Wb} \times \frac{1 \times 10^8 \text{ Maxwells}}{1 \text{ Wb}}$$

$$\phi = 56.5488 \times 10^4 \text{ Maxwells}$$

2. Una barra de hierro cuya permeabilidad relativa es 12500 se coloca en una región de un campo magnético en el cual la densidad del flujo magnético es de 0.8 teslas. ¿Cuál es la intensidad del campo magnético originada por la permeabilidad del hierro?

Datos

$$\mu_{\text{Fe}} = 12500$$

$$B = 0.8 \text{ T}$$

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm / A}$$

$$H = ?$$

Fórmula

$$H = \frac{B}{\mu}$$

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

Desarrollo

Cálculo de la permeabilidad del hierro

$$\mu = 12500 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7} \text{ Tm / A}$$

$$\mu = 1.57 \times 10^{-2} \text{ Tm / A}$$

$$H = \frac{0.8 \text{ T}}{1.57 \times 10^{-2} \text{ Tm / A}} = 51 \text{ A/m}$$

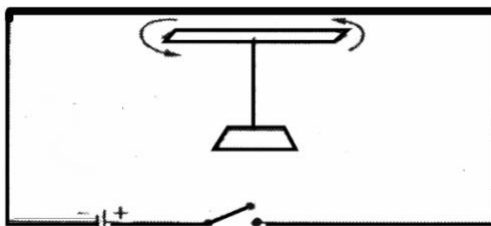
$$H = 51 \text{ A /m}$$

Electromagnetismo

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El desarrollo histórico de éste tuvo su origen en el invento de la pila eléctrica realizado por el italiano Alessandro Volta en 1880. Veinte años más tarde, se hizo por casualidad otro importante descubrimiento: mientras impartían una clase de física a sus alumnos, el físico danés Hans Christian Oersted, empujó en forma accidental una brújula que se encontraba bajo un alambre conectado a una pila, el cual conducía una corriente eléctrica; observó con asombro cómo la aguja realizaba un giro de 90 grados para colocarse perpendicularmente al alambre, como se muestra en la siguiente figura.



La brújula gira a 90º al cerrarse el circuito

Con ello se demostraba que éste, además de conducir electricidad, generaba a su alrededor una fuerza parecida a la de un imán, o sea, generaba un campo magnético; así se había descubierto el **electromagnetismo**.

Poco tiempo después, el científico francés André Marie Ampere descubrió que el campo magnético podía intensificarse al enrollar el alambre conductor en forma de bobina. Este hecho condujo a Joseph Henry, profesor norteamericano, a realizar otros descubrimientos importantes. Se le ocurrió recubrir con un material aislante a los alambres y los enrolló alrededor de una barra de hierro en forma de U, luego los conectó a una batería y observó que la corriente eléctrica magnetizaba al hierro y cuando la

corriente dejaba de circular, entonces desaparecía el campo magnético de la barra. Se había descubierto el **electroimán**, pieza fundamental de los motores eléctricos.

En 1821, Michael Faraday construyó el primer motor experimental y después de él, se construyeron varios tipos de motores eléctricos que funcionaban con baterías y eran utilizados para taladros, tornos o prensas de impresión. Sin embargo, eran muy costosos y requerían de baterías muy grandes. Fue hasta unos cuarenta años después que el ingeniero belga Théophile Gramme, construyó el primer generador eléctrico o dínamo capaz de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

Dado que los primeros motores utilizaban baterías que sólo producen corriente continua, todos los generadores que existían en esas fechas producían este tipo de corriente. No obstante, el tiempo habría de demostrar que era más rentable generar corriente de alto voltaje y después transformarla en otras de menor tensión. En virtud de que los transformadores sólo utilizan corriente alterna, en poco tiempo fue desapareciendo el generador de corriente continua para darle paso, a escala industrial, al de alterna. En 1888, Nikola Tesla inventó el motor de inducción que funciona con corriente alterna y cuyos usos, actualmente son muy amplios en diversos aparatos eléctricos, como son: lavadoras, licuadoras, ventiladores, refrigeradores, tornos, bombas, cierras, taladros, etc.

El físico ruso, Heinrich Lenz, se especializó en la inducción eléctrica y estableció una ley que lleva su nombre, donde afirma que **una corriente inducida por fuerzas electromagnéticas siempre produce efectos que se oponen a las causas que lo producen**. En 1873, el científico inglés, James Clerk Maxwell, puso de manifiesto la íntima conexión entre los campos eléctricos y magnéticos, al señalar que un campo eléctrico variable origina un campo magnético. Con su teoría comprobó que la electricidad y el magnetismo existían juntos y por lo tanto no debían aislarse. Esto dio origen a la teoría electromagnética; afirmaba que la luz se propagaba en ondas a través del espacio, y así como existían ondas luminosas era posible suponer la existencia de otras ondas electromagnéticas viajando por el éter. Maxwell le dio una expresión matemática a las consideraciones que hizo Faraday respecto a las líneas de fuerza magnética.

Gracias a esto se logró una aplicación práctica a las ideas que sobre el campo magnético y eléctrico propuso Faraday. Más tarde, el físico alemán Heinrich Hertz, estudió las ecuaciones propuestas por Maxwell para la teoría electromagnética y logró demostrar con la producción de ondas electromagnéticas, que éstas se desplazan por el espacio sin necesidad de cables conductores y que su naturaleza es semejante a las ondas luminosas. A fines del siglo XIX, los científicos reconocieron la existencia de las ondas electromagnéticas y las llamaron ondas hertzianas como un reconocimiento al físico alemán. El efecto magnético de la corriente y la inducción electromagnética han revolucionado a la ciencia, pues dieron origen a un área muy importante de la física llamada electromagnetismo. Al aplicar sus principios y leyes a escala industrial, se ha logrado un gran avance tecnológico, la electrificación del mundo.

ELECTROMAGNETISMO

La parte de la Física que se encarga de estudiar al conjunto de fenómenos que resultan de las acciones mutuas entre las corrientes eléctricas y el magnetismo.

CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR UNA CORRIENTE.

Como ya señalamos, Oersted descubrió que una corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético colocada cerca de un conductor rectilíneo, se desvía de su posición de equilibrio norte-sur cuando por el conductor circula una corriente; ello se debe a que esta última genera un campo magnético que interactúa con la aguja.

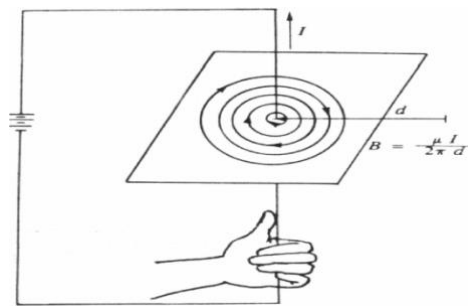
Oersted encontró que la desviación de la aguja variaba de sentido cuando se invertía el sentido de la corriente, y más tarde se pudo determinar gracias a la contribución de Ampere, que el polo norte de la aguja imantada se desvía siempre hacia la izquierda de la dirección que lleva la corriente.

El campo magnético producido, puede analizarse para su estudio como si se tratara del campo producido por un imán, de tal manera que sea posible obtener su espectro y observar sus efectos.

CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR UN CONDUCTOR RECTO.

Para estudiar cómo es el campo magnético producido por un conductor recto en el cual circula una corriente eléctrica se procede de la siguiente manera: Se atraviesa el conductor rectilíneo con un cartón horizontal rígido, según la siguiente figura. En el momento en que circula la corriente por el conductor, se espolvorea al cartón con limaduras de hierro, se observa que éstas forman circunferencias concéntricas con el alambre.

La regla de Ampere nos señala el sentido de las líneas de fuerza, pero también podemos aplicar la regla de la mano izquierda que dice: **como la dirección del campo magnético depende del sentido de la corriente, se toma al conductor recto con la mano izquierda con el pulgar extendido sobre el conductor, éste debe señalar el sentido en el que circula la corriente eléctrica, los cuatro dedos restantes indicarán el sentido del campo magnético.**



Campo magnético formado por un conductor recto por el que circula una corriente

Para determinar cuál es el valor de la inducción magnética o densidad de flujo magnético B a una cierta distancia d de un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente I, se aplica la expresión matemática siguiente:

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d}$$

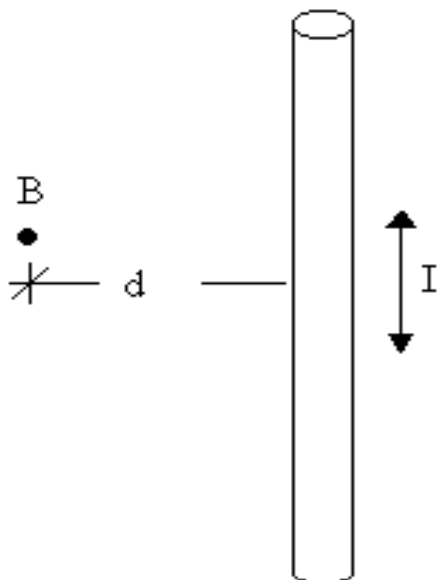
Donde:

B = inducción magnética o densidad de flujo magnético en un punto determinado, perpendicular al conductor (T)

μ = permeabilidad del medio que rodea al conductor (Tm /A)

I = intensidad de la corriente que circula por el conductor (A)

d = distancia perpendicular entre el conductor y el punto considerado (m)



Inducción magnética producida por un alambre conductor recto

Nota: Cuando el medio que rodea al conductor es no magnético o aire, la permeabilidad se considera como si se tratara del vacío, por lo que:

$$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm /A}$$

De acuerdo con la ecuación anterior, se deduce que la intensidad de la corriente es directamente proporcional a la densidad de flujo y la distancia perpendicular del conductor es inversamente proporcional a la densidad del flujo.

CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR UNA ESPIRA.

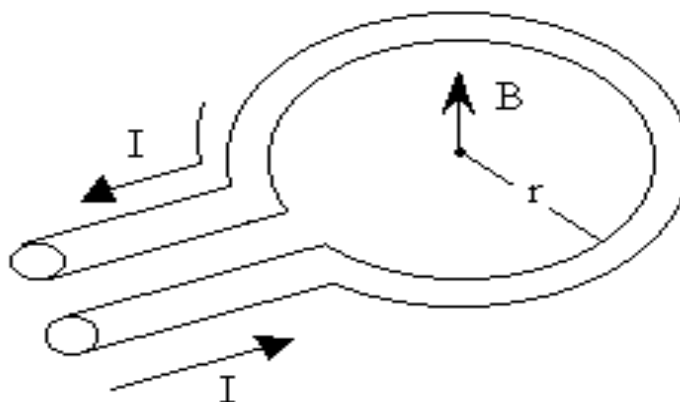
Una espira se obtiene cuando se dobla en forma circular un conducto recto. El espectro del campo magnético creado por ésta, se origina por líneas cerradas que rodean a la corriente y por una línea recta que es el eje central del círculo seguido por la corriente. Al aplicar la regla de la mano izquierda, en los diferentes puntos de la espira, obtendremos el sentido del campo magnético. La dirección de la inducción magnética es siempre perpendicular al plano en que se encuentra la espira.

Para calcular el valor de la inducción magnética o densidad de flujo (B) en el centro de una espira, se usa la expresión matemática siguiente:

$$B = \frac{\mu I}{2 r}$$

Donde:

- B = inducción magnética en el centro de una espira (T)
- μ = permeabilidad del medio en el centro de la espira (Tm /A)
- I = intensidad de la corriente que circula por la espira (A)
- r = radio de la espira (m)



Campo magnético producido por una espira de una vuelta

Campo magnético producido por un solenoide.

Un solenoide se obtiene al enrollar un alambre en forma helicoidal (acción que recibe el nombre de devanar). Cuando una corriente circula por el solenoide, las líneas de fuerza del campo magnético generado se asemejan al campo producido por un imán en forma de barra. En su interior las líneas de fuerza son paralelas y el campo magnético es uniforme. Para determinar cuál es el polo norte de un solenoide se aplica la regla también llamada de la mano izquierda, que dice: **Se coloca la mano izquierda en forma tal que los cuatro dedos señalen el sentido en el que circula la corriente eléctrica y el dedo pulgar extendido señalará el polo norte del solenoide.**

$$B = \frac{\mu N I}{L}$$

Donde:

N = número de vueltas

I = corriente eléctrica (A)

L = longitud del solenoide (m)

Ejercicios resueltos

1. Calcular la inducción magnética o densidad de flujo en el aire, en un punto a 10 cm de un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente de 3 A.

Datos

B = ?

Fórmula

Desarrollo

$$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

$$B = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}\right)(3\text{A})}{(2\pi)(0.1\text{m})} = 60 \times 10^{-7} \text{ T}$$

$$d = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$I = 3 \text{ A}$$

2. Determinar la inducción magnética en el centro de una espira cuyo radio es de 8 cm, si por ella circula una corriente de 6 A.

Datos	Fórmula	Desarrollo
B = ?		
R = 8 cm = 8×10^{-2}	$B = \frac{\mu I}{2 r}$	$B = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}\right)(6A)}{(2 \times 8 \times 10^{-2} m)} = 4.71 \times 10^{-5} T$
I = 6 A		

Nota: Si en lugar de una espira, se enrolla un alambre de tal manera que tenga un número N de vueltas, se obtendrá una bobina y el valor de su inducción magnética en su centro será igual a:

$$B = \frac{N \mu I}{2 r}$$

Donde:

B = inducción magnética (T)
 N = número de espiras
 μ = permeabilidad (Tm / A)
 I = corriente eléctrica (A)
 r = radio de la espira (m)

3. Calcular el radio de una bobina que tiene 200 espiras de alambre en el aire, por la que circula una corriente de 5 A, y produce una inducción magnética en su centro de 8×10^{-3} T.

Datos	Fórmula	Desarrollo
r = ?		
N = 200	$B = \frac{N \mu I}{2 r}$	$r = \frac{\left(200 \times 4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}\right)(5A)}{(2 \times 8 \times 10^{-3} T)} = 7.8 \times 10^{-2} m$
I = 5 A		
B = 8×10^{-3} T	despejando r, tenemos:	
	$r = \frac{N \mu I}{2 B}$	

Fuerzas sobre cargas en movimiento dentro de campos magnéticos.

Todo conductor por el que circula una corriente eléctrica está rodeado por un campo magnético. En virtud de que una corriente eléctrica es un flujo de electrones, cada uno de ellos constituye una partícula cargada en movimiento que genera un campo magnético a su alrededor. Por ello, cuando un electrón en movimiento con su propio campo magnético penetra en forma perpendicular dentro de otro campo producido por un imán o una corriente eléctrica, los dos campos magnéticos actúan sobre las partículas cargadas, desviándolas de sus trayectorias por el efecto de una fuerza magnética llamada fuerza de Amper.

Cuando una partícula cargada se mueve perpendicularmente a un campo magnético, recibe una fuerza magnética cuya dirección es perpendicular tanto a la dirección de su movimiento, como a la dirección de la inducción magnética o densidad de flujo; por lo que la partícula se desvía siguiendo una trayectoria

circular. Cuando una carga se mueve paralelamente a las líneas magnéticas del campo, no sufre ninguna desviación. Si la trayectoria de la partícula es en forma oblicua, es decir, con una cierta inclinación respecto a las líneas de fuerza de un campo magnético, la partícula cargada se desviará describiendo una trayectoria de espiral.

Cuando una carga q se mueve perpendicularmente a un campo magnético con una inducción magnética B a una cierta velocidad v recibe una F que se calcula con la siguiente expresión:

$$F = qvB$$

Donde:

F = fuerza que recibe una partícula cargada en movimiento (N).

v = velocidad que lleva la carga (m / s).

B = inducción magnética del campo (T).

Cuando la trayectoria del movimiento de la partícula forma un ángulo θ con la inducción magnética B , la magnitud de la fuerza que recibe la partícula será proporcional a la componente de la velocidad, que es perpendicular a B . Por tanto, la fuerza F se determina con la expresión:

$$F = qvB\sin\theta$$

Donde:

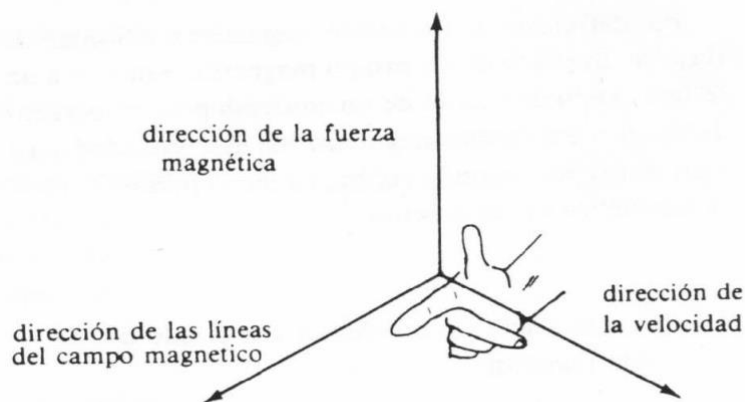
F = fuerza que recibe una partícula cargada en movimiento (N).

v = velocidad que lleva la carga (m / s)

B = inducción magnética del campo (T).

θ = ángulo formado por la dirección de la velocidad que lleva la partícula y la inducción magnética.

Para determinar la dirección de la fuerza magnética que recibe una carga que se mueve en forma perpendicular a las líneas de fuerza de un campo magnético, se emplea la regla de los tres dedos de la manera siguiente: **los tres primeros dedos de la mano derecha se disponen extendidos perpendicularmente uno respecto del otro, según figura, el dedo índice indicará la dirección del campo magnético, el medio representará la dirección de la velocidad con que se mueve una carga negativa, o sea la corriente, y el dedo pulgar señalará la dirección de la fuerza magnética que recibe la carga.**



Regla de los tres dedos, empleando la mano derecha para determinar la dirección de la fuerza magnética.

Por lo tanto: la inducción magnética o densidad de flujo en un punto de un campo magnético equivale a un tesla, cuando una carga de un Coulomb penetra perpendicularmente al campo magnético con una velocidad igual a un metro por segundo recibe, en dicho punto, la fuerza magnética de un newton.

FUERZA SOBRE UN CONDUCTOR POR EL QUE CIRCULA UNA CORRIENTE.

Como ya señalamos, un conductor por el que circula una corriente está rodeado de un campo magnético. Si el conductor se introduce perpendicularmente a un campo magnético recibirá una fuerza lateral cuyo valor se determina con la siguiente expresión matemática:

$$F = BIl$$

$$F = BIl \sin \theta$$

Donde:

F = fuerza magnética que recibe el conductor, en newton (N).

B = inducción magnética medida en teslas (T).

I = intensidad de la corriente eléctrica que circula por el conductor se mide en amperes (A).

L = longitud del conductor sumergido en el campo magnético, se expresa en metros (m).

θ = ángulo formado entre la carga con respecto al campo magnético

De la misma manera que sucede para una carga móvil, si el conductor por el que circula una corriente forma un ángulo θ con el campo magnético, la fuerza que recibe se determina con la expresión:

Ejercicios resueltos:

1. Un solenoide tiene una longitud de 15 cm y está devanado con 300 vueltas de alambre sobre un núcleo de hierro cuya permeabilidad relativa es de 1.2×10^4 . Calcular la inducción magnética en el centro del solenoide, cuando por el alambre circula una corriente de 7 mA.

Datos

Fórmula

Desarrollo

$$L = 15 \text{ cm} = 15 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

$$N = 300$$

$$\mu_r = 1.2 \times 10^4$$

$$I = 7 \text{ mA} = 7 \times 10^{-3} \text{ A.}$$

$$B = ?$$

$$B = \frac{N\mu I}{L}$$

Cálculo de la permeabilidad del hierro

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

$$\mu = 1.2 \times 10^4 \times 4\pi \times 3.1416 \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}$$

$$\mu = 15.1 \times 10^{-3} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}$$

$$B = \frac{(300)(15.1)(10 \times 10^{-3})(7 \times 10^{-3})}{(15 \times 10^{-2} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}})} = 0.21 \text{ T}$$

$$B = 0.21 \text{ T}$$

2. Un protón de carga $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ penetra perpendicularmente en un campo magnético cuya inducción es de 0.3 T con una velocidad de $5 \times 10^5 \text{ m/s}$. ¿Qué fuerza recibe el protón?

Datos

$$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Fórmula**Desarrollo**

$$B = 0.3 \text{ T}$$

$$F = qvB \quad F = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) \left(5 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (0.3 \text{ T}) = 2.4 \times 10^{-14} \text{ N}$$

$$v = 5 \times 10^5 \text{ m/s}$$

$$F = ?$$

3. Una carga de $7 \mu\text{C}$ se desplaza con una velocidad de $6 \times 10^5 \text{ m/s}$ forma un ángulo de 60° con respecto a un campo cuya inducción magnética es de 0.32 T . ¿Qué fuerza recibe la carga?

Datos**Fórmula****Desarrollo**

$$F = ?$$

$$F = qvB \sin \theta \quad F = (7 \times 10^{-6} \text{ C}) \left(6 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (0.32 \text{ T}) (0.8660) = 1.16 \text{ N}$$

$$B = 0.32 \text{ T}$$

$$q = 7 \mu\text{C}$$

$$v = 6 \times 10^5 \text{ m/s}$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$F = 1.16 \text{ N}$$

4. Por un alambre recto circula una corriente de 6 mili amperes, se introduce entre los polos de un imán de herradura y quedan sumergidos 5 cm en forma perpendicular al campo de 0.15 T de inducción magnética. Calcular la fuerza que recibe el alambre.

Datos**Fórmula****Desarrollo**

$$F = ?$$

$$F = BIL$$

$$F = 0.15 \text{ N/A} (6 \times 10^{-3} \text{ A}) (5 \times 10^{-2} \text{ m}) = 4.5 \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$I = 6 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$F = 4.5 \times 10^{-5} \text{ N}$$

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

$$B = 0.15 \text{ T}$$

5. Un alambre recto por el que circula una corriente de 1 A se introduce y forma un ángulo de 70° con las líneas de flujo de un campo cuya inducción magnética es de 0.2 T . Calcular la longitud del alambre que queda sumergido en el campo si la fuerza que recibe es de $8 \times 10^{-3} \text{ N}$.

Datos

$$L = ?$$

Fórmula

$$F = BIL \sin \theta$$

Desarrollo

$$\theta = 70^\circ$$

$$L = \frac{F}{B \sin \theta} \quad L = \frac{(8 \times 10^{-3} \text{ N})}{(0.2 \text{ N/A}) (1 \text{ A}) (0.9397)} = 4.3 \text{ cm}$$

$$B = 0.2 \text{ T}$$

$$F = 8 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$L = 4.3 \times 10^{-2} \text{ m} = 4.3 \text{ cm}$$

Ejercicios propuestos:

1. Determinar la inducción magnética en el aire, en un punto a 6 cm de un conductor recto, por el que circula una intensidad de corriente de 2 A.

$$\text{R. } B = 6.7 \times 10^{-6} \text{ T}$$

2. Calcular a qué distancia de un conductor recto existe una inducción magnética de 9×10^{-6} si se encuentra en aire y por él circula una corriente de 5 A.

$$\text{R. } d = 1.1 \times 10^{-1} \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

3. ¿Cuál es el valor de la inducción magnética en el centro de una espira por la que circula una corriente de 1 A, si se encuentra en aire y su radio es de 11 cm?

$$\text{R. } B = 5.7 \times 10^{-6} \text{ T}$$

4. Por una espira de 7 cm de radio que se encuentra sumergida en un medio con una permeabilidad relativa de 35, circula una corriente de 4 A. ¿Qué valor tiene la inducción magnética en el centro de la espira?

$$\text{R. } B = 1.26 \times 10^{-3} \text{ T}$$

5. Calcular la intensidad de la corriente que debe circular por una bobina de 500 espiras de alambre en aire, cuyo radio es de 5 cm, para que produzca una inducción magnética en su centro de 7×10^{-3} T

$$\text{R. } I = 1.1 \text{ A}$$

6. Calcular la longitud que debe tener un solenoide para que, al ser devanado con 600 espiras de alambre sobre un núcleo de hierro, con una permeabilidad relativa de 1.15×10^4 , produzca una inducción magnética de 0.5 T en su centro. Una corriente de 10 miliampers circula por el alambre.

$$\text{R. } L = 1.9 \times 10^{-1} \text{ m} = 19 \text{ cm}$$

7. Una carga de $4 \mu\text{C}$ penetra perpendicularmente en un campo magnético de 0.4 T con una velocidad de 7.5×10^4 m/s. Calcular la fuerza que recibe la carga.

$$\text{R. } F = 1.2 \times 10^{-1} \text{ N}$$

8. Un electrón de carga -1.6×10^{-19} C se mueve con una velocidad de 8×10^5 m/s y forma un ángulo de 30° con respecto a un campo de inducción magnética igual 0.75 T. ¿Qué fuerza recibe el electrón?

$$\text{R. } F = 3.5 \times 10^{-14} \text{ N}$$

9. ¿Qué fuerza recibe un alambre recto por el que circula una corriente de 5 mA al ser introducido perpendicularmente a un campo de 0.6 T si quedan 8 cm de alambre dentro del campo?

$$\text{R. } F = 2.4 \times 10^{-4} \text{ N}$$

10. ¿Cuál es la longitud sumergida en un campo magnético de 0.28 T de un alambre recto por el que circula una corriente de 3 A, si al formar un ángulo de 37° con las líneas de flujo recibe una fuerza de 6×10^{-3} N?

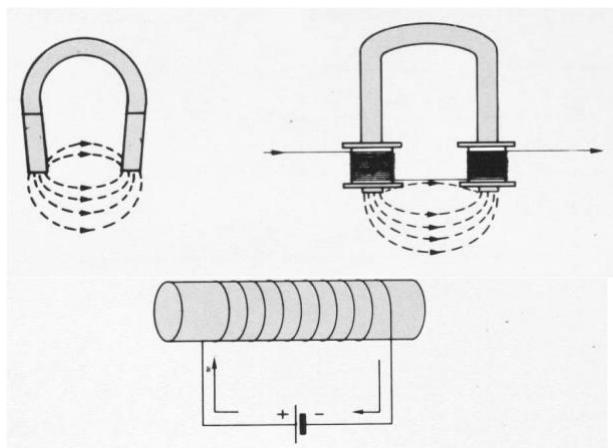
$$\text{R. } L = 1.2 \times 10^{-2} \text{ m} = 1.2 \text{ cm}$$

Electroimán

Las sustancias ferromagnéticas concentran las líneas de fuerza creadas por los imanes, de ahí que esta interesante propiedad sea aprovechada en los electroimanes.

Un electroimán está formado por un solenoide en cuyo interior se ha colocado un núcleo de hierro dulce. Al circular la corriente continua por el solenoide el núcleo concentra las líneas de fuerza.

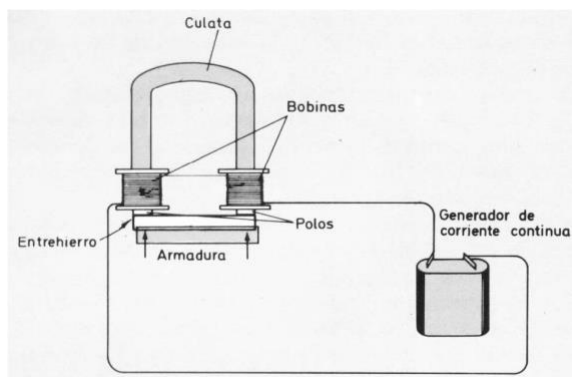
La magnetización del núcleo de hierro es rápida, ya que tiene lugar en el mismo instante en que se cierra el circuito, es decir, en cuanto se hace pasar la corriente continua por el solenoide. También la desmagnetización es instantánea, en cuanto cesa el paso de corriente por la bobina desaparece el estado magnético, como lo muestra la figura.



El electroimán está formado por un solenoide con un núcleo de hierro.

Un electroimán creará un campo magnético de las mismas características que un imán con idéntica forma, sea recto, de herradura o de cualquier otro tipo. Obsérvese en la figura un electroimán de herradura donde se destacan las líneas de fuerza, que siguen un trazado idéntico al camino de las líneas de fuerza en un imán permanente de las mismas dimensiones.

Para favorecer el paso de las líneas de fuerza se coloca entre los polos una pieza metálica de las mismas características que el núcleo magnético; esta pieza recibe la denominación de **armadura**. El núcleo del electroimán se llama **culata** cuando, además de la misión magnética, actúa a modo de soporte mecánico del conjunto. Además, entre los polos, o entre estos y la armadura existe una separación conocida como entrehierro, que no es otra cosa que la pequeña separación o la porción de aire que deben atravesar las líneas de fuerza cuando siguen su camino de un polo a otro. Entre los dos polos de un electroimán tiene lugar el establecimiento de las líneas de fuerza. La tendencia de la mayor



parte de las líneas de fuerza es la de atravesar el entrehierro y cerrarse a través de la armadura arrastrando a ésta hasta tocar los polos, de modo que por la armadura circula el máximo número de líneas de fuerza.

APLICACIONES DEL ELECTROMAGNETISMO.

El hecho de que un núcleo de hierro dulce se convierta en imán cuando circula corriente por el conductor y sea capaz de atraer una armadura, construida también con hierro dulce, posibilita un gran número de aplicaciones entre las que podemos resaltar las siguientes:

- ✓ Relés
- ✓ Contactores
- ✓ Generadores eléctricos
- ✓ Aparatos de medida
- ✓ Motores eléctricos.

RELÉ ELECTROMAGNÉTICO.

Es un dispositivo capaz de actuar en función de la variación de una magnitud eléctrica determinando el funcionamiento de diferentes tipos de circuitos.

El relé electromagnético actúa del siguiente modo: en ausencia de corriente por la bobina del electroimán, la armadura está alejada del núcleo, pero cuando pasa corriente por ésta, la bobina y el núcleo se comportan como un imán atrayendo la armadura y, al hacerlo se accionan los contactos.

LOS CONTACTORES

Son interruptores de corriente por accionamiento electromagnético capaces de trabajar con corrientes y potencias muy elevadas.

Así, mientras los relés se utilizan en los automatismos y en el control de pequeños circuitos, los contactores controlan las instalaciones eléctricas de viviendas, máquinas herramientas, etc.

Los electroimanes intervienen no sólo en el gobierno de circuitos eléctricos, sino que pueden emplearse también en el control de fluidos por medio de electroválvulas.

LAS ELECTROVÁLVULAS

Son dispositivos electromecánicos capaces de abrir o cerrar una conducción respondiendo a un estímulo eléctrico.

La electroválvula consiste esencialmente en un electroimán cuyo núcleo lleva un resorte capaz de accionar directamente una compuerta de paso del líquido.

ELECTROMECAÁNICA

Como hemos visto, si a un conductor por el cual circula una corriente lo colocamos en un campo magnético, experimentará una fuerza que es perpendicular tanto a la corriente "I" como a la inducción magnética "B". Las fuerzas magnéticas iguales y opuestas que actúan sobre el conductor (que puede ser una espira, una bobina o un solenoide) experimentarán un "momento de torsión". Estas fuerzas y momentos de torsión son el principio sobre el cual opera un gran número de dispositivos muy útiles como son: el galvanómetro, el voltímetro, el amperímetro, el motor de corriente continua y los generadores.

MOTORES ELÉCTRICOS.**FUERZA Y MOMENTO DE TORSIÓN MAGNÉTICOS EN UNA ESPIRA.**

Un conductor por el que circula una corriente introducida en un campo magnético, experimenta una fuerza magnética dada por:

$$F = BIL \quad \text{ó} \quad F = BIL \text{SEN}\theta = BI_{\perp} L$$

Donde: F = fuerza magnética (N)

$I_{\perp}$ = corriente perpendicular al campo (A)

B = campo magnético (T)

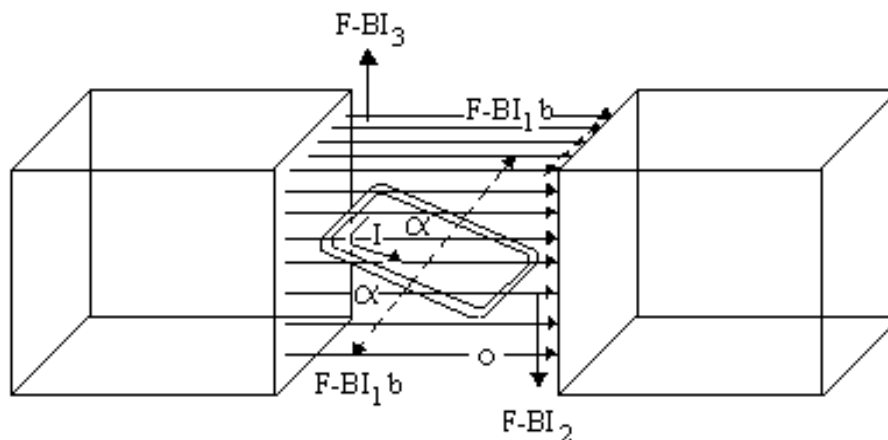
L = longitud del conductor (m)

Recordemos que: la dirección de la fuerza se determina por medio de la regla del tornillo de rosca derecha.

Si el conductor es una espira rectangular por la que fluye una corriente eléctrica, introducido en un campo magnético, experimentará una fuerza magnética cuyo comportamiento analizaremos a continuación tomando como referencia la siguiente figura.

Como: $mn = op = a$ y $mo = np = b$

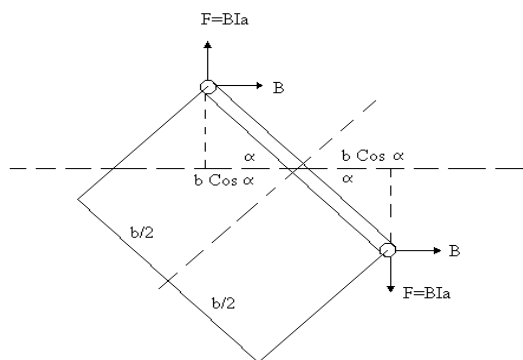
El lado $a \perp b \Rightarrow F = Bia$ la fuerza magnética se dirige hacia arriba para el segmento mn y hacia abajo para el segmento op (regla del tornillo de rosca derecha).

Fuerzas magnéticas sobre una espira por la que circula una corriente.

No se muestra la fuente ni los conductores por los que llega la corriente, para simplificar. Con un razonamiento similar se demuestra que en los otros dos lados (mo y np) actúan fuerzas iguales y opuestas. Estas fuerzas tienen una magnitud de:

$$F = B b \text{SEN}\alpha$$

Donde α = ángulo que los lados mo y no hacen con el campo magnético. Debido a que las fuerzas sobre los lados "B" son concurrentes e iguales, la espira se encuentra en equilibrio trasnacional, ya que, la resultante es cero. Las fuerzas paralelas sobre los lados "a" producen un momento de torsión que hace que la espira gire en dirección de las manecillas del reloj como se muestra en la figura:



Momento de torsión sobre una espira por la que fluye corriente.

Sabemos que: $a \perp b \Rightarrow F = BIl$ como: $F = BIl$ y $b = \frac{b}{2} \cos \alpha$

Tenemos: $M = Fb \Rightarrow M = BIl \left(\frac{b}{2} \cos \alpha \right)$

$$\sum M_o = M_1 + M_2$$

$$M = 2 \left(BIl \frac{b}{2} \cos \alpha \right)$$

Obtenemos:

$$M = BIab \cos \alpha$$

Pero: $ab = \text{Area de la espira} = A$

$$\therefore M = BIAC \cos \alpha$$

Si en lugar de una espira, tenemos una bobina devanada en forma muy compacta con "N" espiras de alambre, la ecuación general del momento de torsión resultante es:

$$M = NBIA \cos \alpha$$

Donde: M = momento de torsión de una espira (N.m)

B = campo magnético (T)

I = corriente eléctrica (A)

A = área de la espira (m)

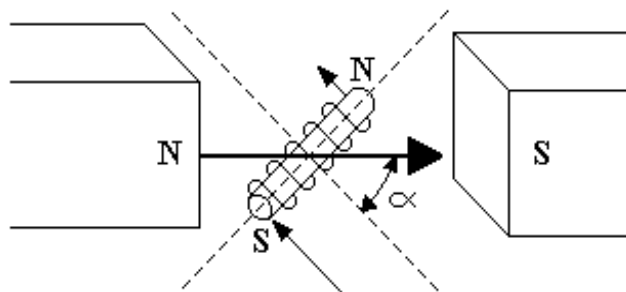
α = ángulo de la espira con el campo magnético

MOMENTO DE TORSIÓN MAGNÉTICO SOBRE UN SOLENOIDE.

La fórmula del momento de torsión de una espira nos permite calcular el momento de torsión de un solenoide de área "A" y que tiene "N" vueltas de alambre, si observamos la siguiente fig. , α es el ángulo que la espira de alambre forma con el campo "b" por la que será el complemento de θ que es el ángulo que el eje del solenoide hace con el campo magnético. En la figura, se puede observar como el solenoide actúa como un electroimán con sus polos norte y sur que se obtienen por la regla de la mano derecha.

La ecuación para obtener el momento de torsión está dada por:

$$\mu = NBIA \sin \theta$$



Momento de torsión magnética sobre un solenoide.

Donde: θ = ángulo que el eje del solenoide hace con el campo magnético.

ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA.

Investigar en equipo la definición, funcionamiento y aplicación de:

- 1) El galvanómetro.
- 2) El voltímetro.
- 3) El amperímetro.

Motor eléctrico de corriente continua.

MOTOR ELÉCTRICO DE CORRIENTE CONTINUA.

Es un dispositivo por medio del cual la energía eléctrica se transforma en energía mecánica.

Consiste en una bobina por la que fluye corriente y está colocada dentro de un campo magnético. El diseño del motor permite que la bobina gire continuamente bajo la acción de un momento de torsión magnético.

FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.

Un motor sencillo de corriente continua está formado por una sola espira, colocada dentro de polos magnéticos, por la que circula una corriente. El momento de torsión ejercido sobre la espira disminuye a ser cero cuando su plano es perpendicular al campo magnético ($\theta = 90^\circ$). Para que sea posible una rotación continua de la espira, la corriente debe convertirse automáticamente cada vez que esta gira 180° . Se logra invertir la corriente usando un conmutador de anillo seleccionado (colector), como se muestra en la siguiente figura. El conmutador consta de 2 segmentos de anillo dividido cada uno de ellos conectado a cada extremo de la espira y aislado entre sí. Cada vez que la espira gira, cada escobilla toca primero una mitad del anillo y luego la otra, por lo que, las conexiones eléctricas se invierten a la mitad de cada revolución en el momento en el que la espira queda en posición perpendicular al campo magnético, de esta manera el momento de torsión que actúa sobre la espira tiene siempre la misma dirección y la espira gira continuamente.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.

Hay algunos diseños de motores que incrementen el momento de torsión aprovechable y lo hacen más uniforme. Se crea un campo magnético mayor reemplazando los imanes permanentes con electroimanes. Además, el momento de torsión puede ser mayor y más uniforme si se añaden algunas

bobinas diferentes, cada una de ellas con gran número de espiras elevadas alrededor de un núcleo de hierro con hendiduras, llamado armadura.

El Generador Eléctrico.

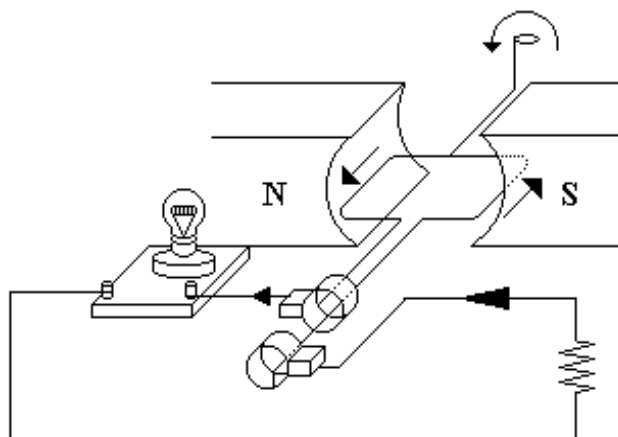
Convierte energía mecánica en energía eléctrica. Básicamente está constituido en tres componentes: un imán inductor (que puede ser un imán permanente o un electroimán), una armadura y anillos colectores con escobillas. Los generadores eléctricos se clasifican en:

GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA.

Si se usan como colector dos anillos completos, la corriente que llega a la escobilla fluye primero en una dirección y luego en la otra. La inversión de la corriente a cada media vuelta de la armadura se debe al hecho de que cada alambre se mueve hacia arriba a través del campo y hacia abajo en el siguiente. En un instante una terminal es positiva y la otra negativa; en el siguiente la primera terminal es negativa y la segunda positiva, esta fem invertida periódicamente produce lo que se llama una “fem” alterna.

GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA.

Para este caso el colector del generador debe ser del tipo de anillo dividido para producir una corriente continua.



Generador de corriente alterna.



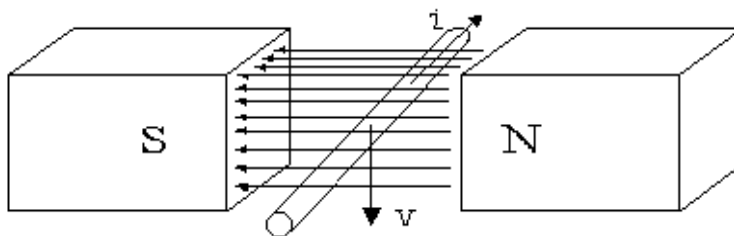
Conmutador de anillo dividido para un generador de corriente continua.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Hasta el momento hemos visto como un conductor por el que circula una corriente, introducido en un campo magnético, experimenta una fuerza magnética que da origen al motor eléctrico de corriente continua. El proceso inverso también se cumple, es decir, “una corriente eléctrica se genera cuando un conductor que está en movimiento se introduce a un campo magnético, a este proceso se le llama inducción electromagnética”, esto es, que una bobina giratoria en un campo magnético induce una fem alterna, la cual origina una corriente alterna (ca). Este es el principio con el que funcionan muchos dispositivos eléctricos como son: los generadores eléctricos, que aprovechan la inducción electromagnética para producir y distribuir energía eléctrica en forma económica, y el transformador eléctrico.

LEY DE FARADAY.

Faraday descubrió que, si un conductor se mueve dentro de un campo magnético, cortando las líneas de flujo de manera perpendicular, se produce una fem en los extremos de dicho conductor. No existe diferencia si se mueve sola la bobina, el imán solo, o ambos, el movimiento relativo de la bobina y del imán, es lo que produce la fem inducida. El hecho de que una corriente se haya producido significa que se ha creado energía eléctrica a expensas del trabajo mecánico. La magnitud de la corriente inducida (fem) aumenta, si aumenta el número “N” de espiras de la bobina, y la rapidez del movimiento. Este principio se demuestra en la siguiente figura:



Cuando un conductor se mueve dentro de un campo magnético cortando las líneas de flujo, se induce una corriente eléctrica variable. Si el movimiento se invierte, la corriente inducida también se invierte.

LA LEY DE FARADAY

La fem (E) generada en un conductor es igual a la rapidez del cambio del flujo magnético por el circuito.

$$\therefore E = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

Donde: ξ = fem inducida (V)

$\Delta \phi$ = cambio en el flujo magnético (Wb)

Δt = intervalo de tiempo (s)

Nota: Si el signo negativo en la ecuación significa que la fem inducida tiene tal dirección que se opone al cambio que la produce.

Recuerda que el flujo magnético ϕ que pasa a través de un área es:

$$\phi = BA$$

Donde: B = densidad de flujo magnético (T)

A = área transversal (m²)

ϕ = flujo magnético (Wb)

$$\therefore \Delta\phi = (\Delta B)A \quad \text{cuando cambia la densidad de flujo}$$

$$\text{ò} \quad \Delta\phi = B(\Delta A) \quad \text{cuando cambia el área efectiva.}$$

Sabemos que una carga móvil dentro de un campo magnético, experimenta una fuerza que se calcula por, además:

$$F = qvB$$

$$E = \frac{\text{TRABAJO}}{q} = \frac{f \cdot l}{q} = \frac{qvBl}{q} = BLV$$

Si la velocidad "V" hace un ángulo "Ø" con el campo "B", se obtiene una ecuación más general que permite calcular la fem inducida por un conductor.

$$E = BLV \text{Sen} \varnothing$$

Donde: ε = fem Inducida (V)

B = densidad de flujo magnético (T)

L = longitud del conductor (m)

v = velocidad tangencial del conductor (m/s)

Ø = ángulo de la velocidad con el campo B (rad)

Calculo de la fem inducida en un generador de corriente alterna:

La fem generada por una espira giratoria se da por:

$$E = BVL \text{Sen} \varnothing \quad E = BLWr \text{Sen} \varnothing \quad \text{Como } V = Wr \Rightarrow$$

Debido a que en cada extremo de la espira se genera una fem, entonces la fem instantánea será:

$$fem_{inst} = 2BLWr \text{Sen} \varnothing ; \quad \text{pero el área de la espira es } A = L \times 2r$$

$$\Rightarrow fem_{inst} = NBAW \text{Sen} \varnothing \therefore E_{inst} = NBAW \text{Sen} \varnothing$$

Si observas:

"Si la armadura gira con una velocidad angular constante en un campo magnético constante, la magnitud de la fem inducida varía en forma sinusoidal con respecto al tiempo".

Además: SI $\theta = 90^\circ \Rightarrow f e m \text{ MAX}$ & SI : $\theta = 0^\circ \Rightarrow f e m = 0$

$$\text{o sea: } E_{\max} = NBAw \quad \therefore \quad E_{inst} = E_{\max} \text{Sen} \theta$$

$$\text{Como: } \theta = \omega t = 2\pi f t ; \text{ nos da: } E_{inst} = E_{\max} \text{Sen} 2\pi f t$$

Debido a que la corriente inducida es proporcional a la fem inducida, esto por $V = IR$, la corriente inducida varía sinusoidalmente como:

$$\varepsilon_{inst} = \varepsilon_{\max} \text{Sen} 2\pi f t$$

La corriente inducida (i) es máxima, cuando la fem es máxima.

$$F = \text{Frecuencia (HERTZ = Hz = \frac{\text{CICLO}}{S})} \quad \text{ó} \quad 1\text{Hz} = \frac{1\text{CICLO}}{S}$$

FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ EN UN MOTOR ELÉCTRICO.

Un motor eléctrico es al mismo tiempo un generador, esto es, que una fem inducida se opone a la corriente que se suministra al motor. Por esta razón, a la fem inducida en un motor se le llama contraelectromotriz. El efecto de esta fuerza contraelectromotriz es reducir el voltaje neto que se suministra a las bobinas de la armadura del motor, por lo tanto:

Voltaje neto = voltaje aplicado - voltaje inducido.

De acuerdo con la ley de Ohm $V = IR$, nos da:

$$IR = V - Eb$$

Donde: I = corriente que fluye por el circuito (A)

R = resistencia de la bobina (Ω)

V = fem aplicada al motor (V)

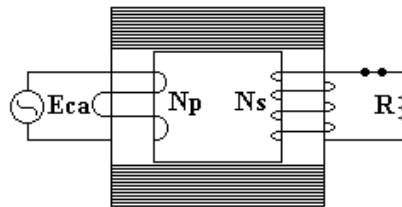
E_b = fuerza contraelectromotriz

Transformadores Eléctricos.**TRANSFORMADOR ELÉCTRICO.**

Es un dispositivo por medio del cual se puede aumentar o disminuir la fuerza electromotriz de corriente alterna.

PARTES INTEGRANTES DE UN TRANSFORMADOR.

Un transformador simple tiene básicamente tres partes esenciales: una bobina primaria conectada a una fem de corriente alterna, una bobina secundaria y un núcleo de hierro dulce.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR.

Transformador eléctrico donde N_p presenta al número de vueltas del primario y N_s el número de vueltas del secundario.

Al aplicar una corriente alterna a través de la bobina primaria, las líneas de flujo magnético se mueven de un lado a otro a través del núcleo de hierro, induciendo una corriente alterna en la bobina secundaria. Se establece un flujo magnético en el núcleo del transformador que cambia constantemente y pasa a través de la bobina primaria y secundaria:

fem inducida en la bobina primaria:

$$E_p = -N_p \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

f e m inducida en la bobina secundaria:

$$E = -N_s \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Dividiendo ambas ecuaciones, tenemos: $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$

Esto es: $\frac{\text{Voltaje primario}}{\text{voltaje secundario}} = \frac{\text{n}^\circ \text{ espiras primarias}}{\text{n}^\circ \text{ espiras secundarias}}$

Esto nos enseña que, el voltaje inducido está en proporción directa al número de espiras, por lo tanto se pueden construir dos tipos de transformadores:

Transformador elevador.

Es aquel que produce un voltaje de salida mayor.

Transformador reductor.

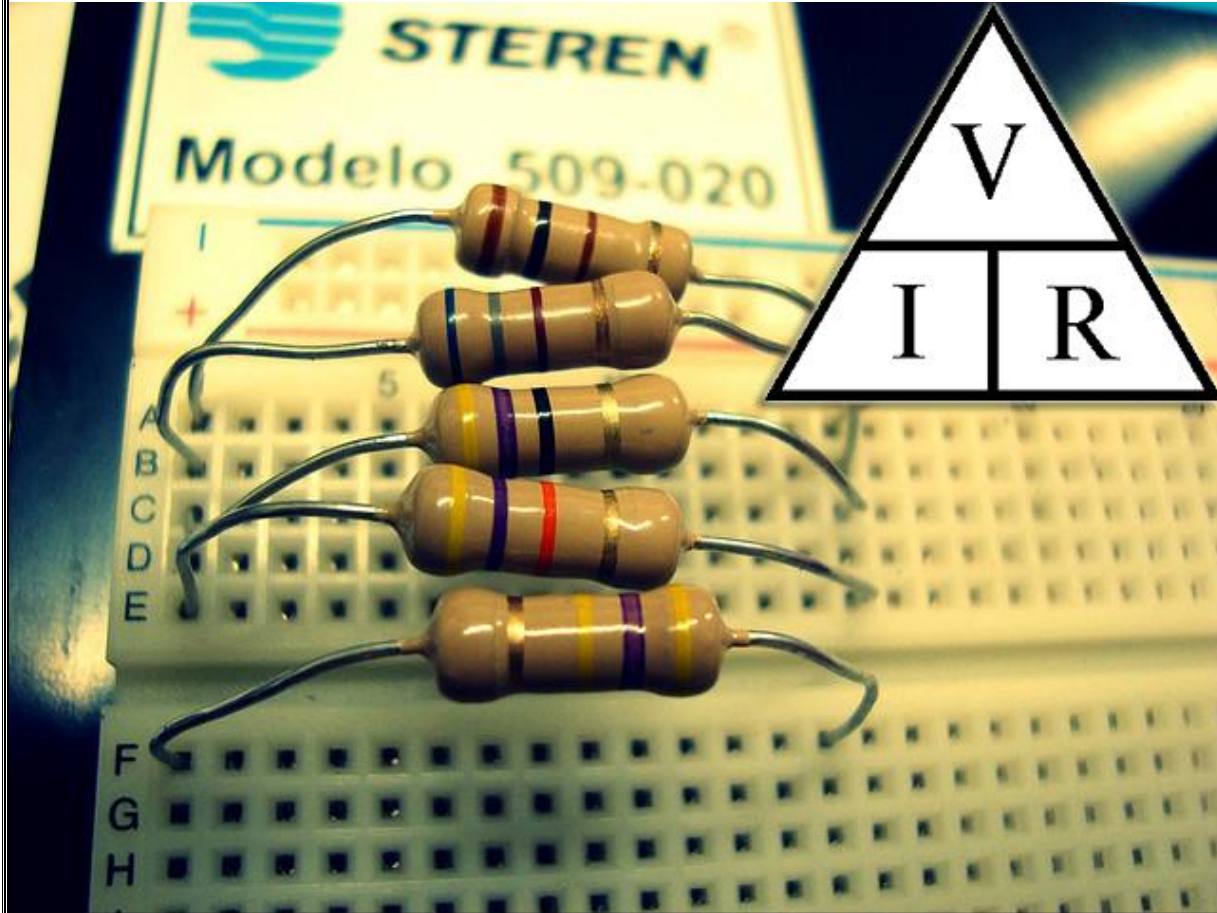
Es aquel que produce un voltaje de salida más bajo.

Rendimiento de un transformador.

$$N = (\text{Potencia de salida}) / (\text{Potencia de entrada}) = E_s I_s / E_e I_e$$

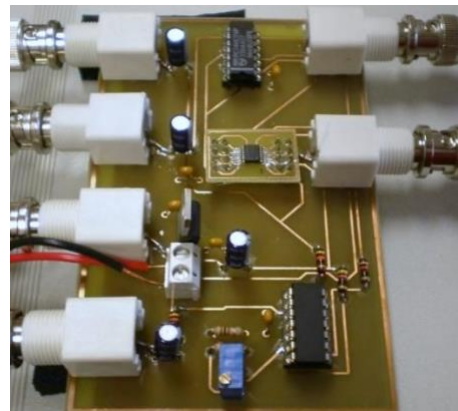
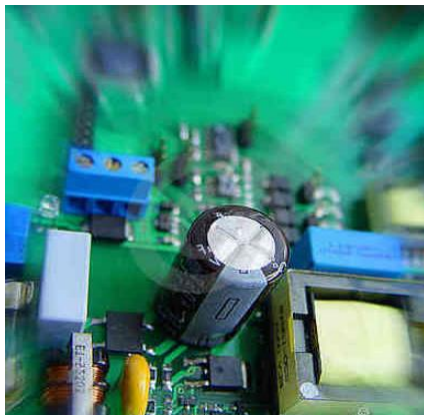
Donde: E_s = f e m de salida
 E_e = f e m de entrada
 I_s = corriente de salida
 I_e = corriente de entrada

UNIDAD IV CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA



PROPÓSITOS

Tener una idea clara de cómo funcionan algunos dispositivos formados por circuitos eléctricos de diferente clase. Asimismo, como parte del conocimiento básico que te será útil en otros cursos.



CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA

En los temas anteriores, te familiarizaste con los conceptos y fundamentos básicos de corriente directa. Los circuitos eléctricos simples están formados por baterías, resistores y capacitores, los cuales se combinan de diferentes maneras. En tu entorno hay una gran cantidad de aplicaciones eléctricas.

El sistema eléctrico de un automóvil se diseña a partir de los fundamentos de la electricidad. En la actualidad existe una gran cantidad de sensores que convierten señales no eléctricas en señales eléctricas, como es el caso del micrófono. En medicina tienen diferentes aplicaciones, por ejemplo, en los hospitales se utilizan dispositivos para vigilar electrónicamente la temperatura corporal, la presión sanguínea y la respiración de los pacientes.

Iniciamos con el análisis de circuitos de resistores conectados en serie y paralelo. Posteriormente estudiamos los circuitos de corriente directa que no pueden resolverse reduciéndolos a una resistencia equivalente conectada a una fuente de fuerza electromotriz.

Para comprender el tema es necesario que recuerdes la ley de Ohm y cómo se forma un circuito de resistencias en serie y en paralelo. La aplicación de las reglas de KIRCHHOFF simplificará el análisis y solución de los circuitos. Por último, descubrirás el comportamiento de circuitos que varían con el tiempo, conectados a una fuente de corriente alterna.

LEYES DE KIRCHHOFF

Los circuitos sencillos, con una sola fuente de voltaje y resistores conectados en serie y paralelo, los puedes analizar y resolver utilizando la ley de Ohm, después de reducir el circuito a una sola espira con un resistor. Sin embargo, existen redes eléctricas que son circuitos complejos formados por trayectorias cerradas, llamadas mallas (espiras), por donde circula corriente que pueden tener varias fuentes de voltaje y resistores en serie y paralelo que no es posible resolverlos mediante el procedimiento que se utilizó en Física II.

La unión donde se juntan tres o más alambres de conexión se llama *nodo* y es un punto del circuito. En estas uniones la corriente se divide o se reúne. A la trayectoria que conecta dos nodos le llamamos *rama*. Un método que nos permite analizar y resolver redes de varias espiras se basa en las leyes de Kirchhoff, que dicen lo siguiente:

1. La suma de las corrientes que entran a cualquier unión en un circuito es igual a la suma de las corrientes que salen de dicha unión:
$$\sum I_{\text{entrada}} = \sum I_{\text{salida}}$$
2. La suma de las diferencias de voltaje a través de todos los elementos de cualquier espira de circuito cerrado es cero.
$$\sum V_{\text{circuito cerrado}} = 0$$

La primera ley de Kirchhoff es un enunciado de la conservación de la carga eléctrica; es decir, toda la corriente que entra a la unión de un circuito debe salir de esa unión, debido a que la carga no puede acumularse en ningún punto. La segunda ley es consecuente de la ley de conservación de la energía. Cuando la energía regresa al punto de partida, el sistema carga-circuito debe tener la misma energía que cuando la carga inició su movimiento.

Cuando aplicamos la segunda ley de Kirchhoff imagina que estas viajando alrededor de la espira para que puedas considerar los cambios en el potencial eléctrico. Para ello considera las siguientes reglas de convención de signos:

- a. Si recorremos un resistor en la dirección de la corriente, la caída de voltaje a través del resistor es negativa.
- b. Si recorres un resistor en dirección opuesta a la corriente, la caída de voltaje a través del resistor es positiva.

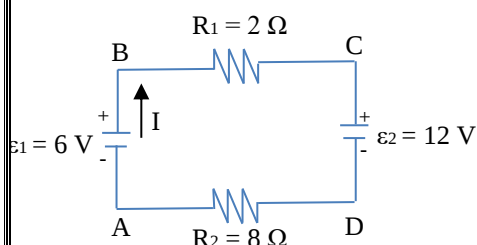
- c. Si una fuente *fem* se recorre de su terminal negativa a la positiva, el cambio de voltaje a través de la fuente es positivo.
- d. Si una fuente *fem* se recorre de su terminal positiva a la negativa, el cambio de voltaje a través de la fuente es negativo.

Para resolver circuitos eléctricos que contengan más de una fuente de *fem* se sugiere se consideren los siguientes pasos:

1. Dibuja un diagrama del circuito y ubica todos los datos conocidos y desconocidos. Asigna una dirección a la corriente en cada rama del circuito; esta asignación es arbitraria, pero debes ajustarte a ella cuando apliques las leyes de Kirchhoff.
2. Aplica la primera ley de Kirchhoff a cualquiera de las uniones en el circuito para obtener las relaciones entre las diversas corrientes
3. Aplica la segunda ley de Kirchhoff a tantas espiras en el circuito como sea necesario para incluir las diferentes incógnitas.
4. Los pasos 2 y 3 generan un sistema de n ecuaciones con n incógnitas (las corrientes). Resuelve el sistema de ecuaciones que se obtuvieron para determinar los valores de las corrientes.

EJEMPLO

Un circuito con una sola espira tiene dos resistores y dos fuentes de *fem* como se muestra en la siguiente figura. Determina el valor de la corriente en el circuito.



El circuito tiene una sola espira y se puede resolver sin utilizar las leyes de Kirchhoff, pero aquí se utilizarán para que aprendas la aplicación de ellas.

Como no hay nodos, la corriente I es la misma en todo el circuito, por lo tanto, la primera ley no se aplica.

Observa que la dirección de la corriente se eligió en el sentido de las manecillas del reloj.

Si comenzamos el recorrido en el punto A, y de acuerdo con las convenciones de los signos, el voltaje ε_1 es positivo porque va de la terminal negativa a la positiva. La caída de voltaje en R_1 es negativa porque va en el sentido de la corriente. El voltaje en ε_2 es negativo porque va de la terminal positiva a la negativa. La caída en R_2 es negativa porque va en el sentido de la corriente. Tomando en cuenta estas consideraciones aplicamos la segunda ley de Kirchhoff:

$$\sum V_{\text{circuito cerrado}} = 0$$

$$\varepsilon_1 - V_1 - \varepsilon_2 - V_2 = 0$$

$$\varepsilon_1 - IR_1 - \varepsilon_2 - IR_2 = 0$$

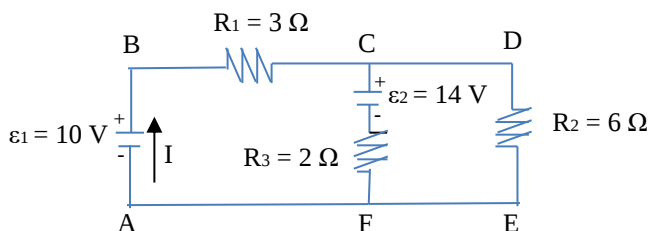
$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - I(R_1 + R_2) = 0$$

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I(R_1 + R_2)$$

$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1 + R_2} \quad I = \frac{6\text{ V} - 12\text{ V}}{2\ \Omega + 8\ \Omega} = \frac{-6\text{ V}}{10\ \Omega} = -0.6\text{ V}$$

El signo negativo de la corriente significa que, en realidad, la dirección de la corriente es contraria a la que elegimos.

Para familiarizarnos más con estos circuitos a continuación se resolverá uno circuito con tres espiras o mallas.



Determina las corrientes en las ramas del circuito mostrado:

Se observa que existen tres mallas o circuitos: ABCFA, CDEFC, ABDEA. Si consideramos la primera espira, obtenemos que el voltaje ε₁ es positivo, la caída de voltaje en la resistencia uno es negativo, el voltaje ε₂ es negativo y la caída de voltaje en la resistencia tres es negativo.

Las fórmulas que representan esta espira serán:

$$\begin{aligned}\sum V_{\text{circuito cerrado}} &= 0 \\ \varepsilon_1 - V_1 - \varepsilon_2 - V_3 &= 0 \\ \varepsilon_1 - I_1 R_1 - \varepsilon_2 - I_3 R_3 &= 0\end{aligned}$$

Sustituimos los valores en la última ecuación:

$$\begin{aligned}10 \text{ V} - (3 \Omega) I_1 - 14 \text{ V} - (2 \Omega) I_3 &= 0 \\ -(3 \Omega) I_1 - (2 \Omega) I_3 - 4 \text{ V} &= 0 \\ \mathbf{-(3 \Omega) I_1 - (2 \Omega) I_3 = 4 \text{ V}}\end{aligned}$$

Ahora analizamos la espira CDEFC.

$$\begin{aligned}\sum V_{\text{circuito cerrado}} &= 0 \\ \varepsilon_2 - V_2 + V_3 &= 0 \\ \varepsilon_2 - R_2 I_2 + R_3 I_3 &= 0 \\ 14 \text{ V} - (6 \Omega) I_2 + (2 \Omega) I_3 &= 0 \\ \mathbf{-(6 \Omega) I_2 + (2 \Omega) I_3 = -14 \text{ V}}\end{aligned}$$

Si aplicamos la ley de las corrientes considerando la unión o nodo del punto C y el sentido de las manecillas del reloj, las corrientes nos dan una ecuación:

$$\mathbf{I_1 = I_2 + I_3}$$

Si analizamos las tres ecuaciones obtenidas, estas forman un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas, el análisis de la tercera espira no aporta nada.

Para determinar los valores de las corrientes resolvemos este sistema de tres ecuaciones:

- Sustituimos la ley de las corrientes en la primera ecuación obtenida:

$$-(3 \Omega)(I_2 + I_3) - (2 \Omega) I_3 = 4 \text{ V}$$
- Resolvemos la ecuación, dándonos el resultado de: $\mathbf{-(3 \Omega) I_2 - (5 \Omega) I_3 = 4 \text{ V}}$
- Ahora resolvemos el siguiente sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$\begin{aligned}\mathbf{-(3 \Omega) I_2 - (5 \Omega) I_3} &= \mathbf{4 \text{ V}} \\ \mathbf{-(6 \Omega) I_2 + (2 \Omega) I_3} &= \mathbf{-14 \text{ V}}\end{aligned}$$
- Multiplicamos la primera ecuación por (-2) para obtener:

$$\mathbf{(6 \Omega) I_2 + (10 \Omega) I_3 = -8 \text{ V}}$$
- Le sumamos la otra ecuación:

$$\begin{aligned}\mathbf{(6 \Omega) I_2 + (10 \Omega) I_3} &= \mathbf{-8 \text{ V}} \\ \mathbf{-(6 \Omega) I_2 + (2 \Omega) I_3} &= \mathbf{-14 \text{ V}}\end{aligned}$$
- Dando como resultado de la suma de las dos: $(12 \Omega) I_3 = -22 \text{ V}$, despejamos y obtenemos el valor de la intensidad tres con un valor de:

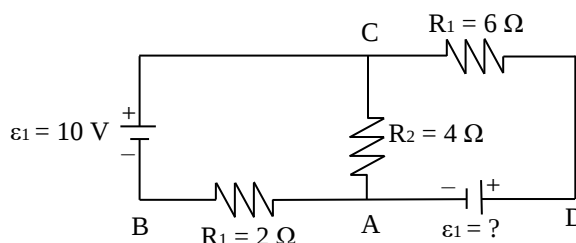
$$I_3 = \frac{-22 \text{ V}}{12 \Omega} = -1.83 \text{ A}$$

Recuerda que el signo negativo nos indica que escogimos la dirección equivocada.

- vii. De la ecuación $-(6\ \Omega) I_2 + (2\ \Omega) I_3 = -14\ \text{V}$ despejamos I_2 y obtenemos:
 $-(6\ \Omega) I_2 + (2\ \Omega)(-1.83\ \text{A}) = -14\ \text{V}$
 $-(6\ \Omega) I_2 - (3.66\ \text{VA}) = -14\ \text{V}$
- viii. Despejando la intensidad obtenemos: $I_2 = \frac{-14\ \text{V} + 3.66\ \text{V}}{-6\ \Omega} = 1.72\ \text{A}$
- ix. Finalmente sustituimos los valores de I_2 e I_3 en la ecuación de intensidades y obtenemos:
 $I_1 = 1.72\ \text{A} - 1.83\ \text{A}$
 $I_1 = -0.11\ \text{A}$
- x. ¿Qué significa que la corriente I_1 sea negativa? Esto demuestra que nuestra elección de la dirección de la corriente fue equivocada.

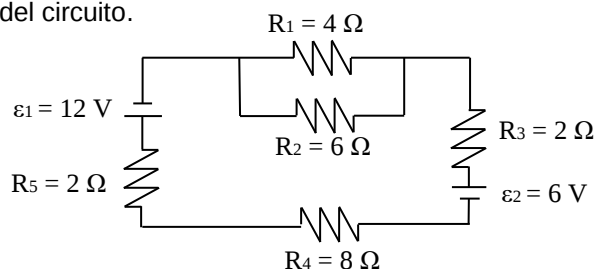
Ahora, después de haber calculado las leyes de Kirchhoff, desarrolla los ejercicios propuestos.

1. Determina el voltaje de la segunda batería del circuito dado en la siguiente figura:

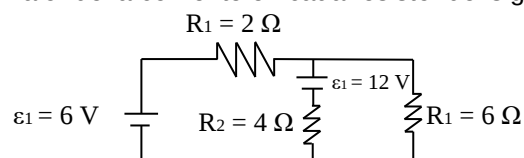


$$V_2 = 3\ \text{V}$$

2. Mediante la aplicación de las leyes de Kirchhoff, encuentra la corriente en cada uno de las resistencias del circuito.



3. Determina el valor de la corriente en cada resistor del siguiente circuito.



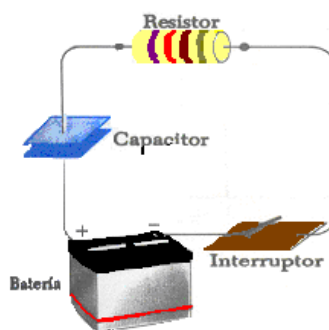
CIRCUITOS CON CORRIENTES Y VOLTAJES DEPENDIENTES DEL TIEMPO

Hasta el tema anterior se ha estudiado los circuitos eléctricos formados por resistencias conectadas de manera combinada en serie – paralelo en los que la corriente se mantiene constante. Existe otra clase de circuitos que se caracterizan por tener, además de una resistencia, un capacitor y/o inductor conectados en serie en los cuales la corriente y el voltaje no son constantes, sino que puede variar en el tiempo.

Estos circuitos se usan para sintonizar la frecuencia de los receptores de radio y para eliminar chispas en el sistema de encendido de los automóviles. Cuando enciendes un televisor, estéreo o cualquier aparato electrodoméstico estas utilizando corriente alterna la cual proporciona la potencia necesaria para operarlos.

CIRCUITOS RC

Al circuito que contiene una combinación en serie de un resistor y un capacitor se le denomina circuitos RC.



Considera que inicialmente el capacitor está descargado. Si cerramos el interruptor del circuito en $t = 0$ empieza a fluir cargas a través del circuito de manera que se genera una corriente. Aunque el interruptor está cerrado, el circuito permanece abierto debido a la separación de las placas del capacitor y la carga fluye cierto tiempo mientras el capacitor se está cargando.

La cantidad máxima de carga (Q_0) en el capacitor depende de la capacitancia (C) y del voltaje de la batería (V_0). Es decir, $Q_0 = CV_0$. Después de que se cerró el interruptor, en $t = 0$, hay una corriente inicial (I_0) en el circuito que, de acuerdo con la ley de Ohm, es $I_0 = V_0/R$ a través del resistor. Cuando el capacitor está completamente cargado la corriente disminuye a cero. El voltaje en el capacitor varía de forma exponencial con respecto al tiempo.

FUNCIONAMIENTO DE UN CIRCUITO RC SERIE

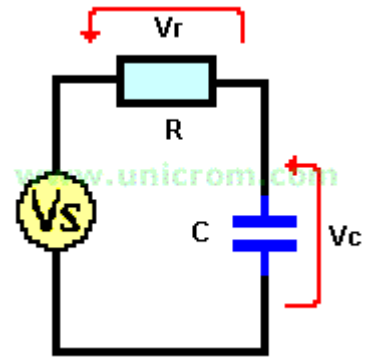
En un **circuito RC en serie** la corriente (corriente alterna) que pasa por el resistor y por el capacitor es la misma.

El voltaje entregado V_S es igual a la suma fasorial de la caída de voltaje en el resistor (V_r) y de la caída de voltaje en el capacitor (V_c). Ver la siguiente fórmula: $V_s = V_r + V_c$ (suma fasorial)

Esto significa que cuando la corriente está en su punto más alto (corriente pico), será así tanto en el resistor como en el capacitor.

Pero algo diferente pasa con los voltajes. En el resistor, el voltaje y la corriente están en fase (sus valores máximos y mínimos coinciden en el tiempo). Pero el voltaje en el capacitor no es así.

Como el capacitor se opone a cambios bruscos de voltaje, **el voltaje en el capacitor está retrasado con respecto a la corriente que pasa por él.** (El valor máximo de voltaje en el capacitor sucede después del valor máximo de corriente en 90°).



Estos 90° equivalen a ¼ de la longitud de onda dada por la frecuencia de la corriente que está pasando por el circuito.

El voltaje total que alimenta el **circuito RC en serie** es igual a la suma fasorial del voltaje en el resistor y el voltaje en el capacitor.

Este voltaje tiene un ángulo de desfase (causado por el capacitor) y se obtiene con ayuda de las siguientes fórmulas:

$$\text{Valor del voltaje (magnitud): } V_s = (V_R^2 + V_C^2)^{1/2}$$

$$\text{Angulo de desfase } \Theta = \text{Arctang} (-V_C/V_R)$$

Como se dijo antes:

- La corriente adelanta al voltaje en un capacitor en 90°
- La corriente y el voltaje están en fase en un resistor.



Con ayuda de estos datos se construye el diagrama fasorial y el triángulo de voltajes. De estos gráficos se obtiene la magnitud y ángulo de la fuente de alimentación (ver fórmulas anteriores):

A la resistencia total del conjunto resistor-capacitor, se le llama impedancia (Z) (un nombre más generalizado) y Z es la suma fasorial (no una suma directa) de los valores del resistor y de la reactancia del capacitor. La unidad de la impedancia es el "ohmio".

La impedancia (Z) se obtiene con ayuda de la siguiente fórmula:

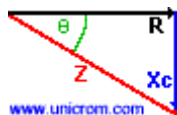
$$\text{Impedancia: } Z/\Theta = \frac{V_s/\Theta_1}{I/\Theta_2}$$

donde:

- Vs: es la magnitud del voltaje
- Θ_1 : es el ángulo del voltaje
- I: es la magnitud de la corriente
- Θ_2 : es el ángulo de la corriente

¿Cómo se aplica la fórmula?

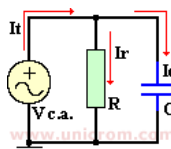
La impedancia Z se obtiene dividiendo directamente Vs e I y el ángulo (Θ) de Z se obtiene restando el ángulo de I del ángulo Vs.



El mismo **triángulo de voltajes** se puede utilizar si a cada valor (voltajes) del triángulo lo dividimos por el valor de la corriente (corriente es igual en todos los elementos en una conexión serie), y así se obtiene el **triángulo de impedancia**.

CIRCUITO RC EN PARALELO

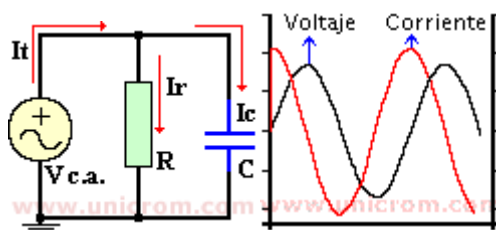
En un **circuito RC en paralelo** el valor de la tensión es el mismo en el condensador y en la resistencia y la corriente (corriente alterna) que la fuente entrega al circuito se divide entre la resistencia y el condensador. ($I_t = I_r + I_c$)



La corriente que pasa por la resistencia y la tensión que hay en ella están en fase debido a que la resistencia no causa desfase.

La corriente en el capacitor está adelantada con respecto a la tensión (voltaje), que es igual que decir que el voltaje está retrasado con respecto a la corriente.

Como ya se sabe el capacitor se opone a cambios bruscos de tensión.



La magnitud de la corriente alterna total es igual a la suma de las corrientes por los dos elementos y se obtiene con ayuda de las siguientes fórmulas:

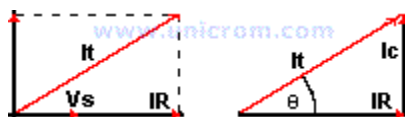
Magnitud de la corriente (AC) total:

$$I_t = (I_r^2 + I_c^2)^{1/2}$$

Angulo de desfase:

$$\Theta = \text{Arctang} (-I_c/I_r)$$

Ver el siguiente diagrama fasorial de corrientes:



La **impedancia Z** del circuito en paralelo se obtiene con la fórmula:

$$Z/\Theta = \frac{V/\Theta_1}{I/\Theta_2}$$

¿Cómo se aplica la fórmula?

Z se obtiene dividiendo directamente V e I y el ángulo (Θ) de Z se obtiene restando el ángulo de I del ángulo V. Este ángulo es el mismo que aparece en el gráfico anterior y se obtiene con la fórmula:

$$\Theta = \text{Arctang} (-I_c/I_r)$$

Ejemplo resuelto

En un circuito RC el valor de la resistencia es de 0.5 megaohms y la capacitancia es de 3 μF , si la batería es de 12 voltios:

- ¿Cuál es el voltaje a través del capacitor a una constante de tiempo cuando el interruptor se ha cerrado?
- ¿Cuál es el voltaje a través del capacitor en $t = 6 \text{ s}$?

Para responder la primera pregunta utilizamos la fórmula: $V = 0.64 V_o$

$$\text{Sustituyendo: } V = 0.64 (12 \text{ V}) = 7.68 \text{ V}$$

La constante del tiempo (τ) para el capacitor de este circuito es:

$$\tau = RC \quad \tau = (0.5 \times 10^6 \Omega)(3 \times 10^{-6} \text{ F}) = 1.5 \text{ s}$$

Se puede decir que a los 1.5 segundos después de haber cerrado el circuito, el capacitor tiene un voltaje de 7.68 voltios.

Para contestar la segunda pregunta se debe utilizar la siguiente fórmula: $V = V_o (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$

$$V = (12 \text{ V})(1 - e^{-\frac{6 \text{ s}}{1.5 \text{ s}}}) = (12 \text{ V})(1 - e^{-4}) = (12 \text{ V})(1 - 0.0183) = 11.78 \text{ V}$$

Este resultado indica que, a los 6 segundos de haber cerrado el circuito, el voltaje en el capacitor es de 11.78 voltios, es decir, más de 98 % del voltaje inicial.

Cuando un capacitor cargado por completo se descarga a través de una resistencia, el voltaje del capacitor decae exponencialmente respecto del tiempo y la expresión para determinar este decaimiento es:

$$V = V_o (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Un ejemplo del uso de un circuito RC, son los limpiaparabrisas de un automóvil, ya que tienen una función que hace que se muevan de manera intermitente durante una llovizna,

La constante del tiempo se cambia seleccionando distintos valores de la resistencia mediante un interruptor de posición múltiple. Conforme pasa el tiempo, el voltaje a través del capacitor alcanza un valor en el cual se disparan los limpiadores, lo que descarga el capacitor y queda en condiciones de volverse a cargar para continuar con el proceso de limpiado intermitente.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE.

Resuelve los siguientes problemas sobre circuitos RC

- Un capacitor en un circuito RC de una sola espira se carga a 50 % de su voltaje final en 1.5 segundos. Encuentra la constante de tiempo para el circuito.

- b. ¿Qué capacitancia dará una constante de tiempo de 1 segundo en un circuito RC que tiene una resistencia de $2,5 \text{ M}\Omega$?
- c. En un circuito RC la resistencia es de $1 \text{ M}\Omega$, la capacitancia es de $5 \text{ }\mu\text{F}$ y el voltaje de la fuente es de 30 V . Determina el voltaje y la corriente a través del capacitor en una y dos constantes de tiempo.
- d. ¿Cuántas constantes de tiempo le tomará a un capacitor, inicialmente cargado, en descargarse a la mitad de su voltaje?
- e. Un capacitor de $2 \text{ }\mu\text{F}$ está en serie con un resistor, se conecta a una fuente de 12 voltios y se carga.
 - a) ¿Qué resistencia es necesaria para provocar que el capacitor tenga sólo el 36% de su carga inicial, $1,5 \text{ segundos}$ después de iniciar la descarga?
 - b) ¿Cuál es el voltaje a través del capacitor en $t = 3\tau$ cuando se está descargando?

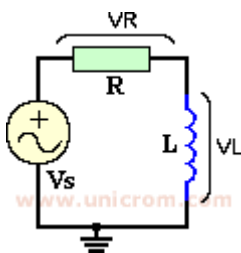
CIRCUITO RL EN SERIE EN C.A.

Cuando se estudió la electricidad y el magnetismo se estableció que los campos eléctricos se originan a partir de los campos magnéticos variables. En 1831 Michael Faraday realizó experimentos que demostraron que una fuerza electromotriz podía inducirse en un circuito mediante un campo magnético variable.

Como resultado de estos experimentos se estableció una ley básica del electromagnetismo: la ley de inducción de Faraday. Esta ley establece que la magnitud de la *fem* inducida en un circuito es igual a la rapidez de cambio en el tiempo del flujo magnético a través del circuito. En palabras simples, un campo magnético cambiante genera una corriente eléctrica.

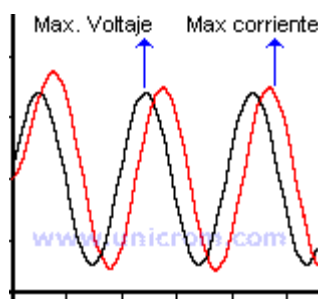
Un ejemplo de la relación entre la electricidad y el magnetismo que te puede ser muy familiar es cuando escuchas música en una cinta de sonido. La música que escuchas fue codificada como pequeñísimas variaciones en un campo magnético, las cuales producen impulsos eléctricos amplificados y conducidos hacia las bocinas. Estas utilizan interacciones electromagnéticas para traducir de nuevo los impulsos eléctricos en un sonido audible.

En un **circuito RL serie** en corriente alterna, se tiene una resistencia y una bobina en serie. La corriente en ambos elementos es la misma.



La tensión en la bobina está en fase con la corriente (corriente alterna) que pasa por ella (tienen sus valores máximos simultáneamente).

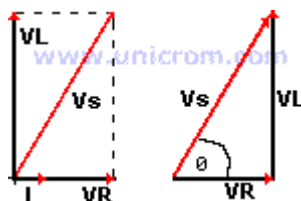
Pero el voltaje en la bobina está adelantado a la corriente que pasa por ella en 90° (la tensión tiene su valor máximo antes que la corriente)



El valor de la fuente de voltaje que alimenta este circuito está dado por las siguientes fórmulas:

- Voltaje (magnitud) $V_S = (V_R^2 + V_L^2)^{1/2}$
- Angulo $= \angle \theta = \text{Arctang} (V_L/V_R)$.

Estos valores se expresan en forma de magnitud y ángulo. Ver el diagrama fasorial de tensiones



Ejemplo: $47 \angle 30^\circ$ que significa que tiene magnitud de 47 y ángulo de 30 grados

La impedancia Z sería la suma (suma fasorial) de la resistencia y la reactancia inductiva. Y se puede calcular con ayuda de la siguiente fórmula:

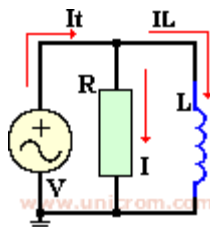
$$\text{Impedancia} = Z \angle \theta = \frac{V_S \angle \theta}{I \angle \theta}$$

Para obtener la magnitud de Z se dividen los valores de V_S e I

Para obtener el $\angle \theta$ de Z se resta el ángulo de la corriente, del ángulo del voltaje.

CIRCUITOS RL EN PARALELO

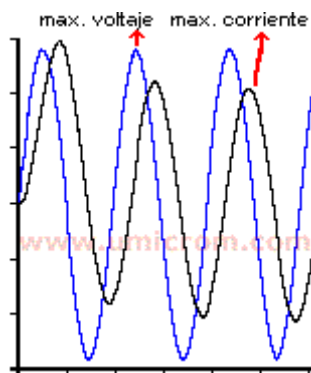
En un circuito RL paralelo, el valor de voltaje es el mismo para la resistencia y para la bobina. Ver el siguiente diagrama



$$V = V_R = V_L$$

La corriente que pasa por la resistencia está en fase con el voltaje aplicado. (El valor máximo de voltaje coincide con el valor máximo de corriente).

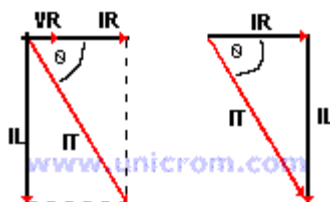
En cambio, en la bobina la corriente se atrasa 90° con respecto al voltaje. (El valor máximo de voltaje sucede antes que el valor máximo de la corriente)



La corriente total que alimenta este circuito se puede obtener con ayuda de las siguientes fórmulas:

- Corriente (magnitud) $I_t = (I_R^2 + I_L^2)^{1/2}$
- Angulo $\Theta = \text{Arctang} (-I_L/I_R)$

Ver el diagrama fasorial y de corrientes



La impedancia (Z) se obtiene con ayuda de la siguiente fórmula:

$$Z/\Theta = \frac{V/\Theta_1}{I/\Theta_2}$$

¿Cómo se logra lo anterior?

- Para obtener la magnitud de Z dividen las magnitudes de V_s e I_t para obtener la magnitud de la impedancia
- Para obtener el Θ de Z se resta el ángulo de la corriente del de voltaje para obtener el ángulo de la impedancia.

EJEMPLO RESUELTOS

1. Un solenoide de 3 cm de longitud y área transversal de 0.5 cm^2 está formado por 300 vueltas. Calcula la impedancia de la bobina cuando el núcleo es de aire.

Para solucionar este problema aplicamos la fórmula: $Z = \frac{\mu_0 n^2 a}{l}$

Sustituyendo los valores obtenemos:

$$Z = \frac{\mu_0 n^2 a}{l} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A})(3 \times 10^2)(0.5 \times 10^{-4} m^2)}{3 \times 10^{-2} m} = 18.84 \times 10^{-5} H$$

Es decir, tenemos un resultado de $Z = 0.188 \text{ mH}$

Un **inductor** es un dispositivo diseñado para producir un campo magnético en un circuito de manera que sirva para ciertos propósitos. Por ejemplo: un inductor se opone a una corriente cambiante para impedir el paso de corrientes alternativas mientras deja pasar corrientes continuas. Es decir, los inductores se usan para separar o filtrar la corriente alterna de la corriente directa.

El inductor consiste en una bobina de alambre devanada sobre un cilindro hueco que puede contener aire o algún núcleo ferromagnético. Su símbolo eléctrico es un alambre enrollado.



Un circuito RL está formado por un resistor y un inductor conectados a una batería.

Cuando el inductor se cierra, la corriente en el circuito empieza a aumentar y en el inductor se produce una *fem* inversa que se opone a la corriente. La magnitud de la *fem* producida por el inductor V_L a la cual se le llama autoinducción, se calcula por medio de la ecuación:

$$V_L = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

El valor negativo de la *fem* autoinducida (V_L) nos indica que se opone al cambio en la corriente. Si aplicamos la ley de Kirchhoff para los voltajes a este circuito, recorriéndolo en el sentido de las manecillas del reloj, se tiene que:

$$V - V_1 - V_L = 0$$

$$V - IR - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$$

$$V = L \frac{\Delta I}{\Delta t} + IR$$

Esta última expresión es una ecuación diferencial: V , L y R son fijas pero la corriente (I) varía con el tiempo. Una solución para la I de la ecuación diferencial está dada por la expresión:

$$I = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{Rt}{L}})$$

Si definimos la constante de tiempo del circuito RL como $\tau = L/R$, entonces podemos escribir la ecuación como:

$$I = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

EJEMPLOS RESUELTOS

- a. Un circuito está formado por una fuente de *fem* de 12 V, un inductor de 30 m H, un resistor de 6 Ω y un interruptor. Calcula la constante de tiempo de circuito y la corriente que fluye en él a los 2 ms de haber cerrado el interruptor.

Determinamos la constante del tiempo del circuito aplicando la ecuación: $\tau = \frac{L}{R}$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{30 \times 10^{-3} \text{ H}}{6 \Omega} = 5 \text{ ms}$$

para calcular la corriente que pasa por el circuito después de 2 segundos aplicamos la ecuación:

$$I = \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = \frac{12 \text{ V}}{6 \Omega} \left(1 - e^{-\frac{2 \times 10^{-3} \text{ s}}{5 \times 10^{-3} \text{ s}}} \right) = 0.659 \text{ A}$$

- b. Un resistor de 100 Ω y un inductor de 10 H forman un circuito RL. Calcula la constante de tiempo de este circuito. Si se cambia el inductor por otro de 1 H, ¿Cuál será la constante de tiempo para este segundo circuito?

La constante de tiempo para el primer circuito la obtenemos de la ecuación:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10 \text{ H}}{100 \Omega} = 0.1 \text{ s} = 100 \text{ ms}$$

La constante de tiempo del segundo circuito es:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{1 \text{ H}}{100 \Omega} = 0.001 \text{ s} = 10 \text{ ms}$$

Los valores de las constantes de tiempo de los circuitos nos indican que con el inductor de 10 H debe transcurrir 100 ms para que la corriente alcance 64 % de su valor máximo, mientras que con el inductor de 1 H sólo deben transcurrir 10 ms para que la corriente alcance ese mismo porcentaje de su valor máximo.

Cuando un circuito RL llega al estado estable, la corriente disminuye gradualmente conforme transcurre el tiempo. ¿Te has dado cuenta de que cuando apagas una lámpara que tiene una resistencia grande ésta continúa brillando durante un momento?

Esto se debe a que al abrir el interruptor la *fem* es mayor que el voltaje de estado estable a través de la lámpara y está brillará momentáneamente. Mientras mayor sea la inductancia (L) mayor será el valor de la constante de tiempo y la lámpara brillará durante más tiempo.

Debido a que la *fem* en un inductor evita que una batería establezca una corriente instantánea, la batería tiene que realizar trabajo contra el inductor para generar una corriente. Parte de la energía suministrada por la batería se manifiesta en el resistor como energía interna y la energía restante se almacena en el campo magnético del inductor. La ecuación que nos permite determinar la energía almacenada (E_M) en el inductor es:

$$E_M = \frac{1}{2} LI^2$$

El subíndice M significa que la energía almacenada por un inductor está asociada con el campo magnético.

EJEMPLO RESUELTO

Una bobina tiene una inductancia de 50 mH y una resistencia de $0.3 \, \Omega$. Si se aplica una *fem* de 15 V entre las terminales de la bobina. ¿Cuánta energía se almacena en el campo magnético?

De acuerdo con la ecuación:

$$E_M = \frac{1}{2} LI^2$$

La energía almacenada en el inductor depende también de la corriente (*I*). Para calcularla usamos la relación:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{15 \, V}{0.3 \, \Omega} = 50 \, A$$

Sustituimos los valores respectivos en la ecuación:

$$E_M = \frac{1}{2} (50 \times 10^{-3} H) (50 \, A)^2 = 62500 \times 10^{-3} \, J = 62.5 \, J$$

EJEMPLOS PROPUESTOS

- Calcula la inductancia de un solenoide de 0.5 m de longitud, con 200 vueltas devanadas sobre un núcleo hueco de 4 cm de diámetro.
- Se va a construir un solenoide con núcleo de aire de 40 cm de longitud y $4.5 \, \text{cm}^2$ de área transversal, de manera que su inductancia sea de 1 mili Henry (mH). ¿Cuántas vueltas de alambre debe tener?
- Se conecta una bobina de 40 mH en un circuito y después de un tiempo la corriente en el circuito es de 2 A. ¿Cuánta energía se almacena en el inductor? Si la corriente se duplica, ¿cómo cambia la energía almacenada en el inductor?
- Se deben almacenar 10 joules de energía en un inductor de 500 mH, ¿Cuánta corriente se debe pasar por él?
- Un inductor de 10 H se conecta en serie con una batería de 12 v, un resistor de $6 \, \Omega$ y un interruptor que se cierra. ¿Cuál es el valor de la corriente de estado estable? (recuerda que el estado estable se logra después de cinco constantes de tiempo)
- Cuando se cierra un interruptor aparecen 20 V a través de una bobina de 10 mH. Calcula la rapidez con la que se comienza a aumentar la corriente en el circuito. (Recuerda que inicialmente $I = 0$, pero $\frac{\Delta I}{\Delta t} \neq 0$).

CIRCUITO RLC

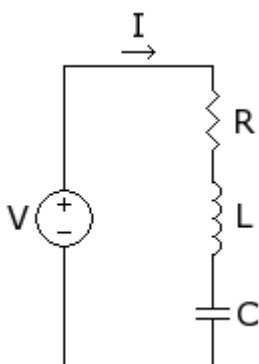
Hasta ahora se ha considerado que las fuentes *fem* generan corrientes directas. Sin embargo, la corriente eléctrica que se utiliza en el hogar y que hace funcionar los aparatos no es corriente directa. Cuando conectas algún aparato eléctrico a un contacto de la casa, el campo eléctrico que se establece en el conductor cambia periódicamente de sentido. De esta manera, las cargas eléctricas en el conductor oscilan desplazándose de un sentido a otro; de aquí que la corriente eléctrica que circula por el circuito cambia periódicamente de sentido, por el cual se llama **corriente alterna** (ca). La frecuencia de oscilación de la corriente alterna regularmente es de 60 Hertz, esto significa que las cargas que existen en el conductor realizan 60 oscilaciones o ciclos por segundo.

En electrodinámica un **circuito RLC** es un circuito lineal que contiene una resistencia eléctrica, una bobina (inductancia) y un condensador (capacitancia).

Existen dos tipos de circuitos RLC, en *serie* o en *paralelo*, según la interconexión de los tres tipos de componentes. El comportamiento de un circuito RLC se describen generalmente por una ecuación diferencial de segundo orden (en donde los circuitos RC o RL se comportan como circuitos de primero orden).

Con ayuda de un generador de señales, es posible inyectar en el circuito oscilaciones y observar en algunos casos el fenómeno de resonancia, caracterizado por un aumento de la corriente (ya que la señal de entrada elegida corresponde a la pulsación propia del circuito, calculable a partir de la ecuación diferencial que lo rige).

CIRCUITO RLC EN SERIE



CIRCUITO SOMETIDO A UN ESCALÓN DE TENSIÓN

Si un circuito RLC en serie es sometido a un escalón de tensión E , la ley de las mallas impone la relación:

$$E = u_C + u_L + u_R = u_C + L \frac{di}{dt} + R_t i$$

Introduciendo la relación característica de un condensador:

$$i_C = i = C \frac{du_C}{dt}$$

Se obtiene la ecuación diferencial de segundo orden:

$$E = u_C + LC \frac{d^2 u_C}{dt^2} + R_t C \frac{du_C}{dt}$$

Donde:

- E es la fuerza electromotriz de un generador, en Voltios (V);
- u_C es la tensión en los bornes de un condensador, en Voltios (V);
- L es la inductancia de la bobina, en Henrios (H);
- i es la intensidad de corriente eléctrica en el circuito, en Amperios (A);
- q es la carga eléctrica del condensador, en Coulombs (C);
- C es la capacidad eléctrica del condensador, en Faradios (F);
- R_t es la resistencia total del circuito, en Ohmios (Ω);
- t es el tiempo en segundos (s)

En el caso de un régimen sin pérdidas, $R_t = 0$ esto es para, se obtiene una solución de la forma:

$$u_c = E \cos\left(\frac{2\pi t}{T_0} + \varphi\right)$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

Donde:

- T_0 el periodo de oscilación, en segundos;
- φ la fase en el origen (lo más habitual es elegirla para que $\varphi = 0$)

Lo que resulta:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Donde f_0 es la frecuencia de resonancia, en hercios (Hz).

CIRCUITOS SOMETIDOS A UNA TENSIÓN SINUSOIDAL

La transformación compleja aplicada a las diferentes tensiones permite escribir la ley de las mallas bajo la forma siguiente:

$$\underline{U}_G = \underline{U}_C + \underline{U}_L + \underline{U}_R$$

siendo, introduciendo las impedancias complejas:

$$\underline{U}_G = -\frac{j}{C\omega} \underline{I} + jL\omega \underline{I} + R_t \underline{I} = \left[R_t + j \frac{LC\omega^2 - 1}{C\omega} \right] \underline{I}$$

La frecuencia angular de resonancia en intensidad de este circuito ω_0 es dada por:

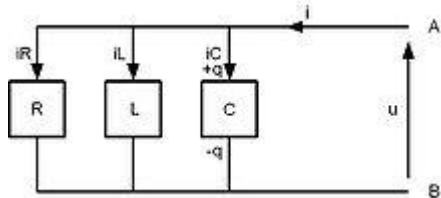
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Para esta frecuencia la relación de arriba se convierte en:

$$\underline{U}_G = \underline{U}_R = R_t \underline{I}$$

y se obtiene:
$$\underline{U}_L = -\underline{U}_C = \frac{j}{R_t} \sqrt{\frac{L}{C}} \underline{U}_G$$

CIRCUITO RLC EN PARALELO



$$i_r = \frac{u di_l}{R dt} = \frac{u}{L} i_c = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

ya que $q = Cu$

$$i = i_r + i_l + i_c$$

$$\frac{di}{dt} = C \frac{d^2u}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{du}{dt} + \frac{u}{L}$$

Atención, la rama C es un corto-circuito: no se pueden unir las ramas A y B directamente a los bornes de un generador E, se les debe adjuntar una resistencia.

Las dos condiciones iniciales son:

- i_{l0} conserva su valor antes de la puesta en tensión (porque la inductancia se opone a la variación de corriente).
- q_0 conserva su valor antes de la puesta en tensión $u_0 = \frac{q_0}{C}$.

CIRCUITO SOMETIDO A UNA TENSIÓN SINUSOIDAL

La transformación compleja aplicada a las diferentes intensidades proporciona:

$$\underline{I} = \underline{I}_r + \underline{I}_l + \underline{I}_c$$

Siendo, introduciendo las impedancias complejas:

$$\underline{I} = \frac{1}{R}\underline{U} + \frac{1}{jL\omega}\underline{U} + jC\omega\underline{U}$$

$$\text{siendo : } \underline{I} = \left[\frac{1}{R} + j\left(C\omega - \frac{1}{L\omega}\right) \right] \underline{U}$$

La frecuencia angular de resonancia en intensidad de este circuito ω_0 es dada por:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Para esta frecuencia la relación de arriba se convierte en:

$$\underline{I} = \underline{I}_r = \frac{1}{R}\underline{U}$$

$$\text{y se obtiene: } \underline{I}_c = -\underline{I}_l = j\sqrt{\frac{C}{L}}\underline{U}$$

UTILIZACIÓN DE LOS CIRCUITOS RLC

Los circuitos RLC son generalmente utilizados para realizar filtros de frecuencias, o de transformadores de impedancia. Estos circuitos pueden entonces comportar múltiples inductancias y condensadores: se habla entonces de "red LC". Un circuito LC simple es denominado de segundo orden porque su función de transferencia comporta un polinomio de segundo grado en el denominador.

El principio básico del generador de corriente alterna es una consecuencia de la ley de inducción de Faraday. Cuando una espira conductora se hace girar en un campo magnético con una velocidad angular constante (ω), en la espira se induce un voltaje sinusoidal instantáneo que se puede determinar por la ecuación:

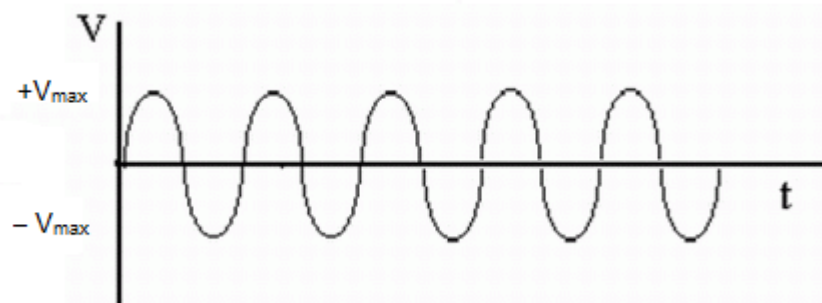
$$V = V_{\max} \text{ sen } \omega t = V_{\max} \text{ sen } 2 \pi f t$$

Donde:

V = voltaje instantáneo

$V_{\max}$ = voltaje de salida máximo

Si se graficara V observarías que la onda sube y baja entre los valores de $+V_{\max}$ y $-V_{\max}$



Con una carga puramente resistiva (R) entre las terminales de una fuente de corriente alterna, la corriente que pasa aumenta y disminuye cambiando de dirección una y otra vez en fase con el voltaje oscilante. La fuerza electromotriz impulsa a la corriente instantánea (I) de forma que:

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

Pero como: $V = V_{\max} \text{ sen } \omega t$ sustituyéndolo, obtenemos:

$$I = \frac{V_{\max}}{R} \text{ sen } \omega t$$

Y si

$$I_{\max} = \frac{V_{\max}}{R}$$

Obtenemos:

$$I = I_{\max} \text{ sen } \omega t$$

En donde $I_{\max}$ es la corriente máxima generada por la fuerza electromotriz. Cuando se manejan fuentes de corriente directa tiene sentido decir que existe una corriente de, por ejemplo, 2 amperes, pero ¿Cómo se puede describir la intensidad de corriente alterna?

Este problema se presentó en los inicios del manejo de la corriente eléctrica. Finalmente se decidió usar el concepto de corriente alterna definiéndola de manera semejante que en la corriente directa. Es decir, en términos del calentamiento que produce el ampere de corriente alterna, se define como: **la cantidad de corriente que produce la misma cantidad de calentamiento en un resistor, que un ampere de corriente directa durante un intervalo de tiempo.**

Actualmente, tanto los amperímetros como los voltímetros de corriente alterna se calibran para medir la corriente efectiva (I_{ef}) y el voltaje efectivo (V_{ef}), respectivamente. Los valores efectivos de la corriente y el voltaje se pueden relacionar con sus valores máximos a través de la potencia.

$$P = I^2 R$$

A la corriente efectiva también se le llama corriente *rms* y se escribe I_{rms} . La notación rms se refiere a las siglas de *root-mean-square* (raíz cuadrada media). La ecuación definitiva para determinar la corriente rms queda como:

$$I_{rms} = 0.707 I_{max}$$

En conclusión, lo que importa en un circuito de corriente alterna es un valor promedio de corriente, en este caso la ecuación anterior nos proporciona la forma de calcular este valor. De manera semejante, los valores alternos también se analizan mejor si los damos en términos de voltajes rms. La ecuación para el voltaje rms es similar a la de la corriente:

$$V_{rms} = 0.707 V_{max}$$

Ejemplo resuelto

1. Un generador de corriente alterna tiene una salida de 300 voltios. Determina el voltaje rms y la corriente máxima en el circuito si el generador se conecta a una resistencia de 200Ω . Los 300 voltios se refieren al voltaje máximo de salida del generador, para determinar el voltaje rms aplicamos la fórmula: $V_{rms} = 0.707 V_{max} = 0.707 (300 \text{ V}) = 212.1 \text{ V}$

De acuerdo a la Ley de Ohm $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{212.1 \text{ V}}{100 \Omega} = 2.12 \text{ A}$

Finalmente, para determinar la corriente máxima en el circuito aplicamos la ecuación:

$$I_{rms} = 0.707 I_{max}$$

$$I_{max} = \frac{I_{rms}}{0.707} = \frac{2.12 \text{ A}}{0.707} = 2.99 \text{ A}$$

Ahora, piensa en el voltaje de los contactos de tu casa: 120 voltios equivalen al voltaje rms, por tanto, el voltaje máximo entre las terminales del contacto es, de acuerdo con la fórmula:

$$V_{max} = \frac{V_{rms}}{0.707} = \frac{120 \text{ V}}{0.707} = 169.7 \text{ V}$$

Razón por la cual debes tener mucho cuidado al manejar dispositivos eléctricos en tu casa.

Seguramente has observado que todos los aparatos eléctricos que hay en tu casa, como televisores, planchas, secadoras de pelo, lámpara, etc., tienen una placa metálica o etiqueta donde se especifican sus características de funcionamiento. Si no lo has hecho, te invito a que lo verifiques. El siguiente ejemplo tiene que ver con esta observación:

2. La etiqueta de especificaciones de una plancha y una secadora de pelo establecen que están diseñadas para funcionar con 127 V y una potencia de 1570 W y 1875 W, respectivamente. Determinar la corriente rms, el valor máximo de corriente y la resistencia de cada uno de estos aparatos.

Los 127 V corresponden al valor del voltaje rms y el valor de la potencia también es promedio.

Para la plancha tenemos, con la relación a través de la fórmula: $P = V I$ tenemos:

$$P = V_{rms} I_{rms} \quad \therefore \quad I_{rms} = \frac{P}{V_{rms}} = \frac{1570 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 12.36 \text{ A}$$

Para calcular la corriente máxima que fluye por la plancha, usamos la ecuación:

$$I_{max} = \frac{I_{rms}}{0.707} = \frac{12.36 \text{ A}}{0.707} = 17.48 \text{ A}$$

El valor de la resistencia de la plancha se obtiene mediante la ecuación de la Ley de Ohm:

$$R = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{127 \text{ V}}{12.36 \text{ A}} = 10.36 \Omega$$

Realizamos el mismo procedimiento para determinar los valores para la secadora de pelo:

$$I_{rms} = \frac{P}{V_{rms}} = \frac{1875 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 14.76 \text{ A}$$

$$I_{max} = \frac{I_{rms}}{0.707} = \frac{14.76 \text{ A}}{0.707} = 20.87 \text{ A}$$

$$R = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{127 \text{ V}}{14.76 \text{ A}} = 8.6 \Omega$$

BIBLIOGRAFIA

1. **ARANDA, Flores María Estela, Física II, Editorial DGETI Fondo de Cultura Económica, Primera Edición 2009.**
2. **MERINO, Márquez Jorge Ignacio, Física II, Editorial DGETI, Fondo de Cultura Económica, Primera Edición 2007**
3. **TIPPENS, Paul E.; Física, conceptos y aplicaciones, Editorial Mc. Graw Hill, Sexta Edición 2005.**
4. **SERWAY, Raymond A., FAUGHN Jerry S., Fundamentos de Física Volumen I y II. Editorial Thomson, Sexta Edición, 2008**
5. **Mosqueira, Salvador, Física General, Editorial Patria, Primera Edición, 1991**