



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**ESCUELA NACIONAL COLEGIO DE
CIENCIAS Y HUMANIDADES**

PLANTELE VALLEJO

**ÁREA DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES**

**GUÍA DE ESTUDIO PARA PRESENTAR
EL EXAMEN EXTRAORDINARIO
DE FÍSICA II
PROGRAMA DE ESTUDIO 2016**

Elaborada por:

- ❖ **Tania Reyes Zúñiga (Coordinadora de la guía)**
- ❖ **Ruth Paulina Martínez Victoria**
- ❖ **Mireya Monroy Carreño**
- ❖ **Selene Pérez García**
- ❖ **Francisco Robles Pinto**

PRESENTACIÓN

Estimado alumn@:

El material que tienes en tus manos: la Guía de Examen Extraordinario de Física II, fue elaborada con un sentido colegiado por profesores que imparten la materia de Física en el Plantel Vallejo.

La Guía está dirigida a los estudiantes que no acreditaron la asignatura en el período ordinario, para que logren los aprendizajes básicos de la materia y presenten con éxito el examen extraordinario de Física II

Este documento, como guía de trabajo, está orientado para apoyarte en el estudio de las unidades de la asignatura de Física II, del programa actualizado de estudios. De manera que en la Guía se desarrollan las tres unidades que conforman el Programa Vigente de Física II:

Unidad 1: Electromagnetismo: principios y aplicaciones.

Unidad 2: Ondas mecánicas y electromagnéticas.

Unidad 3: Introducción a la física moderna y contemporánea.

Por último, se proporciona una bibliografía básica para consultar en fuentes originales los temas desarrollados en la guía.

Te invitamos a leer detenidamente los aprendizajes, los contenidos de cada unidad, los ejemplos resueltos, y también a que realice los ejercicios y actividades que se te proponen.

Te recomendamos que acudas al edificio de asesorías para que te apoyen en el diseño de una estrategia de estudio y aclarar tus dudas.

Sin embargo, los profesores que participamos en la elaboración de la guía nos ponemos a tu disposición para aclarar tus dudas y brindarte una asesoría personalizada. Puedes acudir al Área de Ciencias Experimentales, ubicada en el edificio I en la planta alta, donde te pueden informar donde encontrarnos,

Te deseamos éxito en el examen extraordinario de Física II.

A T E N T A M E N T E

Los autores

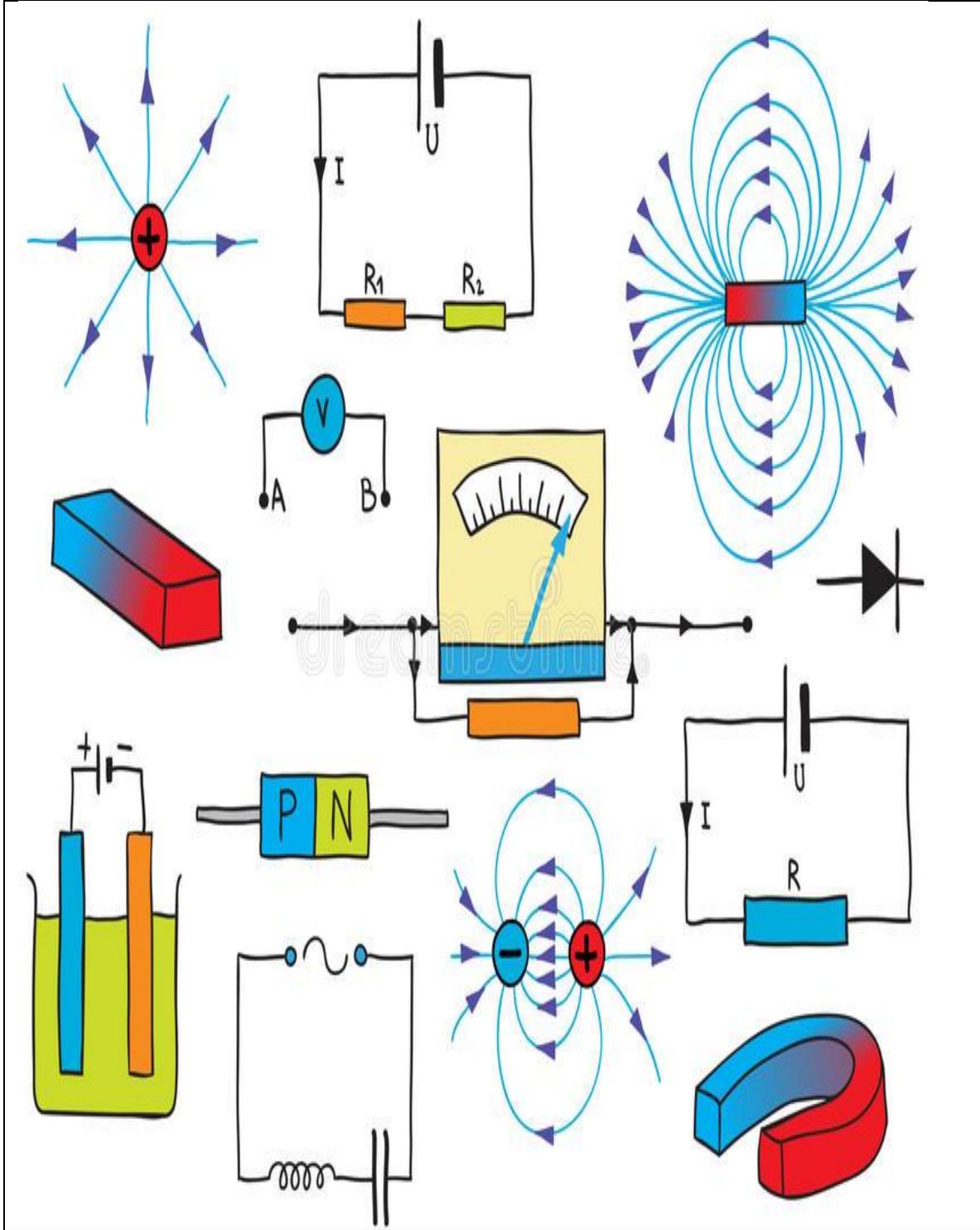
Junio de 2018

ÍNDICE GENERAL

	Página
Unidad 1. Electromagnetismo: principios y aplicaciones	4
Unidad 2: Ondas mecánicas y electromagnéticas	76
Unidad 3: Introducción a la física moderna y contemporánea	112
Bibliografía	128

Unidad 1

Electromagnetismo: principios y aplicaciones



En esta unidad se continuará aplicando la metodología teórico–experimental para que el alumno interprete mejor su entorno a partir del conocimiento de algunos elementos del electromagnetismo y los descubrimientos científicos que, en este ámbito, han tenido una aplicación práctica inmediata, propiciando el desarrollo de las ciencias y la tecnología.

Se conocerán las aportaciones más importantes de investigadores que contribuyeron, en diferentes épocas, a la construcción de la teoría electromagnética clásica. Los conceptos centrales de esta unidad son: carga eléctrica, campo eléctrico, potencial eléctrico, campo magnético, inducción electromagnética y la transformación de la energía eléctrica y magnética en mecánica o térmica. En el desarrollo de la unidad se pretende que los alumnos adquieran una visión general de los fenómenos electromagnéticos.

Con el desarrollo de proyectos de investigación escolar y su discusión dirigida se promoverá una mejor comprensión de la relación ciencia–tecnología–sociedad.

PROPÓSITOS DE LA UNIDAD

Al finalizar, el alumno:

- Aplicará la metodología física en la comprensión de fenómenos y resolución de ejercicios de electromagnetismo.
- Entenderá que la carga eléctrica es una propiedad de la materia asociada a los protones y electrones, a partir del análisis e interpretación de actividades experimentales para explicar fenómenos vinculados a la carga eléctrica.
- Conocerá el comportamiento de las variables eléctricas, a partir del diseño y construcción de circuitos eléctricos básicos (de corriente directa) para comprender el consumo energético en ellos, considerando la seguridad de las instalaciones domésticas y comerciales.
- Reconocerá el magnetismo como un fenómeno asociado a cargas eléctricas en movimiento para explicar diversas propiedades de los imanes y sus aplicaciones a través de experimentos.
- Comprenderá la transformación de la energía eléctrica y magnética en mecánica o térmica, a partir de investigaciones experimentales y documentales, para explicar los principios del funcionamiento de aparatos electrodomésticos.
- Reconocerá la importancia del estudio del electromagnetismo y su impacto en la ciencia y la tecnología, por medio de la realización de proyectos de investigación escolar, para desarrollar una actitud crítica y responsable.

APRENDIZAJES

Con relación a la carga eléctrica, el alumno:

- Reconoce la carga eléctrica como una propiedad de la materia. N1.
- Reconoce las diferentes formas en la que un cuerpo se puede cargar eléctricamente. N1.
- Aplica el principio de conservación de la carga eléctrica para explicar fenómenos de electrización. N3.
- Aplica la relación entre las variables que intervienen en la determinación de la intensidad de la fuerza eléctrica. N3.

Con relación al campo eléctrico, energía potencial eléctrica y potencial eléctrico, el alumno:

- Conoce la noción de campo eléctrico y su importancia en la descripción de la interacción eléctrica. N1.
- Calcula la intensidad del campo eléctrico en un punto, identificando su dirección, para una o dos cargas. N3.
- Interpreta cualitativamente diagramas de líneas de campo eléctrico. N3
- Comprende que la energía del campo eléctrico se puede aprovechar para realizar trabajo sobre las cargas eléctricas. N2.

Con relación a la corriente y diferencia de potencial, el alumno:

- Explica que la corriente eléctrica se genera a partir de la diferencia de potencial eléctrico. N2.
- Clasifica los materiales de acuerdo con su facilidad para conducir corriente eléctrica. N2.
- Comprende la relación entre las variables que determinan la resistencia de un conductor. N2.
- Demuestra experimentalmente la relación que existe entre la corriente y el voltaje en un resistor (ley de Ohm). N3.
- Aplica la Ley de Ohm. N3.
- Aplica el concepto de potencia eléctrica en resistores. N3.
- Comprende que la energía eléctrica se transforma en otras formas de energía. N2.
- Reconoce la importancia del uso racional de la energía eléctrica. N1.

Con relación a los fenómenos electromagnéticos, el alumno:

- Identifica cualitativamente el magnetismo como otra forma de interacción de la materia. N1.
- Identifica semejanzas y diferencias entre los campos magnético y eléctrico. N1.

- Describe en forma verbal y gráfica el campo magnético generado en torno de conductores de diferentes formas, por los que circula una corriente eléctrica constante. N1.
- Establece cualitativamente la relación entre variables que determinan el campo magnético inducido por una corriente en un conductor recto. N2.
- Describe cómo interactúan imanes, espiras y bobinas, por las que circula una corriente eléctrica. N1.
- Explica el funcionamiento de un motor eléctrico de corriente directa. N2.
- Conoce la inducción de corriente eléctrica generada por la variación del campo magnético. N1.
- Comprende el funcionamiento de un generador eléctrico. N2.

TEMÁTICA

Carga eléctrica

- Carga eléctrica.
- Formas de electrización: frotamiento, contacto e inducción.
- Conservación de la carga eléctrica.
- Interacción electrostática y ley de Coulomb.

Campo eléctrico, energía potencial eléctrica y potencial eléctrico

- Intensidad, dirección y sentido del campo eléctrico en un punto del espacio.
- Campo eléctrico alrededor de una carga, dos cargas y entre dos placas paralelas.
- Trabajo, energía potencial en el campo eléctrico y potencial eléctrico para configuraciones sencillas.

Corriente y diferencia de potencial

- Corriente eléctrica directa y diferencia de potencial.
- Resistencia eléctrica. Conductores y aislantes.
- Ley de Ohm.
- Circuitos con resistores: serie, paralelo y mixtos.
- Potencia eléctrica.
- Transformaciones de la energía eléctrica.
- Efecto Joule.
- Uso de energía eléctrica en el hogar y la comunidad, medidas de higiene y seguridad.

Fenómenos electromagnéticos

- Propiedades generales de los imanes y magnetismo terrestre.
- Campo magnético y líneas de campo.
- Relación entre electricidad y magnetismo: experimento de Oersted.
- Campo magnético generado en torno de un conductor recto, espira y bobina.
- Interacción magnética entre imanes y espiras/bobinas.
- Transformación de energía eléctrica en mecánica.
- Corriente eléctrica generada por campos magnéticos variables: ley de Faraday.
- Generador eléctrico.

CARGA ELÉCTRICA

Actividad diagnóstica. Contesta y reflexiona acerca de las siguientes cuestiones.

- ¿Cómo se genera la electricidad?
- ¿Cuál es el origen de los fenómenos eléctricos?
- Menciona algunos fenómenos que se presentan en la vida diaria relacionados con la carga eléctrica.
- ¿Qué tipos de carga eléctrica conoces?

¿Qué es la carga eléctrica?

La electricidad es un término genérico que describe los fenómenos asociados a la electricidad doméstica. Pero en realidad implica el estudio de la interacción entre objetos eléctricamente cargados. Para demostrar lo anterior se empieza con el estudio de la electrostática, es decir, cuando los objetos eléctricamente cargados están en reposo.

La carga eléctrica es una propiedad fundamental de la materia. La carga eléctrica está asociada con partículas que constituyen el átomo: el electrón y el protón.

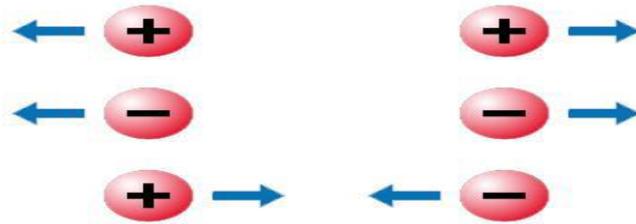
Los electrones se consideran como partículas en órbita alrededor de un núcleo, que contiene la mayoría de la masa del átomo en forma de protones y partículas eléctricamente neutras llamadas neutrones. La fuerza que mantiene los electrones en órbita alrededor del núcleo es la fuerza eléctrica.

La carga eléctrica existe en dos tipos: positiva (+) y negativa (-). Los protones tienen carga positiva y los electrones carga negativa.

El principio conocido como ley de las cargas establece que las diferentes combinaciones de los dos tipos de carga producen fuerzas eléctricas de atracción o repulsión. Siempre se cumple que: dos cargas eléctricas del mismo signo se repelen, mientras que si son de signos contrarios se atraen.

Las dimensiones de las fuerzas eléctricas cuando las cargas interactúan entre sí está dada por: cargas iguales se repelen, cargas desiguales se atraen.

Figura 1. Cuando dos cargas eléctricas interactúan entre sí, se observa que cargas iguales se repelen, cargas desiguales se atraen



La carga sobre un electrón y aquella sobre un protón son iguales en magnitud, pero contrarias en signo. La magnitud de la carga sobre un electrón se abrevia como e .

La unidad S.I de carga es el Coulomb (C), llamada así en honor del científico Charles A. Coulomb (1736-1806), quien descubrió una relación entre la fuerza eléctrica y carga. La carga del electrón es la unidad elemental de carga eléctrica. La carga de un cuerpo siempre es un múltiplo entero de la carga del electrón.

El símbolo para la carga se denota como q o Q . La carga del electrón se escribe como $q_e = -e = -1.602 \times 10^{-19}C$ y la de un protón es $q_p = +e = +1.602 \times 10^{-19}C$.

Es común utilizar los submúltiplos del coulomb: el microcoulomb (μC) que equivale a $10^{-6}C$ o el picocoulomb (pC) que corresponde a $10^{-9}C$ (otros submúltiplos: son el $mC = 10^{-3}C$ o el $nC = 10^{-9}C$).

La carga que acumula alguien cuando se levanta de un asiento de plástico es del orden de un millonésimo de coulomb, suficiente para ocasionar molestias cuando se descarga bruscamente al tocar tierra, o un objeto grande.

Cuando decimos que un objeto tiene carga neta significa que el objeto tiene un exceso de cargas positivas o negativas. La carga en exceso comúnmente se produce por una transferencia de electrones, no de protones.

Los átomos cargados positivamente se llaman *iones*. Los átomos con un exceso de electrones se llaman *iones negativos*.

Por medio de un electroscopio (instrumento detector de carga) se puede comprobar que un cuerpo está electrizado y que los cuerpos electrizados con el mismo signo se repelen y los cuerpos electrizados con signo distinto se atraen.

Actividad 1. Contesta las siguientes preguntas:

- ¿Qué estudia la electrostática?
- ¿Cuántos tipos de carga existen?
- ¿Qué tipos de fuerzas se producen cuando se combinan dos tipos de carga?
- Menciona el principio llamado ley de las cargas.
- En la unidad del SI ¿en qué unidades se mide la carga?

Actividad diagnóstica. Contesta y reflexiona acerca de las siguientes cuestiones.

- ¿Por qué se producen pequeñas descargas eléctricas cuando caminamos sobre ciertas alfombras, nos quitamos suéteres o usamos algunas cobijas o cobertores?
- ¿Por qué se levantan nuestros cabellos cuando los hemos cepillado continuamente por un tiempo?
- ¿Por qué un globo al que se ha frotado previamente se queda pegado a la pared, pero solo si hace contacto con la parte que ha sido frotada?
- Menciona algunos ejemplos de fenómenos eléctricos para ilustrar formas de electrización.

Formas de electrización

Un cuerpo eléctricamente neutro se electriza cuando gana o pierde electrones.

Existen tres formas básicas de modificar la carga neta de un cuerpo: electrización por **frotamiento**, **contacto** e **inducción**. En todos estos mecanismos siempre está presente el principio de conservación de la carga, que nos dice que la carga eléctrica no se crea ni se destruye, solamente se transfiere de un cuerpo a otro.

Frotamiento

En la electrización por fricción, el cuerpo menos conductor saca electrones de las capas exteriores de los átomos del otro cuerpo quedando cargado negativamente y el que pierde electrones queda cargado positivamente.

De modo que, en la electrización por frotamiento, el resultado de la transferencia de electrones entre dos cuerpos:

- Un cuerpo cargado positivamente posee defecto de electrones.
- Un cuerpo cargado negativamente posee exceso de electrones.



Figura 2. Electrificación por fricción

Contacto

Cuando un cuerpo cargado entra en contacto con otro neutro, le cede parte de su exceso de carga. Se observa poco después que los cuerpos se repelen.

Si se tiene un cuerpo con exceso de electrones (carga $-$), transfiere dicha carga negativa a otro cuerpo que tiene carencia de ellos. De manera que ambos quedan con igual tipo de carga, como resultado de la redistribución de los electrones entre los dos cuerpos.

En la figura siguiente, se muestra lo que sucede cuando se toca una bolita (de unicel, por ejemplo) con una barra de plástico electrificada negativamente. La bolita se carga negativamente por los electrones que la barra le transfiere. Esto ocasiona que sea repelida por la barra debido a la fuerza de repulsión eléctrica.



Figura 3. Electrificación por contacto

Inducción

La electrificación de un cuerpo puede hacerse sin que exista contacto con el cuerpo electrificado. Al acercar un cuerpo cargado al conductor neutro, las cargas eléctricas se mueven de tal manera que las de signo igual a las del cuerpo cargado se alejan en el conductor y las de signo contrario se aproximan al cuerpo cargado, quedando el conductor polarizado.

Es decir, la polarización es la separación de las cargas eléctricas en positivas por un lado, y negativas por otro lado.

Si se hace contacto con tierra en uno de los extremos polarizados, el cuerpo adquiere carga del signo opuesto.

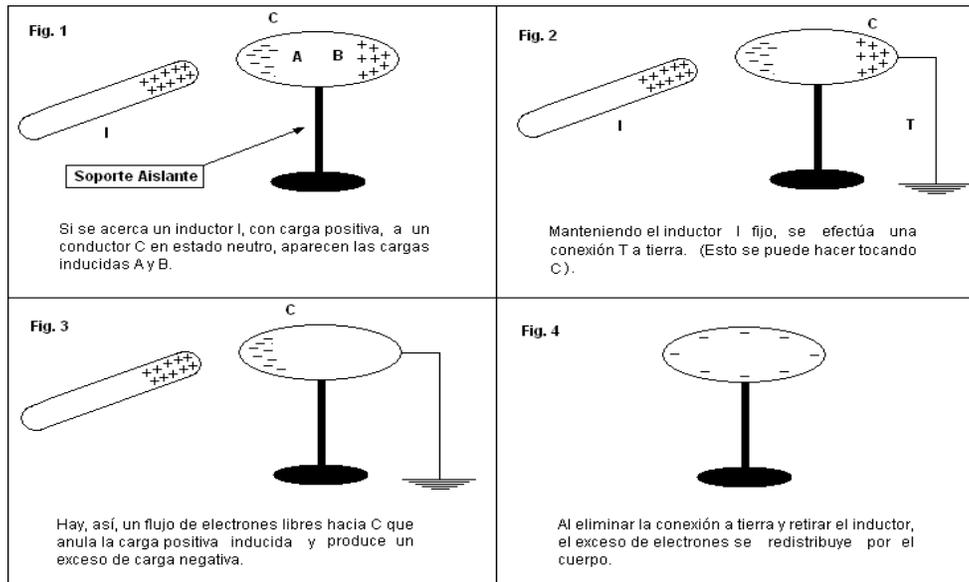


Figura 4. Electrización por inducción

Actividad 2. Contesta las siguientes preguntas:

- ¿Qué ocurre en el proceso de frotar dos objetos?
- ¿Qué sucede cuando se pone en contacto una varilla cargada con un electroscopio?
- Cuando un objeto pierde electrones ¿Qué tipo de carga tiene?

Conservación de la carga eléctrica.

Los objetos materiales están formados por átomos, y eso quiere decir que están formados por electrones y protones (y neutrones). Los objetos tienen cantidades iguales de electrones y protones y en consecuencia, son eléctricamente neutros. Pero si hay un pequeño desequilibrio en esas cantidades, el objeto tiene carga eléctrica.

Cuando se agregan o quitan electrones a un objeto, se produce un desequilibrio. Por ejemplo cuando se frota un peine en el cabello de una persona, los electrones pasan del cabello al peine. Entonces el peine tiene un exceso de electrones, y se dice que tiene carga negativa o que está cargada negativamente. A la vez, el cabello de la persona tiene una deficiencia de electrones y se dice que tiene carga positiva, o que está cargado positivamente.

Vemos entonces que un objeto que tiene cantidades distintas de electrones y protones se carga eléctricamente.

Es importante destacar que cuando se carga algo no se crean ni se destruyen electrones, sólo pasan de un material a otro: la carga se conserva.

Actividad 3. Contesta las siguientes preguntas:

1. Si a un átomo se le quita un electrón ¿Cuál será su carga?
2. ¿Por qué se dice que un átomo es neutro?
3. Contesta si las siguientes afirmaciones son Verdaderas o Falsas (argumenta tu respuesta):
 - a) Los cuerpos sólo se cargan de electricidad por inducción electromagnética.
 - b) Si un cuerpo se carga positivamente otro se carga negativamente en la misma cantidad.
 - c) La unidad de carga eléctrica en el SI es el Ampere.
 - d) Los electroscopios sirven para medir la carga eléctrica de un objeto.

Fuerza eléctrica

Dos cargas eléctricas del mismo signo se repelen, mientras que si son de signos contrarios se atraen. Esta fuerza eléctrica de atracción o repulsión, depende de las cargas eléctricas y de la distancia entre ellas.

Ley de Coulomb

Las primeras experiencias que permitieron cuantificar la fuerza eléctrica entre dos cargas se deben al francés Charles Coulomb, en el año 1785. A partir de sus resultados, Coulomb enunció una ley que describe esta fuerza, de atracción o de repulsión, la que es conocida como ley de Coulomb, y que es un principio fundamental de la electrostática. Es importante notar que esta ley solo es aplicable al caso de cargas en reposo.

Coulomb encontró que la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales (muy pequeñas) q_1 y q_2 separadas una distancia r , es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, es decir, va disminuyendo rápidamente a medida que se alejan las cargas entre sí.

La ley de Coulomb se puede expresar como:

$$F = \frac{k q_1 q_2}{r^2}$$

Donde:

- F es la fuerza atractiva o repulsiva, expresada en Newtons N.
- q_1 y q_2 son las cargas de ambos cuerpos expresados en coulombs C.
- r es la distancia entre las cargas expresada en metros.
- k es una constante de proporcionalidad que depende del medio en el que estén las cargas, si están en el vacío, su valor en el SI es de $9.0 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$.

Es importante destacar que en la ley de Coulomb debemos tener en cuenta que el signo de las cargas nos indicará si la fuerza es de atracción (cargas con distinto signo) o de repulsión (cargas con igual signo).

Si la fuerza es positiva, el signo indica que es una fuerza de repulsión. Si la fuerza es negativa, la fuerza es de atracción.

Ejemplo:

Dos cargas puntuales de $+2 \mu C$ cada una, se encuentran separadas una distancia de 3 cm en el vacío. ¿Cuál es el valor de la fuerza que se ejercen entre ellas? ¿Cuánto valdría la fuerza si las cargas fueran de $-2 \mu C$? ¿Y si las cargas fueran una de $+2 \mu C$ y la otra de $-2 \mu C$? Representa gráficamente las tres situaciones.

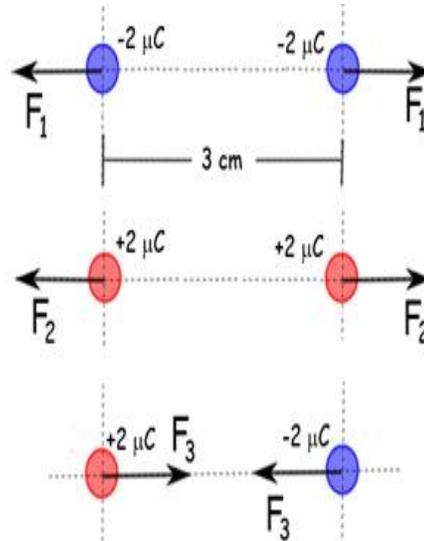
Solución:

$$F_1 = \frac{(9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2})(2 \times 10^{-6}C)(2 \times 10^{-6}C)}{(0.03m)^2} = 40 N$$

$$F_2 = \frac{(9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2})(-2 \times 10^{-6}C)(-2 \times 10^{-6}C)}{(0.03m)^2} = 40 N$$

$$F_3 = \frac{(9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2})(2 \times 10^{-6}C)(-2 \times 10^{-6}C)}{(0.03m)^2} = -40 N$$

En los dos primeros casos, **la fuerza es positiva, lo que indica que es una fuerza de repulsión.** En el tercer caso, **la fuerza es negativa, lo que indica que es de atracción.**



Ejemplo:

Dos cargas puntuales de $-1.0 nC$ y $+2.0 nC$ están separadas 0.30 m. ¿Cuál es la fuerza eléctrica sobre cada partícula?

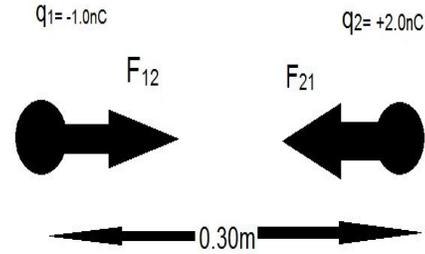
Solución:

Se convierten las unidades de nanocoulombs a coulombs

$$q_1 = -(1.0 \text{ nC}) \left(\frac{10^{-9} \text{ C}}{1 \text{ nC}} \right) = -1.0 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$q_2 = +(2.0 \text{ nC}) \left(\frac{10^{-9} \text{ C}}{1 \text{ nC}} \right) = 2.0 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$r = 0.30 \text{ m}$$



La fuerza que actúa sobre cada fuerza puntual se determina con la ley de Coulomb:

$$F_{12} = F_{21} = \frac{Kq_1q_2}{r^2} = \frac{\left(9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right) (-1.0 \times 10^{-9} \text{ C})(2.0 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0.30 \text{ m})(0.30 \text{ m})}$$

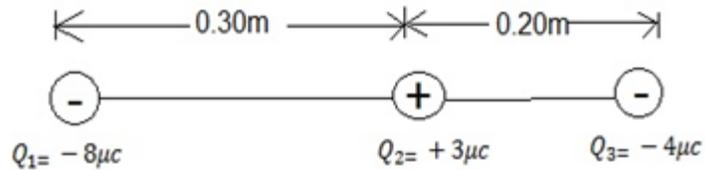
$$F_{12} = F_{21} = -0.20 \times 10^{-6} \text{ N} = -0.20 \mu \text{ N}$$

Como la fuerza es negativa, indica que es una fuerza de atracción.

Ejemplo:

Tres partículas cargadas están ordenadas en una línea recta (ver figura).

Calcula la fuerza electrostática neta sobre la partícula 3 o Q_3 debida a las otras cargas.



Solución:

Debemos calcular:

a) la fuerza eléctrica que experimenta la carga Q_3 debido a la carga Q_1 , es decir: F_{31} , y

b) la fuerza eléctrica que experimenta la carga Q_3 debido a la carga Q_2 , es decir: F_{32} , y

Las magnitudes de estas dos fuerzas se obtienen mediante la ley de Coulomb.

$$F_{31} = \frac{KQ_3Q_1}{r_{31}^2} = \frac{\left(9.0 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right) (-4.0 \times 10^{-6} \text{ C})(-8.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.5 \text{ m})(0.5 \text{ m})} = 1.2 \text{ N}$$

Como la fuerza F_{31} es positiva, esto indica que es una fuerza de repulsión.

$$F_{32} = \frac{KQ_3Q_2}{r_{32}^2} = \frac{\left(9.0 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right) (-4.0 \times 10^{-6} \text{ C})(3.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.20 \text{ m})(0.20 \text{ m})} = -2.7 \text{ N}$$

En este caso, la fuerza F_{32} es negativa, lo que indica que es de atracción

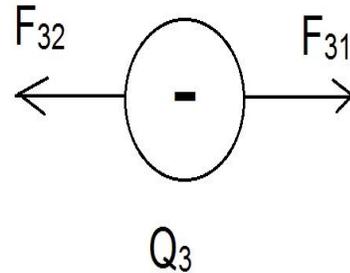
Los signos de las cargas se utilizan para conocer la dirección de cada fuerza.

Observamos que F_{31} es repulsiva a la derecha y F_{32} es atractiva a la izquierda.

Por lo tanto la fuerza neta sobre la carga Q_3 es:

$$F = F_{32} + F_{31} = -2.7N + 1.2N = -1.5N$$

La magnitud de la fuerza neta es de $1.5N$ y apunta hacia la izquierda.



Actividad 4. Contesta las siguientes preguntas y problemas:

1. ¿De qué dependerá la fuerza de atracción o repulsión entre objetos con carga eléctrica?
2. Un electrón y un protón tienen la misma carga en valor absoluto pero de signo distinto. La magnitud de la carga es $q = 1.6 \times 10^{-19} C$. Si la fuerza de atracción entre un protón y un electrón en el vacío es de $8.2 \times 10^{-8} N$ ¿cuál es la separación entre ellas? Ten en cuenta que $k = 9.0 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$
3. Calcula la fuerza de atracción entre dos cargas de $9 \mu C$ y $-4 \mu C$ respectivamente, que se encuentran separadas $2 cm$ en el vacío.
4. Determina la distancia a la que se encuentran separados dos cuerpos cuya carga eléctrica es de $9 mC$ cada uno, si se sabe que la fuerza de repulsión entre ellos es de $2.40 \times 10^4 N$.
5. Determina el valor de dos cargas eléctricas iguales que se encuentran separadas $20 cm$ en el vacío y se repelen con una fuerza de $2 N$.
6. Calcular la fuerza de atracción de dos cargas iguales de $50 \mu C$ situadas en el vacío y separadas $40 cm$.
7. Cuatro cargas puntuales de igual magnitud de $5 \mu C$ se colocan en las esquinas de un cuadrado de $50 cm$ de lado, dos de ellas son diagonalmente opuestas y positivas y las otras son negativas. Determine la fuerza sobre una de las cargas negativas.
8. Tres cargas puntuales se colocan sobre el eje x , de la siguiente manera: $3 \mu C$ en el origen, $-4 \mu C$ en $x = 50 cm$ y $-6 \mu C$ en $x = 130 cm$. Encuentra la fuerza sobre la carga de $-4 \mu C$ y sobre la carga de $-6 \mu C$.

CAMPO ELECTRICO, ENERGIA POTENCIAL ELECTRICA Y POTENCIAL ELÉCTRICO.

Campo Eléctrico

Las cargas eléctricas generan en torno a ellas, un campo eléctrico de carácter vectorial que disminuye con la distancia. Este campo produce una fuerza eléctrica sobre una carga que se ubique en algún punto de él.

Dicho de otra forma: Se dice que existe un campo eléctrico en una región de espacio en la que una carga eléctrica experimenta una fuerza eléctrica.

Fue Michael Faraday (1791-1867) quien introdujo la noción de campo en la Física para poder explicar la interacción a distancia (interactuar sin tocarse) que ocurre entre cuerpos, como sucede por ejemplo al aproximar dos imanes, y que Newton no pudo aclarar. En Física, el concepto de campo señala un sector del espacio en el que a cada punto de él, se le puede asociar un vector o una cantidad escalar.

Por ejemplo, la Tierra genera un campo gravitatorio en el espacio que la circunda ejerciendo una fuerza (el peso, que es un vector) sobre los cuerpos situados en sus cercanías.

Si situamos una carga Q en un punto del espacio, esta carga crea un campo eléctrico a su alrededor. Al introducir una nueva carga positiva, llamada carga de prueba Q_p , la ley de Coulomb nos dice que esta carga, Q_p se verá sometida a una fuerza de atracción o de repulsión según el signo de las cargas.

La **intensidad de campo eléctrico** en un punto es la fuerza que actúa sobre la unidad de carga positiva colocada en el punto considerado. Es decir:

$$E = \frac{F}{Q_p}$$

La intensidad del campo eléctrico se expresa en $\frac{N}{C}$.

Dirección y sentido del campo eléctrico en un punto del espacio.

El campo eléctrico E se representa mediante líneas que:

- ✓ salen de las cargas cuando la carga es positiva ($q +$) o
- ✓ entran hacia las cargas cuando la carga es negativa ($q-$).

Al conjunto de líneas que entran o salen de las cargas se llaman **líneas de campo**.

La dirección de la intensidad de campo eléctrico E en un punto en el espacio es la misma que la dirección en la cual una carga positiva de prueba Q_p se movería si se colocara en ese punto.

En la imagen de la derecha se muestra el campo eléctrico en la vecindad de dos cargas de diferente signo.

En una carga positiva $+Q$. Las líneas van hacia afuera o alejándose de la carga.

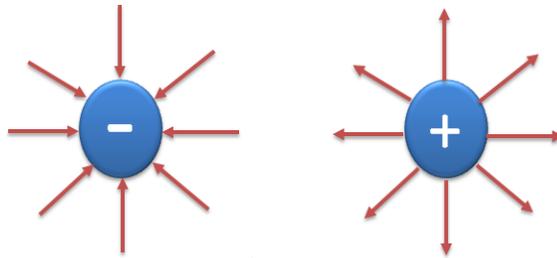
En la vecindad de una carga negativa $-Q$, la dirección de las líneas de campo son hacia dentro.

Por tanto, una carga de prueba positiva es rechazada si se ubica en el campo de una carga generadora positiva, y es atraída si se ubica en el campo de una carga generadora negativa.

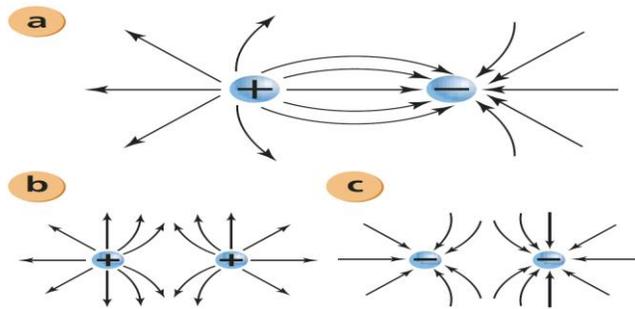
En la imagen (a), las líneas de campo se dirigen desde la carga positiva hacia la carga negativa. Una carga de prueba positiva en esta región se movería hacia la carga negativa.

En las imágenes (b) y (c) el campo eléctrico es generado por cargas iguales donde las líneas de campo se curvan debido a que se rechazan.

Líneas de campo en cargas puntuales aisladas



Líneas de campo en cargas puntuales situadas a cierta distancia



Si deseamos calcular la intensidad de campo E a una distancia r de una sola carga Q , que la fuerza F que ejerce Q sobre la carga de prueba q en el punto en cuestión es, a partir de la ley de Coulomb:

$$F = \frac{KQq}{r^2}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación $E = \frac{F}{q}$ obtenemos

$$E = \frac{F}{q} = \frac{KQ \frac{q}{r^2}}{q}$$

$$E = \frac{KQ}{r^2}$$

Donde:

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

Cuando más de una carga contribuye al campo, el campo resultante es la suma vectorial de las contribuciones de cada carga.

$$E = E_1 + E_2 + \dots$$

$$E = \frac{KQ_1}{r_1^2} + \frac{KQ_2}{r_2^2}$$

Ejemplo:

Una carga de $+5 \mu\text{C}$ colocada en un punto P en un campo eléctrico experimenta una fuerza descendente de $8 \times 10^{-4} \text{ N}$ ¿Cuál es la intensidad del campo eléctrico en ese punto?

Solución:

Considerando que existe un campo eléctrico debido a la fuerza con la que es sometida la carga eléctrica de $5 \mu\text{C}$, por lo tanto la intensidad del campo eléctrico está dada por:

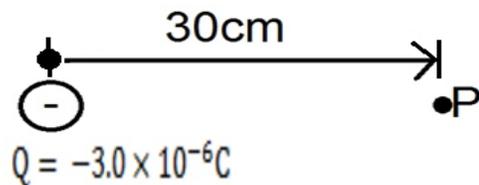
$$E = \frac{F}{q}$$

$$E = \frac{8 \times 10^{-4} \text{ N}}{+5 \mu\text{C}}$$

$$E = 400 \frac{\text{N}}{\text{C}}, \text{ hacia abajo}$$

Ejemplo:

Determine la magnitud y dirección del campo eléctrico en un punto P localizado a 30cm a la derecha de una carga puntual



$$Q = -3.0 \times 10^{-6} \text{ C}.$$

Solución:

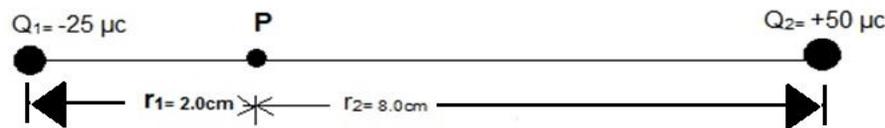
La magnitud del campo es:

$$E = \frac{KQ}{r^2} = \frac{\left(9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}\right) (-3.0 \times 10^{-6} C)}{(0.30m)(0.30m)} = -3.0 \times 10^5 \frac{N}{C}$$

La dirección del campo eléctrico es hacia la carga Q, hacia la izquierda.

Ejemplo:

Dos cargas puntuales están separadas una distancia de 10cm. Una tiene carga de $-25 \mu\text{C}$ y la otra de $+50 \mu\text{C}$. Determine la dirección y magnitud del campo eléctrico en un punto P entre las dos cargas que está a 2.0cm de la carga negativa.

**Solución:**

El campo debido a la carga negativa Q_1 apunta hacia Q_1 , y el campo debido a la carga positiva Q_2 apunta en dirección opuesta a Q_2 . De esta forma, ambos campos apuntan hacia la izquierda y se pueden sumar algebraicamente las magnitudes de los dos campos, ignorando los signos de las cargas.



Cada uno de los campos E_1 y E_2 se deben a una carga puntual (Q_1 y Q_2 , respectivamente). Las magnitudes de dichos campos, los obtenemos a partir de la ecuación: $E = \frac{KQ}{r^2}$

El campo total es:

$$E = \frac{KQ_1}{r_1^2} + \frac{KQ_2}{r_2^2}$$

$$E = \frac{\left(9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}\right) (-25 \times 10^{-6} C)}{(2.0 \times 10^{-2} m)} + \frac{\left(9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}\right) (50 \times 10^{-6} C)}{(8.0 \times 10^{-2} m)}$$

$$E = 6.3 \times 10^8 \frac{N}{C}$$

Líneas de campo eléctrico

Para visualizar el campo eléctrico, se dibuja una serie de líneas para indicar la dirección del campo eléctrico en varios puntos en el espacio. Estas líneas de campo eléctrico (a veces llamadas líneas de fuerza) se dibujan de modo que indiquen la dirección de la fuerza debida al campo dado sobre una carga de prueba positiva.

Las reglas generales para dibujar e interpretar líneas de campo eléctrico son las siguientes:

- 1) Cuanto más cerca están las líneas de campo, más intenso es el campo eléctrico.
- 2) En cualquier punto, la dirección del campo eléctrico es Tangente a las líneas de campo (ver fig. a).
- 3) Las líneas de campo eléctrico empiezan en cargas positivas y terminan en cargas negativas.
- 4) El número de líneas que salen o entran a una carga es proporcional a la magnitud de ésta.
- 5) Las líneas de campo eléctrico nunca se cruzan.

A continuación se presentan líneas de campo eléctrico para diferentes ordenamientos de cargas.

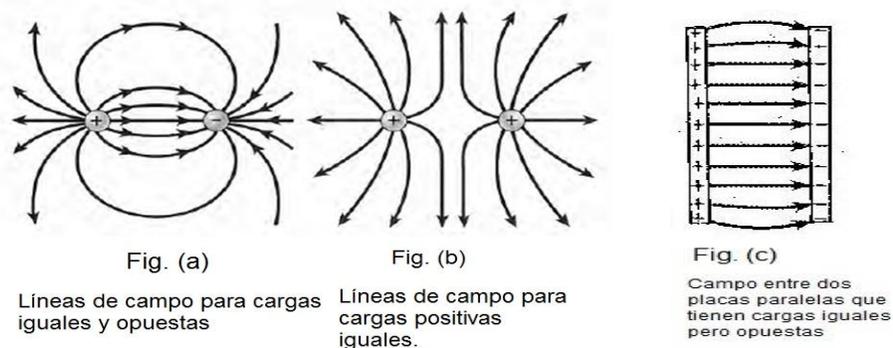


Figura 5. Líneas de campo eléctrico para distintos ordenamientos de cargas

Energía potencial eléctrica

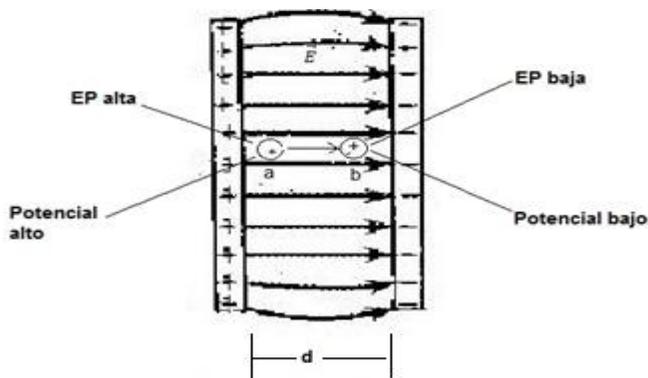
Un objeto con carga tiene energía potencial eléctrica gracias a su lugar en un campo eléctrico. Al igual que se requiere trabajo para levantar un objeto masivo contra el campo gravitacional de la tierra, se requiere trabajo para mover una partícula cargada contra el campo eléctrico de un cuerpo cargado. Este trabajo cambia la energía potencial eléctrica de la partícula cargada. Este trabajo es positivo si aumenta la energía potencial eléctrica de la partícula cargada, y negativo si la disminuye.

A la energía que posee una partícula en virtud de su ubicación se le llama energía potencial eléctrica EP .

La energía potencial de un sistema compuesto por una carga q y otra carga Q separados por una distancia r es:

$$EP = \frac{k Q q}{r}$$

Para ilustrar lo anterior consideremos el campo eléctrico entre dos placas paralelas con la misma carga pero con signo opuesto, como se ilustra en la figura siguiente:



Si se considera una pequeña carga puntual positiva q colocada en un punto muy cercano a la placa positiva en el punto a y se libera, la fuerza eléctrica hará trabajo sobre la carga y la acelerará hacia la placa negativa.

El trabajo W realizado por el campo eléctrico E para mover la carga una distancia d es:

$$W = F d$$

$$W = q E d$$

Puesto que $F = qE$

Al mover la carga positiva de la posición a , a la posición b , el campo eléctrico realiza trabajo.

La carga positiva q tiene mayor energía en el punto a cerca de la placa positiva (en este punto la carga tiene su mayor capacidad para realizar trabajo).

Potencial eléctrico

Al potencial eléctrico se le define como la energía potencial eléctrica por unidad de carga. El potencial eléctrico está dado por el símbolo V , si una carga de prueba positiva q tiene energía potencial eléctrica EP_A en algún punto A (en relación con alguna energía potencial cero), el potencial eléctrico V_A en este punto es:

$$V_A = \frac{EP_A}{q}$$

La unidad de medida del potencial eléctrico es el *Volt*, por lo que al potencial eléctrico se le llama con frecuencia “voltaje”. Un potencial eléctrico de 1 volt (1V) equivale a un Joule (J) de energía por una Coulomb (1C) de carga.

$$1 \text{ Volt} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ Coulomb}}$$

En general, cuando se conoce el potencial en el punto A, la energía potencial debida a la carga q en ese punto se puede determinar a partir de:

$$EP = qV_A$$

Sustituyendo la ecuación $EP = \frac{kQq}{r}$ en $V_A = \frac{EP_A}{q}$ nos queda una expresión para calcular directamente el potencial:

$$V_A = \frac{EP_A}{q}$$

$$V_A = \frac{\frac{kQq}{r}}{q}$$

$$V_A = \frac{KQ}{r}$$

El símbolo V_A se refiere al potencial en el punto A, localizado a una distancia r de la carga Q.

Ejemplo:

Una carga de $+2nC$ está separada 20 cm de otra carga de $+4 \mu C$:

- ¿Cuál es la energía potencial del sistema?
- ¿Cuál es el cambio en energía potencial si la carga de $+2 nC$ se mueve a una distancia de 8cm de la carga de $+4 \mu C$?

Solución (a):

Calculamos la energía potencial del sistema, si se sabe que la distancia entre cargas es de 20cm:

$$EP = \frac{KQq}{r}$$

$$EP = \frac{\left(9 \times 10^9 N \frac{m^2}{C^2}\right) (4 \times 10^{-6} C) (2 \times 10^{-9} C)}{0.2 m}$$

$$EP = 36 \times 10^{-5} J$$

Solución (b):

Calculamos el cambio de la energía potencial, si se sabe que la distancia entre cargas es ahora de 8 cm:

Primero calculamos la energía potencial a una distancia de 8cm es:

$$EP = \frac{KQq}{r} = \frac{\left(9 \times 10^9 N \frac{m^2}{C^2}\right) (4 \times 10^{-6} C) (2 \times 10^{-9} C)}{0.08 m} = 90 \times 10^{-5} J$$

El cambio en energía potencial es:

$$90 \times 10^{-5} J - 36 \times 10^{-5} J = 54 \times 10^{-5} J$$

Se observa que la diferencia es positiva, lo que indica un incremento en energía potencial.

Ejemplo:

- a) Calcule el potencial en el punto A que está a 30cm de distancia de una carga de $-2 \mu C$.
- b) ¿Cuál es la energía potencial si una carga de $+4nC$ está colocada en A?

Solución (a):

Calculamos el potencial en el punto A, si se sabe que está a una distancia de 30cm de la carga. Tenemos dos expresiones para el potencial en un punto A:

$$V_A = \frac{EP_A}{q} \quad y \quad V_A = \frac{kQ}{r}$$

La segunda expresión es la que más nos conviene. Entonces se tiene que:

$$V_A = \frac{kQ}{r} = \frac{\left(9 \times 10^9 N \frac{m^2}{C^2}\right) (-2 \times 10^{-6} C)}{0.3 m}$$

$$V_A = -6 \times 10^4 V$$

Solución (b):

Calculamos la energía potencial debida a la carga de $+4nC = 4 \times 10^{-9} C$:

$$\begin{aligned} EP &= qV_A \\ EP &= (4 \times 10^{-9} C)(-6 \times 10^4 V) \\ EP &= -24 \times 10^{-5} J \end{aligned}$$

Actividad 5. Resuelve los siguientes problemas y contesta las preguntas

1. Supón que tiene dos cargas opuestas, separadas 12 cm. Considera la magnitud del campo eléctrico a 2.5 cm de la carga positiva. ¿En cuál lado de esta carga (arriba, abajo, izquierda o derecha) el campo eléctrico es más intenso? ¿Y más débil? Explica tus respuestas.
2. ¿Por qué nunca se pueden cruzar las líneas de campo eléctrico?
3. ¿La fuerza eléctrica es una fuerza conservativa? Fundamenta tus respuestas.
4. Calcula la intensidad del campo eléctrico en el punto medio de una recta de 70 mm, que tiene una carga de $-60\mu\text{C}$ con una carga de $+50\mu\text{C}$.
5. Una carga de $-3\mu\text{C}$ colocada en un punto P, experimenta una fuerza descendente de $6 \times 10^{-5}\text{N}$. ¿Cuál es la intensidad del campo eléctrico en el punto P?
6. Una carga puntual de $3 \times 10^{-5}\text{C}$ se coloca en el origen de coordenadas. Encuentra el campo eléctrico en un punto sobre el eje de las x en $x=5\text{m}$.
7. Dos cargas iguales pero con signos opuestos, se encuentran separadas por una distancia de 80 mm. El campo eléctrico en el punto medio de la recta es $2 \times 10^4\text{N/C}$ que se dirige hacia arriba. ¿Encuentra la magnitud de cada carga?
8. ¿Cuál es la energía potencial de una carga de 4 nC localizada a 60 mm de una carga de $40\mu\text{C}$? ¿Cuál sería la magnitud de la energía potencial si la misma carga estuviera a 60 mm de una carga de $-80\mu\text{C}$?
9. ¿A qué distancia de una carga de $-7\mu\text{C}$ otra carga de -4nC tendrá una energía potencial de 50 mJ?
10. Una carga de $3\mu\text{C}$ se encuentra a 15 mm de otra carga de $15\mu\text{C}$. ¿Cuál será la energía potencial del sistema?
11. ¿Cuál es el potencial absoluto para las siguientes distancias medidas desde una carga de $3\mu\text{C}$ con $r=5\text{cm}$ y con $r=55\text{cm}$?
12. Una carga puntual de $500\mu\text{C}$ se encuentra en el aire. Calcular el potencial absoluto a una distancia de 2 cm.
13. Una carga de $+45\text{nC}$ se encuentra 70 mm a la izquierda de una carga de -7nC . ¿Cuál es el potencial en un punto que se encuentra 30 mm a la izquierda de -7nC ?

CORRIENTE Y DIFERENCIA DE POTENCIAL

Corriente eléctrica.

El movimiento de cargas eléctricas a través de un conductor, se conoce como **corriente eléctrica**, como sabes, resulta imprescindible para hacer funcionar la mayoría de aparatos eléctricos de nuestro entorno, desde tu televisión hasta la maquinaria de cualquier empresa.

La corriente eléctrica es la circulación de electrones a través de un material conductor que se mueven siempre del polo (-) al polo (+) de la fuente de suministro.

Aunque **el sentido convencional** de circulación de la corriente eléctrica es a la inversa, del polo (+) al polo (-).

Este criterio se debe a razones históricas ya que en la época en que trató de explicar cómo fluía la corriente eléctrica por los materiales, la comunidad científica desconocía la existencia de los electrones y decidió ese sentido, aunque podría haber acordando lo contrario, como ocurre. No obstante en la práctica, ese error no influye para nada en lo que al estudio de la corriente eléctrica se refiere.

Se necesita un campo eléctrico para poner las cargas en movimiento, y para mantenerlos en movimiento en cualquier conductor normal.

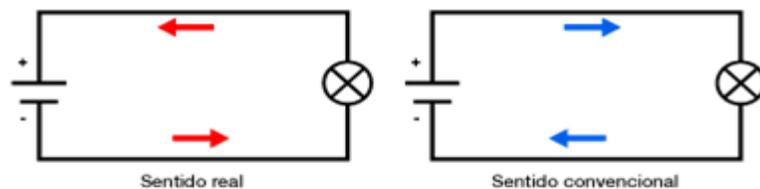


Figura 6. Se representa el sentido real y el sentido convencional de la corriente eléctrica

Para que haya corriente en un alambre, se requiere una diferencia de potencial, lo que se logra con una batería.

Una batería produce electricidad al transformar la energía química en energía eléctrica. Las baterías más simples contienen dos placas o barras hechas de metales distintos llamadas electrodos. Los electrodos están sumergidos en una solución, como

ácido diluido, llamado electrolito. Tal dispositivo se llama pila eléctrica y varias pilas conectadas en conjunto forman una batería, aunque en la actualidad incluso una sola pila se reconoce como batería.

El propósito de una batería es producir una diferencia de potencial, que permitirá mover cargas.

Magnitudes eléctricas

Recuerda que una magnitud es cualquier propiedad física que se puede medir. Al medir diferentes propiedades de un objeto o de un fenómeno físico nos hacemos una idea de su tamaño o de su importancia. Las magnitudes eléctricas nos permiten comparar unos fenómenos eléctricos con otros y saber la importancia o el tamaño del fenómeno eléctrico ante el que nos encontramos.

Las principales magnitudes eléctricas y que caracterizan un circuito eléctrico son:

1. Intensidad de corriente (I)
2. Diferencia de potencial o Voltaje (V)
3. Resistencia (R)

A continuación se describirá cada una de ellas, y, posteriormente, su relación

Intensidad de corriente eléctrica

Para indicar la cantidad de agua que fluye por un río, por ejemplo, se utiliza el término caudal; esto es, cuanta más agua pasa por unidad de tiempo, mayor es el caudal. De manera similar, en electricidad hay una magnitud similar llamada: **intensidad de corriente I** .

Por lo que la intensidad de corriente representa la cantidad de cargas que circulan por una sección transversal de un conductor por unidad de tiempo.

La intensidad de corriente I se define como el número de cargas eléctricas que pasan por un punto de un material conductor en la unidad de tiempo, entonces:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Donde ΔQ es la cantidad de carga que pasa a través de una sección transversal del conductor en el intervalo de tiempo Δt .

En el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad de la intensidad de corriente es el ampere (A), en honor del físico francés André-Marie Ampere (1775-1836).

El ampere (A) corresponde a una carga de 1 Coulomb que atraviesa la sección transversal del conductor cada segundo, es decir:

$$1 A = \frac{1C}{s}$$

Ejemplo:

En un alambre existe una corriente estable (estacionaria) de 2.5 A durante 4 minutos.

- a) ¿Cuánta carga total pasa por un punto dado en el circuito durante esos 4 min?
- b) ¿A cuántos electrones equivaldría esto?

Solución (a):

Como la corriente es de 2.5A o $2.5 \frac{C}{s}$, entonces en 4 minutos (=240s) la carga total que fluye por un punto dado en el alambre la obtenemos a partir de la ecuación:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Despejando ΔQ y sustituyendo los datos:

$$\Delta Q = I\Delta t = \left(2.5 \frac{C}{s}\right)(240s) = 600C$$

Solución (b):

La carga en un electrón es $1.60 \times 10^{-19}C$, así que 600C equivalen a:

$$\frac{600C}{1.60 \times 10^{-19} \frac{C}{electrón}} = 3.8 \times 10^{21}electrones$$

Diferencia de potencial o Voltaje

Ya vimos que la corriente eléctrica consiste en el movimiento de cargas eléctricas en un conductor. Ahora bien, para que la corriente siga fluyendo es necesario que haya una fuente de alimentación (por ejemplo, una pila).

Para comprender el concepto de voltaje, volveremos a comparar el comportamiento de la corriente eléctrica con el flujo de agua (es lo que se llama modelo hidráulico). Imaginemos que el agua fluye en un sistema de tuberías.

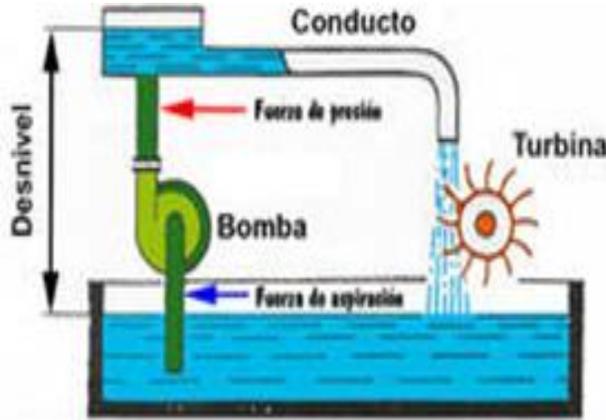


Figura 7. Modelo hidráulico de un circuito eléctrico

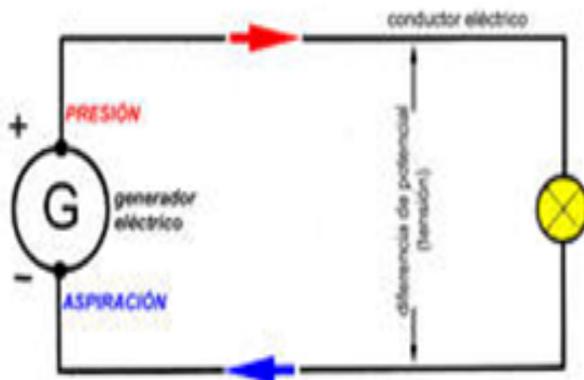


Figura 8. Comparación de un circuito hidráulico con un circuito eléctrico

Fíjate en primer lugar en el circuito hidráulico. Observa que a mayor altura el agua cae con mayor presión, y a más velocidad gira la turbina.

Ahora fíjate en la parte correspondiente al circuito eléctrico. En ella es fácil identificar el equivalente al caudal: se trata de la intensidad eléctrica que acabas de estudiar. Así, al igual que el agua precisa de una bomba que la impulse para seguir su flujo, las cargas necesitan de un impulsor que permita que la corriente continúe circulando. Este dispositivo recibe el nombre de generador eléctrico.

El generador eléctrico genera una diferencia de potencial o tensión que mantiene los electrones que mantiene los electrones en circulación en el circuito eléctrico, de la misma forma que una bomba eleva el agua a un nivel superior para mantenerla circulando en un conducto.

Los objetos caen debido a su masa, pasando de puntos de más altura (mayor energía potencial gravitatoria, o mayor potencial) a otros de menor altura, y menor potencial. Lo mismo sucede con las cargas: desde el punto de vista energético se mueven debido a la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos del circuito. Cuanto mayor sea ésta, más rápidamente se desplazarán los electrones por el conductor y mayor será la intensidad de la corriente.

La diferencia de potencial entre dos puntos es el trabajo por unidad de carga positiva que realizan fuerzas eléctricas para mover una pequeña carga de prueba desde el punto de mayor potencial al de menor potencial.

La unidad de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional de Unidades es el volt (V).

Otra forma de expresar el mismo concepto sería afirmar que la diferencia de potencial entre dos puntos es la diferencia en los potenciales en esos puntos. Por ejemplo, si el potencial en cierto punto A es de 100V y el potencial en otro punto B es de 40V, la diferencia de potencial es:

$$V_A - V_B = 100V - 40V = 60V$$

En general, el trabajo realizado por un campo eléctrico para mover una carga q del punto A al punto B se puede determinar a partir de:

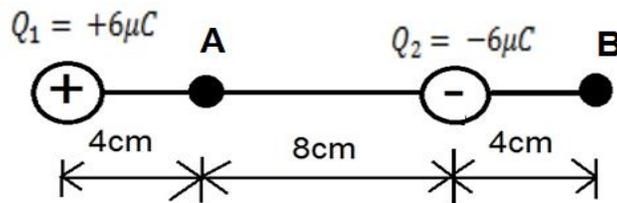
$$\text{Trabajo}_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$$

Si consideramos dos placas paralelas con carga opuesta que están separadas por una distancia d , la diferencia de potencial se expresa como:

$$V = Ed$$

Ejemplo:

¿Cuál es la diferencia de potencial entre los puntos A y B que se encuentran en la siguiente figura? ¿Cuánto trabajo realiza un campo eléctrico al mover una carga de $-2nC$ del punto A al punto B?



Solución:

Se procede a calcular el potencial en el punto A y posteriormente, el potencial en el punto B.

El potencial en A se encuentra a partir de la ecuación:

$$V_A = \frac{kQ_1}{r_1} + \frac{kQ_2}{r_2}$$

$$V_A = \frac{\left(9 \times 10^9 N \frac{m^2}{C^2}\right) (6 \times 10^{-6} C)}{4 \times 10^{-2} m} + \frac{\left(9 \times 10^9 N \frac{m^2}{C^2}\right) (-6 \times 10^{-6} C)}{8 \times 10^{-2} m}$$

$$V_A = 13.5 \times 10^5 V - 6.75 \times 10^5 V$$

$$V_A = 6.75 \times 10^5 V$$

El potencial en B se encuentra a partir de la ecuación:

$$V_B = \frac{kQ_1}{r_1} + \frac{kQ_2}{r_2}$$

$$V_B = \frac{\left(9 \times 10^9 N \frac{m^2}{C^2}\right)(6 \times 10^{-6} C)}{16 \times 10^{-2} m} + \frac{\left(9 \times 10^9 N \frac{m^2}{C^2}\right)(-6 \times 10^{-6} C)}{4 \times 10^{-2} m}$$

$$V_B = 3.38 \times 10^5 V - 13.5 \times 10^5 V$$

$$V_B = -10.1 \times 10^5 V$$

Por lo tanto la diferencia de potencial entre los puntos A y B es:

$$V_A - V_B = 6.75 \times 10^5 V - (-10.1 \times 10^5 V)$$

$$V_A - V_B = 16.9 \times 10^5 V$$

Puesto que A está a un potencial mayor que B, el campo realiza un trabajo positivo cuando una carga positiva se mueve desde A hasta B.

El trabajo se obtiene a partir de la ecuación:

$$\text{Trabajo}_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$$

$$\text{Trabajo}_{A \rightarrow B} = (-2 \times 10^9 C)(16.9 \times 10^5 V)$$

$$\text{Trabajo}_{A \rightarrow B} = -3.37 \times 10^{-3} J$$

Por el hecho de que el trabajo realizado por este campo es negativo, otra fuente de energía debe suministrar el trabajo para mover la carga.

Ejemplo:

La diferencia de potencial entre dos placas separadas entre sí 5mm es de 10 kV. Determine la intensidad del campo eléctrico entre las placas.

Solución:

Despejando E de la ecuación:

$$V = Ed$$

$$E = \frac{V}{d} = \frac{10 \times 10^3 V}{5 \times 10^{-3} m} = 2 \times 10^6 \frac{V}{m}$$

Resistencia eléctrica

En los modelos que has visto hasta ahora las cargas se desplazan libremente, pero esto no ocurre así en la vida real. Cuando una corriente atraviesa una sección de circuito eléctrico, los electrones chocan contra las partículas que forman el conductor, perdiendo velocidad y con ello energía.

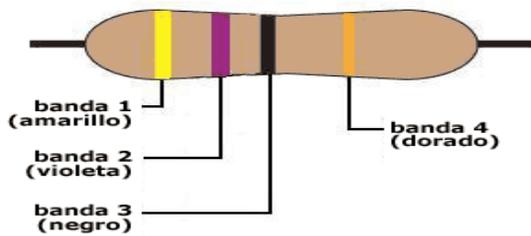
La cantidad de energía perdida dependerá del tipo de conductor de que se trate: en el caso de un buen conductor, perderá muy poca energía, mientras que si se trata de un aislante perderá mucha llegando, incluso, a no circular en absoluto. Para comprender este comportamiento resulta muy útil el símil hidráulico, en el que el aumento de la resistencia correspondería a un estrechamiento en la tubería, con lo que se dificultaría el paso del agua.

La resistencia (**R**) se define como la oposición a que fluya la carga eléctrica. Aunque la mayoría de los metales son buenos conductores de la electricidad, todos ofrecen cierta oposición a que el flujo de carga eléctrica pase a través de ellos. Esta resistencia eléctrica es fija para gran número de materiales específicos, de tamaño, forma y temperatura conocidos. Es independiente del voltaje y de la corriente que pasa a través de ellos.

Todos los dispositivos eléctricos, desde los calentadores y las bombillas, hasta los amplificadores de sonido, ofrecen resistencia al flujo de corriente. Los filamentos de las bombillas y los calentadores eléctricos son tipos especiales de alambres cuya resistencia da como resultado un aumento de temperatura.

La resistencia es la dificultad que un material ofrece al paso de la corriente eléctrica. La resistencia en el SI se mide en Ohms que se representan con la letra Ω .

Todos los elementos de un circuito eléctrico ofrecen algo de resistencia al paso de la corriente eléctrica. Sin embargo, cuando hay que añadir algo de resistencia a un circuito eléctrico se utilizan los dispositivos denominados resistores o resistencias, que tienen un aspecto similar al de la imagen, y que seguro identificas si alguna vez has visto el interior de un dispositivo eléctrico.



El valor en ohms de una resistencia viene especificado por un código de colores para las líneas que sobre ella están impresas.

Figura 9. Representación de una resistencia

En un circuito, las resistencias se representan con símbolos, en la figura siguiente se muestran algunos de los más utilizados.



Figura 10. Símbolos de la Resistencia eléctrica

Los materiales conductores presentan una resistencia muy baja al movimiento de los electrones y los aislantes la presentan muy alta.

Materiales conductores

Los cuerpos en los que las cargas se mueven libremente se llaman **conductores**. Es fácil establecer una corriente eléctrica en los metales, porque sus átomos tienen uno o más electrones en su capa externa que no están anclados a núcleos de átomos determinados; en cambio, son libres para desplazarse a través del material. A esos materiales se les llama conductores.

Materiales aislantes

Los cuerpos que no permiten el movimiento de las cargas en su interior se llaman aislantes o dieléctricos. Son ejemplo de materiales aislantes la madera, los plásticos, el caucho y el vidrio. En estos materiales, los electrones están fuertemente enlazados con determinados átomos y pertenecen a ellos. No están libres para desplazarse entre otros átomos del material. En consecuencia, no es fácil hacer que fluyan. Esos materiales son

malos conductores de la corriente eléctrica por la misma razón que en general son deficientes conductores del calor.

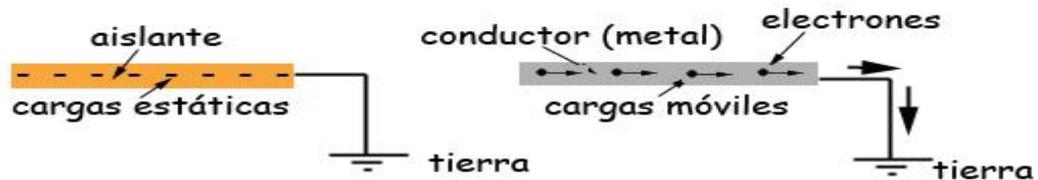


Figura 11. Representación del comportamiento de materiales conductores y aislantes

La distinción entre conductores y aislantes no es absoluta. Existen muchas situaciones intermedias muy interesantes, como la de los materiales semiconductores (por ejemplo, el silicio), debido a su gran importancia en la fabricación de componentes electrónicos.

ACTIVIDAD 6. Resuelve los siguientes problemas

1. Una corriente de 1.20 A fluye en un alambre. ¿Cuántos electrones fluyen por segundo en un punto cualquiera en el alambre?
2. Una estación de servicio carga una batería utilizando una corriente de 6.7 A durante un tiempo de 5 h. ¿Cuánta carga pasa a través de la batería?
3. ¿Cuántos electrones por segundo pasan a través de la sección de un alambre que lleva una corriente de 0.7 A?
4. ¿Cuál es la diferencia de potencial necesaria para pasar 3A a través de 29 Ω ?
5. ¿Cuál es la intensidad de campo eléctrico entre dos placas paralelas separadas 500 mm, si la diferencia de potencial entre ellas es de 220 V?
6. Se desea un campo eléctrico de 620 V/m entre dos placas separadas 15 mm. ¿Qué voltaje debe aplicarse?
7. El campo eléctrico entre dos capas paralelas conectadas a una batería de 45 V es de 1500 V/m: ¿Cuál es la distancia de separación entre las placas?
8. Dos placas paralelas, conectadas a un suministro de potencia de 220 V, están separadas por una brecha de aire. ¿Qué tan pequeña puede ser la brecha si el aire no se debe volver conductor al superar su valor de rompimiento de $E=3 \times 10^6$ V/m?

LEY DE OHM

La relación entre la intensidad de corriente I y la diferencia de potencial V , era conocida desde mucho tiempo atrás. Sin embargo, hasta 1852 esta relación se describió de manera completa por Georg Simon Ohm (1787-1854).

Ohm estudió la relación existente entre la intensidad de la corriente que atraviesa un conductor y la diferencia de potencial aplicada entre sus extremos,. Tras realizar diferentes experimentos logró establecer que:

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

Donde la intensidad de corriente I se expresa en Amperes, el Voltaje V , en Volts y la Resistencia R en Ohms. Esta relación recibe el nombre de **ley de Ohm** en su honor. Esta relación también se puede expresar como:

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{ó} \quad V = IR$$

La ley de Ohm establece que: la Intensidad de la corriente eléctrica I que circula por un circuito eléctrico, es directamente proporcional al Voltaje V que aplicamos a ese circuito e inversamente proporcional a la Resistencia eléctrica R que el circuito presenta.

Si por ejemplo, un alambre se conecta a una batería de 6V, la corriente en el alambre será el doble de lo que sería si el alambre estuviese conectado a una batería de 3V.

Ohm también encontró que invertir el signo del voltaje no afecta la magnitud de la corriente.

Ejemplo:

Un pequeño foco de linterna extrae 300 mA de su batería de 1.5V.

- ¿Cuál es la resistencia del foco?
- Si la batería se debilita y el voltaje desciende a 1.2V, ¿cómo cambiaría la corriente?

Solución:

Resolvemos el inciso a):

Sabemos que $300 \text{ mA} = 0.3 \text{ A}$. Utilizamos la ecuación:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1.5 V}{0.3 A} = 5.0 \Omega$$

Resolvemos el inciso b):

Sabemos que $300 \text{ mA} = 0.3 \text{ A}$. Utilizamos la ecuación:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.2 V}{5.0 \Omega} = 0.24 A = 240 \text{ mA}$$

Por lo que hay una disminución de la corriente de 60 mA .

Ejemplo:

¿Cuál es la intensidad de la corriente que circula por una resistencia de $2 \text{ k}\Omega$ cuando se conecta a un generador en el que la diferencia de potencial entre sus bornes es de 12 V ?

Solución:

Según la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12 V}{2000 \Omega} = 0.006 A = 6 \text{ mA}$$

¿QUÉ ES UN CIRCUITO ELÉCTRICO?

Es un conjunto de distintos elementos unidos entre sí, de forma que se permita el paso de la corriente eléctrica, a través de un conductor, en una trayectoria completa.

Todo circuito eléctrico necesita de un generador (batería, pila, etc...) que permita que se mantenga el flujo de cargas, así como uno o varios elementos electrónicos, tales como: resistencias, focos, interruptores, aparatos de medida (como amperímetros y voltímetros), conductores (por ejemplo, alambres de cobre), etcétera, todos ellos unidos por conductores para formar un circuito cerrado.

A la hora de construir un circuito, es fundamental saber cómo se conectan sus elementos. Existen dos formas de hacerlo:

CIRCUITOS EN SERIE

En un circuito en serie, los elementos que lo conforman se colocan uno tras otro. Ver la figura siguiente:

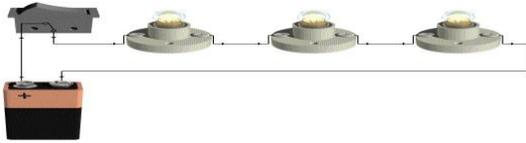


Figura 12. Ejemplo de un circuito en serie.

En estos circuitos:

- a) La corriente eléctrica solo tiene un camino a través del circuito y pasa por cada uno de los elementos conectados.
- b) La intensidad de la corriente es la misma en cualquier punto de un circuito en serie, por lo tanto, si se retira un elemento del circuito, por ejemplo, un foco, el circuito quedará abierto y no fluirá la corriente.
- c) La corriente que pasa por cualquier punto de cada resistencia (por ejemplo en un foco) es la misma.
- d) La corriente en el circuito es igual al voltaje de la fuente dividido entre la resistencia total del circuito, según la ley de Ohm, es decir:

$$\text{Corriente} = \frac{\text{Voltaje de la fuente}}{\text{Resistencia total}} \quad \text{es decir: } I = \frac{V}{R}$$

- e) El voltaje suministrado por la fuente se distribuye en los dispositivos individuales del circuito (llamadas caídas de voltaje), de manera que el voltaje total suministrado por la fuente será igual a la suma de las caídas de voltaje en cada componente:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

Circuitos con resistores de serie

Cuando dos o más resistores están conectados extremo con extremo a lo largo de una sola trayectoria, como se ilustra en la figura 13, se dice que están conectadas en serie.

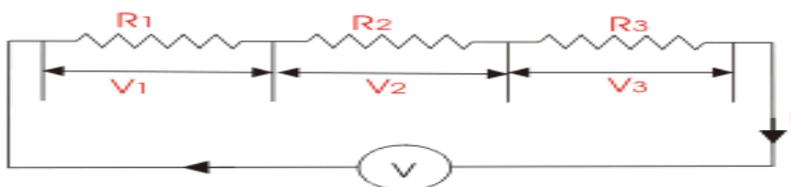


Figura 13. Ejemplo de un circuito con resistencias en serie.

En este circuito se cumple:

- 1. La corriente es igual en cualquier parte de un circuito en serie

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

2. El voltaje a través de cierto número de resistores en serie es igual a la suma de los voltajes correspondientes a cada resistor.

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

3. La resistencia total del circuito (también llamada resistencia equivalente) es igual a la suma de las resistencias individuales.

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Como ya se mencionó, una limitación de los circuitos en serie, es que si falla o falta un solo elemento, el circuito queda abierto y la corriente se interrumpe. Por ese motivo la conexión eléctrica de una casa no se hace en serie, pues sería muy molesto que todos los aparatos eléctricos de una casa dejaran de funcionar si un foco se funde.

Más aún, cada elemento de un circuito en serie se añade al total de la resistencia del circuito, limitando, por lo tanto, la corriente total que puede ser suministrada.

CIRCUITOS EN PARALELO

Dos o más elementos de un circuito están en paralelo si están conectados a puntos comunes y, por tanto, la diferencia de potencial (voltaje) es igual para todas las ramas del circuito, ver figura 14.

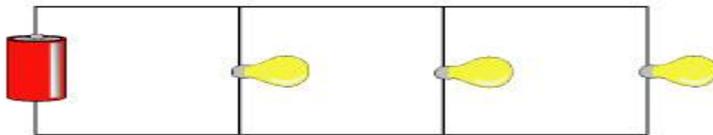


Figura 14. Ejemplo de un circuito en paralelo.

El cableado en las casas y edificios está arreglado de modo que todos los dispositivos eléctricos estén en paralelo.

Con el alumbrado en paralelo, si se desconecta un dispositivo, la corriente hacia los otros dispositivos no se interrumpe.

Circuito con resistencias en paralelo

Otra forma de conectar resistencias es en paralelo, de modo que la corriente de la fuente se divide en las ramas ó trayectorias separadas como se ilustra en la figura 15.

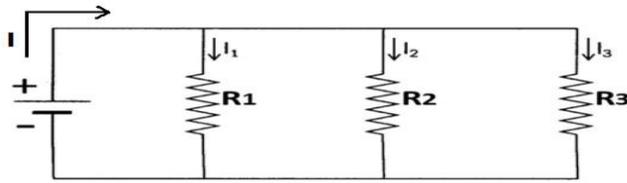


Figura 15. Ejemplo de un circuito con resistencias en paralelo.

En este tipo de circuitos:

1. El voltaje es igual en todos los dispositivos. Las caídas de voltaje a través de todos los ramales del circuito en paralelo deben ser de igual magnitud:

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

2. La corriente total en un círculo en paralelo es igual a la suma de las corrientes en cada rama del circuito:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

3. A medida que aumenta el número de ramas en paralelo, disminuye la resistencia total del circuito R_T (o resistencia equivalente). Para encontrar la resistencia total del circuito, utilizamos la siguiente expresión:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Ejemplo:

Dos resistencias de 100Ω están conectadas en serie a una batería de 24.0 V . ¿Cuál es la corriente a través de cada resistor y cuál es la resistencia equivalente?



Solución:

Toda la corriente que fluye de la batería pasa a través de R_1 y luego por R_2 , pues se encuentran a lo largo de una sola trayectoria. Como es un circuito en serie, la corriente es la misma en ambas resistencias.

La diferencia de potencial V a través de la batería es igual a la suma de los voltajes en cada resistencia:

$$V = V_1 + V_2$$

Aplicando la ley de Ohm.

$$V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

Despejando la corriente:

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} = \frac{24.0V}{100\Omega + 100\Omega} = 0.12 A$$

La resistencia equivalente del circuito se obtiene utilizando la ecuación:

$$R_T = R_1 + R_2 = 200 \Omega$$

Ejemplo:

Dos resistencias de 100Ω están conectadas en paralelo a una batería de $24.0V$.

¿Cuál es la corriente a través de cada resistencia y cuál es la resistencia equivalente?



Solución:

Cualquier carga puede fluir solo a través de uno o el otro de las dos resistencias, de modo que I será igual a la suma de las corrientes a través de cada resistencia:

$$I = I_1 + I_2$$

La diferencia de potencial a través de cada resistencia es el voltaje de la batería, es decir: $V=24.0 V$.

Al aplicar la ley de Ohm a cada resistencia se obtiene:

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = \frac{24.0V}{100\Omega} + \frac{24.0V}{100\Omega}$$

$$I = 0.24 A + 0.24 A = 0.48 A$$

La resistencia total o equivalente se obtiene a partir de la ecuación:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{100\Omega} + \frac{1}{100\Omega}$$

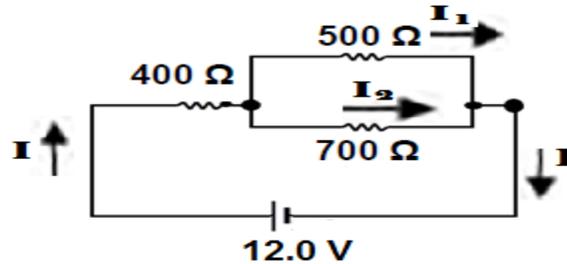
$$\frac{1}{R_T} = \frac{2}{100\Omega} = \frac{1}{50\Omega}$$

De modo que:

$$R_T = 50 \Omega$$

Ejemplo:

¿Cuánta corriente se extrae de la batería que se muestra a continuación?



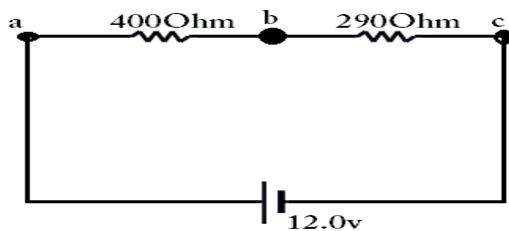
Solución:

La resistencia equivalente R_{E1} de los resistores de 500Ω y 700Ω en paralelo está dada por la ecuación:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{500\Omega} + \frac{1}{700\Omega} = 0.0020\Omega^{-1} + 0.0014\Omega^{-1} = 0.0034\Omega^{-1}$$

Por lo tanto:

$$R_E = \frac{1}{0.0034\Omega^{-1}} = 290\Omega$$



Estos 290Ω son la resistencia equivalente de los dos resistores en paralelo, y está en serie con el resistor de 400Ω .

Ahora las resistencias de 400Ω y 290Ω están en serie y para obtener la resistencia equivalente se aplica la ecuación.

$$R_T = 400 \Omega + R_E$$
$$R_T = 400\Omega + 290\Omega = 690\Omega$$

La corriente total que fluye de la batería se obtiene aplicando la Ley de Ohm:}

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12.0 V}{690\Omega} = 0.0174 A$$

ACTIVIDAD 7. Contesta las preguntas y resuelve los siguientes problemas.

1. Explica las ventajas y desventajas de las luces de arbolitos de navidad en paralelo, frente a las conectadas en serie.

2. Explica porque las aves se pueden posar con seguridad en las líneas de alta tensión, mientras que inclinar una escalera de metal contra una línea de potencia para desenredar un papalote atorado resulta extremadamente peligroso.
3. Si tienes una línea de 120V ¿Podrías iluminar varias lámparas de 6V sin quemarlas? Fundamenta tu respuesta.
4. ¿Cuál es la resistencia de un tostador si 120 V producen una corriente de 4.5 A?
5. ¿Qué voltaje producirá 0.35 A de corriente a través de un resistor de 3700 Ω ?
6. Una secadora de cabello extrae 7.5 A cuando se conecta a una línea de 120 V. ¿Cuál es la resistencia?
7. ¿Qué resistencia debe ser conectada en paralelo con una de 20 Ω para hacer una resistencia combinada de 15 Ω ?
8. ¿Cuántos resistores de 160 Ω (en paralelo) se requieren para que se establezcan 5 A en una línea de 100 A?
9. Un resistor de 5 Ω está conectado en serie con otro de 3 Ω y una batería de 16 V. ¿Cuál es la resistencia efectiva y cuál es la corriente en el circuito?
10. Un resistor de 15 Ω está conectado en paralelo con un resistor de 30 Ω y una fuente de fem de 30 V. ¿Cuál la resistencia efectiva y cuál es la corriente total suministrada?
11. Si tienes tres resistores de 80, 60 y 40 Ω respectivamente, calcula su resistencia cuando están conectadas en serie y cuando los conectas en paralelo.
12. Tres resistencias 4, 9 y 11 Ω se conectan primero en serie y después en paralelo. Calcula la resistencia efectiva con cada conexión

POTENCIA ELÉCTRICA.

La rapidez con la que la energía eléctrica se convierte en otra forma, como energía mecánica, calor o luz, se llama potencia eléctrica. Para encontrar la potencia transformada por un dispositivo eléctrico se tiene:

$$P = \frac{\text{Energía transformada}}{\text{tiempo}} = \frac{QV}{t}$$

La carga que fluye por segundo $\frac{Q}{t}$ es simplemente la corriente eléctrica I , por lo tanto:

$$P = I V$$

En el SI, la potencia eléctrica se mide en Watts (W), donde $1 W = 1 \frac{J}{s}$. La tasa de transformación de energía en una resistencia R se puede escribir de otras dos formas, a partir de la relación general $P = I V$, y sustituyendo en $V = I R$;

$$P = I V = I(IR) = I^2 R$$

$$P = I V = \left(\frac{V}{R}\right) V = \frac{V^2}{R}$$

Ejemplo:

Calcula la resistencia de un faro de automóvil de 40 W diseñado para 12 V.

Solución:

Dado $P = 40 W$ y $V = 12 V$; despejamos R de la ecuación.

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(12V)(12V)}{40W} = 3.6\Omega$$

Transformación de la energía eléctrica

La energía eléctrica es útil porque se puede transformar fácilmente en otros tipos de energía. Los motores transforman energía eléctrica en energía mecánica.

En otros dispositivos eléctricos, como los calentadores, estufas, tostadores y secadoras de cabello, la energía eléctrica se transforma en energía térmica en una resistencia de alambre conocida como “elemento calefactor”. Y en las bombillas ordinarias el delgado filamento de alambre se pone tan caliente que brilla; solo un pequeño

porcentaje de la energía se transforma en luz visible, y el resto, arriba del 90%, en energía térmica.

Es la energía, no la potencia, la que se paga en el recibo de la CFE. Por lo general las compañías eléctricas especifican la energía en Kilowatt-hora (kWh). Donde $1 \text{ Kwh} = 1000 \text{ W} (3600 \text{ s}) = 3.60 \times 10^6 \text{ J}$

Eficiencia eléctrica en el hogar

El enorme (y creciente) consumo de energía eléctrica, ha inducido a muchos gobiernos a establecer límites mínimos de eficiencia para refrigeradores, congeladores, sistemas acondicionadores de aire y calentadores de agua. Además se han desarrollado lámparas fluorescentes más eficientes y se ha generalizado su uso. Estas lámparas ahora consumen aproximadamente entre 25% y 30% menos de energía que la lámpara fluorescente promedio y cerca del 75% menos de energía que las lámparas incandescentes con salida de luz equivalente.

El resultado de todas esas medidas ha sido un ahorro considerable de energía conforma los nuevos aparatos más eficientes reemplazaron gradualmente a los antiguos modelos menos eficientes.

ACTIVIDAD 8. Contesta las siguientes preguntas y resuelve los problemas

1. ¿Qué tipo de foco extrae más corriente, uno de 100 W o uno de 75W? ¿Cuál tiene la mayor resistencia?
2. La potencia eléctrica se transfiere a través de grandes distancias a muy altos voltajes. Explica como el alto voltaje reduce las pérdidas de potencia en las líneas de transmisión.
3. Cuando las luces eléctricas se operan a corriente alterna de baja frecuencia (por ejemplo 5Hz) titilan notablemente. Explica por qué.
4. Una secadora doméstica para el cabello tiene una potencia nominal de 2 000 W y fue construido para operar conectada a una toma de 120 V. ¿Cuál es la resistencia del aparato?

5. Encuentra la resistencia de 40 m de alambre de tungsteno cuyo diámetro es de 0.8 mm a 20 grados centígrados. ($\rho = 55 \times 10^{-8} \Omega m$)
6. El elemento calefactor de un horno eléctrico está diseñado para producir 3.3 kW de calor cuando se conecta a una fuente de 240 V. ¿Cuál debe ser la resistencia del elemento?
7. ¿Cuál es el consumo de potencia máxima de un reproductor de discos compactos portátil de 3 V que extrae un máximo de 320 mA de corriente?
8. a) Determina la resistencia, y la corriente a través de una bombilla de 75 W conectada a su fuente de voltaje apropiada a 120 V. b) Repite el cálculo para una bombilla de 440 W.

FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS

Imanes

Como ya has experimentado, los imanes atraen a otros imanes y también a materiales como el hierro. Existen imanes **naturales** y también los imanes **artificiales**, los creados por el hombre.

Los imanes naturales se conocen desde hace mucho tiempo. Aproximadamente, hace dos mil años los griegos descubrieron unas piedras que atraían a los objetos metálicos, les llamaron *magnetitas* porque fueron descubiertas en la ciudad de Magnesia.

Materiales atraídos por los imanes

Se pueden clasificar los materiales según la manera en que son atraídos por los imanes:

Materiales	Comportamiento	Ejemplos
Diamagnéticos	Son débilmente repelidos por los imanes	Oro, cobre y plata
Paramagnéticos	Son débilmente atraídos por los imanes	Aluminio, Magnesio. Molibdeno, Litio, Tantalio
Ferromagnéticos	Son fuertemente atraídos por los imanes	Aleaciones de hierro, níquel y cobalto

Polos magnéticos

En un imán los efectos magnéticos son más fuertes en sus extremos, también llamados *polos*.

Los polos magnéticos se llaman **polo magnético norte** y **polo magnético sur**.

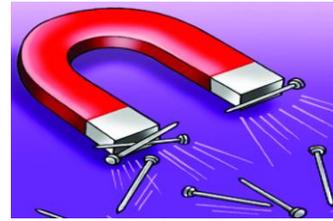


Figura 15. Imán de herradura

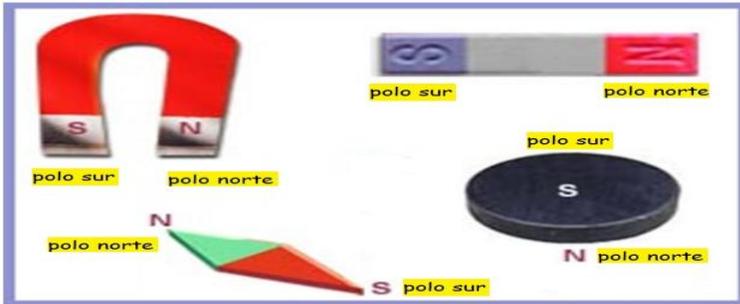


Figura 16. Todos los imanes tienen dos polos magnéticos, en la imagen se muestran para distintos tipos de imanes.

Seguramente has tenido oportunidad de experimentar que al acercar dos imanes, éstos se atraen o se repelen. Esto se debe a que los imanes originan fuerzas magnéticas que pueden ser de atracción o repulsión.

De hecho, como se observa en la figura, cuando acercas dos polos magnéticos iguales, los imanes se repelen entre sí. Y cuando acercas dos polos diferentes, los imanes se atraen.



Figura 17. Los imanes originan fuerzas de atracción o repulsión

Observa que al acercar dos imanes, ocurre algo muy similar al comportamiento de las cargas eléctricas positivas y negativas, cuando interactúan entre sí. Es decir, si acercas dos cargas eléctricas opuestas se atraen y por el contrario, dos cargas iguales se repelen entre sí.

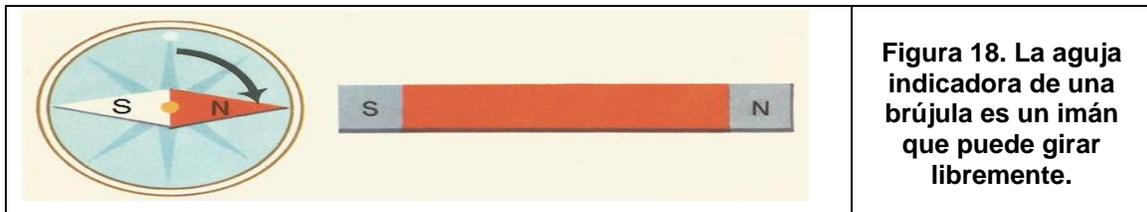
Y quizás te preguntes por qué motivo, los polos magnéticos, no se nombraron “polo positivo” y “polo negativo”, tal y como se hizo con las cargas eléctricas.

Si cuando escuchas las palabras “polo norte magnético” y “polo sur magnético” piensas en imanes y en direcciones geográficas, tu intuición es correcta. Desde hace muchos siglos ya se había observado que los imanes con libertad de movimiento se orientaban en la dirección Norte-Sur de la Tierra.

Este fenómeno es el principio del funcionamiento de las brújulas, los antecesores del GPS, que desde hace cientos de años ayudaron a orientarse a las personas por Tierra y por mar.

Pasó mucho tiempo para comprender dicho fenómeno. Fue hasta el siglo XVII, que el médico inglés William Gilbert, en 1600 publicó en su obra *De Magnete*, sus observaciones relacionadas con los imanes, y proporcionó una explicación a este fenómeno que resultó ser la correcta.

Antes de contarte qué dijo Gilbert, es importante hacer un paréntesis para revisar qué es una brújula. La aguja indicadora de las brújulas, no es más que un imán que gira libremente en torno a un eje. Si acercamos un imán de barra, la aguja de la brújula girará de manera tal que los polos opuestos de los imanes estarán cerca uno de otro, y los polos opuestos alejados. Esta situación se ilustra en la figura siguiente. Se observa que el polo norte de la brújula apunta al polo sur del imán de barra.

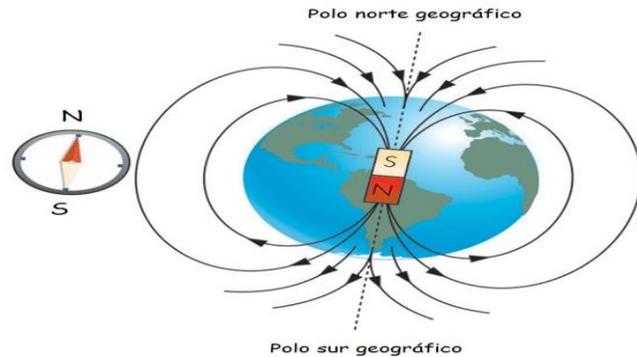


Gilbert explicó que **la Tierra es un imán natural gigante**, algo ya comprobado y aceptado en la actualidad, de manera que el polo norte de la brújula apuntará al polo sur magnético de la Tierra, tal y como se observa en la siguiente figura.

Se puede observar además en la figura que:

- El polo norte geográfico de la Tierra está cerca del polo sur magnético de la Tierra.
- El polo sur geográfico de la Tierra está cerca del polo norte magnético de la Tierra.

Figura 19. La aguja indicadora de una brújula se orienta según los polos magnéticos de la Tierra.



Como el polo norte (N) de una brújula apunta hacia el norte, el polo magnético de la Tierra que está en el norte geográfico es magnéticamente un polo sur, como se indica en la figura 19 mediante la S en el imán de barra representado en el interior de la Tierra. No obstante, el polo de la tierra en el norte, todavía con frecuencia se llama “polo norte magnético”, simplemente porque está en el norte.

De manera similar, el polo magnético sur de la Tierra, que está cerca del polo sur geográfico, es magnéticamente un polo norte (N).

Los polos magnéticos de la Tierra no coinciden con los polos geográficos, que están en el eje de rotación de nuestro planeta. El polo magnético norte, por ejemplo, está en el Ártico canadiense, aproximadamente a 900km del polo norte geográfico o “norte verdadero”. Esta diferencia se debe tomar en cuenta al usar una brújula.

A la diferencia angular entre el norte magnético y el norte verdadero (geográfico) se le llama declinación magnética.

Debes saber que el campo magnético de la Tierra ha cambiado a lo largo de la historia. Se estima que en periodos irregulares de cientos miles de años la polaridad de la Tierra se invierte.

No es posible separar los polos magnéticos

Una de las diferencias importantes entre las cargas eléctricas y los polos magnéticos, estriba en que podemos tener por un lado cargas eléctricas negativas, y por otro lado cargas positivas.

En el caso del magnetismo, **no podemos separar los polos magnéticos**. Es decir, si rompes un imán en dos partes, no conseguirás separar los polos norte y sur magnéticos. En cambio tendrás dos imanes más pequeños que el original. Si pudieras partir un imán en mil pedazos, sólo obtendrías mil imanes minúsculos. Cada uno de los imanes con sus polos norte y sur magnéticos.

De manera que por el momento, se considera que no es posible separar o aislar los polos magnéticos de un imán.

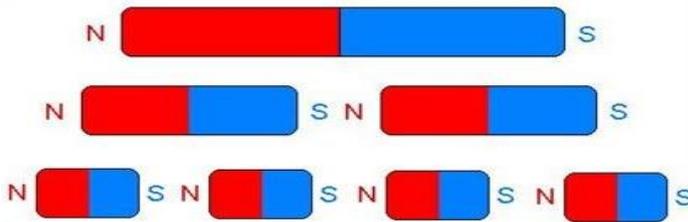
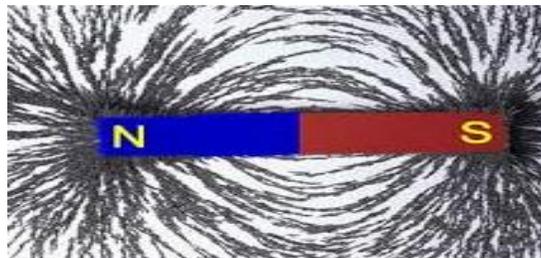


Figura 20. Muestra lo que ocurre cuando se parte un imán en dos partes iguales, y en cuatro partes iguales. Cada una de las partes tiene un polo norte y un polo sur.

CAMPO MAGNÉTICO

Si se esparce cierta cantidad de limadura de hierro sobre una hoja de papel colocado sobre un imán, se observa que la limadura traza un patrón de líneas ordenadas que rodean al imán. El espacio que rodea al imán contiene un campo magnético. Las limaduras revelan la forma del campo, al alinearse con las líneas magnéticas que salen de un polo, se esparcen y regresan al otro.

Figura 21. Muestra las líneas de campo que muestran las limaduras de hierro ante la presencia de un imán de barra.



Los imanes pueden atraer objetos de hierro a distancia, sin necesidad de que estén en contacto con él.

Esto se explica porque en la zona que rodea al imán existe un campo magnético invisible, que puede representarse gráficamente mediante líneas cerradas, llamadas líneas de fuerza, que por convención se dibujan del polo sur al polo norte del imán. En aquellas zonas donde las líneas estén más próximas, mayor será la intensidad del campo magnético.

En la figura siguiente se muestran las líneas de fuerza de un imán de barra. Se observa que en los polos las líneas de campo están más próximas, indicando que allí el campo magnético es mayor. En las zonas donde las líneas están más separadas, el campo magnético es débil.

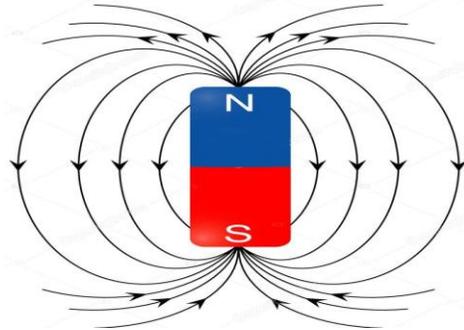


Figura 22. Líneas de campo magnético de un imán de barra. Es una representación en un plano.



Figura 23. Limaduras de hierro atraídas por un imán de barra. Se observa que el campo magnético rodea al imán.

El campo magnético es la región del espacio en la que un imán ejerce una fuerza (de atracción o repulsión) sobre otros imanes o materiales, aún si no están en contacto.

Como el campo magnético es un campo vectorial, se debe especificar tanto la magnitud como la dirección. La dirección de un campo magnético (con frecuencia se llama “campo B”) se define en términos de una brújula calibrada con la dirección del campo magnético terrestre.

Las reglas que gobiernan la interpretación de las líneas de campo magnético son iguales que las que se aplican a las líneas de campo eléctrico:

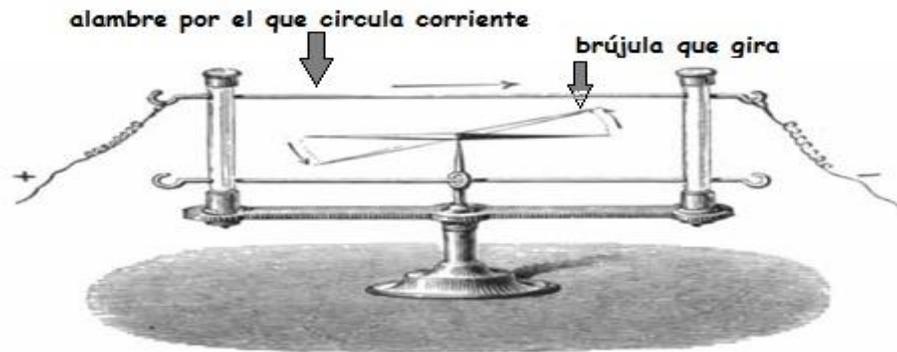
Cuanto más cercanos están entre sí las líneas del campo B, más intenso es este. En cualquier lugar, la dirección del campo magnético es tangente a la línea de campo, o, de manera equivalente, en la dirección en la que apunta el extremo norte de una brújula.

Se descubre que la electricidad y el magnetismo están relacionados

Uno de los descubrimientos más importantes en la historia de la física, fue el comprobar que la electricidad y el magnetismo están relacionados. Y curiosamente, se descubrió por accidente.

Hace aproximadamente, 200 años, en 1820, el científico danés Hans Christian Oersted (1777-1851) lo descubrió por accidente. Se encontraba dando una demostración a sus colegas de cómo se comporta un metal como conductor. Y observó que la aguja de una brújula se movía si estaba cerca de un alambre por el que circulaba una corriente eléctrica. Esta situación se ilustra en la siguiente figura.

Figura 24.
Representación
del experimento
de Oersted



Es decir, **Oersted había descubierto que el magnetismo no sólo es generado por los imanes, sino que también puede producirlo la corriente eléctrica.**

El trabajo de Oersted fue muy importante porque mostró que la electricidad y el magnetismo están estrechamente relacionados. Este trabajo generó mucho interés y llegarían otros descubrimientos que permitieron finalmente **unificar** definitivamente **la electricidad y el magnetismo, creando así la teoría del electromagnetismo.**

¿Qué origina el magnetismo?

Las cargas eléctricas en movimiento producen el magnetismo. Como bien sabes los átomos están formados de protones, neutrones y electrones. Tanto los protones como los electrones tienen carga eléctrica. De manera que cada átomo actúa como un pequeño imán, también llamado *dipolo magnético*¹, debido al movimiento de sus cargas.

La mayor parte de los materiales macroscópicos no presentan propiedades magnéticas. Esto se debe a que los campos magnéticos de sus átomos están distribuidos al azar y podemos considerar que en promedio, sus campos magnéticos se cancelan.

¹ La palabra *dipolo* significa dos polos.

Los imanes son materiales en los que los campos magnéticos atómicos o dipolos, están al menos parcialmente alineados, de manera que en conjunto crean un campo magnético neto.

La mayor parte de los imanes artificiales se hacen con hierro y acero. Muchos imanes, como veremos más adelante se hacen a partir de corrientes eléctricas. Como bien sabes, cuando los electrones se mueven en una misma dirección, originan una corriente eléctrica. Esto origina un efecto magnético.

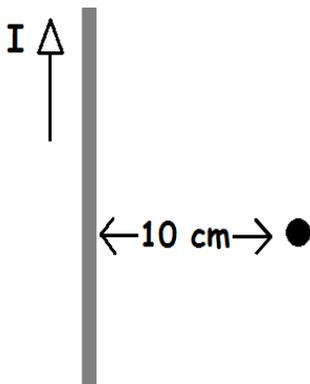
Los imanes tienen propiedades como: a) Tienen dos polos; b) Los imanes ejercen fuerzas y c) Están rodeados por un campo magnético.

Campo magnético generado en torno de un conductor recto

Ya se había mencionado que un alambre recto que conduce corriente eléctrica, produce un campo magnético alrededor de él y perpendicular a la corriente. Las líneas del campo magnético son círculos concéntricos en torno al alambre.

Ejemplo:

Por un alambre vertical circula una corriente de 25 A hacia arriba ¿cuál es el campo magnético debido a esta corriente en un punto P, situado a 10 cm al norte del alambre?



Solución:

De acuerdo con la ecuación (1.21):

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}) (25 A)}{2\pi (0.10 m)}$$

$$B = 5.0 \times 10^{-5} T$$

Por la regla de la mano derecha (figura c), el campo apunta hacia el oeste (hacia la página) en este punto.

ACTIVIDAD 9. Resuelve los siguientes problemas.

1. Un cable de acoplamiento es usado para arrancar un carro que se encuentra tirado, este porta una corriente de 65 A ¿Cuál es la intensidad del campo magnético a 5 cm del cable?
2. Si un alambre eléctrico, produce un campo magnético no mayor que el de la tierra ($0.55 \times 10^{-4} T$), a una distancia de 30 cm ¿Cuál es la máxima corriente que puede portar el alambre?
3. Calcula la inducción magnética de un alambre de 7 cm de largo por el que circula una corriente de 8 A.
4. ¿Cuál es el valor del campo magnético en el aire en un punto localizado a 4 cm de un alambre largo que conduce una corriente de 8A?

FUERZA SOBRE UNA CORRIENTE ELÉCTRICA EN UN CAMPO MAGNÉTICO

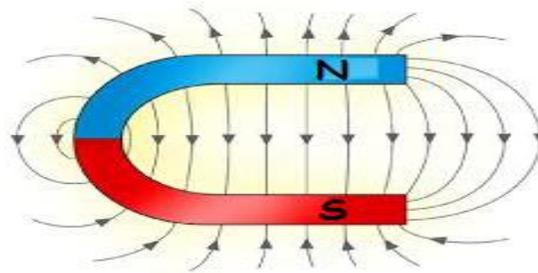
Cuando una carga en movimiento está cerca de un imán, experimenta una fuerza magnética que desvía su trayectoria.

Ahora bien, cuando se tienen muchas cargas en movimiento, es decir, si hay una corriente eléctrica circulando por un conductor cerca de un imán, entonces el conductor experimentará el efecto de las fuerzas magnéticas sobre las cargas en movimiento que circulan en su interior.

En la figura siguiente se muestra un arreglo experimental sencillo que ilustra cómo actúa una fuerza magnética sobre un alambre recto que conduce corriente eléctrica.

El arreglo consiste en un cable recto que se coloca en el campo magnético entre los polos de un imán de herradura. Es importante recordar la configuración del campo magnético en un imán de herradura.

Figura 25. Líneas de campo magnético de un imán de herradura.



Cuando se conecta y desconecta la batería se observará que el cable oscila como un columpio.

El campo magnético del imán ejerce una fuerza F , que es perpendicular tanto a la dirección del campo magnético B como al conductor por el que circula la corriente I .

Si se invierte el sentido del campo magnético o bien la del sentido de la corriente, la fuerza sobre el cable apuntará en sentido opuesto.

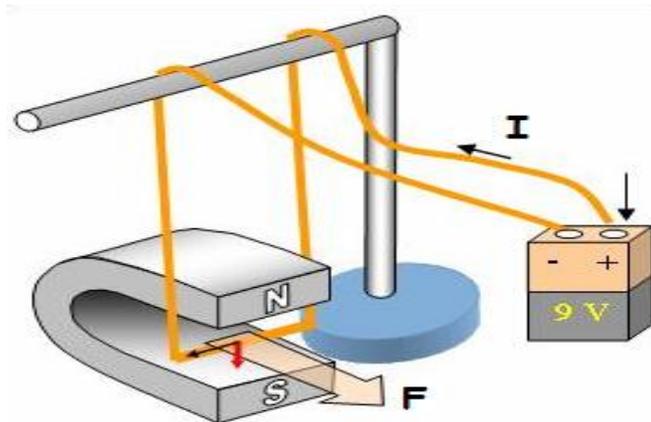


Figura 26. Ilustra la fuerza F sobre un conductor recto, por el que pasa una corriente I , situado sobre un campo magnético B .

Una manera que permite recordar el sentido de la fuerza, está dada por la regla de la mano derecha, que se muestra a continuación.

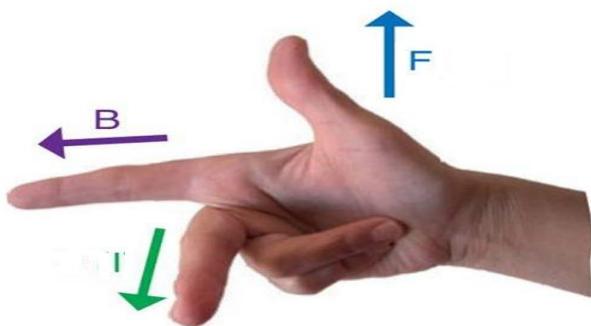


Figura 27. Representación de la regla de la mano derecha.

La magnitud de la fuerza F es directamente proporcional a la corriente I que circula en el alambre, a la longitud l del alambre, al campo magnético B . La fuerza también depende del ángulo θ entre la dirección de la corriente y el campo magnético, y es proporcional a $\text{sen } \theta$. Esto escrito como ecuación es:

$$F = I l B \text{ sen } \theta$$

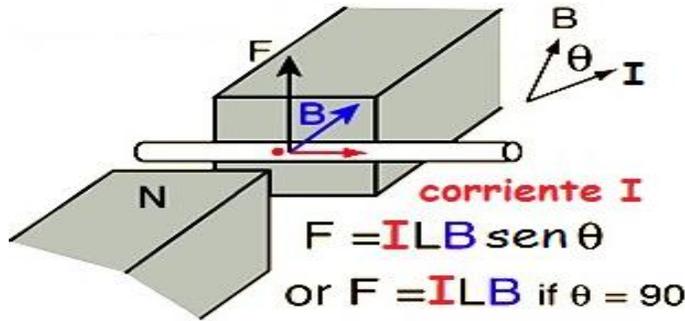


Figura 28. La fuerza magnética sobre un conductor recto es el producto de: la corriente I que circula en el alambre, de la longitud l del alambre, del campo magnético B , y del $\text{sen } \theta$.

Analicemos dos situaciones:

- La fuerza tiene su valor máximo ($F_{m\acute{a}x}$) cuando la corriente es perpendicular a las líneas del campo magnético ($\theta = 90^\circ$), la fuerza es:

$$F = I l B \text{ sen } \theta$$

$$F = I l B \text{ sen } 90^\circ$$

$$F = I l B \quad (1)$$

$$F_{m\acute{a}x} = I l B$$

- La fuerza tiene su valor mínimo cuando la corriente es paralela a las líneas de campo magnético ($\theta = 0^\circ$), la fuerza tiene un valor de cero, como se ve a continuación:

$$F = I l B \text{ sen } \theta$$

$$F = I l B \text{ sen } 0^\circ$$

$$F = I l B \quad (0)$$

$$F = 0$$

En la siguiente imagen se ilustran los tres casos posibles de la fuerza magnética sobre un conductor recto mencionados:

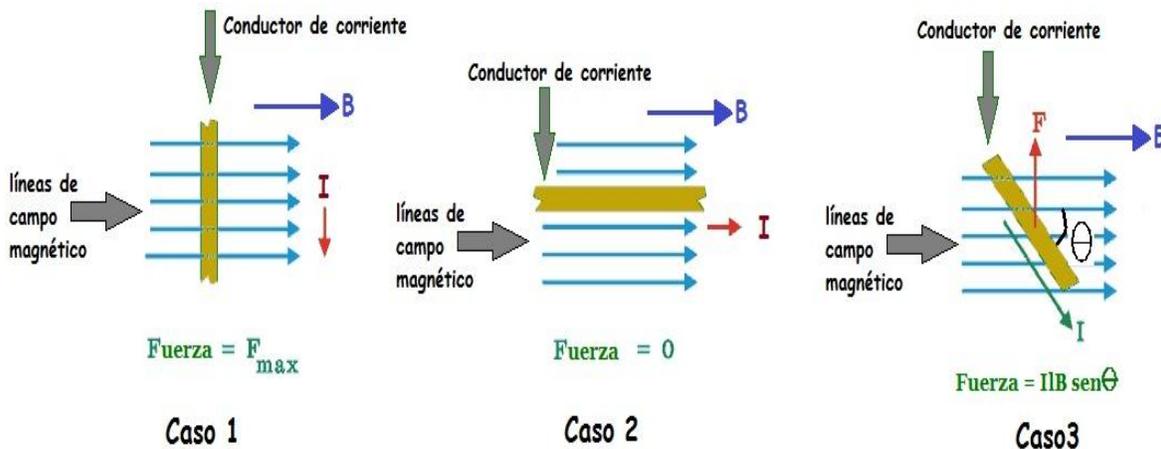


Figura 29. La fuerza magnética sobre un conductor recto depende del ángulo que forma el conductor con el campo magnético B .

La magnitud del campo magnético se puede determinar si despejamos B de la ecuación $F = I l B$

$$B = \frac{F}{I l}$$

Las unidades de la expresión anterior son:

$$[B] = \frac{[F]}{[I][l]} = \frac{\text{Newtons}}{(\text{Amperes})(\text{metros})} = \frac{N}{A \cdot m}$$

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad para el campo magnético se llama Tesla, su símbolo es T , en honor al científico Nikola Tesla (1856-1943) nacido en Croacia y nacionalizado estadounidense. De manera que un Tesla se define como:

$$1 T = 1 \frac{N}{A \cdot m}$$

Ejemplo:

Un alambre con longitud $l = 15 \text{ cm}$ porta una corriente de 20 A entre los polos de un imán a un ángulo de $\theta = 60^\circ$. El campo magnético puede considerarse uniforme con un valor de 0.80 T . ¿Cuál es la magnitud de la fuerza sobre el alambre?

Solución:

Para resolver el problema, se utilizará la ecuación:

$$F = I l B \text{ sen } \theta$$

Con $l = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$; $I = 20 \text{ A}$; $\theta = 60^\circ$ y $B = 0.80 \text{ T}$, entonces:

$$F = I l B \text{ sen } \theta$$

$$F = (20 \text{ A})(0.15 \text{ m})(0.80 \text{ T}) \text{ sen } 60^\circ$$

$$F = 2.4 \text{ AmT sen } 60^\circ$$

$$F = 2.0785 \text{ Am} \frac{N}{\text{Am}}$$

$$F = 2.0785 \text{ N}$$

ACTIVIDAD 9. Resuelve los siguientes problemas.

1. Un alambre de 2 mm de longitud conduce una corriente de 5 A en dirección perpendicular a un campo magnético de 0.0034 T ¿Cuál es la fuerza magnética sobre el alambre?
2. Un alambre largo conduce una corriente de 5 A en un ángulo de 25 grados al norte de un campo magnético de 0.03T, dirigido hacia el este. ¿Cuál es la dirección y magnitud de la fuerza sobre cada centímetro del alambre?
3. Calcula la magnitud de la fuerza magnética sobre un alambre recto de 180 cm de longitud, estirado entre dos torres que portan una corriente de 150 A. Considera que el campo magnético de la tierra es de $0.55 \times 10^{-4} T$ y forma un ángulo de 65 grados con el alambre.
4. ¿Cuánta corriente fluye en un alambre de 4.80 metros de largo si la fuerza máxima sobre él es de 0.850 N cuando se coloca en un campo uniforme de 0.0700 T?

FUERZA SOBRE UNA CARGA ELÉCTRICA QUE SE MUEVE EN UN CAMPO MAGNÉTICO

Las partículas con carga eléctrica que se mueven en un campo magnético experimentan una fuerza sobre ellas que afecta la dirección en la que se mueven.

Esta propiedad fue utilizada en el funcionamiento de las televisiones y los monitores de computadoras antiguas. Aquellas que eran muy anchas en la parte trasera.

Detrás de la pantalla se colocaba un tubo de rayos catódicos, que producía electrones que viajaban a gran velocidad a través de unas placas con campos magnéticos, cuya función era cambiar la dirección de los electrones, por ejemplo en la dirección horizontal o vertical. De esta manera se podía controlar en qué lugar de la pantalla chocaban los electrones. La pantalla a su vez, estaba cubierta de un material fluorescente cuya propiedad era la de emitir luz cuando un electrón chocaba en ella.

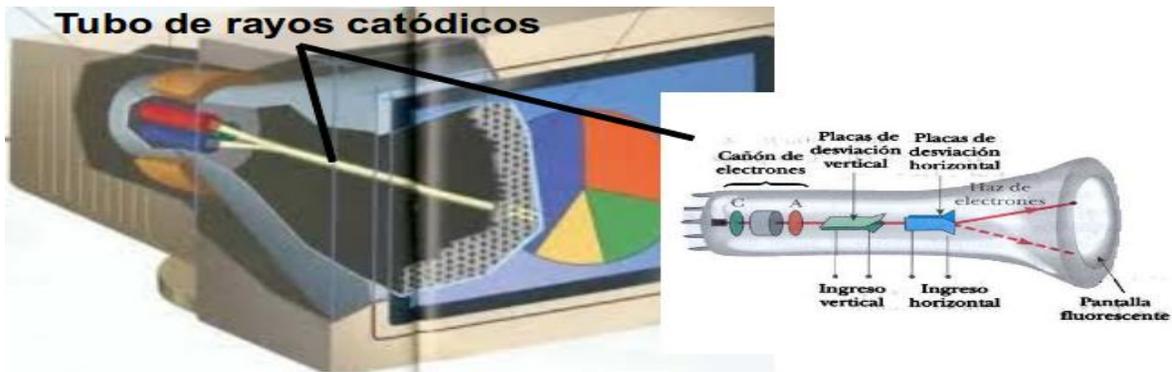


Figura 30. Esquema de funcionamiento de una televisión o monitor de computadora antiguo. Imagen tomada el 20 de abril de 2018 de la página web: https://es.educaplay.com/es/recursoseducativos/2201536/sistemas_informaticos.htm,

Podemos determinar la fuerza sobre una carga eléctrica q , que se mueve a través de un campo magnético de magnitud B .

Si la carga q se desplaza una distancia l en un tiempo de t segundos, podemos calcular la rapidez de la carga v que es:

$$v = \frac{l}{t}$$

Por otro lado, sabemos que $I = \frac{q}{t}$. Podemos sustituir I en la ecuación:

$$F = I l B \text{ sen } \theta$$

$$F = \frac{q l B}{t} \text{ sen } \theta$$

$$F = q \frac{l}{t} B \text{ sen } \theta$$

$$F = q v B \text{ sen } \theta$$

A partir de la expresión anterior, se advierte que la fuerza sobre la carga q alcanza su valor máximo ($F_{m\acute{a}x}$) cuando la partícula se mueve perpendicularmente a B , es decir, cuando $\theta = 90^\circ$ (pues $\text{sen } 90^\circ = 1$). De manera que:

$$F = q v B \text{ sen } \theta$$

$$F_{m\acute{a}x} = q v B \text{ sen } 90^\circ$$

$$F_{m\acute{a}x} = q v B$$

De la misma manera, la fuerza sobre la carga q alcanza su valor mínimo ($F_{mín}$) cuando la partícula se mueve paralelamente a las líneas de campo B , es decir, cuando $\theta = 0^\circ$ (pues $\text{sen } 0^\circ = 0$). La fuerza $F_{mín}$ es:

$$F = q v B \text{ sen } \theta$$

$$F_{mín} = q v B \text{ sen } 0^\circ$$

$$F_{mín} = 0$$

Los casos mencionados se ilustran en la siguiente figura:

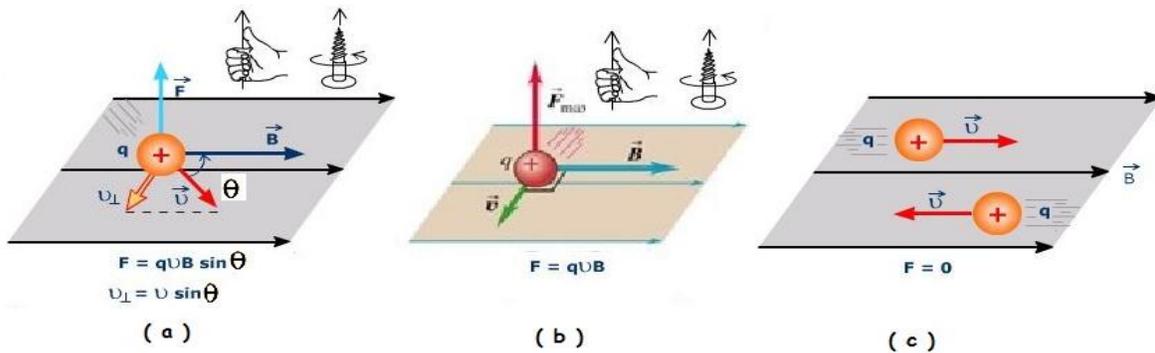


Figura 31. Representación de la fuerza sobre una carga eléctrica q , que se mueve a través de un campo magnético de magnitud B

La fuerza magnética es perpendicular a la velocidad, por lo que el trabajo que realiza la fuerza al mover la carga es igual a cero. De manera que la fuerza magnética solo cambia la dirección de la velocidad, es decir, no produce un cambio en la magnitud de la velocidad, ni en la energía cinética de la partícula.

Ejemplo:

Un protón que tiene una rapidez de $5.0 \times 10^6 \frac{m}{s}$ en un campo magnético, siente una fuerza de $8.0 \times 10^{-14} N$ hacia el Oeste cuando se mueve verticalmente hacia arriba (ver Figura 32a). Pero cuando se mueve horizontalmente en una dirección rumbo al Norte, siente una fuerza cero (ver Figura 32b). Determinar la magnitud y dirección del campo magnético en esta región.

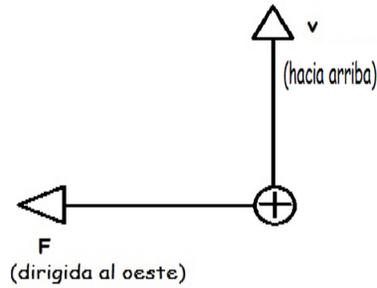


Figura 32a.

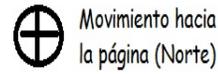


Figura 32 b.

Solución:

Partimos de la ecuación: $F = q v B \sen \theta$

Despejamos B :

$$B = \frac{F}{qv \sen \theta}$$

Se sustituyen los datos del problema, tomando en cuenta que $\theta = 90^\circ$ y que la carga del protón es $q = +e = 1.6 \times 10^{-19} C$, entonces:

$$B = \frac{F}{qv \sen \theta} = \frac{8.0 \times 10^{-14} N}{(1.6 \times 10^{-19} C) \left(5.0 \times 10^6 \frac{m}{s}\right) (\sen 90^\circ)} = 0.10 T$$

La dirección del campo magnético es hacia el norte.

Motor eléctrico de corriente continua (cc)

El motor eléctrico de corriente continua es una de las aplicaciones más importantes de la fuerza experimentada por un conductor eléctrico que es perpendicular a un campo magnético.

El motor eléctrico es un dispositivo que transforma energía eléctrica en energía mecánica.

El motor consiste de una bobina (conjunto de espiras) por la que fluye corriente por estar conectada o bien a una pila o a una fuente de poder. La bobina está colocada dentro

de un campo magnético generado por un imán permanente. El diseño permite que la bobina gire continuamente bajo la influencia de un momento de torsión magnético.

Los extremos de la bobina se unen a un par de semianillos conmutadores de la corriente

Un motor más sencillo de cc está formado por una sola espira por la que circula corriente, colocada dentro de un campo magnético.

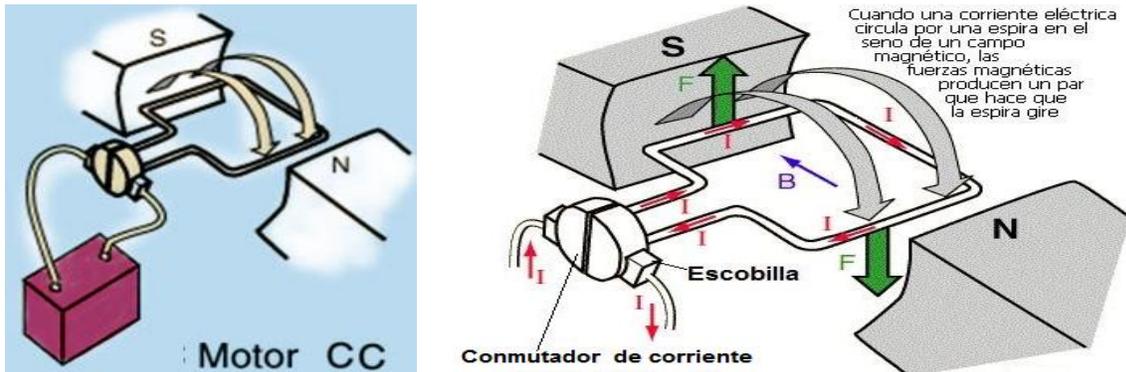


Figura 33. Motor eléctrico de cc sencillo de una espira.

Normalmente, el momento de torsión ejercido sobre la espira conductora de corriente disminuye hasta llegar a cero, cuando su plano es perpendicular al campo magnético. Para que la espira rote de manera continua, es necesario invertir el sentido de la corriente cada vez que la espira gira 180° .

La corriente se invierte utilizando un conmutador de anillo partido (ver figura 15). El conmutador consta de dos segmentos de anillo seccionado, aislados entre sí, y cada uno conectado a cada extremo de la espira. A medida que la espira gira, cada escobilla toca primero una mitad del anillo y luego la otra. De manera que a la mitad de cada revolución, cuando la espira es perpendicular al campo magnético, se invierten las conexiones eléctricas. Como resultado, el momento de torsión que actúa sobre la espira tiene la misma dirección, y la espira puede girar continuamente.

Motores más complejos utilizan un electroimán en lugar del imán permanente y una bobina en lugar de una sola espira.

ACTIVIDAD 10. Resuelve los siguientes problemas.

1. Determina la magnitud y dirección de la fuerza sobre un electrón que está viajando a $7.85 \times 10^5 \text{ m/s}$ horizontalmente hacia el este en un campo magnético verticalmente hacia arriba de 0.75 T de intensidad.
2. Una partícula alfa (+2e) se proyecta en un campo magnético de 0.12T con una velocidad de $3.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ¿Cuál será la fuerza magnética sobre la carga en el instante en que la dirección de su velocidad forma un ángulo de 35 grados con el flujo magnético?
3. Un protón es impulsado en un campo magnético, si su velocidad es de $2 \times 10^6 \text{ m/s}$ ¿Cuál es la magnitud de la fuerza magnética sobre el protón?
4. Un electrón tiene una velocidad de $5 \times 10^5 \text{ m/s}$ formando un ángulo de 60 grados al norte de un campo magnético dirigido al este. Dicho electrón experimenta una fuerza de $3.2 \times 10^{-18} \text{ N}$ ¿Cuál es la magnitud del campo?
5. Un protón entra en un campo magnético de densidad de flujo 1.5 Wb/m^2 con una velocidad de $2 \times 10^7 \text{ m/s}$ formando un ángulo de 35 grados con las líneas de campo. Calcula la fuerza que actúa sobre el protón.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Hasta ahora, ya conoces que el campo magnético produce fuerzas sobre cargas eléctricas en movimiento y sobre conductores por los que circula una corriente eléctrica. A continuación veremos que un flujo magnético variable puede generar un corriente en un conductor.

Experimentos de Faraday

Pero antes recordemos el descubrimiento de Oersted. Con su experimento demostró que la corriente eléctrica (es decir, cargas en movimiento) producen campos magnéticos.

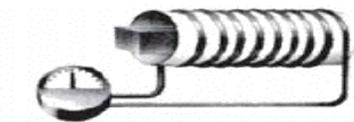
A partir del trabajo de Oersted, se llevaron a cabo investigaciones que buscaban demostrar lo contrario: producir una corriente eléctrica a partir de un campo magnético.

En el año 1831, el inglés Michael Faraday (1791-1867) y el estadounidense Joseph Henry (1797-1867) descubrieron que un campo magnético variable puede producir una corriente eléctrica.

Este descubrimiento, aparte de que contribuye al desarrollo del electromagnetismo, era muy importante porque mostró que era posible generar electricidad sin necesidad de una pila.

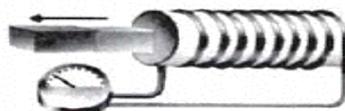
En su experimento Faraday introducía y sacaba un imán del interior de una bobina, cuyas terminales estaban conectadas a un galvanómetro. Faraday observó que cuando el imán estaba en reposo dentro de la bobina, la aguja del galvanómetro no se movía. Y si sacaba el imán de la bobina la aguja del galvanómetro se movía en una dirección, y cuando introducía el imán la aguja se movía en el sentido opuesto. En la imagen se muestra el experimento de Faraday.

(a) No se mueve



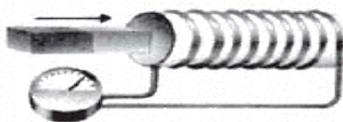
No pasa corriente

(b) Se aparta



Pasa corriente

(c) Imán se acerca



Pasa corriente en sentido contrario

Figura 34. Experimento de Faraday.

En el inciso (a) se observa un imán y un circuito en reposo. En este caso no circula corriente por el circuito. En los incisos (b) y (c) el imán se mueve en diferentes direcciones dentro de la bobina del circuito. Esto ocasiona que circule corriente por el circuito en diferentes direcciones.

Faraday comprobó que el movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético causa o induce un voltaje. Y esto sucede cuando:

- el imán se mueve cerca de un conductor que no se mueve, o bien, cuando
- el conductor se mueve cerca de un imán que no se mueve.

Además descubrió que la intensidad de la corriente inducida aumenta cuando el flujo magnético cambia de manera brusca (por ejemplo, cuando se mueve el imán rápidamente).



Figura 35. La dirección de la corriente inducida en un conductor que se mueve dentro de un campo magnético, depende de la dirección en que se mueve el conductor. Si no se mueve no hay corriente eléctrica.

En síntesis, Faraday demostró que:

La variación del campo magnético que atraviesa un circuito crea en el circuito una corriente eléctrica (o bien **induce** una corriente).

Flujo magnético

Faraday explicó la inducción electromagnética utilizando el concepto de flujo magnético.

El flujo magnético ϕ es el número de líneas de campo magnético que pasan por una superficie.

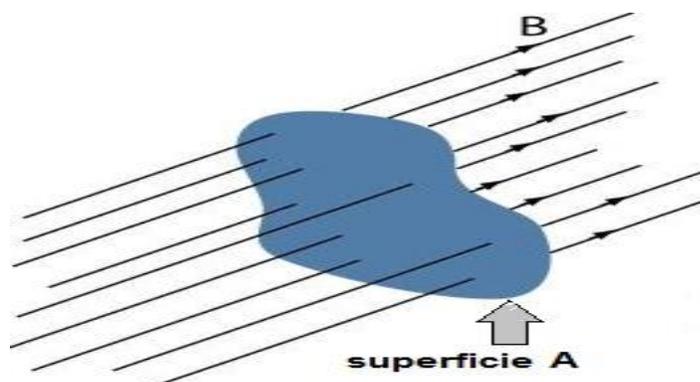
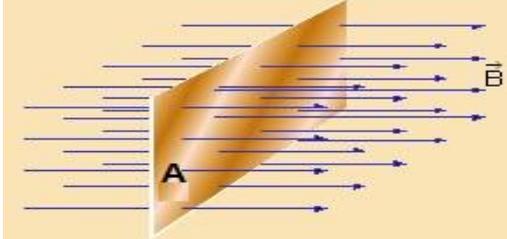


Figura 36. El flujo magnético ϕ a través de una superficie A representa la cantidad de líneas de campo magnético que atraviesan esa superficie.

Cálculo del flujo magnético

Caso 1: Superficie perpendicular al campo magnético:



El flujo magnético ϕ que pasa por una superficie de área A, perpendicular al campo magnético de intensidad B es:

$$\phi = BA$$

Figura 37. El flujo magnético ϕ a través de una superficie A perpendicular al campo magnético B.

Se observa que un cambio en el flujo magnético ϕ , puede presentarse principalmente por dos razones:

a) Al cambiar la intensidad del campo magnético a través de una superficie de área A:

$$\Delta\phi = (\Delta B) A$$

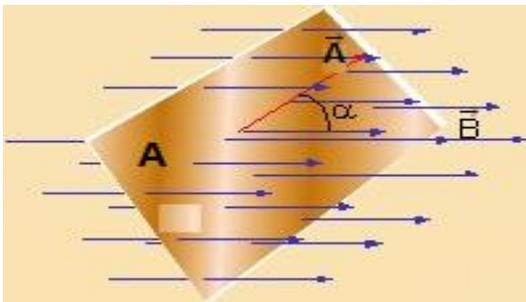
donde $\Delta B = B_{final} - B_{inicial}$

b) Al cambiar el área A en un campo magnético de intensidad constante:

$$\Delta\phi = B (\Delta A)$$

donde $\Delta A = A_{final} - A_{inicial}$

Caso 2: Superficie que forma un ángulo α con el campo magnético:



El flujo magnético ϕ que pasa por una superficie de área A, que forma un ángulo α con el campo magnético de intensidad B es:

$$\phi = BA \cos \alpha$$

Figura 38. El flujo magnético ϕ a través de una superficie que forma un ángulo α con el campo magnético B.

En el SI, la unidad de flujo magnético es el Weber (Wb) y su relación con el Tesla es:

$$1 T = 1 \frac{Wb}{m^2}$$

Ley de Faraday

Ya vimos que un campo magnético variable induce una corriente eléctrica en un circuito. Y que este fenómeno se conoce como inducción electromagnética.

La ley de Faraday cuantifica la corriente eléctrica inducida utilizando una magnitud física, que no es la intensidad de corriente, porque depende de la resistencia de los materiales del circuito. Esta magnitud es la fuerza electromotriz ε conocida como fem.

Sin embargo, es necesario aclarar que la fuerza electromotriz no es una fuerza, es una diferencia de potencial (voltaje) y se mide en Volts, por lo tanto:

$$1 V = 1 \frac{Wb}{s}$$

Resumiendo; la inducción electromagnética es el fenómeno que produce una fuerza electromotriz ε conocida como fem (voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético.

La ley de Faraday establece que la fuerza electromotriz o fem ε (voltaje) en una espira es igual, y de signo contrario, a la rapidez de cambio del flujo magnético:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

El signo negativo indica que la fuerza electromotriz inducida o fem se opone a la variación del flujo magnético (esto se conoce como ley de Lenz).

La ley de Lenz explica que el sentido de la corriente inducida es tal que siempre se opone a la variación del flujo que la produce. Esto es:

- Si la corriente se induce debido a un aumento del flujo magnético, el sentido de la corriente será el que genere un campo magnético opuesto al campo inductor (produciendo de esta manera un campo más pequeño y una disminución del flujo).

- Si la corriente se induce debido a una disminución del flujo magnético, el sentido de la corriente será el que genere un campo magnético del mismo sentido que el campo inductor (produciendo de esta manera un reforzamiento del campo y un aumento del flujo).

Si en lugar de una espira se tiene una bobina de N espiras (o vueltas), la ley de Faraday es entonces:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

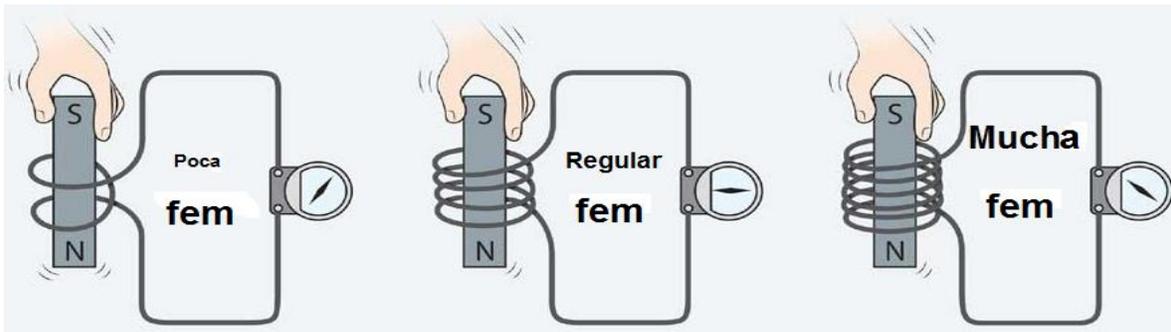


Figura 39. La fem inducida en una bobina es proporcional al producto del número de vueltas (espiras) de la bobina por la rapidez con la que el campo magnético cambia dentro de las vueltas

Ejemplo:

Una bobina de alambre que tiene un área de $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, se coloca en una región donde la intensidad del campo magnético es 1.5 T . En un intervalo de tiempo de 0.001 s , la intensidad del campo magnético se reduce a 1.0 T . Si la bobina consta de 50 espiras de alambre ¿cuál es la fem inducida ε ?

Solución:

En este caso el campo magnético disminuye con el tiempo, el cambio en la intensidad del campo magnético es:

$$\Delta B = B_{final} - B_{inicial} = (1.0 - 1.5)T = -0.5 \text{ T}$$

De manera que el cambio en el flujo magnético es:

$$\Delta\phi = (\Delta B) A = (-0.5 \text{ T}) (1 \times 10^{-3} \text{ m}^2) = -5 \times 10^{-4} \text{ T m}^2$$

$$\Delta\phi = -5 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

En este caso como el flujo magnético disminuye, la corriente inducida circulará en el sentido de reforzar el campo inductor.

La fem inducida ε es:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -(50) \left(\frac{-5 \times 10^{-4} \text{ Wb}}{0.001 \text{ s}} \right) = 25 \text{ V}$$

Ejemplo:

Una bobina de alambre que tiene un área de $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, se coloca en una región donde la intensidad del campo magnético es 1.0 T . En un intervalo de tiempo de 0.001 s , la intensidad del campo magnético aumenta a 1.2 T . Si la bobina consta de 50 espiras de alambre ¿cuál es la fem inducida ε ?

Solución:

En este caso el campo magnético disminuye con el tiempo, el cambio en la intensidad del campo magnético es:

$$\Delta B = B_{\text{final}} - B_{\text{inicial}} = (1.2 - 1.0) \text{ T} = 0.2 \text{ T}$$

De manera que el cambio en el flujo magnético es:

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= (\Delta B) A = (0.2 \text{ T}) (1 \times 10^{-3} \text{ m}^2) = 2 \times 10^{-4} \text{ T m}^2 \\ \Delta\phi &= 2 \times 10^{-4} \text{ Wb} \end{aligned}$$

En este caso como el flujo magnético aumenta, la corriente inducida circulará en el sentido que se oponga al campo inductor.

La fem inducida ε es:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -(50) \left(\frac{2 \times 10^{-4} \text{ Wb}}{0.001 \text{ s}} \right) = -10 \text{ V}$$

Ejemplo:

Una bobina cuadrada que consta de 80 espiras de alambre tienen un área de 0.05 m^2 y está colocada en forma perpendicular a un campo magnético cuya intensidad es de 0.8 T . La bobina se gira hasta que su plano es paralelo al del campo magnético en un tiempo de 0.2 s , ¿cuál es la fem inducida ε ?

Solución:

En este caso el área por la que atraviesa el flujo magnético varía de 0.05 m^2 hasta cero, de manera que:

$$\Delta A = A_{\text{final}} - A_{\text{inicial}} = 0 - 0.05 \text{ m}^2 = -0.05 \text{ m}^2$$

De manera que el cambio en el flujo magnético es:

$$\Delta \phi = B (\Delta A) = (0.8 \text{ T})(-0.05 \text{ m}^2) = -4 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

Dado que hay una disminución del flujo magnético, el sentido de la corriente inducida será el que refuerce el campo inductor

La fem inducida ε es:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = -(80) \left(\frac{-4 \times 10^{-2} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} \right) = 16 \text{ V}$$

Generador eléctrico

Un generador eléctrico es un dispositivo que transforma una determinada forma de energía en energía eléctrica. Hay de dos tipos básicamente:

- Si el generador eléctrico produce una corriente eléctrica continua, se le llama dínamo.
- Si el generador eléctrico produce una corriente eléctrica alterna, se le llama alternador.

El alternador

Los generadores de corriente alterna o alternadores están compuestos básicamente por:

- a) Un imán o electroimán que produce un campo magnético fijo y uniforme (llamado también estator).
- b) Una armadura que consiste de una bobina que se hace girar (rotor), debido a la acción de un agente externo, en presencia del campo magnético fijo (o estator). La bobina gira a una velocidad angular ω constante.
- c) Los terminales de la bobina se encuentran unidos a anillos conductores que giran junto con ella.
- d) Los anillos conductores, a su vez, están en contacto con dos cepillos o escobillas de carbón.

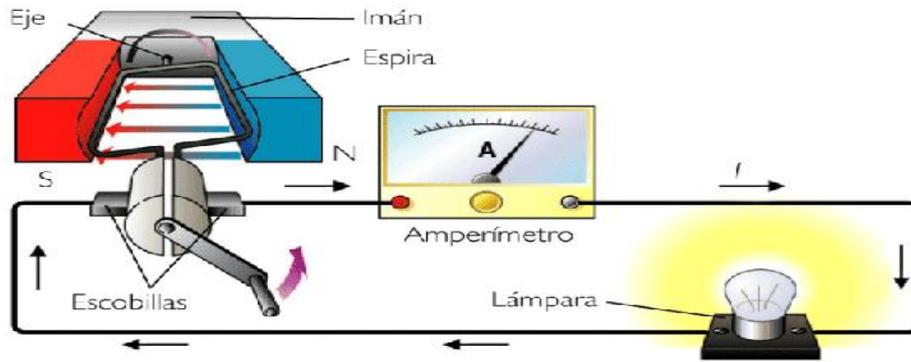


Figura 40. Esquema de un alternador sencillo cuyo rotor es una espira plana que gira (por la acción de una manivela) a una velocidad angular ω constante en un campo magnético uniforme.

En la figura 40, se observa un alternador muy sencillo, que consiste de una espira plana que se hace girar con una manivela, a una velocidad angular ω constante, en un campo magnético uniforme B creado por un imán permanente.

A medida que la espira gira el flujo magnético que la atraviesa cambia, por lo que se induce una fem en la espira, los anillos conductores en contacto con los extremos de la espira, transportan la corriente al circuito exterior

Si la espira tiene un área A , el flujo magnético ϕ que pasa por ella, depende del ángulo θ que forma el vector superficie \vec{S} con el campo magnético \vec{B} es:

$$\phi = BA \cos \theta$$

Como la espira gira con una velocidad angular constante ω , entonces el ángulo θ puede expresarse como $\theta = \omega t = 2\pi f t$. Por lo que el flujo magnético ϕ que pasa por la espira en el tiempo t es:

$$\phi = BA \cos \omega t$$

Según la ley de Faraday, la fuerza electromotriz inducida es:

$$\varepsilon = B A \omega \text{ sen}(\omega t) \quad \text{o bien} \quad \varepsilon = B A \omega \text{ sen} \theta$$

Donde $\varepsilon = B A \omega$ es la fem inducida máxima.

Si el alternador consiste de una bobina de N espiras, la la fuerza electromotriz inducida es:

$$\varepsilon = N B A \omega \operatorname{sen}(\omega t) \quad \text{o bien} \quad \varepsilon = N B A \omega \operatorname{sen} \theta$$

Donde $\varepsilon = N B A \omega$ es la fem inducida máxima.

Ejemplo:

Un generador de ca, o alternador consta de 8 vueltas de alambre de área $A = 0.090 \text{ m}^2$ con una resistencia total de 12Ω . La espira gira en un campo magnético de 0.5 T con una frecuencia constante de 60 Hz . Calcular:

- a) La máxima fem inducida.
- b) La máxima corriente inducida.

Solución:

a) Cálculo de la máxima fem inducida:

Primero calculamos la velocidad angular $\omega = 2\pi f$:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi(60 \text{ Hz}) = 377 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La fem inducida máxima es:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{m\acute{a}x} &= N B A \omega \\ \varepsilon_{m\acute{a}x} &= (8)(0.5 \text{ T})(0.090 \text{ m}^2) \left(377 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) \\ \varepsilon_{m\acute{a}x} &= 136 \text{ V}\end{aligned}$$

b) Cálculo de la máxima corriente inducida:

Utilizamos la ley de Ohm:

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

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{\varepsilon_{m\acute{a}x}}{R} = \frac{136 \text{ V}}{12 \Omega} = 11.3 \text{ A}$$

ACTIVIDAD 11. Resuelve los siguientes problemas

1. El flujo magnético a través de una bobina de alambre que contiene dos espiras cambia de -50 a 38 Wb en 0.30 s ¿Cuál es la fem inducida en la bobina.
2. Una espira de alambre de 15 cm de diámetro , inicialmente está orientado de forma perpendicular en un campo magnético de 1.5 T . El lado se gira de modo que su plano es paralelo a la dirección del campo en 0.25 s ¿Cuál es la fem inducida en la espira?
3. Una bobina de alambre , de 11 cm de diámetro, inicialmente está orientado de modo que su plano es perpendicular a un campo magnético de 0.63 T que apunta hacia arriba. Durante el curso de 0.15 s el campo cambia a uno de 0.20 T que apunta hacia abajo. ¿Cual es la fem inducida en la bobina?
4. Una bobina cuadrada que tiene 100 vueltas con un área de 0.055 m² se coloca de modo que su plano sea perpendicular a un campo constante de 5 mT. La bobina gira hasta una posición paralela al campo en un lapso de 0.3 s ¿Cuál es su fem inducida?
5. Un bobina circular tiene 70 vueltas, cada una con 50 mm de diámetro .Suponga que la bobina gira en torno a un eje perpendicular a un campo magnético de 0.5 T ¿Cuántas revoluciones por segundo debe describir la bobina para generar la fem máxima de 110 v?
6. La armadura de un generador de corriente alterna simple tiene 100 vueltas de alambre, cada una con un radio de 5 cm. La armadura gira en un campo magnético constante de 0.06 T ¿Cuál debe ser la frecuencia de rotación en rpm para generar un voltaje maximo de 2 v?
7. Un generador simple tiene una bobina cuadrada de 22 cm de lado y 320 espiras ¿Con qué rapidez debe girar en un campo de 0.650 T para producir una salida pico de 120 V?

Autoevaluación

Actividad I. Relaciona las siguientes columnas con las respuestas correctas

- | | | |
|--|-----|---|
| 1. Estudia los objetos eléctricamente cargados. | () | Fuerza eléctrica |
| 2. Se asocia con partículas que constituyen el átomo: el electrón y el protón. | () | Campo eléctrico |
| 3. Partículas en órbita alrededor del núcleo. | () | Contacto o conducción |
| 4. Fuerza que mantiene los electrones en órbita alrededor del núcleo. | () | Energía potencial eléctrica |
| 5. Tipos de carga eléctrica. | () | Carga eléctrica |
| 6. Tienen carga positiva. | () | Batería |
| 7. Tienen carga negativa. | () | Conductores |
| 8. Producen fuerzas eléctricas de atracción o repulsión | () | Potencia eléctrica |
| 9. Unidad de medida de la carga. | () | Electrostática |
| 10. La carga en exceso comúnmente se produce por: | () | Positiva y negativa |
| 11. Flujo de carga durante un corto periodo en que los electrones son transportados. | () | Electrones |
| 12. Objeto que tiene un exceso de electrones. | () | Existe un campo eléctrico en el conductor |
| 13. Espacio que rodea a un objeto cargado. | () | Protones |
| 14. Energía que posee una partícula en virtud de su ubicación. | () | Energía |
| 15. Cuando las cargas eléctricas se mueven en un conductor. | () | Electrones |
| 16. Transforma energía química en energía eléctrica. | () | Generador |
| 17. Cantidad de carga que pasa a través de la sección transversal de un alambre en cualquier punto por unidad de tiempo. | () | Combinación de diferentes tipos de carga. |
| 18. Materiales por donde circula con facilidad la corriente eléctrica. | () | Inducción electromagnética |
| 19. Son malos conductores de la corriente eléctrica. | () | Está cargado negativamente |
| 20. Rapidez con la que la energía eléctrica se convierte en energía mecánica, calor o luz. | () | Transferencia de electrones. |
| 21. Es lo que se paga en el recibo de luz de la CFE. | () | Motor eléctrico |
| 22. Diferencia angular entre el norte magnético y el norte geográfico. | () | Coulomb |
| 23. Dispositivo que transforma energía eléctrica en energía mecánica. | () | Corriente eléctrica |
| 24. Fenómeno que consiste en inducir voltaje al cambiar el campo magnético de una bobina. | () | Aislantes |
| 25. Dispositivo que transforma energía mecánica en energía eléctrica. | () | Declinación magnética |

Actividad II. Lee con atención las preguntas y subraya la respuesta correcta

1. La fuerza que actúa entre dos cargas es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.
a) Ley de Gravitación Universal b) Ley de Lenz
c) Ley de Ampere d) Ley de Coulomb
2. Es un circuito de resistencias en donde la corriente es la misma.
a) Circuito simple b) Circuito en paralelo
c) Circuito en serie d) Circuito mixto
3. Es un circuito de resistencias en donde el voltaje es el mismo.
a) Circuito en paralelo b) Circuito en serie
c) Circuito mixto d) Circuito simple
4. ¿Qué nombre recibe la unidad de medida $\frac{Wb}{m^2}$?
a) Tesla b) Ampere
c) Ohm d) Watts
5. Cuando un flujo magnético varía se produce:
a) Campo magnético constante b) Campo eléctrico constante
c) Fuerza electromotriz d) Fuerza eléctrica constante

Actividad III. Resuelve los siguientes ejercicios:

1. Dos esferas, cada una con una carga de $3 \mu C$, están separadas por 20 mm ¿cuál es la fuerza de repulsión entre ellas?
2. Una carga de $+ 60 \mu C$ se coloca 60 mm a la izquierda de una carga de $+ 20 \mu C$ ¿cuál es la fuerza resultante sobre una carga de $- 35 \mu C$ colocada en el punto medio entre las dos cargas?
3. Una carga de $- 3 \mu C$ colocada en el punto A experimenta una fuerza descendente de $6 \times 10^{-5} \text{ N}$ ¿cuál es la intensidad del campo eléctrico en el punto A ?
4. Una carga de 8 nC se localiza 80 mm a la derecha de una carga de $+ 4 \text{ nC}$. Calcula la intensidad del campo en el punto medio de una recta que une las dos cargas.
5. ¿Cuál es la energía potencial de una carga de $+ 6 \text{ nC}$ localizada a 50 mm de una carga de $+ 80 \mu C$? ¿Cuál es la energía potencial si la misma carga está a 50 mm de una carga de $- 80 \mu C$?

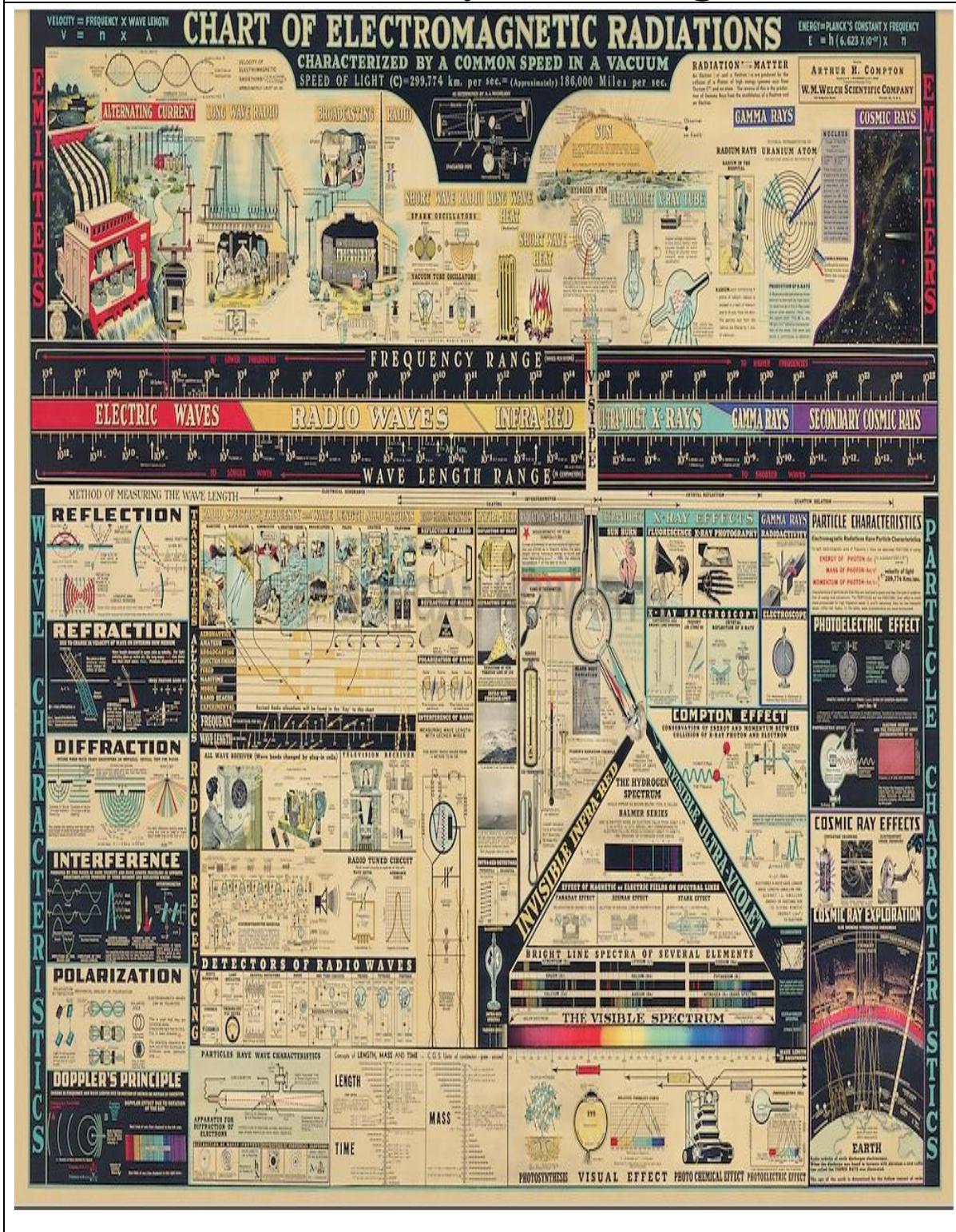
6. Calcula el potencial en el punto A que está a 50 mm de una carga de $-40\ \mu\text{C}$ ¿Cuál es la energía potencial si una carga de $+3\ \mu\text{C}$ se coloca en el punto A ?
7. La diferencia de potencial entre dos placas paralelas separadas por 60 mm es de 4000 V ¿cuál es la intensidad del campo eléctrico entre ellas?
8. Calcule la corriente que pasa por un resistor de $5\ \Omega$, a través del cual hay una caída de potencial de 40 V .
9. Un resistor de $8\ \Omega$ y un resistor de $3\ \Omega$ se conectan primero en paralelo y después en serie, con una fuente de 12 V . Halle la resistencia efectiva y la corriente total con cada conexión.
10. Una espira rectangular tiene un área de 200 cm^2 y el plano de la espira forma un ángulo de 41° con un campo magnético de 0.28 T ¿Cuál es el flujo magnético que pasa a través de la espira?
11. Un trozo de alambre de 80 mm forma un ángulo de 53° al sur con respecto a un campo B de 2.3 T dirigido al oeste. Determina la magnitud y dirección de la corriente en ese alambre si experimenta una fuerza de 2 N dirigida hacia fuera de la página.
12. Un protón ($q = +1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$) es inyectado de derecha a izquierda en un campo B de 2.3 T dirigido hacia la parte superior de la página. Si la rapidez del protón es de $2 \times 10^6\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Determina la magnitud y sentido de la fuerza magnética sobre el protón.
13. Una bobina de 8 cm de diámetro tiene 50 vueltas y está colocada dentro de un campo B de 1.8 T . Si el campo B se reduce a 0.6 T en 0.002 s ¿cuál es la fem inducida?
14. La armadura de un generador de corriente alterna (ca) simple consta de 100 espiras de alambre, cada una con área de 0.2 m^2 . La armadura gira con una frecuencia de $60\ \frac{\text{rev}}{\text{s}}$ en un campo magnético constante de una densidad de flujo de $1 \times 10^{-3}\text{ T}$ ¿cuál es la máxima fem generada?

Soluciones:

- | | |
|--|---|
| 1. 202 N | 8. 8.0 A |
| 2. $1.4 \times 10^4\text{ N}$, izquierda | 9. $2.18\ \Omega$, 5.5 A y $11.0\ \Omega$, 1.09 A |
| 3. $20\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$, hacia arriba | 10. $3.67 \times 10^{-3}\text{ Wb}$ |
| 4. $2.25 \times 10^4\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$, izquierda | 11. 13.6 A |
| 5. $+86.4\text{ mJ}$, -86.4 mJ | 12. $1.28 \times 10^{-13}\text{ N}$, hacia el interior de la página. |
| 6. -7.20 mV , -21.6 J | 13. -151 V |
| 7. $66.7\ \frac{\text{kV}}{\text{m}}$ | 14. 7.54 V |

Unidad 2

Ondas mecánicas y electromagnéticas



En esta unidad los alumnos conocerán las características generales de las ondas, diferenciarán entre las ondas mecánicas y las electromagnéticas; relacionarán estos conocimientos con la explicación de fenómenos ondulatorios como el sonido o las telecomunicaciones, entre otros.

Desarrollarán sus habilidades de investigación de carácter teórico para conocer que la energía se puede transmitir en la materia o el vacío, dependiendo del tipo de onda que se considere.

Describirá al sonido como una onda mecánica y a la luz visible como una onda electromagnética, identificando la relación entre frecuencia y energía en los espectros sonoro y electromagnético.

PROPÓSITOS DE LA UNIDAD

Al finalizar, el alumno:

- Diferenciará las ondas mecánicas de las electromagnéticas en los fenómenos ondulatorios que se presentan en su entorno.
- Aplicará la metodología experimental en la comprensión y explicación de fenómenos ondulatorios cotidianos.
- Diferenciará el comportamiento de una partícula y de una onda mediante actividades experimentales para identificar que se describen en forma diferente en la física clásica.
- Reconocerá la importancia del estudio del movimiento ondulatorio y su impacto en la salud, la ciencia y la tecnología, por medio de la realización de proyectos de investigación para desarrollar una actitud responsable y crítica en su uso.

APRENDIZAJES

Con relación a las ondas y sus características, el alumno:

- Identifica las magnitudes que caracterizan al movimiento ondulatorio. N1.
- Identifica a las ondas como una forma en que se propaga la energía en un medio material o en el vacío. N1.
- Diferencia las ondas mecánicas de las ondas electromagnéticas. N2.
- Diferencia las ondas transversales de las longitudinales. N2.
- Describe cualitativamente cómo se generan las ondas electromagnéticas. N2.
- Aplica las magnitudes del movimiento ondulatorio. N3.
- Diferencia el comportamiento de las ondas de partículas. N1.

Con relación a la energía de las ondas, el alumno:

- Relaciona la frecuencia y amplitud de las ondas con su energía. N2.
- Relacionará los intervalos de los espectros electromagnético y sonoro con su aplicación. N2.

Con relación a los fenómenos ondulatorios, el alumno:

- Describe cualitativamente algunos de los fenómenos característicos de las ondas. N2.

Con relación a las aplicaciones del estudio de las ondas, el alumno:

- Comprende algunas de las aplicaciones de los fenómenos ondulatorios relacionados con la ciencia, la tecnología y la sociedad. N2.
- Reconoce el impacto en la salud y en el ambiente de la contaminación sonora y electromagnética. N1.

TEMÁTICA

Ondas y sus características

- Amplitud, frecuencia, longitud de onda, velocidad y periodo.
- Ondas mecánicas y electromagnéticas; longitudinales y transversales.
- Sonido y luz.
- Ondas y partículas

Energía de las ondas.

- Energía de las ondas.
- Espectro sonoro.
- Espectro electromagnético

Fenómenos ondulatorios.

- Reflexión, refracción, interferencia, difracción, polarización resonancia y efecto Doppler.

Aplicaciones del estudio de las ondas.

- Sistemas de diagnóstico médico, de detección de sismos y de telecomunicaciones.
- Contaminación sonora y electromagnética.

INTRODUCCIÓN

La luz y el sonido son vibraciones que se extienden por el espacio en forma de ondas, pero de diferentes tipos. El sonido se propaga a través de un medio material en estado gaseoso, líquido o sólido, pero, el sonido no puede propagarse en el vacío, a diferencia de la luz que es una vibración de campos eléctricos y campos magnéticos, es decir de energía pura. A continuación, se explicarán las características de las ondas de manera más detallada.

Ondas y sus características

La onda es una propagación de una perturbación, **una onda transporta energía a través del espacio sin que se desplace la materia.**

Ejemplos de ondas son: las olas del mar, el sonido, la luz, las ondas sísmicas, la vibración de una cuerda, etc.

Tipos de ondas

Las ondas se pueden clasificar de diferentes formas. A continuación veremos algunas de ellas:

a) Según la dirección de vibración de las partículas y de propagación de la onda.

- **Longitudinales.** Son aquellas en que las partículas vibran en la misma dirección en la que se propaga la onda. Ej. El sonido.

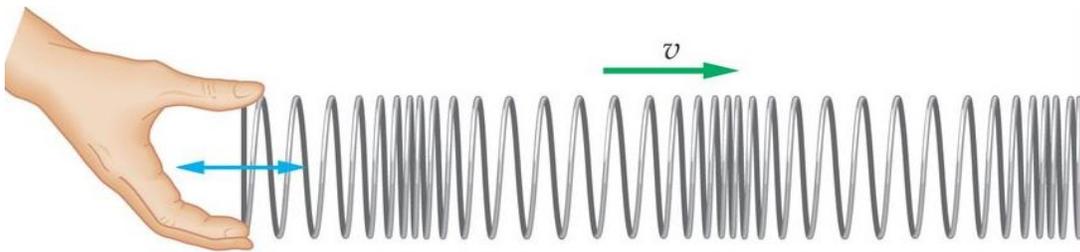


Figura 1. Onda longitudinal

- **Transversales.** Son aquellas en las que las partículas vibran perpendicularmente a la dirección en la que se propaga la onda. Ej. La luz, onda de una cuerda.

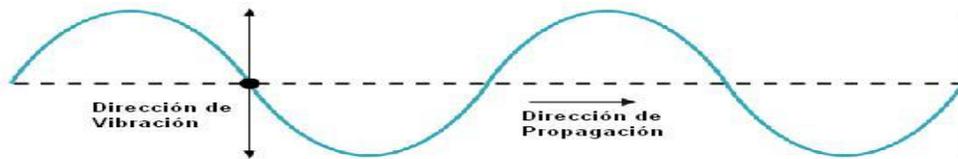


Figura 2. Onda transversal

En la Tabla 1 se resumen las características de las ondas transversales y longitudinales:

Tabla 1. Clasificación de las ondas por su forma de propagación

Ondas transversales	Ondas longitudinales
Son las que propagan las partículas de manera individual en un medio que vibra en la misma (paralelamente) dirección en la que viaja la onda.	Son las que propagan las partículas de manera individual en un medio que vibra de un lado a otro (perpendicularmente) de la dirección en la que viaja la onda.

b) Según el medio que necesitan para propagarse.

- **Mecánicas.** Necesitan propagarse a través de la materia. Ej. El sonido, olas del mar.
- **Electromagnéticas.** No necesitan medio para propagarse, se pueden propagar en el vacío. Ej. La luz, calor radiante.

En la Tabla 2 se presentan las características de las ondas mecánicas y electromagnéticas:

Tabla 2. Clasificación de las ondas por su medio de propagación.

ONDAS MECÁNICAS	ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS
<ol style="list-style-type: none"> 1. Propagan energía mecánica. 2. Requiere un medio material elástico para propagarse puede ser gaseoso, líquido o sólido. 3. Lo que vibra son partículas materiales. 4. La velocidad depende del medio de propagación. Cualquier cambio de las propiedades del material, como su temperatura, densidad, entre otros, hace variar la velocidad de propagación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Propagan energía electromagnética. 2. No requieren un medio material para propagarse 3. Lo que vibra son campos eléctricos y magnéticos, por ello se pueden propagar en el vacío. 4. Se propagan en el aire o vacío a la velocidad de la luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ó 300,000 km/s)

Características de las ondas

Todos los tipos de ondas tienen las mismas características, ya sean transversales o longitudinales.

En la Figura 3 se muestran las características más importantes para las ondas transversales, las cuales se explicarán a continuación:

Amplitud:

En una onda transversal, corresponde a la distancia máxima que se puede separar una partícula del medio que oscila, medida en forma perpendicular a la línea que representa la posición de equilibrio del medio. Dicho de otra forma, es la máxima elongación o la altura de la cresta o del valle. Se mide en unidades de longitud, preferentemente el metro (m), aunque sus unidades pueden ser múltiplos o submúltiplos como cm, dm, entre otras.

Cresta:

El monte o cresta, es el punto que está más alejado de la posición de equilibrio del medio donde se propaga una onda. Dicho de otra forma, es el máximo valor positivo que tiene la amplitud. Suele representarse con esa nominación al punto que se dibuja en la parte de arriba de la onda.

Valle:

El valle también es el punto más alejado de la posición de equilibrio de una onda, pero en el lado opuesto al lugar donde se ubican las crestas. Es el máximo valor negativo que tiene la amplitud.

Nodo:

Es el punto de una onda estacionaria donde la amplitud es cero.

Longitud de onda (λ):

Corresponde a la distancia, en línea recta, entre dos puntos de una onda que tienen la misma posición relativa. Esto ocurre, por ejemplo, entre dos crestas consecutivas o dos valles consecutivos. Se mide en unidades de longitud como: m, cm, nm, entre otros.

Periodo (T):

Es el tiempo que se requiere para completar un solo ciclo de la onda o completar una oscilación. También corresponde al tiempo que tarda una onda en propagarse una distancia equivalente a una longitud de onda. Se mide en unidades de tiempo, como s, min, h, entre otros. Su expresión matemática es la siguiente.

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

Frecuencia (f):

La frecuencia corresponde a la cantidad de oscilaciones que ocurren en una unidad de tiempo. Si la unidad de tiempo es el segundo (s), la frecuencia se mide en Hertz, que se abrevia Hz, que es lo mismo que s^{-1} . Su ecuación matemática es la siguiente:

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

De la relación se entiende que $1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{segundo}}$

La frecuencia y el periodo, son magnitudes inversamente proporcionales.

Velocidad de propagación. (v)

Representa la distancia que recorre una onda en cada unidad de tiempo, se determina con la relación:

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

Y, como $f = \frac{1}{T}$, la velocidad también se puede determinar con la relación:

$$v = \lambda f$$

Y, si se conoce la distancia, d , que se propaga una onda y el tiempo, t , que tarda en hacerlo, también se puede determinar la velocidad de propagación de ella con la relación:

$$v = \frac{d}{t}$$

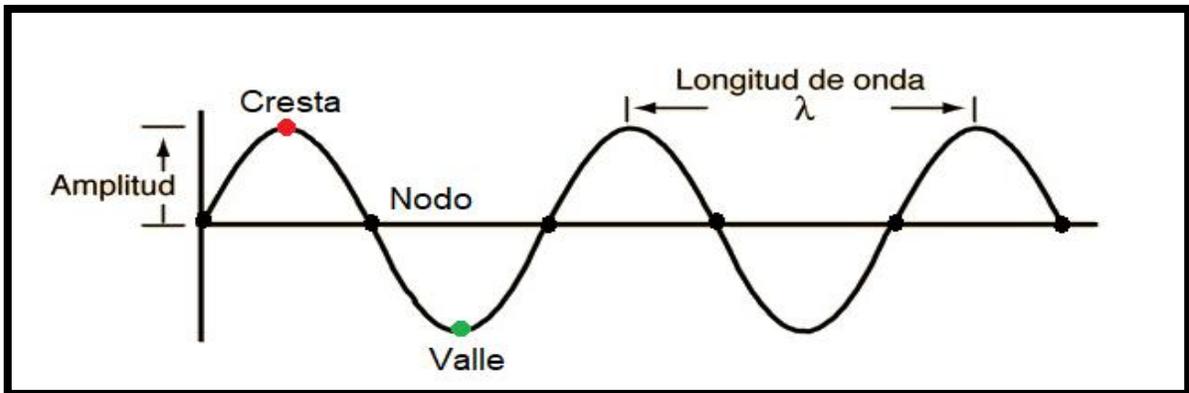
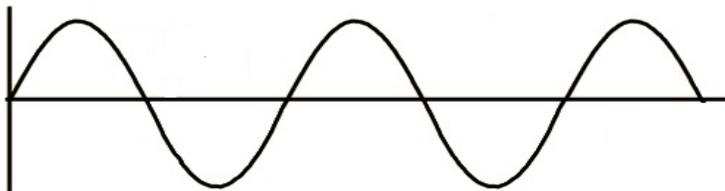


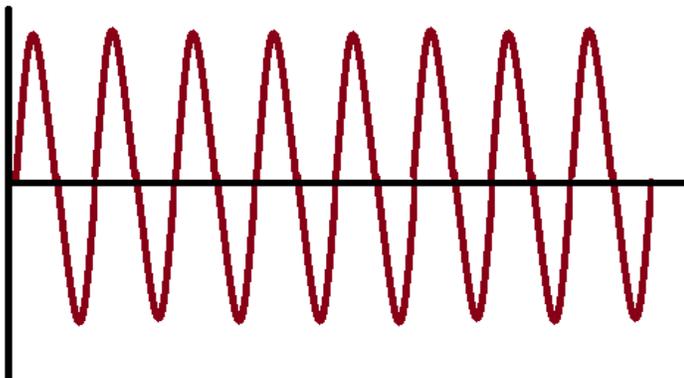
Figura 3. Características de una onda

Ejercicio 1. Utiliza una regla y determina el valor de la amplitud y longitud de onda para los siguientes esquemas.



a) Longitud de onda _____

b) Amplitud _____



a) Longitud de onda _____

b) Amplitud _____

Ejercicio 2. Contesta las siguientes preguntas

Si un resorte realiza una vibración en 50 s ¿Cuál es el valor de la frecuencia?

Cuál es el período de una onda que tiene una frecuencia de 550 Hz?

Ejercicio 3. Investiga e Indica si las siguientes ondas son un ejemplo de onda mecánica o de onda electromagnética

Ejemplo de onda	Tipo de onda
Ondas del agua	
Rayos X	
Luz	
Ondas de radio	
Sonido	
La vibración de una cuerda de la guitarra	
Ondas sísmicas	
Ondas de microondas	
Rayos UV	

Ejercicio 4. Resuelva los siguientes ejercicios:

NOTA: Antes de resolverlo identifica si es una onda mecánica o electromagnética y recuerda las características de cada una de ellas para poder solucionar los ejercicios.

1. Calcular la frecuencia de una onda cuyo periodo es de 23 s.
2. Calcular el periodo de una onda cuya frecuencia es de 4.2 Hz.
3. Calcular la longitud de onda, sabiendo que su frecuencia es de 4.2 Hz y su velocidad de propagación de 958.9 m/s.
4. Determina la velocidad de una onda en el agua si ésta viaja a una frecuencia de 990 Hz y tiene una longitud de onda de 3m.
5. La longitud de onda de la luz roja de un láser de helio-neón en el aire es de 632.8 nm. Calcula su frecuencia.
6. Determina la frecuencia de una onda sonora si su velocidad es de 340m/s y la longitud de onda es de 20m.
7. Calcula la longitud de una onda sonora si la velocidad es de 330 m/s y la frecuencia de 170Hz.
8. Calcular el periodo de una onda, sabiendo que su velocidad de propagación es de 958.9 m/s y la longitud de onda es de 38.1 m.
9. Calcular la frecuencia de una onda, sabiendo que su velocidad de propagación es de 538.0 m/s y la longitud de onda es de 51.5 m

Ejercicio 5. Investiga ejemplos de ondas transversales y longitudinales.

Ondas transversales	Ondas longitudinales
1.	1.
2.	2.
3.	3.
4.	4.
5.	5.

Ejercicio 6. Investiga cuál es la diferencia entre ondas y partículas

ENERGÍA DE LAS ONDAS

Espectro sonoro

En la Figura 4 se muestra el espectro de frecuencia del sonido, el cual se divide en tres regiones que se explican a continuación:

Región infrasónica: Esta región es imperceptible para el oído humano, ya que trabaja con valores menores de 20 Hz de frecuencia.

Región audible: El oído humano por sus características percibe el sonido entre 20 Hz y 20000Hz (20KHz) de frecuencia.

Región ultrasónica: El oído humano es incapaz de detectar las ondas ultrasónicas, por encontrarse por arriba de 20,000 Hz. El límite superior se localiza aproximadamente a 1,000,000,000 Hz (1GHz), debido a los límites elásticos de los materiales.

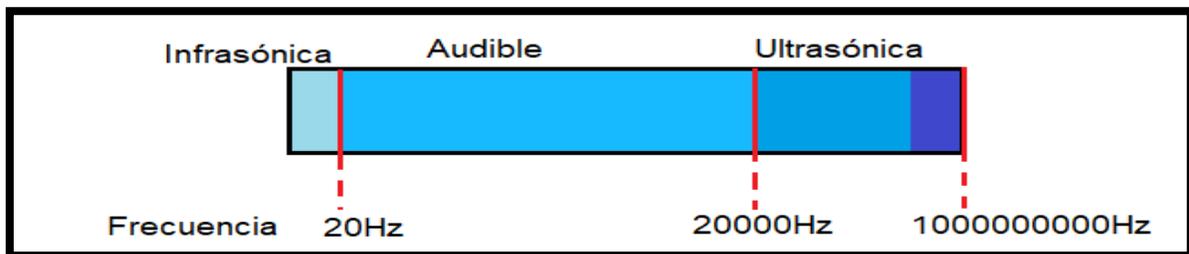


Figura 4. Espectro de frecuencia del sonido
Fuente: Adaptado de Wilson, Buffa & Lou (2007)

Espectro electromagnético

El **espectro electromagnético** es el conjunto de ondas electromagnéticas ordenadas en función de su frecuencia (y por lo tanto, en función de su energía) (Ver Figura 5). El espectro electromagnético está dividido por regiones a partir de su frecuencia o longitud de onda, iniciando por las ondas de radio y TV; concluyendo por los rayos gamma de acuerdo a sus valores de frecuencia.

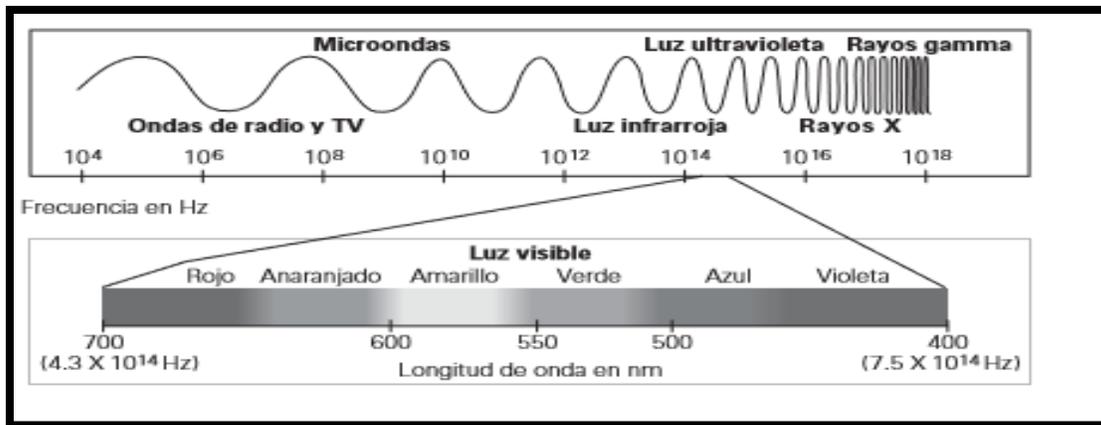


Figura 5. Espectro electromagnético
Fuente: Wilson, Buffa & Lou (2007)

El espectro electromagnético, ordenado de mayor a menor frecuencia (o de menor a mayor longitud de onda) es:

- **Rayos gamma:** Los rayos gamma son una forma de radiación electromagnética con energía extremadamente elevada. Se encuentran en el extremo más elevado de energía del campo electromagnético. Se producen en desintegraciones de átomos de materiales radiactivos. Es una radiación ionizante, capaz de penetrar la materia. Tienen la mayor frecuencia, por tanto son muy energéticas.
- **Rayos X:** Son radiaciones muy penetrantes, con longitud de onda menor a la luz visible. Debido a este poder penetrante atraviesan más fácilmente la piel y los tejidos del cuerpo humano que los huesos. Los rayos X se utilizan para tomar un tipo de “fotografías” del cuerpo, llamadas radiografías, y es posible detectar un hueso roto colocando al paciente entre un rayo X y una pantalla metálica que es sensible a los rayos. Pueden provocar daños celulares en tejidos vivos debido a que es una radiación ionizante
- **Ultravioleta:** Estas ondas son producidas por cuerpos a muy alta temperatura (como las estrellas) y también se producen en las transiciones atómicas que producen los electrones menos ligados. Es una de las radiaciones emitida por el Sol. La más energética es absorbida por la capa de ozono, llegando a la Tierra la menos energética. Es una radiación ionizante. Es responsable de las quemaduras de la piel, y en casos extremos puede producir cáncer de piel.

- **Visible:** Es la radiación que podemos percibir a través del sentido de la vista.
- **Infrarrojo:** Es la radiación que emiten todos los objetos calientes, desde el carbón incandescente, las personas, los radiadores, etc.
- **Microondas:** Es producida por las rotaciones de moléculas. Es poco energética. Se utilizan en los aparatos electrodomésticos que utilizamos para calentar alimentos. También se utilizan para transmitir información en radio y televisión, radares, meteorología, comunicaciones vía satélite, medición de distancias.
- **Ondas de radio:** Son la de menor energía (tienen menor frecuencia). Se generan alimentando una antena con corriente alterna. Se pueden propagar largas distancias en el aire. Varias frecuencias de ondas de radio se usan para la televisión y emisiones de radio como FM (frecuencia modulada) y AM (amplitud modulada), comunicaciones militares, teléfonos celulares, redes inalámbricas de computadoras, y otras numerosas aplicaciones de comunicaciones.

Los rayos gamma, los rayos X y la radiación ultravioleta son radiaciones ionizantes. La radiación ionizante es aquella que tienen un alto poder de penetración en la materia y que arrancan electrones de los átomos. Cuando incide en organismos vivos provoca cambios en las células o en los genes, lo que puede ocasionar mutaciones o cáncer, ver figura 6.

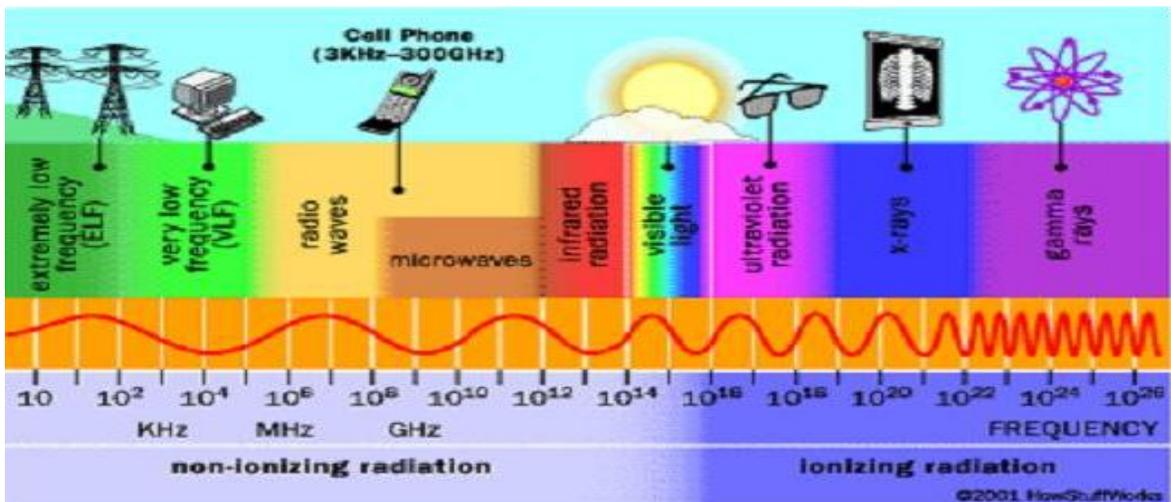


Figura 6. Espectro electromagnético. Muestra las radiaciones ionizantes.

Ejercicio 7. Investiga la información que se te solicita y a completa la siguiente tabla

Onda electromagnética	Longitud de onda (nm)	Frecuencia de onda (Hertz)	Usos
Rayos gama			
Rayos X			
Luz ultravioleta			
Luz Visible			
Radiación infrarroja			

Ondas Microondas			
Ondas de Radio			

Ejercicio 8. Contesta las siguientes preguntas correspondientes al tema de espectro sonoro y electromagnético.

1. ¿En cuántas regiones se clasifica el espectro sonoro?

2. ¿En cuántas regiones se clasifica el espectro electromagnético?

3. Compara los valores de los intervalos de frecuencia del espectro sonoro con respecto a los del espectro electromagnético. Escribe tus observaciones.

4. Investiga algunas aplicaciones que tienen las respectivas regiones del espectro sonoro en la vida cotidiana.

5. Investiga algunas aplicaciones que tienen las respectivas regiones del espectro electromagnético en la vida cotidiana.

FENÓMENOS ONDULATORIOS

Reflexión de las ondas

Este fenómeno consiste en el cambio de dirección que experimenta una onda al encontrarse con una superficie, sin modificar su medio de propagación. Si la superficie es lisa y pulida se llama reflexión “especular”, en este caso únicamente se refleja en una dirección, si la superficie es rugosa se le conoce como reflexión “difusa” en este caso la onda se refleja en múltiples direcciones.

En la reflexión hay tres elementos: rayo incidente, línea normal o perpendicular a la superficie y rayo reflejado. Se llama ángulo de incidencia al que forma la normal con el rayo incidente y ángulo de reflexión al formado por la normal y el rayo reflejado (ver figura 7).

Las leyes de la reflexión dicen que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión y que el rayo incidente, reflejado y la normal están en el mismo plano (ver figura 8).

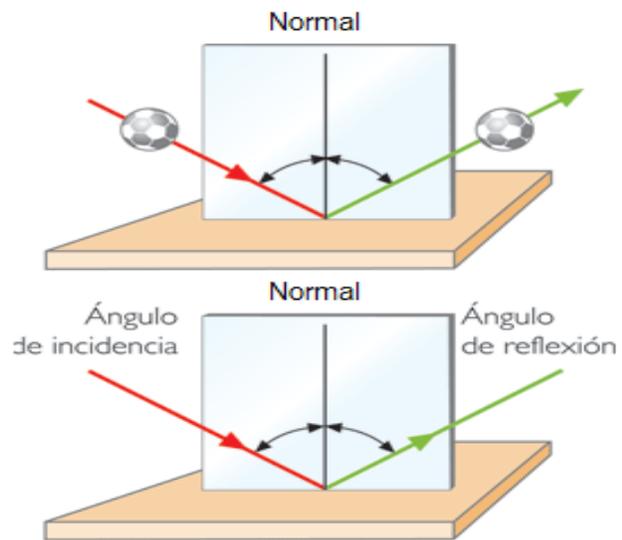


Figura 7. Elementos de la reflexión de las ondas

Ejemplos típicos de reflexión se producen en espejos, en superficies pulidas, en superficies de líquidos y cristales, etcétera.



Figura 8. Características de la reflexión de las ondas.

Leyes de la reflexión

1. El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en un mismo plano.
2. El ángulo de incidencia es igual ángulo de reflexión $\theta_i = \theta_r$

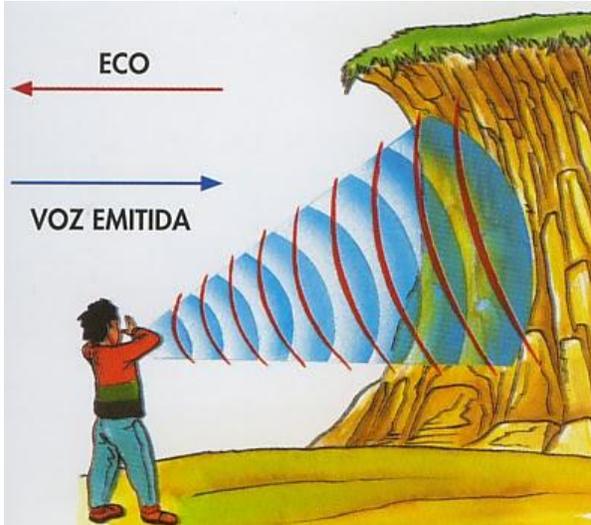


Figura 9. El eco es resultado de la reflexión del sonido

El fenómeno acústico que llamamos eco, es resultado de la reflexión del sonido. Como todo movimiento ondulatorio, el sonido se refleja y vuelve al mismo medio elástico después de chocar contra superficies reflectoras. Si el sonido es intenso y la superficie reflectora está lo suficientemente alejada un mismo observador puede percibir, por separado, el sonido emisor y el reflejado.

Refracción de las ondas

Se denomina refracción de una onda al cambio de dirección y de velocidad que experimenta ésta cuando pasa de un medio a otro medio en el que puede propagarse. Cada medio se caracteriza por su índice de refracción.



En la refracción hay tres elementos: rayo incidente, línea normal o perpendicular a la superficie y rayo refractado. Se llama ángulo de incidencia al que forma la normal con el rayo incidente y ángulo de refracción al formado por la normal y el rayo refractado.

Cuando la onda pasa de un medio a otro en el que la onda viaja más rápido, el rayo refractado se acerca a la normal, mientras que si pasa de un medio a otro en el que la onda viaja a menos velocidad el rayo se aleja de la normal.

En la Figura 10 se ilustra una onda que experimenta el fenómeno de refracción.

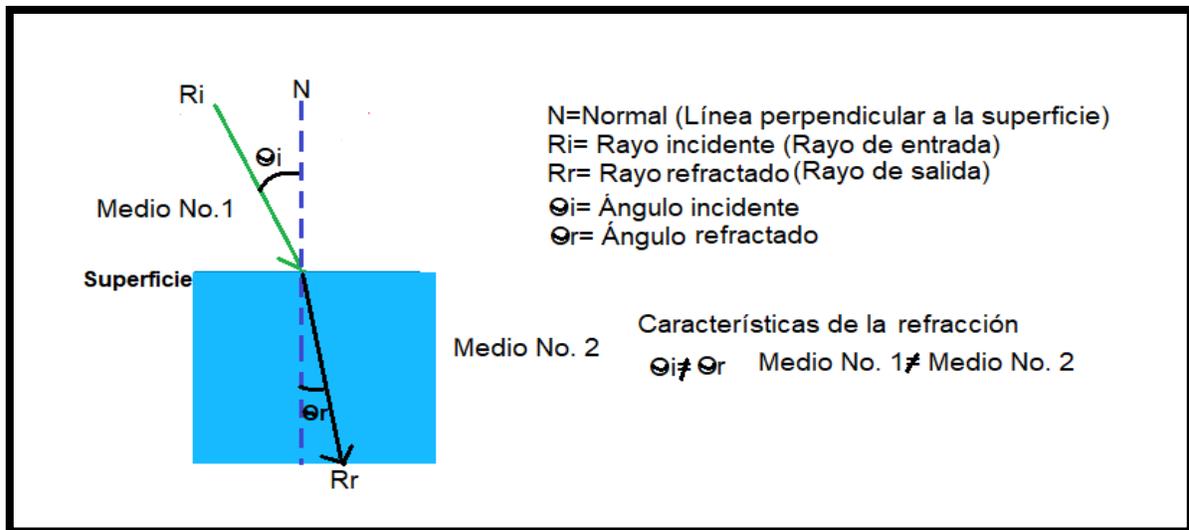


Figura 10. Características de la refracción de las ondas.

Leyes de la refracción

1. El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en un mismo plano.
2. Ley de Snell: La relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es constante para dos medios dados, esta razón es el índice de refracción entre los medios.

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$$

Donde:

n_1 = índice de refracción del primer medio [adimensional]

n_2 = índice de refracción del segundo medio [adimensional]

θ_1 = Ángulo de incidencia o del primer medio [grados]

θ_2 = Ángulo de salida o del segundo medio [grados]

La refracción también puede producirse dentro de un mismo medio, cuando las características de este no son homogéneas, cuando de un punto a otro aumenta o disminuye la temperatura.

Con respecto al sonido, por la noche, el aire cercano a la superficie terrestre está más frío que el que está a mayor altura. Un sonido producido en la superficie se refracta hacia las capas superiores donde su velocidad es mayor. Una reflexión devuelve el sonido al suelo permitiendo que sea oído a grandes distancias.

Por el contrario, en un día caluroso, las capas de aire próximas al piso, están más calientes que las capas más altas. Como el sonido se propaga con mayor velocidad en el aire más caliente, una onda sonora emitida por una persona, tiende a refractarse hacia arriba.

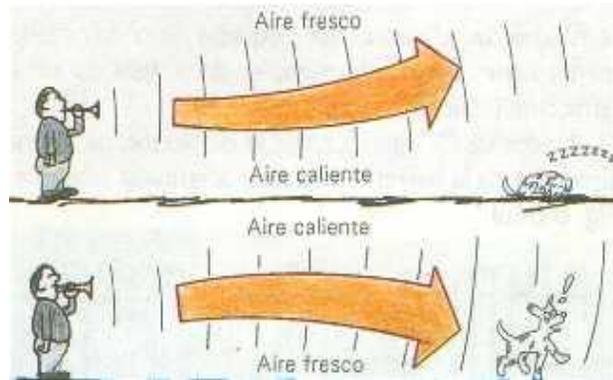


Figura 11. Refracción del sonido

Difracción de las ondas

Se llama difracción a la propiedad que poseen las ondas de rodear los obstáculos. Cuando una onda encuentra un obstáculo (rendija, abertura, orificio o punto material) de dimensiones similares a su longitud de onda, éste se convierte en un nuevo foco emisor de la onda.

Esto quiere decir, que cuando una onda llega a un obstáculo de dimensión similar a la longitud de onda, dicho obstáculo se convierte en un nuevo foco emisor de la onda. Cuanto más parecida es la longitud de onda al obstáculo mayor es el fenómeno de difracción.

Cuando la abertura u obstáculo es mayor que la longitud de onda, la difracción no se percibe.

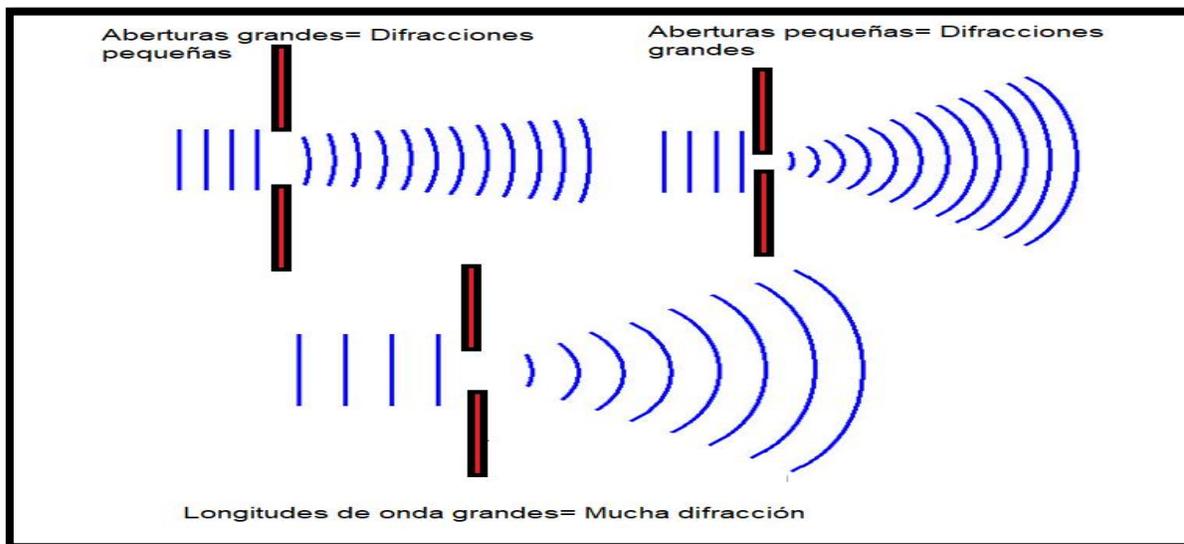


Figura 12. Difracción de una onda

Interferencias de las ondas

Se denomina interferencia a la superposición o suma de dos o más ondas. Dependiendo fundamentalmente de las longitudes de onda, amplitudes y de la distancia relativa entre las mismas se distinguen dos tipos de interferencias:

- **Constructiva:** se produce cuando las ondas chocan o se superponen en fases, obteniendo una onda resultante de mayor amplitud que las ondas iniciales.

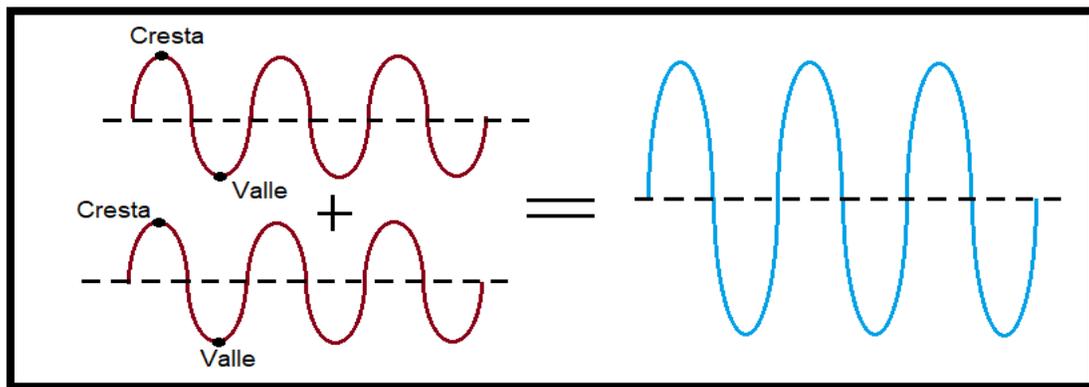


Figura 13. Interferencia constructiva

- **Destructiva:** es la superposición de ondas en antifase, obteniendo una onda resultante de menor amplitud que las ondas iniciales. Pero si se superponen dos ondas de la misma amplitud con una diferencia de fase equivalente a media longitud de onda, 180° , la suma vectorial de sus amplitudes contrarias será igual a cero, por consiguiente, la onda resultante tendrá una amplitud nula. Esto sucede cuando la cresta de una onda coincide con el valle de la otra y ambas son de la misma amplitud.

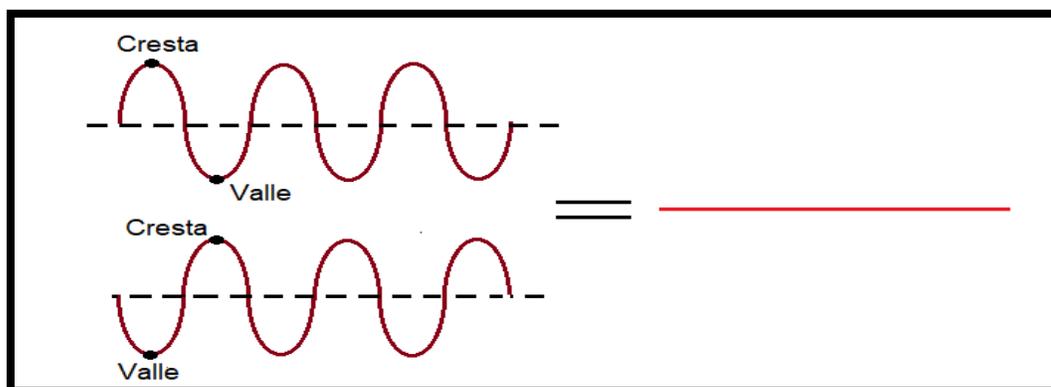


Figura 14. Interferencia destructiva

La interferencia de ondas de agua, de la figura 15, se formó moviendo dos varillas rítmicamente arriba y abajo en una bandeja de agua. Las ondas procedentes de una de las fuentes puntuales 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.

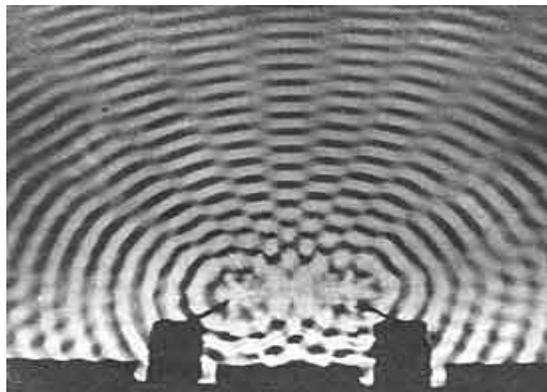


Figura 15. Interferencia de ondas de agua.

Polarización

El fenómeno de polarización es cuando las oscilaciones transversales solo ocurren en un plano, no oscilan de manera perpendicular. Por lo tanto, las ondas de tipo longitudinales no pueden ser polarizadas, en cambio las ondas electromagnéticas si se pueden ser polarizadas. Por ejemplo, en la luz la polarización permite eliminar un componente.

Ondas estacionarias y resonancia

Se conoce como ondas estacionarias aquellas que no parecen que están viajando, únicamente se ve un movimiento que oscila de arriba hacia abajo en un patrón fijo. Cuando parece que la onda está quieta (interferencia destructiva) se llama **nodo**. Cuando oscila en los puntos de la amplitud máxima (interferencia constructiva) se llama **antinodos** (ver Figura 16).

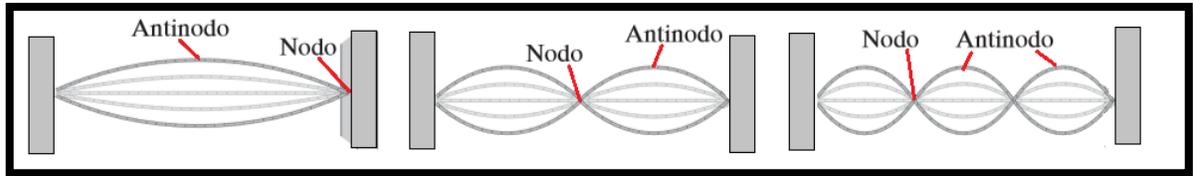


Figura 16. Ondas estacionarias
Fuente: Adaptado de Giancoli, 2009

Una onda estacionaria se puede considerar como un objeto que vibra en resonancia. La resonancia es un fenómeno físico que se presenta con el reforzamiento de una oscilación por coincidencia de la frecuencia. Esto ocurre en el momento que existe una gran cantidad de energía en una onda; haciendo coincidir los puntos más altos, en otras palabras, tienen el mismo valor de frecuencia o muy similar.

Resonancia

La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración se acerca al periodo de vibración característico de dicho cuerpo, en el cual, una fuerza relativamente pequeña aplicada en forma repetida hace que una amplitud de un sistema oscilante se haga muy grande.

En estas circunstancias el cuerpo vibra, aumentando de forma progresiva la amplitud del movimiento tras cada una de las actuaciones sucesivas de la fuerza. En teoría, si se consiguiera que una pequeña fuerza sobre un sistema oscilara a la misma frecuencia que la frecuencia natural del sistema se produciría una oscilación resultante con una amplitud indeterminada.

Este efecto puede ser destructivo en algunos materiales rígidos como el vaso que se rompe cuando una soprano canta y alcanza y sostiene la frecuencia de resonancia del mismo.

¿Cómo se puede romper una copa con la voz? El sonido de la voz "golpea" la copa y la hace vibrar en resonancia. Si mantenemos el sonido de la voz en el tiempo la copa recibe cada vez más "golpes", es decir recibe una onda con la misma frecuencia con la que está oscilando, pero la amplitud de oscilación aumenta en cada empujón y llega a romper la copa.

Por la misma razón, no se permite el paso por puentes de tropas marchando, ya que pueden entrar en resonancia y derrumbarse.

Una forma de poner de manifiesto este fenómeno consiste en tomar dos diapasones capaces de emitir un sonido de la misma frecuencia y colocados próximos el uno del otro, cuando hacemos vibrar uno, el otro emite, de manera espontánea, el mismo sonido, debido a que las ondas sonoras generadas por el primero presionan a través del aire al segundo.

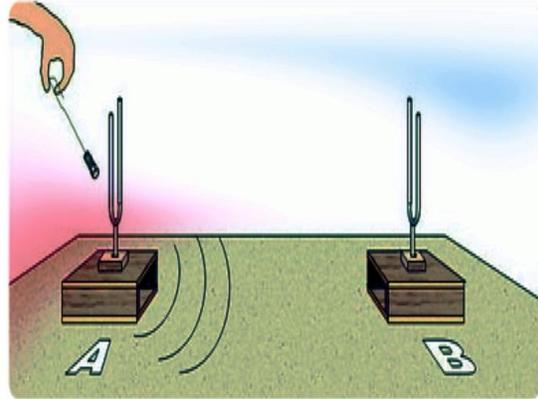


Figura 17. Resonancia con diapasones

Efecto Doppler

El efecto Doppler, llamado así por el físico austríaco Christian Andreas Doppler, es el aparente cambio de frecuencia de una onda producida por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador.

Para el caso de ondas sonoras, el tono de un sonido emitido por una fuente cambia si se acerca o se aleja del observador.

Por ejemplo, si una ambulancia con la sirena encendida se acerca a ti, la frecuencia del sonido incrementa (lo escuchas agudo) y viceversa, cuando la ambulancia se empieza alejar de ti la frecuencia disminuye (lo escuchas más grave).

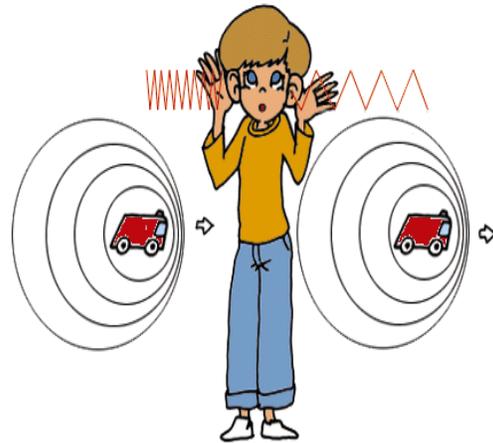


Figura 18. Efecto Doppler para una fuente sonora.

También el observador puede moverse con respecto a la fuente. En la figura 19, se presentan los diferentes casos que existen para el efecto Doppler, de acuerdo al movimiento de la fuente sonora (por ejemplo, una ambulancia con la sirena encendida) y el oyente.

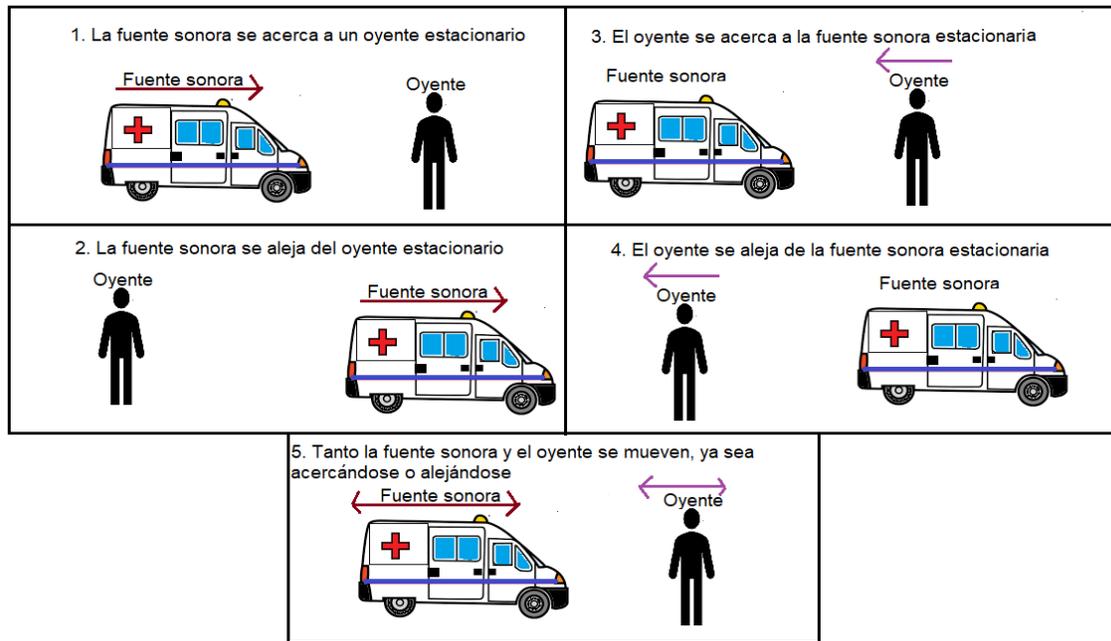


Figura 19. Los diferentes casos del efecto Doppler

En cada caso existe una ecuación particular, pero se puede resumir en una general, únicamente debes de elegir que signo debes de utilizar.

$$f_o = f_s \frac{v \pm v_o}{v \pm v_s}$$

Donde:

f_o = Frecuencia oída por el observador (oyente) [Hz]

f_s = Frecuencia emitida por la fuente sonora [Hz]

v = Velocidad de la fuente sonora

v_o = Velocidad del observador (oyente)

Debes considerar los siguientes criterios para elegir los signos +/- :

1. Si el observador se acerca a la fuente sonora, el signo en el **numerador** será **positivo (+)**.
2. Si la fuente sonora se acerca al oyente el signo en el **denominador** será **negativo (-)**.
3. Si el observador se aleja de la fuente sonora, el signo en el **numerador** será **negativo (-)**.
4. La fuente sonora se aleja del oyente, el signo del **denominador** será **positivo (+)**.
5. Si la fuente en movimiento, el signo en el denominador dependerá de si la fuente se aleja del receptor (el signo será +) o si la fuente se acerca al oyente (el signo será —).

El efecto Doppler también aplica para la luz, aunque las ecuaciones son diferentes. Básicamente se tienen dos casos:

- cuando la fuente luminosa se aleja del observador la frecuencia de la luz disminuye, esto indica que se acerca al extremo rojo (longitud de onda larga del espectro) y se llama **corrimiento al rojo Doppler**
- cuando la fuente luminosa se acerca al observador la frecuencia de la luz aumenta y se acerca al extremo azul (longitud de onda corta del espectro) se llama **corrimiento al azul Doppler**.

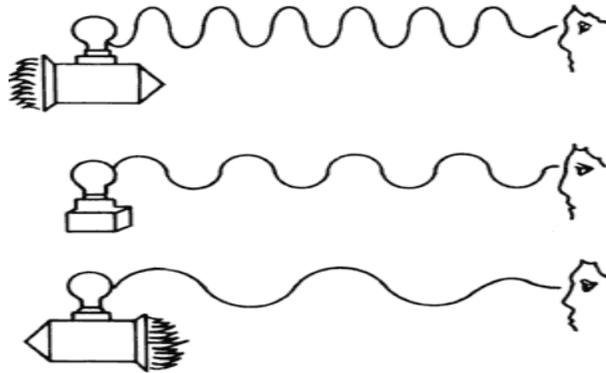


Figura 20. Efecto Doppler en la luz.

Edwin Hubble usó el efecto Doppler para determinar que el universo se está expandiendo. Hubble encontró que la luz de galaxias distantes está corrida hacia frecuencias más elevadas, hacia el rojo final del espectro. A esto se le conoce como el desplazamiento Doppler, o cómo desplazamiento al rojo. Si las galaxias se estuviesen acercando, la luz se desplazaría al azul.

APLICACIONES DE LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS RELACIONADOS CON LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA SOCIEDAD

Los fenómenos ondulatorios tienen muchas y variadas aplicaciones en la actualidad. Por razones de espacio, solamente ilustraremos el caso de algunas aplicaciones de las ondas sonoras.

Aplicaciones de las ondas sonoras

Las ondas sonoras tienen muchas aplicaciones, mencionaremos algunas de ellas:

Música: producción de sonido en instrumentos musicales y sistemas de afinación de la escala.

Electroacústica: tratamiento electrónico del sonido, incluyendo la captación (micrófonos y estudios de grabación), procesamiento (efectos, filtrado, compresión, etc.) amplificación, grabación, producción (altavoces) etc.

Acústica fisiológica: estudia el funcionamiento del aparato auditivo, desde la oreja a la corteza cerebral.

Acústica fonética: análisis de las características acústicas del habla y sus aplicaciones.

Arquitectura: tiene que ver tanto con diseño de las propiedades acústicas de un local a efectos de fidelidad de la escucha, como de las formas efectivas de aislar del ruido los locales habitados.

El sonar, acrónimo de Sound Navigation And Ranging, navegación y alcance por sonido, es una técnica que usa la propagación del sonido bajo el agua (principalmente) para navegar, comunicarse o detectar otros buques.

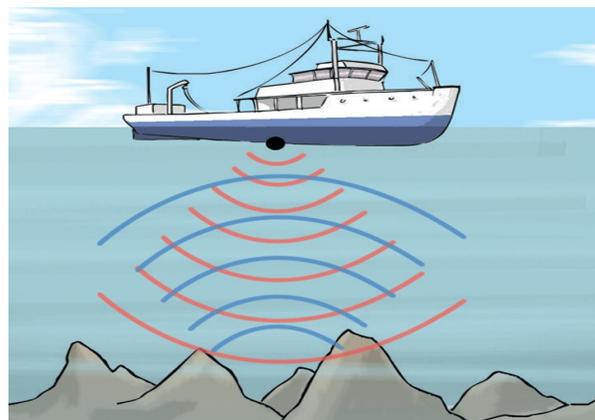


Figura 21. El sonar.

El sonar puede usarse como medio de localización acústica funcionando de forma similar al radar, con la diferencia de que en lugar de emitir señales de radiofrecuencia se emplean impulsos sonoros. De hecho, la localización acústica se usó en aire antes que el radar, siendo aún de aplicación el SODAR (la exploración vertical aérea con sonar) para la investigación atmosférica.

El término «sonar» se usa también para aludir al equipo empleado para generar y recibir el sonido. Las frecuencias usadas en los sistemas de sonar van desde las infrasónicas a las ultrasónicas

La **ecografía**, **ultrasonografía** o **ecosonografía** es un procedimiento de imagenología que emplea los ecos de una emisión de ultrasonidos dirigida sobre un cuerpo u objeto como fuente de datos para formar una imagen de los órganos o masas internas con fines de diagnóstico. Un pequeño instrumento "similar a un micrófono" llamado transductor emite ondas de ultrasonidos. Estas ondas sonoras de alta frecuencia se transmiten hacia el área del cuerpo bajo estudio, y se recibe su eco.

El transductor recoge el eco de las ondas sonoras y una computadora convierte este eco en una imagen que aparece en la pantalla.



Figura 22. Imagen de un bebé en el útero materno obtenida por ecografía

La **litotricia** es una técnica utilizada para destruir los cálculos que se forman en el riñón, la vejiga, los uréteres o la vesícula biliar. Hay varias formas de hacerla, aunque la más común es la litotricia extracorpórea (por fuera del cuerpo) por ondas de choque. Las ondas de choque se concentran en los cálculos y los rompen en fragmentos diminutos que luego salen del cuerpo en forma natural durante la micción.

EJERCICIO 9. Investiga otras aplicaciones de los fenómenos ondulatorios en el contexto de la ciencia, tecnología y sociedad.

EJERCICIO 10. Contesta las siguientes preguntas

1. Describe la diferencia entre una onda sonora y una onda luminosa.

2. Describe la diferencia entre interferencia constructiva y destructiva.

3. Define que es la refracción

4. Define que es la reflexión

5. Como se le llama al fenómeno ondulatorio que permite que las ondas de rodeen un obstáculo

6. ¿A qué se le conoce como efecto Doppler?

7. ¿Qué tipo de ondas pueden ser polarizadas?

8. ¿Qué se entiende por resonancia?

EJERCICIO 11. Selecciona la respuesta correcta a las siguientes preguntas.

1. Una onda mecánica es la que necesita:
a) Un medio b) Velocidad c) Vacío d) Sonido

2. En este fenómeno no existe cambios de medio y el ángulo de entrada (incidente) es el mismo con el que sale.
a) Difracción b) Polarización c) Reflexión d) Resonancia

3. La parte más alta de una onda se llama:
a) Valle b) Cresta c) Amplitud d) Frecuencia

4. Es el tiempo que se requiere para a completar un ciclo o vuelta.
a) Frecuencia b) Período c) Amplitud d) Tiempo

5. ¿En qué región del espectro sonoro el oído humano puede percibir el sonido?
a) Ultrasónica b) Audible c) Infrasonica d) Megasónica

6. Son las ondas que se propagan de manera paralela
a) Ondas de radio b) Longitudinales c) Transversales d) Electromagnéticas

7. La luz es ejemplo de onda:
a) Longitudinal b) Electromagnética c) Mecánica d) Ondas de TV

8. Este tipo de ondas parece que no viajan y que únicamente se mueven de arriba hacia abajo.
a) Mecánicas b) Estacionarias c) Sonido d) Ondas de TV

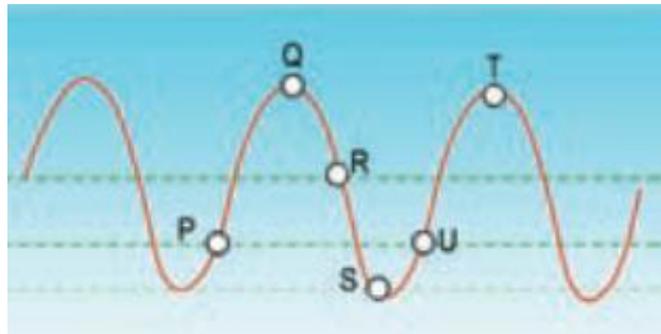
9. Qué tipo de ondas no pueden ser polarizadas
a) Mecánicas b) Estacionarias c) Longitudinales d) Ondas de TV

10. Es la distancia que existe entre dos crestas o dos valles continuos:
a) Amplitud b) Longitud de onda c) Nodo d) frecuencia

AUTOEVALUACIÓN

Lee con atención las siguientes preguntas antes de contestarlas:

- Indicar si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
 - Las ondas transportan energía y materia.
 - El sonido es una onda mecánica.
 - La luz es una onda mecánica.
 - Al aumentar el periodo de una onda aumenta su frecuencia.
 - La longitud de onda no tiene ninguna relación matemática con el periodo.
- Dibuja una onda transversal y nombra sus partes.
- Dibuja una onda longitudinal y nombra sus partes.
- Supón que la línea curva de la figura es una fotografía de parte de una cuerda muy larga en la cual se está propagando una onda. ¿A qué corresponde la longitud de onda?
 - A la longitud del trazo PQ
 - A la longitud del trazo QR.
 - A la longitud del trazo PU.
 - A la longitud del trazo ST.
 - Ninguna de las longitudes anteriores
- Calcular la frecuencia de una onda cuyo periodo es de 23 s.
- Calcular el periodo de una onda cuya frecuencia es de 4.2 Hz.
- Calcular la longitud de onda, sabiendo que su frecuencia es de 4.2 Hz y su velocidad es de 958.9 m/s.
- Calcular la velocidad de propagación de una onda, sabiendo que su frecuencia es de 4.2 Hz y la longitud de onda es de 38.1 m.
- Calcular la velocidad de propagación de una onda, sabiendo que su periodo es de 39.0 s y la longitud de onda es de 38.1 m.
- Calcular el periodo de una onda, sabiendo que su velocidad de propagación es de 958.9 m/s y la longitud de onda es de 38.1 m.



11. Calcular la frecuencia de una onda, sabiendo que su velocidad de propagación es de 538.0 m/s y la longitud de onda es de 51.5 m.
12. Una onda tiene una frecuencia de 90.82 Hz. Calcular con tres decimales el periodo de dicha partícula.
13. Una onda se propaga con una velocidad de 77.22 m/s y con una frecuencia de 90.82 Hz. ¿Qué longitud de onda presenta dicha onda?
14. En cada inciso, escribe sobre las líneas a cuál de los siguientes fenómenos ondulatorios corresponde: **Reflexión y difusión** o **Refracción** o **Interferencia**
- a) Meter un lápiz en un vaso de agua _____
- b) Mirarse en el espejo _____
- c) Hablan varias personas a la vez _____
- d) Observar el color de un objeto _____
- e) Escuchar dos estaciones de radio al mismo tiempo _____
- f) Descomposición de la luz al pasar por un prisma _____
- g) Ver una moneda en el fondo de una alberca. _____
15. ¿Cuál de estas afirmaciones no es correcta?
- a) En el movimiento ondulatorio se transporta energía no materia.
- b) La difracción es una característica de los fenómenos ondulatorios.
- c) La velocidad de una onda no cambia, independientemente del medio en que se propague.
- d) Cuando una onda sufre una refracción modifica su velocidad de propagación.
16. En las películas del Oeste, se observa que las personas acercan el oído al suelo para saber si se acerca la caballería. Lo hacían porque:
- a) El sonido se propaga más rápido por el suelo que por el aire.
- b) El sonido se amplifica en el suelo.
- c) Porque no tenían ni idea. Esa técnica no sirve de nada.
17. Cuando hablamos los demás nos oyen porque:
- a) El aire que sale de nuestros pulmones llega al oído de cada oyente.
- b) Las cuerdas vocales vibran y esa vibración se transmite por el aire.
- c) El aire no influye, nos oírían aunque no hubiera aire.
18. La luz consiste en:
- a) Ondas, del mismo tipo que las ondas de radio y TV
- b) Ondas como el sonido
- c) Ondas como la de los rayos X

19. Por el vacío puede transmitirse:
- a) Luz
 - b) Sonido
 - c) Las ondas de radio
20. Al introducir un lápiz en el agua lo vemos “torcido”, esto se debe a:
- a) Nuestra visión no es perfecta, es una ilusión óptica.
 - b) La luz cambia de velocidad al pasar del agua al aire.
 - c) Lo que vemos es un reflejo del lápiz en la superficie del agua.
21. Un tren toca su bocina y se mueve con una velocidad constante, acercándose a un observador estacionario (inmóvil). ¿Qué escucha el observador a medida que el tren se acerca?
- a) Un tono gradualmente más agudo.
 - b) Un tono agudo constante, que no cambia.
 - c) El mismo tono de la máquina del tren.
 - d) Un tono grave constante, que no cambia.
 - e) Un tono gradualmente más grave.
22. Una onda de sonido sale del agua al aire ¿cuál de las siguientes opciones es correcta?
- a) La rapidez de la onda aumenta al salir del agua.
 - b) La longitud de la onda aumenta al salir del agua.
 - c) La frecuencia de onda aumenta al salir del agua.
 - d) El período de la onda, en el aire, es mayor que en el agua.
 - e) La rapidez de la onda disminuye al salir del agua.
23. Indicar si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
- a) La reflexión y la refracción son el mismo fenómeno.
 - b) Las ondas pueden interferir entre sí.
 - c) La refracción se produce cuando una onda pasa a otro medio.
 - d) La luz experimenta el fenómeno de interferencia.
 - e) La difracción se observa siempre que una onda tropieza con un obstáculo.
 - f) Pueden existir interferencias constructivas.
 - g) El ángulo de incidencia y de refracción tienen siempre el mismo valor.
 - h) Cuando la luz choca contra una superficie rugosa experimenta difusión.
 - i) Los rayos X son radiación electromagnética capaz de atravesar cuerpos opacos y de imprimir radiografías.
24. Indicar si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
- a) El sonido se propaga tanto en medios materiales como en el vacío.
 - b) La rapidez de propagación del sonido no depende del medio de propagación.
 - c) Cuanto mayor sea la amplitud de la onda, el sonido se oirá con mayor volumen.
 - d) Los sonidos graves tienen menor longitud de onda que los agudos.

- e) El timbre permite distinguir dos sonidos de distintos instrumentos musicales con la misma frecuencia.
- f) El ángulo reflejado es el doble que el incidente.
- g) La reverberación es una cualidad del sonido relacionada con la refracción.
- h) El tono de una onda varía con el movimiento de la fuente de sonido.
- i) El sonido es una onda mecánica transversal que se propaga en línea recta en un medio material (gaseoso, líquido o sólido) de densidad uniforme.
- j) Se denomina espectro electromagnético a la distribución del conjunto de las ondas electromagnéticas.

25. Relaciona los elementos de la columna izquierda con los de la derecha:

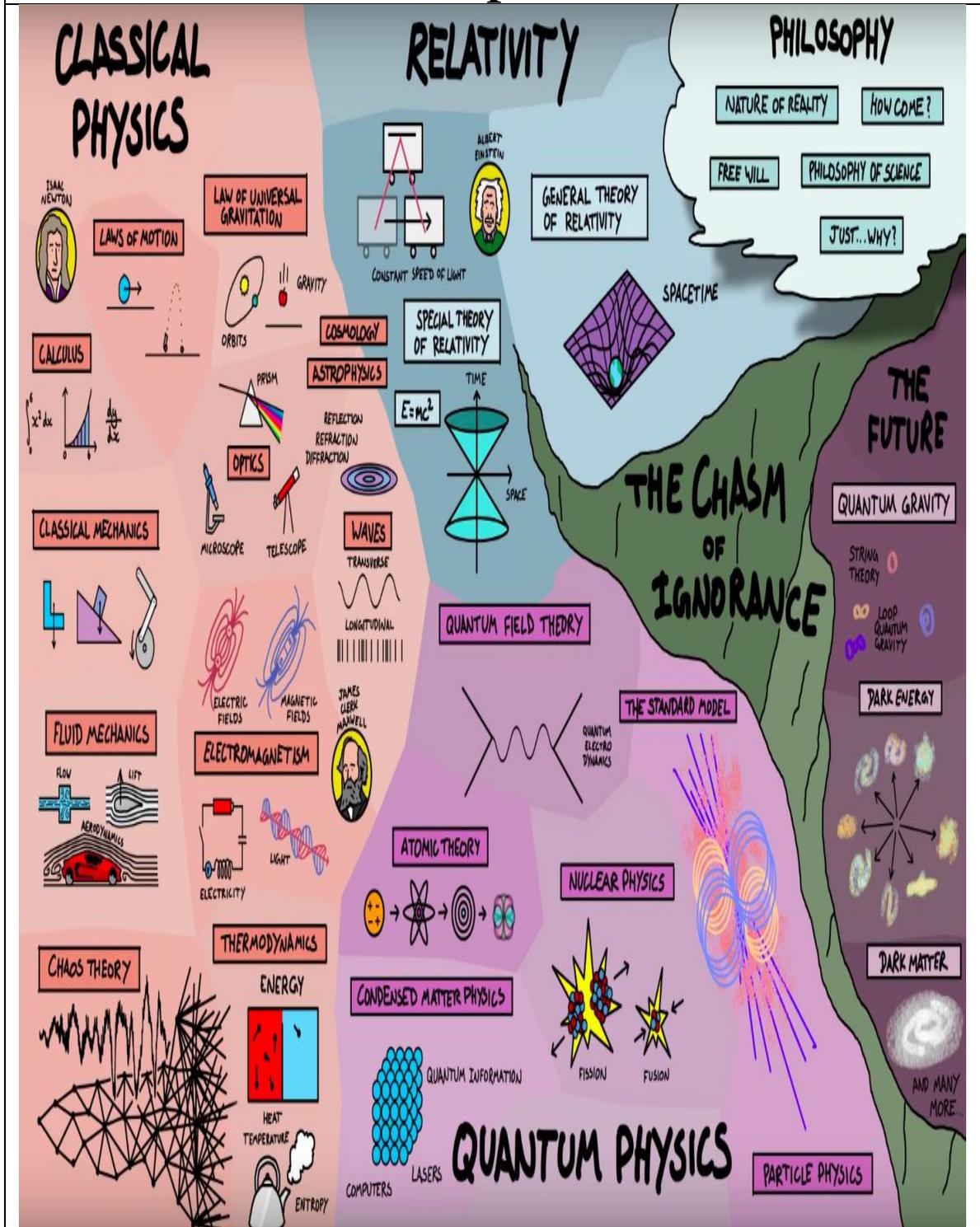
Las ondas sólo transportan:	mecánicas
Las ondas mecánicas se transportan por medios...	transversales o longitudinales
Las ondas electromagnéticas se propagan.....	materiales
Las olas, el sonido, los sismos son ondas....	en el vacío
Los rayos X, las ondas de radio, la luz visible son ondas...	electromagnéticas
Según la dirección de propagación, las ondas pueden ser....	energía

26. Las ondas mecánicas se propagan por:
- a) medios materiales y por el vacío
 - b) sólo en el vacío
 - c) sólo en medios materiales
27. Las ondas electromagnéticas se propagan por:
- a) medios materiales y por el vacío
 - b) sólo en el vacío
 - c) sólo en medios materiales
28. Cuando miramos el fondo de una piscina desde fuera de ella, parece menos profundo de lo que en realidad es; este efecto es debido al fenómeno de:
- a) Reflexión.
 - b) Dispersión
 - c) Difracción.
 - d) Refracción.
29. Responde a las siguientes cuestiones:
- a) ¿Qué tipo de fenómeno se produce cuando una ola choca contra un muro?
 - b) ¿Podríamos escuchar una explosión que se produjera en el Sol?
30. Cuando un rayo de luz blanca atraviesa un prisma, se descompone dando los colores del arco iris. ¿Qué nombre recibe el fenómeno producido?

31. Si un objeto absorbe todas las frecuencias, nuestro cerebro lo interpreta como ...
a) negro b) blanco
32. El calor de la luz del Sol, del fuego, de un radiador de calefacción o de una banqueta caliente son radiaciones:
a) infrarrojas b) ultravioletas
33. ¿Qué diferencias hay entre una onda mecánica y una onda electromagnética?
34. En cada inciso dibuja dos ondas:
a) La segunda con doble longitud de onda que la primera.
b) La segunda con doble amplitud que la primera
c) La segunda con doble frecuencia que la primera
35. Suponiendo la misma amplitud, ¿qué tiene mayor energía, un rayo de luz visible o un rayo de luz ultravioleta?
36. Las ondas electromagnéticas de radio frecuencia:
a) Son visibles al ojo humano
b) Es una radiación ionizante que puede causar mutaciones genéticas
c) Pueden propagarse largas distancias en el aire
d) Son bloqueadas completamente por la atmósfera
e) Producen la curvatura del espacio-tiempo
37. ¿Qué diferencia existe entre un sonido grave y un sonido agudo?
38. Ordena las siguientes ondas electromagnéticas de menor a mayor frecuencia: radio, microondas, luz visible, infrarroja, rayos X, luz ultravioleta.
39. ¿Por qué las ondas electromagnéticas ultravioleta, rayos X y rayos gamma pueden ser peligrosas para la salud del ser humano?

Unidad 3

Introducción a la física moderna y contemporánea



En esta unidad los alumnos iniciarán el estudio de los fundamentos y avances de la física de los siglos XX y XXI dando énfasis a las teorías con mayor evidencia experimental, como: la relatividad especial, general y mecánica cuántica, así como su vínculo con la tecnología. También se promoverá el conocimiento de algunos temas actuales de la física y la tecnología; de éstas, se tratarán aquellas aplicaciones de mayor relevancia por su uso en la vida cotidiana.

Los alumnos continuarán aplicando sus conocimientos y habilidades de comunicación oral, escrita y de adquisición de información en la investigación en diferentes fuentes. De este modo, durante el desarrollo de la unidad será posible verificar el nivel de evolución de esas habilidades en los alumnos.

Los alumnos contarán con las bases suficientes para desarrollar algún proyecto relacionado con las aplicaciones de la física contemporánea.

PROPÓSITOS DE LA UNIDAD

Al finalizar, el alumno:

- Conocerá algunos fenómenos que le permitan identificar las limitaciones de la física clásica que dieron origen a la física del siglo XX. Por ejemplo: la constancia de la velocidad de la luz, los espectros atómicos, el efecto fotoeléctrico y la radiactividad, investigando en diferentes fuentes.
- Reconocerá, a través de la búsqueda de información, la importancia de la física del siglo XX y actual en su vida cotidiana para identificar su impacto en el desarrollo de la tecnología en las áreas de salud, comunicaciones y energía, entre otras.
- Utilizará las herramientas disponibles de la tecnología contemporánea para mejorar sus habilidades de investigación y comunicación de sus resultados al grupo.
- Aplicará la metodología de la física a partir del desarrollo de investigaciones en diferentes fuentes para comprender algunos fenómenos de la física cuántica y la relatividad.

APRENDIZAJES

Con relación a la cuantización de la materia y la energía, el alumno:

- Conoce algunos fenómenos físicos que la física clásica no pudo explicar. N1.
- Describe el fenómeno del efecto fotoeléctrico. N1.
- Reconoce los modelos elementales de la estructura de la materia. N1.
- Describe algunos espectros de gases y su relación con la estructura de los átomos. N1.
- Aplica cualitativamente el modelo atómico de Bohr para explicar el espectro del átomo de hidrógeno. N3.
- Conoce el comportamiento cuántico de los electrones. N1.
- Conoce el principio de incertidumbre de Heisenberg y su importancia en la física cuántica. N1.

Con relación a la relatividad especial y general, el alumno:

- Contrasta el principio de relatividad de Galileo y las ideas de Newton sobre el espacio y tiempo con las de Einstein. N2.
- Comprende algunas implicaciones de la constancia de la velocidad de la luz. N2.
- Conoce la interpretación relativista de la relación masa–energía. N1.

Con relación a las aplicaciones de la física contemporánea, el alumno:

- Reconoce la importancia de las contribuciones de la física contemporánea al desarrollo científico y tecnológico. N1.

TEMÁTICA

Cuantización de la materia y la energía

- Crisis de la física clásica y origen de la física cuántica: radiactividad, espectros atómicos y radiación de cuerpo negro.
- Efecto fotoeléctrico.
- Cuantización de la energía y efecto fotoeléctrico.
- Estructura de la materia: átomos y moléculas.
- Espectros de emisión/absorción de gases.
- Modelo atómico de Bohr.
- Naturaleza cuántica de la materia a nivel microscópico: Hipótesis de De Broglie.
- Principio de incertidumbre.

La relatividad especial y general

- Límites de aplicabilidad de la mecánica clásica y origen de la física relativista.
- Postulados de la relatividad especial.
- Equivalencia entre la masa y la energía.

Aplicaciones de la física contemporánea

- Radiactividad.
- Radioisótopos.
- Fusión y fisión nucleares.
- Generación de energía nuclear.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XIX las leyes sobre el movimiento de los objetos estaban fundadas en el “Principio de Relatividad de Galileo”; que afirmaba que no se podía saber si un objeto está en inmóvil o se mueve a una velocidad constante.

Galileo propuso un sistema de transformaciones que establecen la relación entre las coordenadas espaciales y temporales de dos sistemas de referencia inerciales, dichas transformaciones se deducen de suponer la naturaleza absoluta del espacio y del tiempo.

La mecánica clásica que era descrita por las leyes de Newton, las de Maxwell y las transformaciones de Galileo no podían explicar cómo la luz viajaba en el vacío, ya que las ondas descritas por Maxwell consideraban un medio para que una onda se propague, razón por la cual se propuso un medio conocido como el “éter”.

El éter fue introducido como medio físico, servía para propagación de las ondas electromagnéticas, no podía ser otro que el espacio absoluto, su densidad sería despreciable, tendría una gran rigidez para permitir una velocidad de propagación muy elevada, no interactúa con la materia, se encontraría en reposo absoluto y a través de él se moverían todos los cuerpos.

Einstein explicó el efecto fotoeléctrico, el concepto de cuantización de la radiación y la radiación del cuerpo negro en diversos artículos.

CUANTIZACIÓN DE LA MATERIA Y LA ENERGÍA

Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico fue documentado por Hertz en 1887, al observar que una chispa saltaba más fácilmente entre dos esferas metálicas cuando en sus superficies incide luz de otra chispa. En 1888 Hallwachs observó que al incidir luz ultravioleta sobre un cuerpo con carga negativa este pierde su carga; pero no afectaba a un cuerpo con carga positiva. J. J. Thompson y P. Lenard demostraron en 1898, de manera independiente, que la luz provocaba que el metal emitiera en su superficie cargas

negativas libres (llamados fotoelectrones. En 1905, Einstein utilizando los conceptos de la mecánica cuántica de, Einstein supuso que la radiación incidente consistía en paquetes de energía localizada (cuantos de luz o fotones) que viajaba con la velocidad de la luz (Ecuación 1). De esta manera desarrolló la teoría del efecto fotoeléctrico.

$$E = hf \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde

E: Energía de un fotón

h: Constante de Planck $h=6.626 \times 10^{-34} \text{ [J}\cdot\text{s]}$

f: frecuencia [1/s]

Cuando los fotones caen sobre una superficie metálica puede ocurrir lo siguiente:

1. Los fotones son reflejados de acuerdo con las leyes de la óptica geométrica.
2. Los fotones desaparecen (son absorbidos) transmitiendo toda su energía a los electrones.
3. La emisión de electrones depende de la frecuencia de la luz incidente, la frecuencia mínima se denomina *frecuencia de umbral* de dicha superficie.

Al abandonar la superficie del metal, el electrón pierde una cantidad de energía ϕ (trabajo de extracción), algunos electrones pueden perder más energía si la distancia a la superficie es mayor, la máxima energía con la cuál un electrón abandona la superficie es la energía del fotón menos el trabajo de extracción.

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = hf - \phi = eVo \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Vo : potencial de frenado

$\frac{1}{2}mv_{max}^2$: energía cinética máxima

Ejemplo:

Calcular la energía cinética máxima de un material, cuando se incide luz con una frecuencia de $1.5 \times 10^{15} \text{ [1/s]}$, siendo el trabajo de extracción $\phi=7.2875 \times 10^{-19} \text{ [J]}$.

Solución:

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = hf - \phi = 6.626 \times 10^{-34} \text{ [J}\cdot\text{s]} \times 1.5 \times 10^{15} \left[\frac{1}{\text{s}} \right] - 7.2875 \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = 2.6515 \times 10^{-19} [J]$$

Ejemplo:

Del ejercicio anterior calcular la velocidad máxima de los fotoelectrones.

Solución:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 * 2.6515 \times 10^{-19} [J]}{9.1 \times 10^{-31} [kg]}} = 7.631 \times 10^5 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Nota: Considerar la masa de un electrón como $9.1 \times 10^{-31} [kg]$

Estructura de la materia: átomos y moléculas

La idea de que la materia está constituida por átomos es muy antigua. Los filósofos griegos Leucipo y Demócrito (400 años a. C.) se imaginaron que la materia era una concentración de diminutas partículas que llamaron átomos debido a que no se podían dividir, aunque sus ideas fueron rechazadas durante 2000 años, comenzaron a tener sentido a finales del siglo XVIII. La palabra átomo deriva del griego y significa no dividido o indivisible.

En 1803, un profesor llamado John Dalton concibió las ideas modernas de la naturaleza de los átomos. Así, resumió y completó los nebulosos conceptos de los filósofos y científicos antiguos. Los postulados de Dalton son:

- Un elemento se compone de partículas indivisibles y extremadamente pequeñas llamadas átomos.
- Todos los átomos de un mismo elemento tienen propiedades iguales que, a la vez, difieren de las de otros elementos.
- Los átomos no pueden crearse, destruirse o convertirse en átomos de otro elemento.
- Los compuestos se forman cuando se combinan átomos de diferentes elementos en relaciones numéricas sencillas.
- En un compuesto dado, son constantes tanto los números relativos como los tipos de átomos.

Dalton pensaba que los átomos eran esferas solidas e indivisibles, una idea que ahora se sabe que es falsa, pero que fue de gran ayuda en la comprensión de la naturaleza de la materia y de sus interacciones.

Tiempo después, a principios del siglo XX, se conocían los siguientes hechos experimentales:

- El volumen ocupado por un átomo simple es como una esfera con un radio de aproximadamente 10^{-10} m.
- Los átomos contienen electrones cargados negativamente que pueden ser separados y recombinados con el cuerpo del átomo cargado de manera positiva.
- Un átomo de un elemento específico emite y absorbe frecuencias de luz específicas.

Diversos autores han desarrollado una descripción de la estructura del átomo. En 1906 Rutherford y sus colaboradores realizaron experimentos para explicar la desviación de las partículas alfa (núcleos de helio emitidos por elementos radiactivos) por finas hojas metálicas; mostraron que cada átomo contiene un núcleo y el núcleo está rodeado por electrones que giraban alrededor del núcleo describiendo órbitas, más o menos como los planetas del sistema solar, siendo la atracción eléctrica la que proporciona la fuerza centrípeta necesaria, sin embargo esta teoría no podía explicar con los principios de la teoría electromagnética como la energía radiada por los electrones son líneas espectrales de ciertas frecuencias.

En 1913 el físico danés Niels Bohr dedujo que los principios de la teoría electromagnética no son aplicables en los procesos de escala atómica. De su teoría se desprenden las siguientes conclusiones:

- En un átomo un electrón puede girar en determinadas órbitas estables, asociadas cada una de ellas a una energía definida, sin emitir radiación.
- Un átomo absorbe o emite energía únicamente cuando se realiza una transición desde una de esas órbitas especiales a otra.

Bohr postuló que para cada átomo las orbitas permitidas son aquellas para las que el momento angular es un múltiplo entero de $\frac{h}{2\pi}$, considerando la segunda ley de Newton y el momento angular de una partícula se tiene que el tamaño de los radios se puede expresar de acuerdo con la ecuación 3.

Las orbitas de los niveles energéticos se designan con los números: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, llamados números cuánticos (n). La órbita de menor radio es n=1 y así sucesivamente hasta n=7. Estas órbitas se designan con las letras K, L, M, N, O, P, Q (figura 1). Un número limitado de electrones se encuentra sobre un nivel de energía; para determinarlo se aplica la regla de saturación que dice: el número máximo de electrones sobre un nivel de energía, caracterizado por su número cuántico, es igual a 2n.

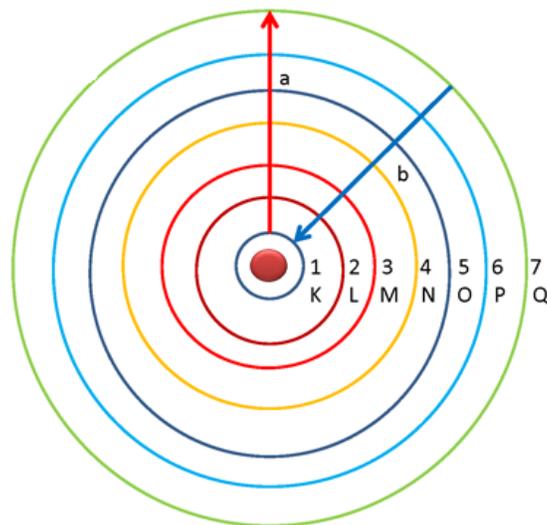


Figura 1. Órbitas del átomo, modelo atómico de Bohr.

$$r = \frac{n^2 \epsilon_0 h^2}{\pi m e^2}$$

Ecuación 3

Donde

r: radio de la órbita

n= 1, 2, 3,

ϵ_0 : permitividad del vacío es 8.8541×10^{-12} [C² / N·m²]

h: Constante de Planck $h=6.626 \times 10^{-34}$ [J·s]

m: masa de un electrón es 9.1×10^{-31} [kg]

e: carga del electrón es 1.602×10^{-19} [C]

Ejemplo:

Calcular el radio de la primera órbita de Bohr:

$$r_0 = \frac{n^2 \epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} = \frac{1^2 \times 8.8541 \times 10^{-12} \left[\frac{C^2}{N} \cdot m^2 \right] \times (6.626 \times 10^{-34} [J \cdot s])^2}{\pi \times 9.1 \times 10^{-31} [kg] \times (1.602 \times 10^{-19} [C])^2}$$

$$r_0 = 0.53 \times 10^{-8} [cm]$$

En el modelo de átomo de Bohr, el número cuántico principal n y las órbitas circulares del electrón no se podían aplicar a átomos complicados que tuvieran más de un electrón. Por lo tanto, en 1915, el físico alemán Arnold Sommerfeld modificó el modelo atómico de Bohr agregando órbitas elípticas y, además, sugirió la subdivisión de las órbitas estacionarias en varias subcapas o subniveles de energía.

Espectros de líneas

Uno de los logros más espectaculares de la teoría cuántica es la explicación del origen de las líneas espectrales de los átomos. Cuando se excitan en la fase gaseosa, cada elemento da lugar a un espectro de líneas único. El estudio de estas líneas espectrales se conoce como espectroscopía, la cual es un estudio de la absorción de la luz de cada uno de los átomos, la medición del espectro de absorción es un procedimiento común en la investigación que nos permite analizar la composición de una sustancia desconocida; el dispositivo que permite estudiar el espectro se conoce como espectrofotómetro (figura 2).

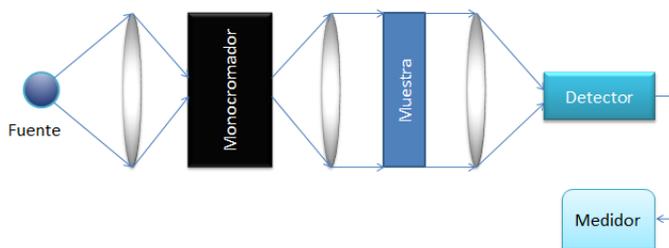


Figura 2. Esquema básico de espectrofotómetro

A finales del siglo XIX se descubrió que las longitudes de onda presentes en un espectro atómico caen dentro de determinados conjuntos llamados series espectrales. Balmer encontró que las longitudes de onda de estas líneas estaban dadas con mucha

precisión por la fórmula de la ecuación 4. La figura 3 muestra las líneas espectrales para el átomo de hidrógeno.

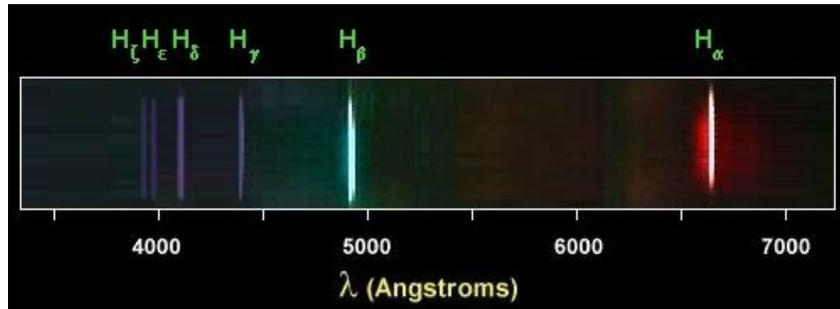


Figura 3. Serie de Balmer del hidrógeno

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde
 n= número entero que puede tomar valores 3, 4, 5,..
 R: constante de Rydberg $R=1.097 \times 10^7 \text{ [m}^{-1}\text{]}$
 λ : longitud de onda

Ejemplo:

Obtener la longitud de onda de la línea H_α que tiene $n=3$

Solución:

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7 \left[\frac{1}{m} \right] \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 1.524 \times 10^6 \left[\frac{1}{m} \right]$$

$$\lambda = \frac{1}{1.524 \times 10^6} = 656.3 \text{ [nm]}$$

Ejemplo:

Obtener la longitud de onda de la línea H_β que tiene $n=4$

Solución:

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7 \left[\frac{1}{m} \right] \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 2.0568 \times 10^6 \left[\frac{1}{m} \right]$$

$$\lambda = \frac{1}{2.0568 \times 10^6} = 486.17 \text{ [nm]}$$

Desde entonces se han descubierto otras series espectrales para el hidrógeno, que se denominan series de Lyman, Paschen, Brackett y Pfund, las fórmulas se encuentran en las siguientes ecuaciones:

Series de Lyman:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Serie de Paschen

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Serie de Brackett

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

Serie de Pfund

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Ecuación 8}$$

La serie de Lyman está en el ultravioleta y las de Paschen, Brackett y Pfund en el infrarrojo.

LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y GENERAL

Los postulados de la relatividad especial son dos:

1. Todas las leyes de la física son válidas para todos los sistemas inerciales.
2. La velocidad de la luz en el vacío es igual para todos los observadores y tiene el valor de 299.792,458 km/s, independientemente del estado de movimiento de la fuente.

El primer postulado es el Principio de la Relatividad para la mecánica y fue formulado ya por Galilei en el año de 1600, fue ampliado por Einstein para el electromagnetismo y para todas las leyes físicas.

El principio de relatividad afirma que no es posible saber si un observador está en reposo o en movimiento uniforme rectilíneo y que no existe ningún experimento físico para conocerlo. Por lo anterior el movimiento uniforme es relativo, se puede afirmar que un objeto se mueve con respecto a otro, pero no si se mueve en sentido absoluto. Se puede describir el movimiento de dos observadores que se mueven uno con respecto a otro y las leyes de la física deben escribirse de modo que no cambien al pasar de un sistema de referencia a otro.

El segundo postulado establece que la velocidad de la luz en el vacío es constante, independientemente del sistema de referencia inercial desde el cual ésta sea medida, el experimento de Michelson y Morley le sirvió como respaldo a Einstein para probar su teoría.

Dilatación del tiempo

Considera un tren que se mueve a una velocidad v en movimiento rectilíneo uniforme con respecto al andén. El pasajero en el tren dispone de un reloj de luz (figura 4 a), que consiste en dos espejos colocados uno encima de otro a una altura d y un pulso de luz que viaja continuamente entre los dos espejos. El pasajero medirá que el tiempo que tarda la luz en subir y bajar entre los dos espejos es:

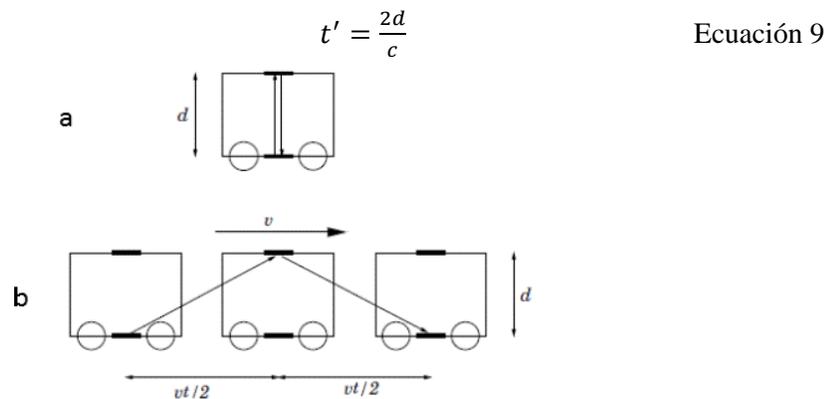


Figura 4. Reloj de espejos: a) observador en el tren, b) observador en el andén(Janssen, 2005)

Un observador en el andén vera este mismo fenómeno de manera distinta: para él la luz sale del espejo de abajo, pero llega al espejo de arriba después de un tiempo $t/2$ cuando el tren se ha desplazado una distancia $v \cdot t/2$ y otra vez al espejo de abajo después de un tiempo t cuando el tren se ha desplazado una distancia $v \cdot t$ (figura 4 b), para el

observador en el andén la luz recorre una trayectoria más larga y, dado que la velocidad de la luz es la misma que para el pasajero del tren habrá pasado más tiempo entre que la luz sale y llega otra vez al espejo de abajo. Concretamente, la distancia que recorre la luz al subir es, por el teorema de Pitágoras

$$\frac{c \cdot t^2}{2} = \frac{v \cdot t^2}{2} + d^2 \quad \text{Ecuación 10}$$

Despejando t se tiene:

$$t = \frac{\frac{2d}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Ejemplo:

Una nave espacial sobrevuela la Tierra con una velocidad de $0.99 \cdot c$. Una señal luminosa de alta intensidad emite pulsos de 2×10^{-6} [s] de duración. En determinado instante y para un observador situado en la Tierra, la nave parece encontrarse directamente sobre él a una altura de 1000 [km], viajando perpendicularmente en la línea de visión. ¿Cuál es la duración de cada pulso luminoso medido por el observador y qué distancia recorre la nave respecto a la Tierra durante cada pulso?

Solución:

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2 \times 10^{-6} [\text{s}]}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.99 \times c}{c}\right)^2}} = 14.2 \times 10^{-6} [\text{s}]$$

$$d = v \times t = 0.99 \times c \times 14.2 \times 10^{-6} [\text{s}]$$

$$d = 0.99 \times \left(3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \times (14.2 \times 10^{-6} [\text{s}]) = 4.22 [\text{km}]$$

Por lo anterior se observa que el intervalo de tiempo efectivamente ha sido más largo para el observador en el andén que para el pasajero. Este efecto se conoce como dilatación del tiempo es completamente general: relojes en movimiento corren menos rápido que relojes en reposo. El factor de corrección es:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{Ecuación 12}$$

La situación descrita es simétrica entre los dos observadores, el pasajero del tren tiene pleno derecho de suponer que él están en reposo, mientras que el observador en el andén se está moviendo, por lo tanto, cada uno ve el reloj del otro ir más lento que el suyo, puesto que cada uno ve el otro en movimiento.

Relatividad de la simultaneidad

Se refiere al hecho de que no se puede decir con sentido absoluto que dos acontecimientos en diferente lugar puedan haberse realizado al mismo tiempo. Si dos observadores, en el mismo lugar (espacio), presencian un fenómeno, podrían decir simultáneamente que se realizó en el mismo tiempo. Los dos indicarían el mismo tiempo del acontecimiento. Pero si los dos presencian ese acontecimiento en lugares diferentes, espacios diferentes, al mismo tiempo, ninguno de ellos podría afirmar que se realizó simultáneamente. Matemáticamente, esto puede comprobarse en la primera ecuación de la transformación de Lorentz:

$$\Delta t' = \gamma \left(\Delta t - \frac{v \cdot \Delta x}{c^2} \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Contracción de la longitud

Si se dice que el tiempo varía a velocidades relativistas, la longitud también lo hace. Un ejemplo sería si tenemos a dos observadores inicialmente inmóviles, éstos miden un vehículo en el cual solo uno de ellos "viajará" a grandes velocidades, ambos obtendrán el mismo resultado. Uno de ellos entra al vehículo y cuando adquiera la suficiente velocidad mide el vehículo obteniendo el resultado esperado, pero si el que esta inmóvil lo vuelve a medir, obtendrá un valor menor. Esto se debe a que la longitud también se contrae.

Volviendo a las ecuaciones de Lorentz, despejando ahora a x y condicionando a $\Delta t' = 0$ se obtiene:

$$\Delta x' = \frac{\Delta x}{\gamma} \quad \text{Ecuación 14}$$

de lo cual podemos ver que existirá una disminución debido al cociente. Estos efectos solo pueden verse a grandes velocidades, por lo que en nuestra vida cotidiana las conclusiones obtenidas a partir de estos cálculos no tienen mucho sentido.

Un buen ejemplo de estas contracciones y dilataciones fue propuesto por Einstein en su paradoja de los gemelos.

Equivalencia entre la masa y la energía

- Aumento de masa

Cuando algo se mueve muy rápido, con velocidades cercanas a la de la luz, su momento lineal (cantidad de movimiento) sigue una fórmula que no es la newtoniana sino la relativista. Sin embargo, esta fórmula es la misma que sería si usamos el concepto newtoniano de cantidad de movimiento, pero la masa del objeto varía. De hecho, da igual con qué energía un cuerpo acelera el primer tramo: cuanto más acelera al principio, mayor será su masa, de modo que más le costará acelerar al final, la energía total para poder alcanzar la velocidad de la luz es infinita. De manera que, para cualquier cuerpo material, es imposible lograrlo.

Esta idea de que cuando aumenta la energía (por ejemplo, la energía cinética al acelerar) aumenta la masa, es decir, la equivalencia de masa y energía tiene su expresión más famosa en la fórmula

$$E = mc^2 \quad \text{Ecuación 15}$$

- Adición de velocidades

En la relatividad, la energía y el momento están relacionados mediante la ecuación

$$E^2 - p^2c^2 = m^2c^4 \quad \text{Ecuación 16}$$

Esta relación de energía-momento formulada en la relatividad nos permite observar la independencia del observador tanto de la energía como de la cantidad de momento. Para velocidades no relativistas, la energía puede ser aproximada mediante una expansión de una serie de Taylor así:

$$E \approx mc^2 + \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Ecuación 17}$$

BIBLIOGRAFÍA

1. Aleman , R. (2004). *Relatividad para todos. Los que Einstein hubiera querido saber (y sin fórmulas)*. Madrid, ESpaña: Equipo Sirius, S.A.
2. Einstein, A. (2008). *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. España: Alianza Editorial.
3. Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. (2016). *Programas de Estudio*. Área de Ciencias Experimentales. Física I-II.
4. Giancoli, D. C. (2006). *Física, principios con aplicaciones* (6 ed.). México: Pearson.
5. Gil, D., & Furio, C. (1979). El programa-guía. Una propuesta para la renovación de la didáctica de la física. *Didáctica de la física y de la química*. Madrid: INCIE.
6. Gómez-Esteban González, P. (2012). *Relatividad Especial sin fórmulas*. Pedro Gómez-Esteban González.
7. Griffith, W. T. (2004). *Física conceptual*. México: Mc Graw–Hill.
8. Hacyan, S. (2002). *Relatividad para principiantes*. México: Fondo de Cultura Económica.
9. Hecht, E. (2001). *Fundamentos de física* (2 ed.). México. International Thomson Editores.
10. Hewitt, P. G. (2012). *Física conceptual* (10 ed.). México: Trillas.
11. Janssen, B. (2005). *Breve repaso de la relatividad especial*. Granada: Universidad de Granada.
12. Posadas, Y. (2006). *Física II. Ondas, electromagnetismo y física contemporánea*. México: Progreso.
13. Proyecto Newton, INTEF. (s.f.). *Teoría de la relatividad* . Madrid, España.
14. Ruiza, M., Fernández, T., Tamaro, E., & Durán, M. (2004-2016). *Biografías y Vidas*. Obtenido de La enciclopedia biográfica en línea: <http://www.biografiasyvidas.com/>
15. Salamanca, J. (2010). *Física II*. México: CCH–Oriente, UNAM.
16. Sears, Zemansky, Young (1988). *Física Universitaria*. Estados Unidos: Addison-Wesley Iberoamericana
17. Zitzewitz, P. y Neff, R. (2006). *Física: Principios y problemas*. México. McGraw-Hill.