



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

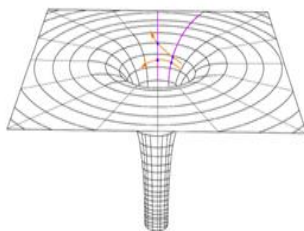
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

PLANTEL ORIENTE

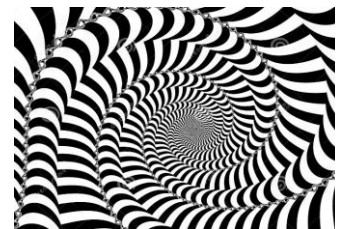
ÁREA DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES



GUÍA DE ESTUDIO PARA EL EXAMEN EXTRAORDINARIO DE LA ASIGNATURA DE



FÍSICA II



(Para el Programa de Estudio Actualizado 2016)

Autores:

Prof. Yuri Posadas Velázquez (Coordinador)

Prof. Patrocinio Becerril Vidal

Prof. Rubén Guevara López

Prof. Tomás Nepomuceno Serrano

Prof. Juan Solís Flores

2018

ÍNDICE

	PÁGINA(S)
Introducción.....	3
Instrucciones para el uso de esta guía.....	4-5
PRIMERA UNIDAD	
Presentación de la unidad.....	6
La carga eléctrica	7-12
Campo eléctrico, energía potencial y potencial eléctrico.....	13-18
Corriente eléctrica y diferencia de potencial.....	18-36
Fenómenos electromagnéticos.....	36-55
SEGUNDA UNIDAD	
Presentación de la unidad.....	56
Ondas y sus características.....	57-70
Energía de las ondas.....	71-76
Fenómenos ondulatorios.....	77-85
Aplicaciones del estudio de las ondas.....	86-91
TERCERA UNIDAD	
Presentación de la unidad.....	92
Cuantización de la materia y la energía.....	93-112
La relatividad especial y general.....	112-117
Aplicaciones de la Física Contemporánea.....	118-127
Autoevaluación.....	128-135
Bibliografía.....	136

Introducción

La presente *Guía de estudio para examen extraordinario (Física II)* es el resultado del trabajo colegiado de un pequeño grupo de profesores que nos dimos a la ardua tarea de poner al alcance del alumno un documento para la preparación del examen extraordinario de dicha asignatura.

Consideramos urgente su elaboración para que los alumnos cuenten con una guía para preparar el examen extraordinario de la asignatura de Física del nuevo programa de estudio ajustado (2016).

La guía que el (la) lector(a) tiene entre sus manos tiene la siguiente estructura:

- ✓ La presentación de los aprendizajes y los contenidos temáticos de cada uno de los subtemas que integran las tres unidades del programa.
- ✓ Un apartado, con los conceptos clave, para cada aprendizaje y contenido temático de las tres unidades, en el que se desarrolla la teoría básica.
- ✓ Una o varias actividades de aprendizaje al final de cada uno de los apartados anteriores.
- ✓ Una propuesta de autoevaluación **con respuestas**, al final de la guía, para que el alumno pueda verificar sus aprendizajes y le sirva de preparación con miras al examen extraordinario.
- ✓ Las bibliografías básica y complementaria para profundizar en los contenidos del programa de física II.

Esperamos que esta guía sea de utilidad para los alumnos que van a presentar examen extraordinario, como para los docentes que van a aplicarlo.

Esta guía de examen extraordinario, se encuentra en los siguientes sitios web:

<http://yupove1.wixsite.com/paquete/blank-cee5>

<http://yupove.wixsite.com/labdecienciasch/actual>

Atentamente: Los autores.

Instrucciones para el uso de esta guía

Docente.

- ❑ Te sugerimos considerar el contenido de esta guía, con las modificaciones que consideres oportunas, para la elaboración del examen extraordinario.
- ❑ En esta guía no se ha pretendido agotar los contenidos temáticos y sus correspondientes aprendizajes, por lo que sólo se presenta la información básica sobre los mismos y, en unos pocos, la presentación es relativamente extensa para motivar al alumno a que lea la guía y pueda resolver las actividades de aprendizaje.
- ❑ En la elaboración del examen extraordinario, si lo consideras adecuado, trata de diversificar la evaluación, de manera que no exista una sola modalidad de ésta.
- ❑ Si lo estimas conveniente, incluye la resolución completa de la guía como parte de la evaluación del examen.

Estudiante. Te damos cordialmente las siguientes **sugerencias**:

- Prepara con tiempo tu examen extraordinario, de manera que alcances a estudiar los apartados de la guía y a realizar las actividades de aprendizaje propuestas al final de éstos. Recuerda que es más útil y digerible el estudio sistemático y continuo que uno realizado de manera desordenada y esporádica.
- Estudia la guía con la secuencia propuesta y, en la medida de lo posible, amplía la información con las fuentes bibliográficas recomendadas.
- No basta leer la información de los apartados; resuelve la mayoría o todas las actividades de aprendizaje, pues éstas permitirán consolidar tu propio aprendizaje.
- Si tienes dudas, consulta las fuentes bibliográficas o consulta a un profesor que imparta la asignatura o que sea asesor de ésta.
- Los conceptos o ecuaciones importantes se han resaltado en **negritas**, con objeto de que pongas especial atención en éstos.
- La base del éxito en un examen extraordinario es el estudio y la constancia.

Esta guía es un complemento para la preparación del examen extraordinario de Física II. Por lo tanto, debes consultar otros libros y fuentes para complementar la información que aquí se presenta. En cada temática(s) y aprendizaje(s) se presenta la información básica.

Te sugerimos estudiarla, complementarla con otras fuentes y realizar las actividades de aprendizaje de la guía, así como resolver ejercicios de otros libros de texto. Para que no sea abrumador el estudio de esta guía, te recomendamos hacer una planeación en función del tiempo que dispones para preparar el examen.

Fecha en que adquiriste la guía: _____ Fecha del examen: _____

Días que dispones para estudiar antes del examen: _____

Unidad	Día(s) para estudiar la guía	Horario	Avances en el estudio de la guía
Primera	Lunes Martes Miércoles Jueves Viernes Sábado Domingo		
Segunda	Lunes Martes Miércoles Jueves Viernes Sábado Domingo		
Tercera	Lunes Martes Miércoles Jueves Viernes Sábado Domingo		

Si tienes dudas o preguntas sobre los temas que vas a estudiar, acude con un profesor de la asignatura para que te asesore, o bien, acude al Programa Institucional de Asesorías (PIA) para concertar una cita y recibir la ayuda correspondiente. Si planeas adecuadamente el tiempo dedicado al estudio de esta guía, evitarás estar presionado el día del examen, pues habrás dosificado la información de manera adecuada.

Atte. Los autores.

PRIMERA UNIDAD. Electromagnetismo: principios y aplicaciones

Presentación

En esta unidad se pretende que el alumno consolide sus conocimientos relativos al electromagnetismo, auxiliado por las aplicaciones de esta disciplina en la ciencia y la tecnología.

En la unidad se esbozan las aportaciones más importantes que permitieron construir la teoría electromagnética.

Los conceptos centrales de esta unidad son:

- Carga eléctrica.
- Campo eléctrico.
- Potencial eléctrico.
- Campo magnético.
- Inducción electromagnética.
- Transformación de la energía eléctrica y magnética en mecánica o térmica.

Además, se pretende que los alumnos adquieran una visión general de los fenómenos electromagnéticos.

La carga eléctrica

Aprendizaje: Reconoce la carga eléctrica como una propiedad de la materia.

Temática: Carga eléctrica.

La carga eléctrica es una propiedad de las partículas subatómicas que se manifiesta en fuerzas de atracción o de repulsión cuando dos o más partículas interactúan.

Ésta se relaciona con una **partícula elemental** llamada **electrón**, la cual posee la cantidad mínima de carga eléctrica que existe en la materia. La carga eléctrica se mide en *Coulomb* (C). El electrón tiene la siguiente carga eléctrica:

$$e = - 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Una característica de la carga eléctrica es que está *cuantizada*, esto es, que en la materia sólo existen valores **discretos** y múltiplos enteros de la carga eléctrica mínima. Por lo tanto, no existen cuerpos, por ejemplo, que tengan 1.5, 2/3, etc. de la carga del electrón. La cuantización de la carga eléctrica se expresa así:

$$q = ne$$

Siendo q la carga eléctrica que posee un cuerpo y n el número de electrones. Se considera que un cuerpo tiene **carga negativa** si tiene un exceso de electrones. La carga negativa se representa con un círculo que encierra el signo negativo. En cambio, un cuerpo con **carga positiva** es el que posee un déficit de electrones. Así, un cuerpo **eléctricamente neutro** es el que tiene el mismo número de cargas positivas y negativas, por lo que se encuentra en equilibrio eléctrico (figura 1).

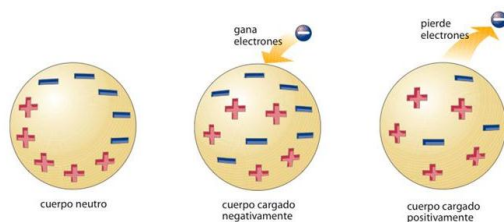


Figura 1. Cuerpos con cargas positiva, negativa y neutra.

Actividades de aprendizaje

1. Encuentra la carga eléctrica de un billón de electrones.
2. Da ejemplos de cuerpos con carga: a) positiva, b) negativa, c) neutra.

3. ¿Cuántos electrones hay en un cuerpo que tiene una carga eléctrica de 12 C?

Aprendizaje: Reconoce las diferentes formas en la que un cuerpo se puede cargar eléctricamente.

Temática: Formas de electrización: frotamiento, contacto e inducción.

En nuestra vida cotidiana observamos diferentes fenómenos en los cuales interviene la electricidad: los relámpagos, la carga acumulada en diferentes materiales, la corriente eléctrica que circula a través de cables y líneas de alta tensión, la iluminación, entre otros. La palabra *electricidad* se deriva del griego *elektron* (ήλεκτρον) que significa *ámbar*, pues desde la Antigüedad los griegos observaron que éste tiene propiedades de atracción sobre otros materiales. Actualmente la electricidad estudia todos los fenómenos físicos relacionados con una propiedad de la materia denominada *carga eléctrica*.

Existen tres formas de transferir carga eléctrica o electrizar un cuerpo (figura 2). A saber:

- **Frotamiento.** En este caso, la carga eléctrica se transfiere a un cuerpo después de restregarlo con algún material. Ejemplo: al flotar la carcasa plástica de un bolígrafo con un paño de lana.
- **Contacto.** Algunos cuerpos adquieren carga eléctrica después de ser tocados por un objeto eléctricamente cargado. Ejemplo: una esfera de unicel al entrar en contacto con una varita de vidrio o de plástico cargadas.
- **Inducción.** La carga eléctrica se transfiere a distancia de un cuerpo a otro, es decir, sin que exista contacto físico entre éstos. Ejemplo: una varita electrizada que atrae pedacitos de papel.

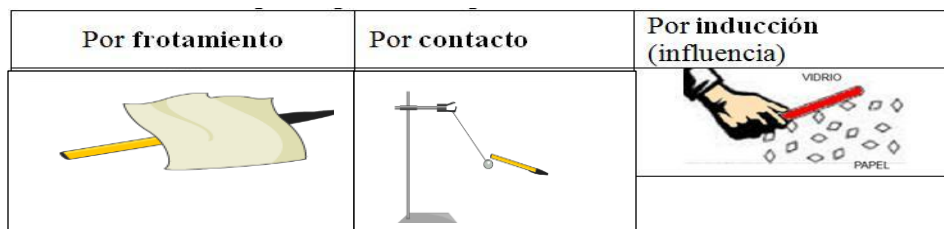


Figura 2. Formas de electrizar un cuerpo.

Actividades de aprendizaje

1. Enumeren diferentes situaciones en las que existe electrización: a) por frotamiento, b) por contacto, c) por inducción.

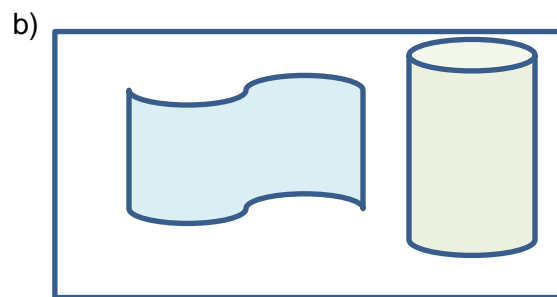
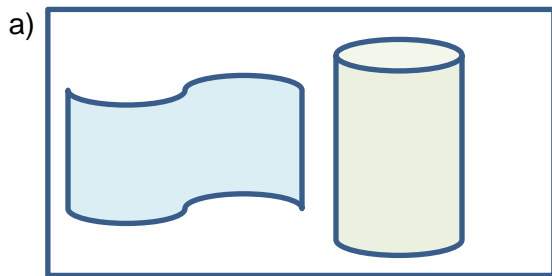
Aprendizaje: Aplica el principio de conservación de la carga eléctrica para explicar fenómenos de electrización

Temática: Conservación de la carga eléctrica.

En el Siglo XIX, Benjamin Franklin descubrió que el vidrio y el ámbar adquieren propiedades eléctricas después de ser frotados en una tela de seda. Para él, los cuerpos con exceso de carga eléctrica y otros con deficiencia de ésta. En sus experimentos, Franklin observó que *la carga no se crea de la nada, simplemente se transfiere*. Lo anterior es la base del principio de conservación de la carga eléctrica. Actualmente, este principio se formula así: “En un sistema aislado, la suma de las cargas eléctricas positivas y negativas es constante”.

Actividades de aprendizaje

1. En las siguientes figuras se representa una barra de vidrio y un paño de lana antes y después de ser frotadas entre sí. Representa con cargas eléctricas positivas y negativas:
- a) cuando la barra y el paño no han sido frotados, b) después de haber sido frotados.



- 2) ¿Qué sucede si acercas el paño de lana, después de haber sido frotado, a un electroscopio? ¿Se detectará carga eléctrica? ¿Por qué?

- 3) ¿Qué sucede si acercas la barra de vidrio, después de haber sido frotado, a un electroscopio? ¿Se detectará carga eléctrica? ¿Por qué?

- 4) ¿Qué tipo de carga eléctrica adquiere la lana? ¿Y el vidrio? Justifica tus respuestas.

Aprendizaje: Aplica la relación entre las variables que intervienen en la determinación de la intensidad de la fuerza eléctrica

Temática: Interacción electrostática y ley de Coulomb.

En sus “Memorias sobre las leyes de la electricidad y el magnetismo” (1785), el francés Charles August Coulomb describe la construcción de una balanza de torsión que le permitió medir la pequeñísima fuerza de repulsión entre dos esferas cargadas eléctricamente. Coulomb enunció así su principio: “La fuerza de repulsión entre dos esferas pequeñas cargadas con el mismo tipo de electricidad [léase carga eléctrica de igual signo] es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el centro de las dos esferas.”

Coulomb observó de que entre más carga eléctrica depositara sobre las esferas, mayor es la fuerza de repulsión medida sobre la balanza de torsión. En la actualidad es común enunciar así la ley de Coulomb: “La fuerza de repulsión (o atracción) eléctrica entre dos cargas de igual (o diferente) signo es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.” Lo precedente se expresa en la ecuación que ya conocemos:

$$F = k \frac{Q q}{r^2}$$

Q y q representan los valores de las cargas eléctricas, r es la distancia entre éstas, F la fuerza eléctrica y $K = 8.988 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$. K se denomina *constante de Coulomb*. Recuerda que la unidad de la carga eléctrica es el *Coulomb* (C). No olvides que la fuerza es una magnitud vectorial, pero en este caso estamos considerando la magnitud de la fuerza (que es un escalar).

Es necesario destacar que la fuerza de Coulomb dada por la ecuación anterior es válida para *cargas puntuales*, es decir, para cuerpos cuya carga eléctrica pueda considerarse como si estuviera concentrada en un punto matemático.

Ejemplo 1. Obtener la magnitud de la fuerza de repulsión eléctrica entre dos electrones separados una distancia de 1×10^{-6} m. La carga eléctrica del electrón es de -1.6×10^{-19} C.

Solución. En este caso $q = Q = 1.6 \times 10^{-19}$ C y $r = 1 \times 10^{-6}$ m. Al sustituir los valores anteriores en la ecuación (8), queda

$$F = \frac{(8.988 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2) (-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) (-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(1 \times 10^{-6} \text{ m})^2} = 2.30 \times 10^{-16} \text{ N}$$

Ejemplo 2. Calcular la magnitud de la carga eléctrica de dos cargas puntuales del mismo signo, separadas una distancia de 1×10^{-3} m, si entre éstas existe una fuerza de repulsión de 3×10^{-6} N

Solución. Como $q = Q$, se despeja q de la ecuación y se sustituyen los valores de $r = 1 \times 10^{-3}$ m y $F = 3 \times 10^{-6}$ N

$$Q = \sqrt{(F r^2 / K)} = \sqrt{(3 \times 10^{-6} \text{ N}) (1 \times 10^{-3} \text{ m})^2 / (8.988 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2)} = 1.83 \times 10^{-11} \text{ C}$$

Actividades de aprendizaje

1. Encuentra la fuerza de repulsión entre un protón y un electrón separados una distancia de 1×10^{-6} m.
2. Completa la tabla.

Fuerza F (N)	Distancia r (m)	Carga 1 q (C)	Carga 2 Q (C)
	1×10^{-4}	3×10^{-9}	9×10^{-9}
3×10^{-5}		2×10^{-3}	5×10^{-4}
6×10^{-3}	4×10^{-2}	12×10^{-5}	
9×10^{-4}	2×10^{-3}		4×10^{-7}

3. Realiza una investigación y propón un experimento práctico para mostrar la ley de Coulomb.

Campo eléctrico, energía potencial eléctrica y potencial eléctrico

Aprendizajes: Conoce la noción de campo eléctrico y su importancia en la descripción de la interacción eléctrica. Calcula la intensidad del campo eléctrico en un punto, identificando su dirección, para una o dos cargas. Interpreta cualitativamente diagramas de líneas de campo eléctrico.

Temáticas: 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.

El campo eléctrico

El campo eléctrico (**E**) es una **magnitud vectorial** que se define como la fuerza eléctrica (**F**) por unidad de carga eléctrica (**Q**), esto es

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{Q}$$

En general, una propiedad característica de los campos eléctricos es que existe una función matemática denominada **potencial**, cuyo **gradiente** permite conocer el vector campo eléctrico. Si sustituimos la fuerza de Coulomb en la fuerza eléctrica de la ecuación anterior, es factible conocer la magnitud del campo eléctrico con la expresión:

$$E = \frac{(k q Q / r^2)}{Q} = k q / r^2$$

Esta ecuación permite conocer el campo eléctrico alrededor de una carga puntual a una distancia r de la misma. Las unidades del campo eléctrico se forman con las unidades de la fuerza y la carga eléctrica:

$$[E] = [F] / [Q] = \text{Newton} / \text{Coulomb} (N / C)$$

Para entender el comportamiento de la carga eléctrica, en el siglo XIX el inglés Michel Faraday ideó el concepto de *líneas de fuerza* para explicar la interacción entre las cargas eléctricas.

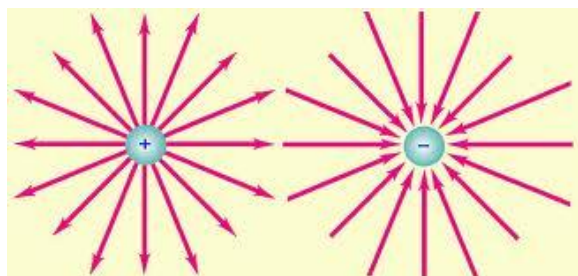


Figura 3. Líneas de campo eléctrico para una carga positiva y otra negativa.

Faraday imaginó que de una carga positiva *salen* las líneas de forma radial, mientras que en una carga negativa dichas líneas *entran* hacia la carga (figura 3). De esta manera, es relativamente fácil explicar el efecto de repulsión entre dos cargas eléctricas del mismo signo.

Ejemplo 1. Calcular el campo eléctrico alrededor de una carga de $1 \times 10^{-7} \text{ C}$, si alrededor de ésta se mide una fuerza de $2 \times 10^{-3} \text{ N}$.

Solución. Utilizamos la ecuación $E = F / q$, con $F = 2 \times 10^{-3} \text{ N}$ y $q = 1 \times 10^{-7} \text{ C}$

$$E = F / q = (2 \times 10^{-3} \text{ N}) / (1 \times 10^{-7} \text{ C}) = 2 \times 10^4 \text{ N/C}$$

Ejemplo 2. Obtener la magnitud del campo eléctrico a una distancia de $1 \times 10^{-6} \text{ m}$ de un electrón. La carga eléctrica del electrón es de $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

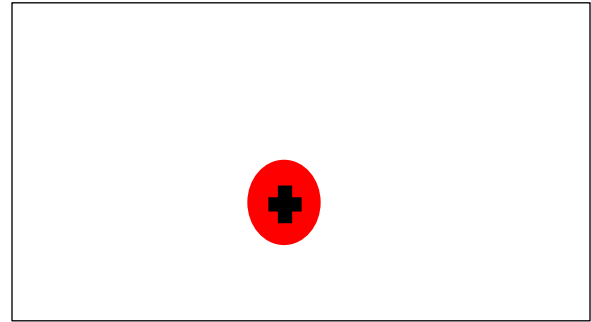
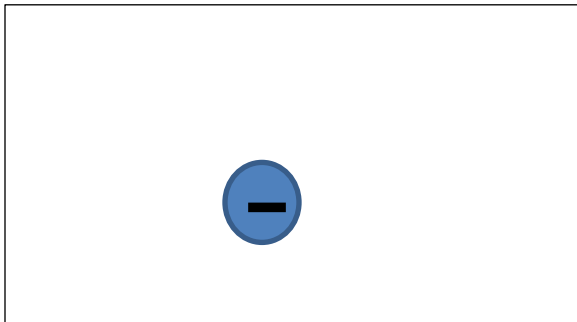
Solución. En este caso $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ y $r = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$. Al sustituir los valores anteriores en la ecuación del campo eléctrico, queda

$$E = \frac{(8.988 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2) (-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(1 \times 10^{-6} \text{ m})^2} = 1438.08 \text{ N}$$

Actividades de aprendizaje

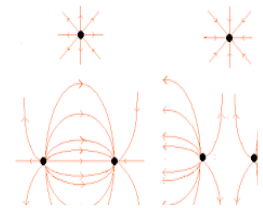
1. Calcular el campo eléctrico alrededor de una carga puntual formada por 18 cuatrillones de electrones a una distancia de $0.986 \times 10^{-3} \text{ m}$.

2. Realicen el trazado de las líneas de campo eléctrico y las líneas equipotenciales para las siguientes cargas eléctricas:



3. Completa la tabla.

Carga eléctrica $q(\text{C})$	Distancia $r \text{ (m)}$	Campo eléctrico $E \text{ (N/C)}$
9×10^{-5}	0.28×10^{-4}	
7×10^{-8}	4.3×10^{-2}	6×10^5
	3×10^{-6}	2.1×10^8
5×10^{-6}		9000



Aprendizaje: Comprende que la energía del campo eléctrico se puede aprovechar para realizar trabajo sobre las cargas eléctricas.

Temática: Trabajo, energía potencial en el campo eléctrico y potencial eléctrico para configuraciones sencillas.

Energía potencial eléctrica y potencial eléctrico

Una carga eléctrica sobre un campo eléctrico, posee por este hecho una cantidad de energía relacionada con la intensidad de aquél. La experiencia nos indica que entre más lejos de un campo eléctrico se sitúe una carga, menor habrá de ser la influencia que ésta experimente debido a la interacción eléctrica. En cambio, si la carga se ubica a una distancia menor, aumentan sobre ella los efectos de la interacción eléctrica.

De manera análoga, a la *energía potencial gravitacional*, en la electricidad se define una **energía potencial eléctrica**, la cual depende de la posición de la carga sobre un campo eléctrico, o de manera más precisa, a lo largo de una de las líneas de campo. Matemáticamente, lo anterior se expresa como una función matemática

$$U = U(r)$$

Siendo U la energía potencial eléctrica y r la posición de la carga. $U(r)$ se lee así: U –la energía potencial eléctrica– es función de la posición (r).

Si en un campo eléctrico nos fuera dable colocar una carga eléctrica en dos posiciones diferentes, encontraríamos que a cada posición le corresponde una energía potencial distinta.

Existe una magnitud que cuantifica la energía potencial en un punto del espacio por unidad de carga; se trata del potencial eléctrico (V), el cual se define como

$$V = U / q$$

Aquí U es la energía potencial y q el valor de la carga eléctrica. Las unidades del potencial eléctrico se derivan de las unidades de la energía potencial eléctrica y de la carga eléctrica

$$[V] = [U] / [q] = \text{Joule} / \text{Coulomb} = \mathbf{Volt}$$

Ahora bien, si suponemos que la carga se desplaza de un lugar a otro modificando su energía potencial eléctrica de U_i a U_f , entonces dicho cambio equivale a la realización de un **trabajo** (W), o sea

$$W = U_f - U_i$$

Dado que $U = qV$, entonces podemos escribir:

$$U_f = qV_f \quad \text{y} \quad U_i = qV_i$$

Por lo tanto

$$W = q(V_f - V_i) = q\Delta V$$

Así, el trabajo realizado al desplazar una carga sobre el campo eléctrico es proporcional a la magnitud de ésta y a la diferencia de potencial aplicada. Haciendo una analogía con el trabajo efectuado por la **energía potencial**, la carga hace la función del peso y la diferencia de potencia equivale a la altura.

Alrededor de una carga eléctrica se trazan las llamadas *líneas equipotenciales*, que representan curvas cerradas donde el potencial eléctrico (V) tiene un mismo valor.

Ejemplo 1. Calcular la energía potencial eléctrica de una carga de $6 \times 10^{-6} \text{ C}$ que viaja sobre una línea de alta tensión sometida a una diferencia de potencial de 400, 000 Volts.

Solución. Despejamos U , considerando que $q = 6 \times 10^{-6} \text{ C}$ y $V = 400, 000 \text{ Volts}$

$$U = qV = (6 \times 10^{-6} \text{ C})(400, 000 \text{ V}) = 2.4 \text{ J}$$

Ejemplo 2. ¿Qué trabajo se necesita para mover un electrón una distancia de $4 \times 10^{-3} \text{ m}$, si éste se encuentra en una región donde el campo eléctrico tiene un valor de $4\,000 \text{ N/C}$? ¿Cuál es la diferencia de potencial experimentada por el electrón?

Solución. Primeramente empleamos la ecuación (18) para $q = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $r = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$ y $E = 4\,000 \text{ N/C}$.

$$W = q(E \Delta r) = (-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(4\,000 \text{ N/C})(4 \times 10^{-3} \text{ m}) = -2.56 \times 10^{-18} \text{ Nm} = -2.56 \times 10^{-18} \text{ J}$$

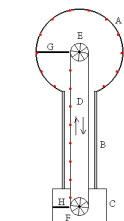
Para la diferencia de potencial se considera que $q = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ y $E = 4000 \text{ N/C}$

$$\Delta V = (E \Delta r) = (4000 \text{ N/C}) (4 \times 10^{-3} \text{ m}) = 16 \text{ J/C} = 16 \text{ V}$$

Actividades de aprendizaje

1. Calcular la energía potencial eléctrica de una carga de $9 \times 10^{-6} \text{ C}$ que viaja sobre una línea de alta tensión sometida a una diferencia de potencial de 2000000 Volts.

2. ¿Qué trabajo se necesita para mover un trillón de electrones una distancia de $2 \times 10^{-6} \text{ m}$, si éste se encuentra en una región donde el campo eléctrico tiene un valor de 20000 N/C ? ¿Cuál es la diferencia de potencial experimentada por el conjunto de electrones?



3. En un generador Van der Graaff se pueden alcanzar voltajes de 10, 000, 000 de Volts o más. Suponiendo que el generador se comporta como una carga puntual, ¿cuánto vale la intensidad del campo eléctrico a 10 cm del generador? ¿Y a 40 cm?

Corriente eléctrica y diferencia de potencial

Aprendizaje: Explica que la corriente eléctrica se genera a partir de la diferencia de potencial eléctrico.

Temática: Corriente eléctrica directa y diferencia de potencial.

La corriente eléctrica

Existen diferentes situaciones en las que nos topamos con la corriente eléctrica: los contactos de la casa, los cables de conexión, la batería del automóvil, la pila y el cargador del teléfono celular, etc. Hay otros fenómenos naturales en los que percibimos la transferencia de carga eléctrica de un lugar a otro, como es el caso de los relámpagos.

La transferencia o movimiento de la carga eléctrica se relaciona con el concepto de corriente eléctrica y se da cuando existe un potencial eléctrico, el cual es el responsable de dicho movimiento. De manera más exacta, la *intensidad de la corriente eléctrica* (I), o simplemente corriente eléctrica, se define como el cambio experimentado por la carga eléctrica (Δq) en un intervalo de tiempo (Δt). Es decir:

$$I = \Delta q / \Delta t$$

Si la carga se mide en *Coulomb* y el tiempo en *segundos*, la unidad de medición de la corriente eléctrica es:

$$[I] = [\Delta q] / [\Delta t] = \text{Coulomb} / \text{segundo} = \text{C/s} = \text{A (Ampère)}$$

La corriente eléctrica es una de las magnitudes fundamentales de la Física. El *Ampère* es la intensidad de corriente eléctrica entre dos conductores paralelos de longitud infinita que, separados en el vacío a una distancia de un metro, producen una fuerza de 2×10^{-7} Newton por metro de longitud.

Por convención, se considera que las cargas positivas se mueven en el sentido de la corriente eléctrica, mientras que las cargas negativas se desplazan en forma contraria a ésta (figura 4).

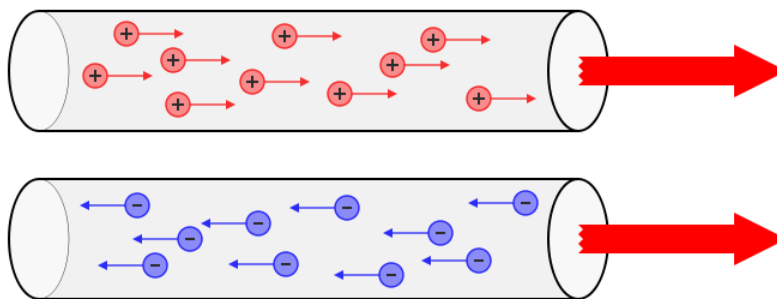


Figura 4. El sentido de la corriente eléctrica y el movimiento de las cargas eléctricas.

Ejercicio 1. A las 15 hrs., en un laboratorio se mide en un filamento de cobre una carga eléctrica de 1.6 C. Si a las 15 hrs. 25 min., la carga sobre el filamento es de 6.8 C, ¿cuál es el valor de la corriente eléctrica que ha circulado en el material?

Solución. Usamos la ecuación:

$$I = \Delta q / \Delta t = (6.8 \text{ C} - 1.6 \text{ C}) / (15 \text{ h } 25 \text{ m} - 15 \text{ hrs}) = 5.2 \text{ C} / 25 \text{ m} = 5.2 \text{ C} / 1500 \text{ s}$$

$$I = 3.47 \times 10^{-3} \text{ A} = 3.47 \text{ mA}$$

Ejercicio 2. Una batería recargable conectada a un cargador recibe una corriente de 200 mA durante 1 hora, ¿qué cantidad de carga eléctrica se ha depositado en la batería?

Solución. Despejamos Δq de la ecuación de la corriente eléctrica:

$$\Delta q = I \Delta t = (200 \times 10^{-3} \text{ A}) (3600 \text{ s}) = 720 \text{ A.s} = 720 \text{ C}$$

Actividades de aprendizaje

1. Encuentra el valor de la corriente eléctrica si en una zona de potencial eléctrico se transfieren 300 C en 2×10^{-3} s.
2. ¿Cuánta carga eléctrica puede acumular una pila recargable que tiene impresa en su carcasa el valor de 3000mAh?

Aprendizajes: Clasifica los materiales de acuerdo con su facilidad para conducir corriente eléctrica. Comprende la relación entre las variables que determinan la resistencia de un conductor.

Temática: Resistencia eléctrica. Conductores y aislantes.

Conductores, aislantes y semiconductores

Por experiencia personal sabes que no todos los materiales son adecuados para conducir la electricidad. El plástico, la madera, el corcho, algunas cerámicas, etc. no son empleadas para conducir la electricidad y hasta pueden servir como *aislantes* eléctricos. En cambio, los metales –cobre, aluminio, hierro, etc.- son utilizados en las instalaciones eléctricas porque son buenos *conductores* de la electricidad.

Las propiedades eléctricas de la materia se encuentran intrínsecamente relacionadas con el número de electrones que los átomos posean en su última capa, es decir, con los **electrones de valencia**.

Para comprender lo anterior, revisemos la configuración electrónica de un material que sea *conductor* de la electricidad y de otro que sea *aislante*. En la figura 5 está representada dicha configuración para un átomo de cobre, mientras que en la figura 6 se da la configuración para un átomo de cloro.

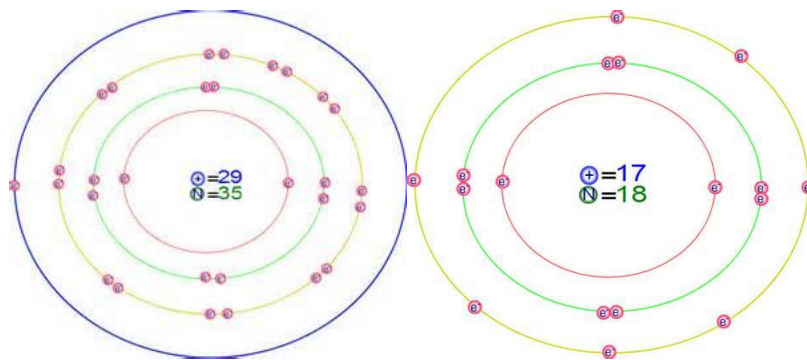


Figura 5. Configuración electrónica del cobre.

Figura 6. Configuración electrónica del cloro.

Observa que el cobre –buen conductor– solamente tiene un electrón en la última capa, pero el cloro –un aislante– posee siete electrones de valencia. Si se aplicara una misma diferencia de potencial a ambos elementos, sería más fácil mover el único electrón del cobre que los siete electrones del cloro. Así, los materiales como el cobre tienden a perder sus electrones en presencia de campos eléctricos de mediana intensidad. En cambio, materiales como el cloro difícilmente pierden electrones ante los campos eléctricos y, por el contrario, tienden a ganar electrones en su última capa.

En términos generales, podemos clasificar los materiales del siguiente modo:

- ❖ **Conductores.** Cuando los elementos poseen menos de cuatro electrones de valencia.
- ❖ **Aislantes.** Si los elementos tienen más de cuatro electrones de valencia.

Ahora bien, cabe hacer una precisión. Probablemente has visto, escuchado o leído que ante descargas eléctricas de alto voltaje, materiales aislantes como la madera, el hule, etc. *conducen* la electricidad. Lo anterior se debe a que, si el campo eléctrico es muy intenso, vence el campo electrostático de los electrones de la última capa y a través del material se presenta un intenso movimiento de cargas que se manifiesta como una corriente eléctrica. De esta manera, los términos *conductor* y *aislante* no son absolutos; su límite de aplicación está en función del orden de magnitud de los campos eléctricos involucrados.

Existen algunos elementos que podemos considerar con propiedades intermedias, es decir, que no son enteramente conductores o aislantes. Nos referimos a los elementos – como el silicio y el germanio- que poseen cuatro electrones de valencia. Éstos reciben la denominación de *semiconductores*, pues en ciertas circunstancias se comportan como aislantes y en otras como conductores de la electricidad. Los semiconductores son muy empleados en la electrónica y en multitud de dispositivos tecnológicos actuales (figura 7). Una de sus aplicaciones es como rectificador; dependiendo de cómo se conecte en un circuito, sólo deja pasar la parte positiva o la negativa de una señal de corriente directa o alterna.



Figura 7. Diferentes tipos de semiconductores.

Actualmente los semiconductores de Silicio son la base para la fabricación de componentes electrónicos, en la electrónica de consumo, en las telecomunicaciones, en las comunicaciones para la defensa, en los ordenadores y periféricos, en la electrónica industrial y en la electrónica médica, entre otras.

Resistencia eléctrica

Aún entre los materiales que conducen la electricidad, encontramos algunas diferencias. ¿Te has preguntado alguna vez cuál es la razón de utilizar el cobre en las instalaciones eléctricas? ¿Por qué no usar, por ejemplo, el hierro o el aluminio? Las respuestas a estas interrogantes se relacionan con los electrones de valencia que poseen los elementos, pero también de otras características específicas.

El hierro posee dos electrones en su última capa, mientras que el aluminio tiene tres. Así, el trabajo necesario para “arrancar” (**ionizar**) al cobre es menor –porque solamente posee un electrón- que el trabajo que debe invertirse para hacer lo mismo con el hierro o con el aluminio.

Como la diferencia de potencial es proporcional al campo eléctrico, a los elementos con más electrones de valencia se les tiene que aplicar un campo eléctrico más intenso para provocar el movimiento de cargas, o sea, la corriente eléctrica.

La propiedad que mide esa “oposición” a que sobre un material circule corriente eléctrica se denomina resistencia eléctrica. Esta magnitud se mide en *Ohms* (Ω). Más adelante, cuando estudiemos la ley de Ohm, veremos de qué magnitudes se deriva.

La resistencia eléctrica depende (figura 8) de las dimensiones del conductor (su longitud L y el área de su sección transversal A), además de un parámetro denominado *resistividad* (ρ) el cual se determina experimentalmente y es constante para una temperatura dada.

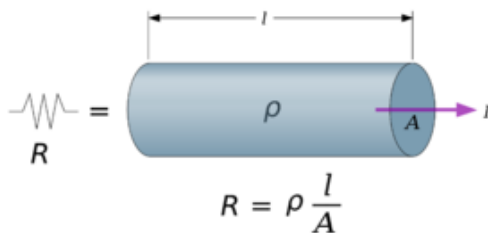
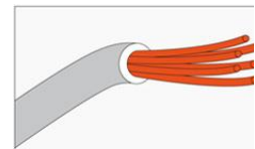


Figura 8. Magnitudes de las que depende la resistencia eléctrica

Para ilustrar lo antedicho, en la siguiente tabla se indica la resistividad de diferentes materiales a 20°C.

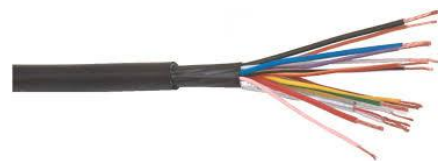
MATERIAL	RESISTIVIDAD (Ωm)
PLATA	1.6×10^{-8}
COBRE	1.7×10^{-8}
ALUMINIO	2.8×10^{-8}
HIERRO	10×10^{-8}
GERMANIO	4.6×10^{-1}
SILICIO	2.5×10^{-1}
MADERA	10^{10}
CAUCHO	10^{12}

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE



1. ¿Cuál es la resistencia eléctrica de 1000 m de alambre de cobre cilíndrico que tiene 0.04 m de diámetro?

2. Un alambre de plata tiene una longitud de 1 m y un diámetro de 0.5 cm. Encuentra su resistencia eléctrica.



3. Completa la tabla.

Resistencia eléctrica R (Ω)	Longitud l (m)	Área A (m^2)	RESISTIVIDAD (Ωm)
145	10	0.07	

12		0.6	4.6×10^{-1}
150	0.6		267×10^{-3}
	0.05	0.005	10

4. Expresa algunos usos y aplicaciones de los: a) conductores, b) aislantes y c) semiconductores.

Aprendizajes: Demuestra experimentalmente la relación que existe entre la corriente y el voltaje en un resistor (ley de Ohm). Aplica la Ley de Ohm.

Temáticas: Ley de Ohm. Circuitos con resistores: serie, paralelo y mixtos.

Ley de Ohm

Alrededor del año 1827, George Simon Ohm publicó un artículo titulado “El circuito galvánico investigado matemáticamente”, en el cual dio cuenta de sus experimentos realizados con pilas voltaicas y alambre. En este trabajo encontró la relación entre la diferencia de potencial y la intensidad de la corriente eléctrica. Una forma de enunciar el principio descubierto por Ohm es la siguiente:

“La diferencia de potencial (V) es directamente proporcional al producto de la intensidad de la corriente eléctrica (I) y la resistencia eléctrica (R).”

A este aserto se le conoce como *ley de Ohm* y matemáticamente se escribe así:

$$V = R I$$

Aquí V es la diferencia de potencial (también denominada como voltaje), R el valor de la resistencia eléctrica del material e I la corriente eléctrica que circula sobre éste. En las siguientes líneas efectuaremos un experimento para comprobar esta relación. La unidad de medición de la resistencia eléctrica que se deriva de esta ecuación es el Ohm (Ω). [$1 \Omega = 1 \text{ Volt} / 1 \text{ Ampere}$].

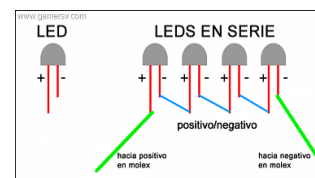
Ejemplo 1. Odet compró una resistencia de 12Ω para su cafetera eléctrica. ¿Cuánto vale la corriente eléctrica en el aparato si lo conecta a una toma de 120 volts.

Solución. Despejamos I de la ley de Ohm, con $V = 120 \text{ volts}$ y $R = 12 \Omega$:

$$I = V / R = 120 \text{ V} / 12 \Omega = 10 \text{ A}$$

Conexiones de resistores en serie, paralelo y mixto

En diferentes aplicaciones cotidianas encontramos conexiones en serie, en paralelo o mixtas. Ejemplo de las primeras son las luces navideñas de focos convencionales o de LED. Las conexiones en paralelo se encuentran en talleres, laboratorios o fábricas que requieren varias lámparas para la iluminación.



Una conexión en serie consiste en conectar dos o más resistores de tal modo que compartan una sola terminal (figura 9). En este arreglo cada resistor posee un valor determinado de resistencia (R_1 y R_2), pero es factible obtener una resistencia equivalente.

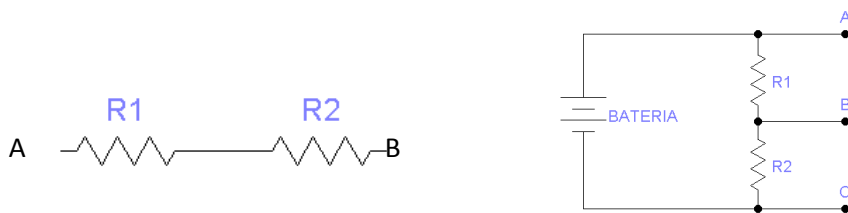


Figura 9. Una conexión en serie.

Figura 10. El circuito divisor de voltaje

Para conocer el valor de la resistencia equivalente de este arreglo nos auxiliaremos con la ley de Ohm. Imagina que conectamos una batería al arreglo de resistores R_1 y R_2 (figura 10). Este circuito se conoce como divisor de voltaje, pues el voltaje o diferencia

que se logra sobre cada resistor (V_1 y V_2) es inferior al voltaje de la batería (V) que alimenta el circuito. No obstante, por lógica –y es posible demostrarlo experimentalmente– el voltaje de la batería es igual a la suma de los voltajes sobre los resistores R_1 y R_2 , es decir

$$V = V_1 + V_2$$

Pero la corriente eléctrica sobre el circuito (I) es la misma sobre la totalidad del circuito y sobre cada resistor. Por lo tanto, según la ley de Ohm, podemos escribir las siguientes relaciones:

$$V = R I, V_1 = R_1 I \text{ y } V_2 = R_2 I$$

Combinando las dos expresiones, queda:

$$R I = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I$$

Al simplificar, resulta

$$R = R_1 + R_2$$

Es decir, en un arreglo de dos resistores en serie, la resistencia total o equivalente es igual a la suma del valor de la resistencia de cada uno de ellos. Es factible generalizar el resultado para cualquier número de resistores. Así, **en un arreglo de resistores en serie, la resistencia total se obtiene sumando los valores de la resistencia de cada uno de los resistores que forman el arreglo**. Para n resistores conectados en serie, la resistencia total es

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Otra forma de conectar los resistores es en paralelo. En esta conexión, los resistores comparten sus dos terminales (figura 11). Como en la situación anterior, también se puede obtener un valor de la resistencia equivalente en términos de los resistores R_1 y R_2 . Para hacer esto analizaremos la situación con ayuda de un circuito **divisor de corriente** (figura 12).

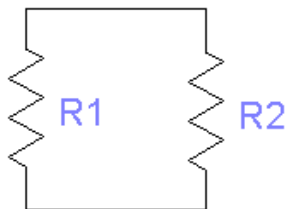


Figura 11. Conexión en paralelo.

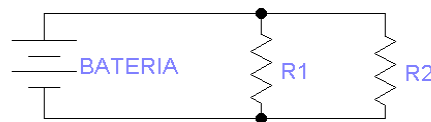


Figura 12. El divisor de corriente.

En el circuito divisor de corriente, la tensión o voltaje en los extremos de R_1 y R_2 es igual, pero la corriente que circula por los resistores no es la misma, pues depende del valor de la resistencia que atraviesa. O sea, la corriente total en el circuito (I) se divide en dos: la corriente sobre el resistor R_1 y la corriente a través del resistor R_2 . Lo anterior se escribe así:

$$I = I_1 + I_2$$

De acuerdo con la ley de Ohm, y dado que el voltaje es el mismo, tenemos:

$$I = V / R, \quad I_1 = V / R_1 \quad \text{y} \quad I_2 = V / R_2$$

Usando estas expresiones en la ley de Ohm resulta

$$V / R = V / R_1 + V / R_2$$

Simplificando, se tiene

$$1 / R = 1 / R_1 + 1 / R_2$$

De lo anterior se desprende que, en una conexión de dos resistores en paralelo, el valor inverso de la resistencia total o equivalente es igual a la suma de los inversos de las resistencias de cada resistor. Este resultado es posible generalizarlo para un número n de resistores. Así, la resistencia equivalente para n resistores conectados en paralelo es

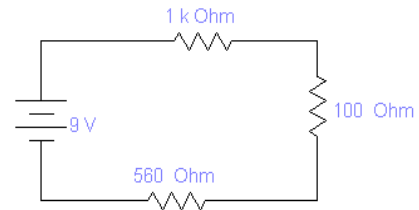
$$R = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n)$$

O sea, la resistencia equivalente de un arreglo de n resistores conectados en paralelo es igual al inverso **de la suma de los valores inversos de las resistencias de cada resistor**.

En un circuito de resistores **mixto** existen conexiones tanto en serie como en paralelo.

Actividades de aprendizaje

1. Una batería de 9 Volts se conecta al circuito mostrado en la figura. Encontrar:

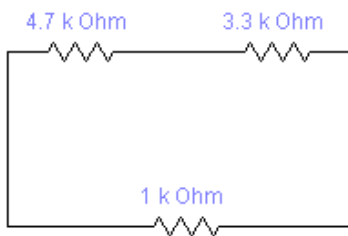


a) el valor de la resistencia equivalente;

b) la corriente total; y

c) el voltaje sobre cada resistor.

2. Obtén la resistencia equivalente en los dos circuitos que se presentan abajo.



3. Estrella tiene 4 resistores de 4.7, 6.8, 10 y 15 Ω . Encuentra el valor de la resistencia equivalente cuando ella realiza con los cuatro resistores: a) una conexión en serie, b) una conexión en paralelo.

4. Con los valores anteriores, obtén una resistencia equivalente de 17.5 y otra cercana a 35 Ω

Aprendizaje: Aplica el concepto de potencia eléctrica en resistores.

Temática: Potencia eléctrica.

Potencia eléctrica

Analicemos el circuito de la figura 13, el cual posee una batería, un resistor y un LED. Este último se enciende cuando la batería conectada suministra una determinada cantidad de energía; si la batería no posee la energía suficiente para llevar la carga hasta el LED, sencillamente éste permanecerá apagado. En particular, en los leds no solamente se requiere determinada corriente eléctrica para que brillen, sino también un cierto voltaje (alrededor de 1.2 Volts en los LEDs de 5 milímetros).

Tomemos como referencia el circuito de la figura 13. Mientras no se conecte la batería, la carga eléctrica no se desplazará por el circuito eléctrico y el LED no se encenderá. Ahora bien, al conectar la batería, la carga eléctrica comenzará a circular por el circuito (figura 14) y, si aquella tiene el nivel adecuado de voltaje y corriente, el LED se encenderá.

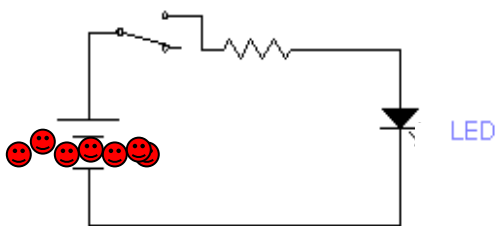


Figura 13. Sin movimiento de cargas.

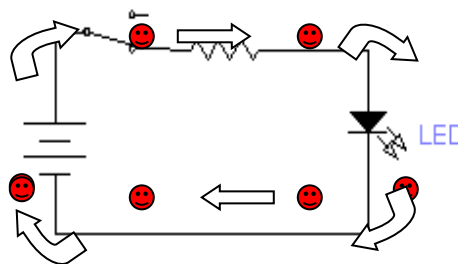


Figura 14. Con movimiento de cargas.

Lo anterior implica que se debe realizar un trabajo para poder desplazar una determinada cantidad de carga a través del circuito. Se denomina *fuera electromotriz* (ε) al trabajo

empleado (W) para provocar un cambio en la cantidad de carga (Δq) a lo largo de un circuito, esto es

$$\varepsilon = W / \Delta q$$

Si recuerdas, en la asignatura de Física I se definió la potencia como el cambio en el trabajo por unidad de tiempo, es decir

$$P = W / \Delta t$$

Rescribiendo el trabajo, como $W = \varepsilon \Delta q$ y sustituyendo en la ecuación anterior, queda

$$P = W / \Delta t = (\varepsilon \Delta q) / \Delta t = \varepsilon (\Delta q / \Delta t)$$

De acuerdo con la definición de la corriente eléctrica ($I = \Delta q / \Delta t$), la expresión para la potencia eléctrica se puede escribir así:

$$P = \varepsilon I$$

La *fuerza* electromotriz (ε) es equivalente al voltaje o diferencia de potencial (V). Por esta razón, la potencia también se escribe así:

$$P = V I$$

La unidad de la potencia (Watt) resulta del producto de la unidad del voltaje o diferencia de potencial (Volt) por la unidad de la corriente eléctrica (Ampere).

Ahora bien, en virtud de la ley de Ohm: $V = R I$, podemos rescribir la ecuación anterior como

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

Finalmente, es posible calcular la energía eléctrica a través de un circuito multiplicando la potencia por el intervalo de tiempo que dura el desplazamiento de cargas, es decir

$$E = (V I) \Delta t$$

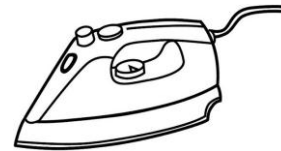
Ejemplo 1. El fabricante de una plancha reporta, en el manual de instrucciones, que el aparato funciona con 120 Volts y alcanza una corriente máxima de 10 Amperes.

a) ¿Cuál es la potencia de la plancha? b) ¿Cuánta energía consume en un mes si se utiliza durante 15 minutos diarios? c) ¿Cuál es el costo de operación mensual de la plancha?

Solución:

a) Usando la ecuación de la potencia eléctrica, se tiene

$$P = (120 \text{ V}) (10 \text{ A}) = 1200 \text{ W}$$



Es la potencia de la plancha.

b) Dado que 15 minutos equivale a 0.25 horas y, si consideramos un mes de 30 días, entonces $\Delta t = 0.25 \times 30 = 7.5 \text{ h}$. Sustituyendo los valores de Δt y P en la ecuación de la energía eléctrica, resulta:

$$E = (1200 \text{ W}) (7.5 \text{ h}) = 9,000 \text{ Wh} = 9 \text{ kWh}$$

El kilowatt-hora (kWh) es una unidad muy empleada para calcular el consumo de energía eléctrica en la industria y el hogar.

c) Consulta el recibo emitido por la compañía de luz que suministra la energía eléctrica a tu casa. Calcula el costo del kilowatt-hora dividiendo la cantidad de dinero cobrada entre el consumo total:

$$c = \$ \text{ kilowatt} = \frac{\text{dinero}}{\text{consumo}} = \$ \text{_____}$$

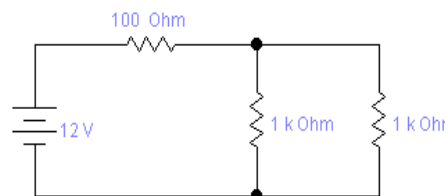
Multiplica esta cantidad por la energía consumida por la plancha y obtendrás el costo mensual (c_m) del aparato:

$$c_m = c E = \text{_____} = \$ \text{_____}$$

Actividades de aprendizaje

1. Para el circuito de la figura adjunta, encontrar:

a) la corriente total en el circuito;



b) la potencia total; y

c) la energía consumida si se le deja encendido durante tres horas.

2. Completa la siguiente tabla.

Voltaje V (Volts)	Resistencia eléctrica R (Ω)	Corriente eléctrica I (A)	Potencia eléctrica P (W)	Tiempo T (h)	Energía E (kWh)
14	2			0.25	
120		5			1200
	8	1.5		0.79	
5	1000				0.15

3. Encuentra la potencia de un tostador eléctrico que funciona con una resistencia de 8Ω , cuando circula a través de ésta una corriente eléctrica de 600 mA.



Aprendizajes: 1. Comprende que la energía eléctrica se transforma en otras formas de energía. 2. Reconoce la importancia del uso racional de la energía eléctrica.

Temáticas: 1. Transformaciones de la energía eléctrica. Efecto Joule. 2. Uso de energía eléctrica en el hogar y la comunidad, medidas de higiene y de seguridad.

La energía eléctrica y sus transformaciones

Nuestra vida cotidiana depende mucho de los usos directos o indirectos de la energía eléctrica (figura 15): iluminación (mediante lámparas fluorescentes o incandescentes, focos); calefacción (hornos eléctricos y de microondas, tostadores, parrillas);

entretenimiento (radios, televisores, equipos de audio, videojuegos); comunicación (teléfonos celulares, computadoras, impresoras, fax,); limpieza (aspiradoras, pulidores, lavadoras, secadoras); transporte (metro, tren ligero, trolebús); conservación (refrigeradores, incubadoras); economía (cajeros automáticos, banca electrónica, dispensadores automáticos de boletos) y seguridad (alarmas, cercas electrificadas, semáforos).

Si a lo anterior le sumamos los dispositivos o tecnologías que poseen una fuente autónoma de energía para su funcionamiento nuestra dependencia con la energía eléctrica y sus diferentes transformaciones es muy alta. Mencionemos algunos dispositivos que usan la energía eléctrica que les proporciona una batería: teléfonos celulares, *walkman*, *discman*, calculadoras, relojes de cuarzo, cámaras fotográficas automáticas o digitales, agendas electrónicas, lámparas, computadoras portátiles, etc.



Figura 15. Usos más comunes de la energía eléctrica en el hogar.

En la industria, la medicina, la milicia, la escuela y la sociedad en general, los desarrollos científicos y tecnológicos obligan a los Estados a generar –o comprar- energía eléctrica en cantidades enormes. Para las naciones pobres sin divisas ni fuentes para generar dicha energía, lo anterior representa un gasto considerable que limita su propio desarrollo pues no le es posible destinar esos recursos para educación, bienestar social, infraestructura básica, etc. Sin embargo, las naciones con capacidad para comprar o generar dicha energía contribuyen a una explotación a veces no muy racional de los recursos naturales, lo cual acarrea un deterioro ecológico en la tierra, la atmósfera o el agua.

La energía eléctrica es muy versátil porque puede transformarse en:

- Energía luminosa o radiante.
- Energía calorífica
- Energía mecánica.
- Energía química.
- Energía sonora

Existen normativas para las instalaciones eléctricas y medidas de seguridad para el manejo de aparatos, dispositivos o tecnologías que funcionen con electricidad.

Efecto Joule

Por experiencia, sabemos que muchos aparatos *se calientan* (incrementan su temperatura) después de cierto tiempo de operación. Hay varios ejemplos como los cables de un equipo de audio de gran potencia, las computadoras, los motores, la plancha, etc. En el Siglo XIX, James Joule descubrió que “la cantidad de energía calorífica generada por una corriente eléctrica a través de un resistor, es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente eléctrica”. Esta cantidad de calor se escribe como el producto de la potencia eléctrica (P) y el tiempo (t):

$$Q = P t = I^2 R t$$

Al aserto anterior se le conoce como *efecto Joule*.

Por ejemplo, si la corriente eléctrica que circula por un resistor se duplica, la cantidad de calor se cuadriplica. Este efecto lo tienen en cuenta los diseñadores para evitar que los equipos se dañen o se sobrecalienten por efecto de la corriente eléctrica.

Ejemplo 1. Encontrar la potencia de disipación y la energía de un resistor de 100Ω , por el que circula una corriente eléctrica de 0.5 A durante 1 hora .

Solución. Como $I = 0.5 \text{ A}$ y $R = 100 \Omega$, la potencia eléctrica es

$$P = I^2 R = (0.5 \text{ A})^2 (100 \Omega) = 25 \text{ W}$$

La energía es

$$E = P t = (25 \text{ W}) (1 \text{ h}) = 25 \text{ Wh} = 0.025 \text{ kWh}$$

Actividades de aprendizaje

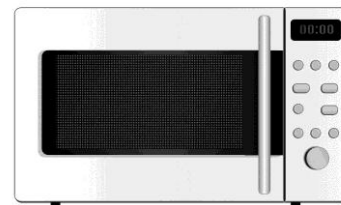
1. Completa la tabla

Transformación de la energía eléctrica en energía:	Luminosa o radiante	Calorífica	Mecánica	Química	Sonora
Ejemplos:					

2. Investiga la Norma Oficial Mexicana (NOM) sobre instalaciones eléctricas y describe brevemente de qué trata (http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280607&fecha=29/11/2012)

3. Panchito tiene un resistor de 8Ω con una potencia de disipación de 60 W. ¿Qué corriente eléctrica máxima soporta? ¿Soportará el resistor una corriente eléctrica de 3 A? ¿Qué podría hacer Panchito para que el resistor no se quemara o dañara con corrientes ligeramente superiores al límite?

4. Encuentra la energía de un horno de microondas que tiene una potencia de operación de 1000 W al funcionar durante 3 minutos.



Fenómenos electromagnéticos

Aprendizaje: Identificará cualitativamente el magnetismo como otra forma de interacción de la materia.

Temática: Propiedades generales de los imanes y magnetismo terrestre.

Imanes

Actualmente los imanes tienen muchas aplicaciones: para construir brújulas, motores, generadores, sensores, entre otros. El uso más antiguo que se conoce es en forma de aguja imantada o brújula. Durante la dinastía Sung (960-1279), los chinos la construyeron para ayudarse en la orientación durante sus viajes terrestres o marinos. Shen Kua, alrededor del año 1086, realizó la primera descripción de este dispositivo: se frotaba una aguja contra una piedra imán y luego aquella se colgaba de un hilo, indicando entonces hacia el norte (y en ocasiones hacia el sur). Posteriores desarrollos de esta idea llevaron a la fabricación de brújulas más idóneas para la navegación.

Los griegos también realizaron investigaciones sobre el magnetismo. En su *Historia natural*, Plinio describe con sorpresa la capacidad para atraer los objetos de hierro de una roca traída de la entonces provincia griega de Magnesia (en la actual Turquía). De aquí tomaron su nombre los *imanes* o *magnetos*. En su obra *De rerum natura*, Tito Lucrecio Caro (¿98?-55 a.C.) expuso en versos la doctrina de Epicuro. Para aquél, el magnetismo es similar a una emanación que rarifica el aire, atrayendo a los materiales internamente muy “unidos” (como el hierro).

En el siglo XVII, los estudios sobre el magnetismo fueron retomados. En el año 1600, William Gilbert publicó una obra denominada *De Magnete*, en la cual recopiló varios estudios referentes al magnetismo. Entre éstos destaca el fenómeno de declinación magnética descubierto por Robert Norman. Gilbert elaboró un diagrama para mostrar la declinación de una aguja respecto al polo norte.

Actualmente se entiende por **imán** un material con la propiedad de atraer algunos metales como el hierro, el níquel y el cobalto. Los imanes tienen dos **polos**: norte (el que

apunta al norte geográfico de la Tierra) y sur. Existen imanes **naturales** (magnetita, calcetita y pirita) y **artificiales**. Existen imanes especiales como los de Neodimio (figura 16), Samario y Cobalto, o de aleaciones especiales de Aluminio, Níquel y Cobalto.

A nivel atómico, el movimiento de los electrones alrededor del núcleo y su rotación producen un *campo magnético*. Si consideramos a cada electrón como un pequeño imán, en algunos elementos como el hierro, los átomos vecinos refuerzan el campo magnético, creando un **dominio magnético**.



Figura 16. Imanes de Neodimio.

Entre mayor sea el número de dominios dentro de una sustancia o elemento, más susceptible es de magnetizarse en presencia de campos magnéticos externos.

De acuerdo a su facilidad para ser magnetizados, los materiales se clasifican en:

- **Ferromagnéticos.** Son fuertemente atraídos por los imanes y quedan magnetizados. Ejemplos: hierro, níquel y cobalto.
- **Paramagnéticos.** Interaccionan débilmente con los imanes. Ejemplos: aire, magnesio, aluminio, titanio y wolframio.
- **Diamagnéticos.** No son atraídos por los imanes, repelen los campos magnéticos. Ejemplos: agua, bismuto metálico, hidrógeno, helio, cloruro de sodio, cobre oro, silicio, germanio, grafito, bronce y azufre.

Actividades de aprendizaje

1. Investiga en qué consiste la teoría de los dominios magnéticos.

2. Investiga qué unidades se mide el campo magnético y cuál es el valor de esta magnitud en la Tierra.

Aprendizaje: Identificará semejanzas y diferencias entre los campos eléctrico y magnético.

Temática: Campo magnético y líneas de campo.

En la Física es muy útil el concepto de *campo*; hay campos gravitacionales, eléctricos, magnéticos y electromagnéticos. Este concepto permite entender con mayor facilidad muchos fenómenos físicos. Ahora bien, ¿qué es un campo? Al campo se le puede concebir como una zona del espacio en la cual las partículas ejercen acción a distancia que se manifiesta a través de una fuerza y otras propiedades susceptibles de ser cuantificadas. La acción anterior no precisa necesariamente de un medio material, pues también se presenta en el espacio vacío. Como ejemplos, tenemos el campo gravitacional, cuya fuerza es la denominada fuerza de atracción gravitacional. La fuerza de Coulomb es la fuerza asociada a algunas configuraciones del campo eléctrico. Para el campo magnético también existen fuerzas asociadas.

Los campos –sean eléctricos, magnéticos o gravitacionales– poseen algunas propiedades que los hacen semejantes y otras que marcan sus diferencias. En particular trataremos lo relativo a los campos eléctrico y magnético. Veamos primeramente las diferencias y enseguida las semejanzas.

Las diferencias entre los campos eléctricos y los campos magnéticos son:

- a) El campo eléctrico es **conservativo**^{*}, no así el campo magnético.
- b) Las líneas de fuerza del campo eléctrico son **abiertas**, pues comienzan en un punto (ya sea en una *fuentes* o en el infinito) y acaban en otro (en un *sumidero* o en el infinito). En cambio, las líneas del campo magnético son **cerradas**: no hay fuentes ni sumideros (figuras 17 y 18).

* Un campo es conservativo cuando el trabajo necesario para desplazar una partícula de un punto a otro dentro del mismo campo es independiente de la trayectoria seguida entre dichos puntos.

- c) Una consecuencia del punto anterior es que las **fuentes** son las **cargas positivas**, mientras que las **cargas negativas** vienen a ser los **sumideros** (Por esta razón se representan las líneas de fuerza *saliendo* de las cargas positivas y *entrando* a las cargas negativas).
- d) La fuerza eléctrica es **central**, la fuerza magnética no lo es.
- e) La fuerza eléctrica tiene la **misma dirección** del campo eléctrico; la fuerza magnética es **perpendicular** al campo magnético.
- f) El campo eléctrico se deriva de una función escalar denominada **potencial eléctrico**, con la cual es factible construir superficies equipotenciales, es decir, zonas donde el valor del campo eléctrico es el mismo. Por el contrario, **no hay potenciales magnéticos** que permitan calcular la intensidad del campo magnético.

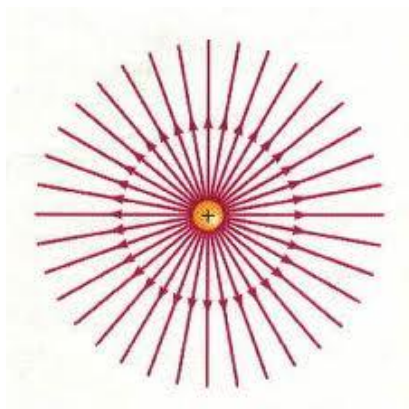


Figura 17. Las líneas del campo eléctrico comienzan en una fuente o un sumidero y son abiertas.

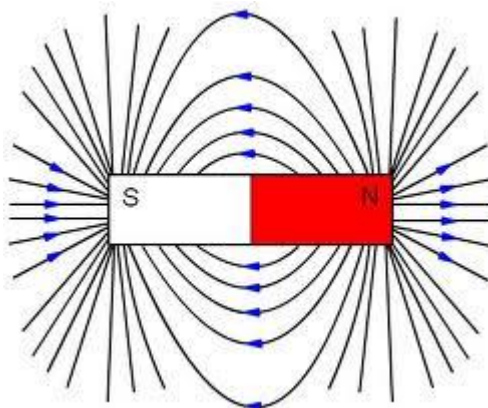


Figura 18. Las líneas del campo magnético son cerradas y no tienen fuentes ni sumideros.

No obstante, también existen semejanzas entre los campos eléctricos y los magnéticos. A saber:

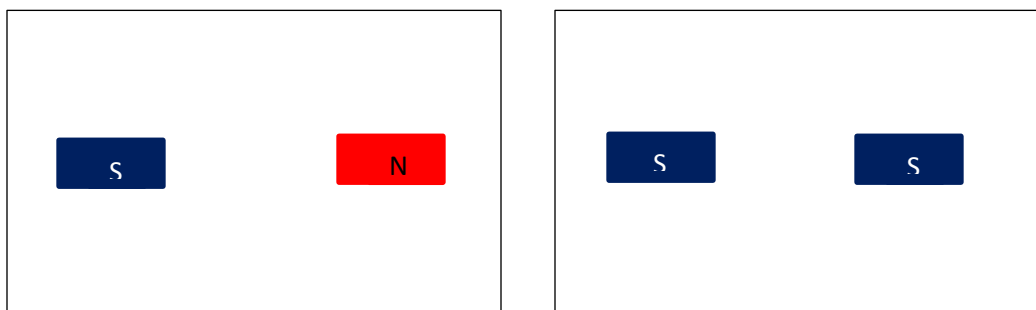
- a) La variación de un campo eléctrico da lugar a un campo magnético. También la variación de un campo magnético da lugar a un campo eléctrico.
- b) Tanto el campo eléctrico como el magnético interactúan con las cargas eléctricas.
- c) Existen los dipolos eléctricos y los dipolos magnéticos.

Existen **monopolos eléctricos** –que son las cargas positiva o negativa– y recientemente se han descubierto los **monopolos magnéticos**** (que son partículas o estados de la materia con la propiedad de tener solamente el polo norte o el sur de un imán).

Actividades de aprendizaje

1. Investiga la definición de campo magnético.

2. Dibujen las líneas de campo magnético en las situaciones indicadas en las figuras.



3. Elabora un mapa conceptual o cuadro sinóptico con las semejanzas y las diferencias entre los campos eléctrico y magnético.

** En la revista *Science* correspondiente al 16 de octubre de 2009, un grupo de investigadores del Centro Helmholtz de Berlín, afirman haber observado por primera vez un monopolo magnético en materiales como el titanato de holmio y el titanato de disprosio.

Aprendizaje: Describirá en forma verbal y gráfica el campo magnético generado en torno de conductores de diferentes formas, por los que circula una corriente eléctrica.

Temática: Relación entre electricidad y magnetismo: experimento de Oesterd.

En 1820, el profesor Oesterd preparó un experimento para sus alumnos de la Universidad de Copenhague. Él sabía que la “electricidad estática” no afectaba de ningún modo a los imanes, pero se le ocurrió conectar una pila de Volta a los extremos de un alambre de platino y ver qué ocurría cuando lo acercaba a una aguja imantada.

El resultado sorprendió a Oesterd: la aguja orientada hacia el norte se desvió. Además, se percató de que la dirección a la cual se desvía depende de cómo se conecte la pila (figura 19).

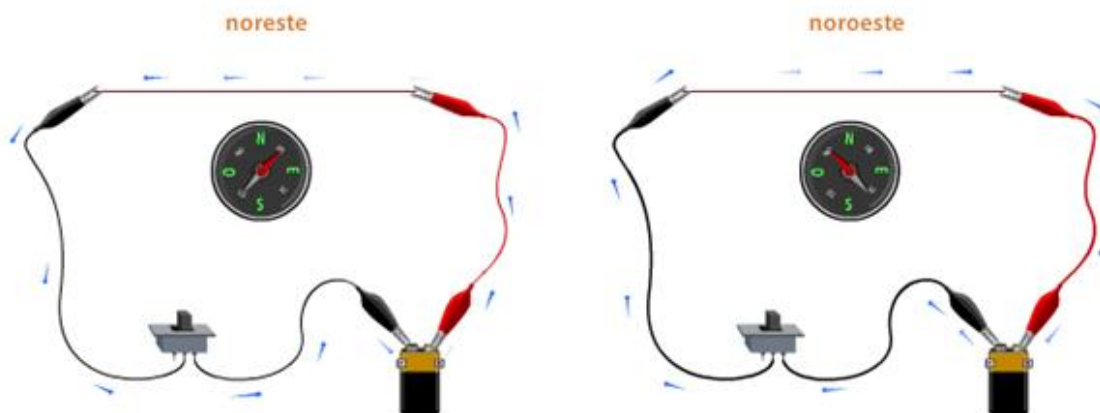


Figura 19. Una versión actual del experimento de Oesterd.

El profesor Oesterd comunicó sus resultados a la comunidad científica en un escrito titulado *Experimenta circa effectum conflictos electrici in acum magneticam*. Para él quedó claro que la corriente eléctrica produce efectos magnéticos.

El resultado del experimento de Oesterd nos impele a pensar que alrededor del conductor eléctrico se genera *algo* de carácter magnético que permite interaccionar con el imán de la brújula, obligándola a deflectarse. Ese *algo* se denomina en la física campo magnético.

Al tratar el concepto de campo eléctrico, encontramos que la dirección del mismo se representa con *líneas de campo*, las cuales nos dan la configuración de las cargas eléctricas en el espacio, ya sea que se encuentren solas o en interacción con otras.

Para el campo magnético hay algo similar; se denominan *líneas de flujo*. A diferencia de las líneas de campo eléctrico, éstas son trayectorias cerradas. Por convención, las líneas de flujo en un imán salen del polo norte y entran por el polo sur del mismo (figura 20).

Tanto las líneas de campo como las líneas de flujo solamente sirven como representaciones con el fin de visualizar, en ese orden, los campos eléctricos y los campos magnéticos.

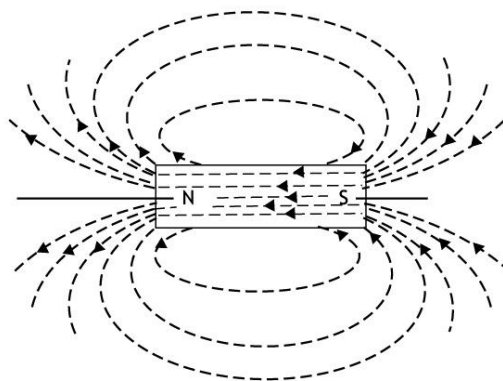


Figura 20. Las líneas de campo magnético en un imán.

Ahora bien, quizá por experiencia directa al jugar con los imanes, nos hemos percatado de que algunos imanes tienen mayor *intensidad* que otros, es decir, algunos pueden atraer objetos de hierro de masa considerable, mientras que otros apenas y se adhieren al hierro. ¿A qué se debe este comportamiento? El concepto de líneas de flujo nos ayudará a responder la interrogante anterior.

Las líneas de flujo nos facilitan comprender qué sucede cuando interactúan dos polos diferentes de un imán y dos polos iguales de un imán.

Se define la **densidad de flujo magnético** —o simplemente **campo magnético**- (B) como el flujo magnético (ϕ) que atraviesa un área (A) perpendicular a la región en la cual está presente el campo magnético. El flujo magnético está relacionado con el número de líneas de flujo. En términos matemáticos:

$$B = \phi / A$$

En el Sistema Internacional, la unidad de medición para el campo magnético es el **Weber** (WB). Por lo tanto, si el área la representamos en metros cuadrados (m^2) la densidad del flujo magnético queda: Weber / m^2 . A esta unidad se le denomina Tesla (T), en honor al inventor de la bobina de inducción. En ocasiones, se utiliza el Gauss (G) para referirse a la densidad del flujo magnético. Un Tesla equivale a 10, 000 Gauss. Así, un imán es más *intenso* o tiene un campo magnético más intenso, si tiene un mayor número de líneas de flujo magnético.

No obstante, el campo magnético alrededor de un imán se ve influido por el medio que lo rodea. Por ejemplo, no se obtiene el mismo patrón de líneas si esparces limadura de hierro alrededor de los imanes que si lo haces con limadura de níquel o de aluminio. ¿Por qué ocurre esto? Los físicos explican tal comportamiento apelando a una propiedad denominada *permeabilidad del medio* (μ). Además, para cuantificar la interacción del campo magnético independientemente de la naturaleza del medio, definen otra cantidad llamada **intensidad del campo magnético** (H). Esta magnitud es igual a la densidad de flujo o campo magnético (B) entre la permeabilidad del medio (μ):

$$H = B / \mu$$

En el vacío, la permeabilidad tiene un valor de $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ T m / A}$.

Conviene definir la permeabilidad de otros materiales (μ) en términos de la permeabilidad del vacío (μ_0). Para lo anterior se introduce el término *permeabilidad relativa* (μ_r) definida como el cociente de la permeabilidad del material y la permeabilidad en el vacío:

$$\mu_r = \mu / \mu_0$$

El valor de μ_r permite clasificar a los materiales de acuerdo con su respuesta ante los campos magnéticos. La clasificación de los materiales es la siguiente:

- **Ferromagnéticos.** Son fuertemente atraídos por los imanes, porque poseen valores altos en su permeabilidad relativa.
- **Paramagnéticos.** Son débilmente atraídos por los imanes. Su permeabilidad relativa es poco mayor a la permeabilidad del vacío.

- **Diamagnéticos.** Son repelidos por campos magnéticos intensos. Su permeabilidad relativa es menor que la unidad.

En la actualidad se realizan experimentos con nuevos materiales y aleaciones para fabricar imanes de mayor intensidad o bajo costo. Actualmente, los imanes de **neodimio** están disponibles en el mercado electrónico.

Actividades de aprendizaje

1. Completa la tabla.

Campo magnético B (T)	Flujo magnético ϕ (Wb)	Área A (m ²)
1234		0.07
10000	120000	
	125	6.5

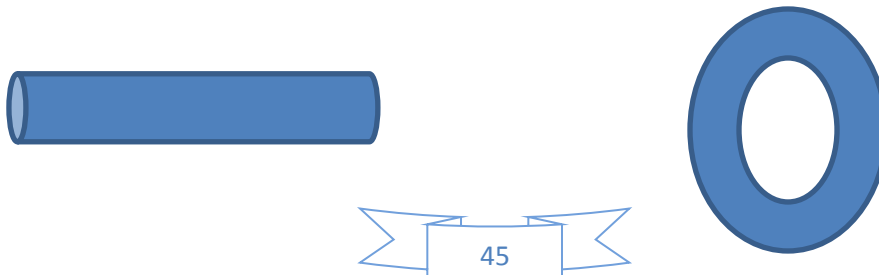
2. Encuentra el campo magnético y la intensidad del campo magnético, en el vacío, de un electroimán en un área de 7 cm² cuyo flujo magnético es de 70 Wb.

3. Darius compró un imán de Neodimio cuya permeabilidad relativa es de 1.4. Encuentra la permeabilidad magnética del imán.

4. Da ejemplos de materiales ferromagnéticos, diamagnéticos y paramagnéticos.

5. Investiga y dibuja cómo es el campo alrededor de:

- a) Conductor rectilíneo con corriente eléctrica b) Sobre una espira circular con corriente eléctrica



Aprendizajes: 1. Establecerá cualitativamente la relación entre variables que determinan el campo magnético inducido por una corriente eléctrica en un conductor recto. 2. Describirá cómo interactúan imanes, espiras y bobinas, por las que circula una corriente eléctrica

Temáticas: 1. Campo magnético generado en torno de un conductor recto, una espira y una bobina. 2. Interacción entre imanes y espiras/bobinas.

Retomando el experimento de Oesterd, no es difícil comprender que una corriente eléctrica de baja intensidad casi no movería la aguja imantada, mientras que una corriente más grande quizá provocaría el giro completo de dicha aguja. Ahora bien, aunque la corriente eléctrica fuera de un valor considerable, si alejamos mucho el conductor respecto a la brújula, probablemente la aguja imantada no se movería.

Lo anterior nos sugiere la existencia de una relación entre la densidad de flujo magnético (B), la corriente eléctrica (I) y la distancia de separación del conductor (r). Con la técnica matemática de *integración*, se demuestra formalmente que la densidad de flujo magnético o campo magnético, en un **conductor rectilíneo**, es directamente proporcional a la magnitud de la corriente eléctrica e inversamente proporcional a la distancia de separación, o sea

$$B = 2 \mu_0 I / 4 \pi r$$

La magnitud B tiene una dirección perpendicular respecto a la dirección de la corriente eléctrica. Para conocer la dirección del vector B , basta apuntar el pulgar de la mano derecha hacia el sentido de la corriente eléctrica, de manera que el resto de los dedos al girar -de izquierda a derecha- señalan aquella dirección (figura 21). Si la corriente circula en sentido inverso, se vuelve a colocar el pulgar indicando el sentido de la corriente, por lo que el giro del resto de los dedos muestra la dirección de B .



Figura 21. Determinación de la dirección de las líneas de flujo magnético.

El **solenoid** es una estructura formada por espiras simples, o bien, enrolladas sobre algún núcleo de hierro. Con técnicas avanzadas de matemáticas es factible demostrar que la magnitud del campo magnético en el centro del solenoide es

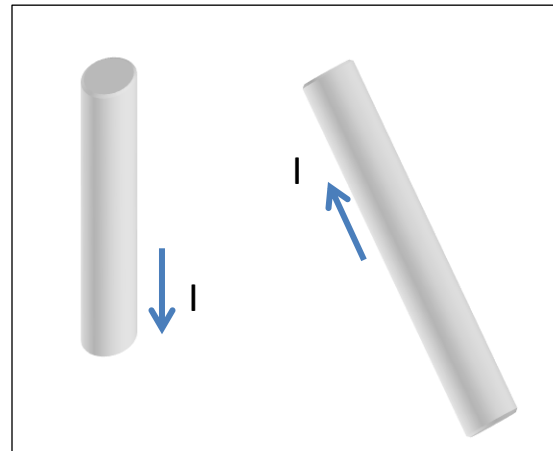
$$B = 4 \pi \mu_0 NI / 4 \pi L$$

Aquí N es el número de espiras del solenoide y L la longitud del mismo.

De la ecuación anterior, observa dos cosas: 1) el campo magnético es directamente proporcional a la corriente eléctrica y al número de espiras; y 2) el campo magnético es inversamente proporcional a la longitud del solenoide. En las aplicaciones con solenoides, los diseñadores se valen de estos tres parámetros para tener valores específicos del campo magnético.

Actividades de aprendizaje

1. Dibuja en la figura anexa las líneas de flujo magnético alrededor de los conductores por los cuales circula corriente eléctrica.



2. Describe la forma en la que trazaste las líneas de flujo magnético alrededor del conductor.

3. Resuelve lo siguiente:

a) El valor de B a 10 cm de un largo alambre de níquel por el que circula una corriente eléctrica de 0.10 Amperes;

b) Si la permeabilidad relativa del níquel es de 600, calcular el valor de la intensidad del campo magnético (H);

c) ¿Cuánto vale B, si el alambre se enrolla en forma de un solenoide de 20 cm de longitud y 600 espiras y pasa una corriente de 0.15 Amperes?

Aprendizaje: Conocerá la inducción de corriente eléctrica generada por la variación del campo magnético.

Temática: Corriente eléctrica generada por campos magnéticos variables: Ley de Faraday.

En 1831, Michel Faraday realizó un experimento (figura 22) en el cual mostró que al mover un imán dentro de una espira o solenoide, se produce un campo eléctrico debido a la variación del campo magnético producida por el movimiento del imán.

La ley de inducción de Faraday se enuncia así:

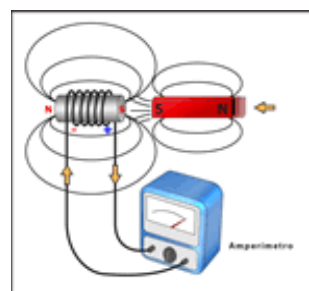


Figura 22. Experimento de Faraday.

“En un circuito cerrado, la diferencia de potencial inducida es directamente proporcional a la rapidez con la cual se modifica el flujo magnético con respecto al tiempo.”

Antes de entrar a la bobina, el imán posee un determinado número de líneas de flujo. Por lo tanto, su flujo magnético (ϕ) posee un valor determinado en un tiempo t . Pero, cuando el imán entra en la bobina, el número de líneas de flujo cambia (pues se modifica el área). Por lo tanto, el flujo magnético cambia su valor a $(\phi + \Delta\phi)$ en un tiempo $t + \Delta t$. Por lo tanto, en un tiempo Δt , el flujo magnético sobre la bobina cambia en la cantidad $\Delta\phi$. La variación del flujo magnético por unidad de tiempo define una nueva magnitud denominada *fuerza electromotriz* (también denominada diferencia de potencial o voltaje).

$$\varepsilon = - \Delta\phi_m / \Delta t$$

ε representa la fuerza electromotriz.

La ecuación anterior sintetiza lo que se conoce como la ley de inducción de Faraday-Henry: la fuerza electromotriz inducida es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un tiempo determinado.

Dado que ε se mide en volt, $\Delta\phi_m$ en Weber y Δt en segundos, observa que existe una nueva forma de definir la unidad de voltaje: 1 volt = 1 Weber / 1 segundo.

Cuando se trata de una bobina de N espiras –como la utilizada por Faraday-, la fuerza electromotriz es directamente proporcional a $\Delta\phi_m$ y también al número de espiras, es decir

$$\varepsilon = -N \Delta\phi_m / \Delta t$$

Ejercicio 1. En un lugar donde reparan bocinas, Yazmín compró una. Si con ayuda de un voltímetro y un cronómetro calculó, respectivamente, la fuerza electromotriz en -1.5 mV y el tiempo en que introdujo un imán a la bocina en 0.2 segundos, ¿cuál es el cambio experimentado por el flujo magnético en la bobina, si ésta posee 300 espiras?



Solución. Los datos aportados por el problema son los siguientes: $\varepsilon = -1.5 \text{ mV}$, $\Delta t = 0.2 \text{ s}$ y $N = 300$. Al despejar $\Delta\phi_m$ de la ecuación precedente queda:

$$\Delta\phi_m = - \varepsilon \Delta t / N$$

Al sustituir, resulta

$$\Delta\phi_m = - (-1.5 \times 10^{-3} \text{ V}) (0.2 \text{ s}) / 300 = 1 \times 10^{-6} \text{ Vs} = 1 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

El cambio experimentado por el flujo magnético es de una millonésima de Weber.

Actividades de aprendizaje

1. Explica qué sucederá en el amperímetro de la figura 22 si, después de haber sido introducido el imán a la espira, se le saca en dirección contraria. ¿Por qué? _____

2. Calcular la fuerza electromotriz inducida en una bobina de 500 espiras, en donde el flujo magnético varía de 1×10^{-3} Wb a 3×10^{-3} Wb en 0.31 segundos.

3. ¿Cuántas espiras debe tener la bobina del ejercicio anterior para que pueda encender un LED rojo si éste precisa un voltaje de 1 volt para encenderse? ¿y para un LED azul que precisa de 3 volts?

Aprendizaje: Explicará el funcionamiento de un motor eléctrico de corriente directa.

Temática: Transformación de energía eléctrica en mecánica.

El fenómeno de inducción electromagnética descubierto de manera independiente por Faraday y Henry, fue la base para el desarrollo de los motores eléctricos.

Ya en años anteriores a dicho descubrimiento, se habían construido poderosos electroimanes como el del inglés Sturgeon (1825) y el del estadounidense Henry (1829). A Mortiz H. Jacobi se le reconoce como el inventor del primer motor eléctrico formal, el cual fue presentado en el año de 1834. En 1845 Charles Wheatstone desarrolló el primer motor eléctrico eficiente, gracias al empleo de un electroimán en vez de un imán, como se venía haciendo con los motores anteriores. Ocho años antes, el primer motor eléctrico con imán permanente había sido construido por Davenport. Aunque se elaboró para darle un uso industrial, no resultó muy adecuado porque el diseño era muy simple y tosco. En los años siguientes los motores eléctricos recibieron muchas innovaciones y mejoras, lo que permitió su masificación e incorporación a la industria, el transporte y el hogar.

En la actualidad, los motores eléctricos están formados básicamente por:

- un estator
- una espira o bobina
- un imán
- un colector
- un par de escobillas

Dependiendo del tipo de motor eléctrico, se le puede *alimentar* con baterías (corriente directa) o conectar al tomacorriente (corriente alterna).

Después de esta digresión, prosigamos con el tema de los motores eléctricos. Las partes del motor se muestran en la figura 23. Enseguida las describiremos brevemente.

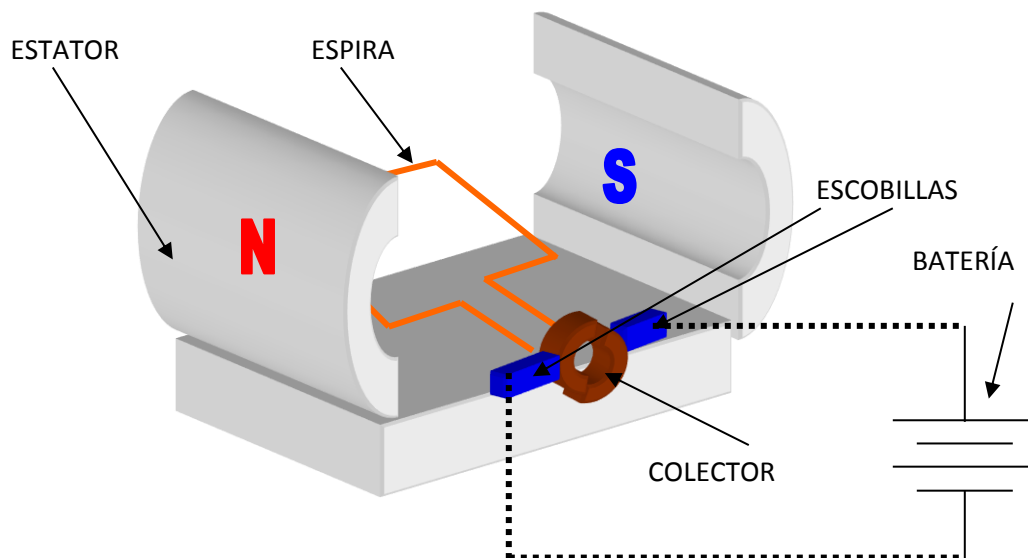


Figura 23. Las partes de un motor eléctrico.

El estator es la estructura que rodea el motor. En su interior se alojan núcleos de hierro dulce y, en su parte baja, los imanes. La espira es un circuito cerrado con dos terminales construida con alambre de cobre. Es la encargada de conducir la corriente eléctrica y crear un campo magnético variable que interacciona con los imanes del estator. El colector es una estructura en forma de anillo circular que permite el giro de la espira sin que ésta se salga de su eje. A cada extremo del colector se localiza una escobilla que recibe la corriente eléctrica proveniente de la batería o fuente de voltaje.

Ahora bien, ¿todos los motores eléctricos funcionan de igual manera? Aunque el principio de funcionamiento es similar, existen diferencias importantes entre los motores de corriente directa y los de corriente alterna. Debido a la relativa sencillez en el funcionamiento de los primeros, solamente nos ocuparemos de éstos.

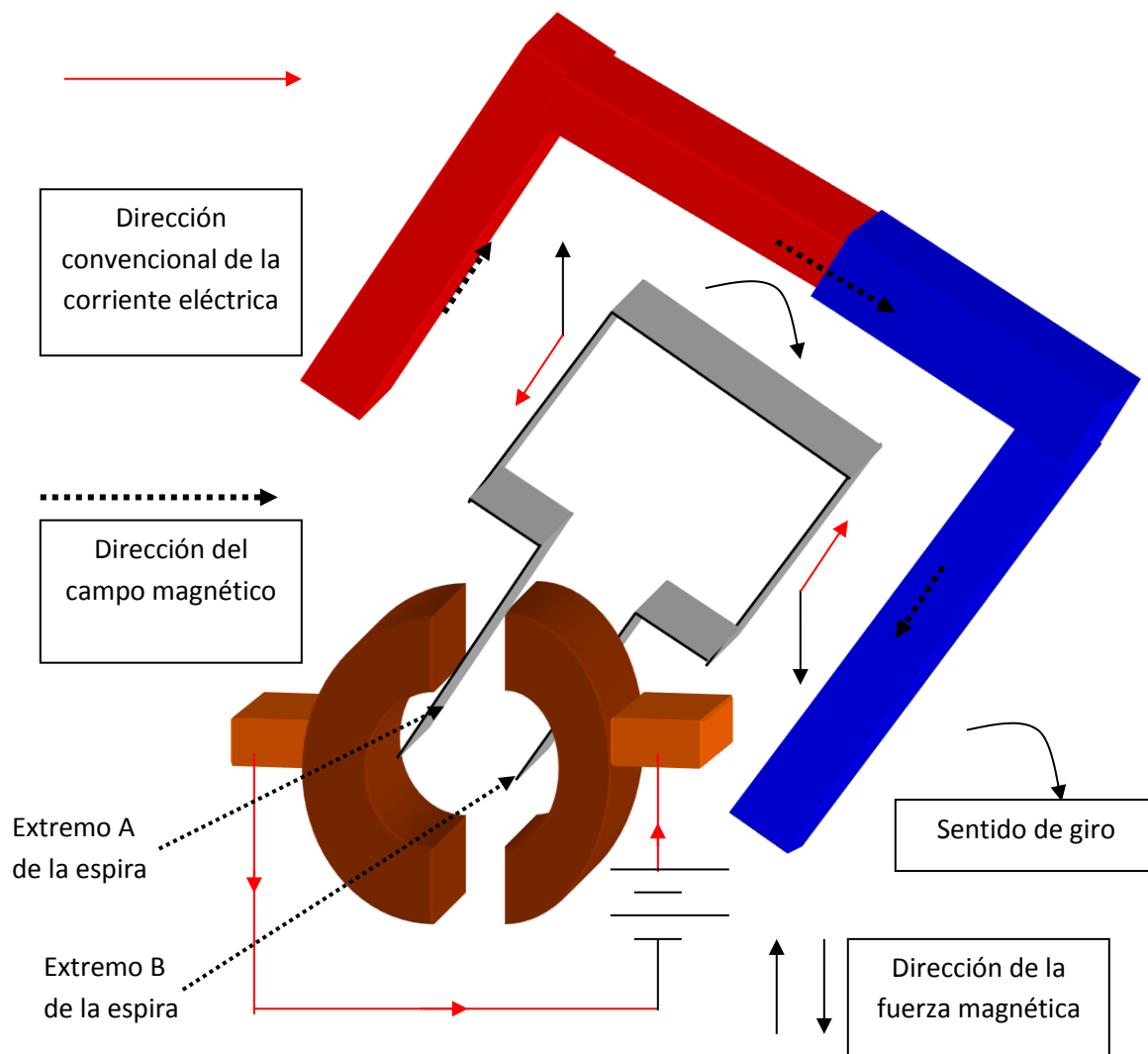


Figura 24. Esquema del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente directa.

Al conectar una batería a las escobillas, sobre la espira circula una corriente eléctrica en un sentido sobre el lado derecho de ésta y en sentido opuesto sobre el lado izquierdo. Lo anterior crea un par de fuerzas magnéticas con sentidos contrarios sobre los lados de la espira. Estas fuerzas provocan un giro continuo en sentido horario sobre el centro de gravedad de la espira, siempre que se mantenga la polarización de la batería. En los motores eléctricos de corriente directa, el colector posee una abertura en el extremo superior y otra en el inferior. Las aberturas sirven para que, una vez barrida la superficie interna del colector por cada extremo de la espira, éste regrese a su posición original antes de que se invierta el sentido de la corriente eléctrica. Enseguida, el extremo A de la espira pasa a ocupar la posición del extremo B (y viceversa).

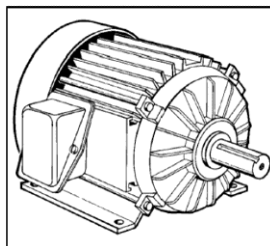
Existe una gran variedad de motores eléctricos tanto de corriente directa como de corriente alterna. En estos últimos se distinguen los síncronos y los de inducción, cuyo funcionamiento es más complicado, pues dependen de otros factores como el tipo de corriente (monofásica o trifásica), la frecuencia, la forma del devanado, el tipo de arranque, etc.

Actividades de aprendizaje

1. Explica el funcionamiento de un motor eléctrico de corriente directa.

2. Menciona algunas aplicaciones de los motores eléctricos: a) de corriente directa, b) de corriente alterna.

3. Investiga cómo construir un motor eléctrico sencillo. Menciona la(s) fuente(s) consultada(s) y describe el procedimiento de construcción.



Aprendizaje: Comprenderá el funcionamiento de un generador eléctrico.

Temática: Generador eléctrico.

Durante el siglo XIX se inventaron dispositivos para generar corriente eléctrica, tanto directa como alterna. Basado en el descubrimiento del fenómeno de inducción electromagnética por parte de Faraday, el francés Hippolyte Pixii construyó el primer generador eléctrico.

En realidad la idea del generador es simple: basta hacer funcionar un motor eléctrico de manera inversa. Para ejemplificar lo anterior, tomemos el esquema mostrado en la figura 24. Si retiramos la batería de las escobillas y en su lugar conectamos un amperímetro, al hacer girar la espira induciremos una corriente eléctrica que puede medirse en este aparato. Así, pues, si tomas un motor eléctrico de juguete, haces girar el vástago y lo conectas los bornes del motor a un amperímetro o voltímetro, obtendrás una corriente eléctrica o una diferencia de potencial, respectivamente (figura 25).

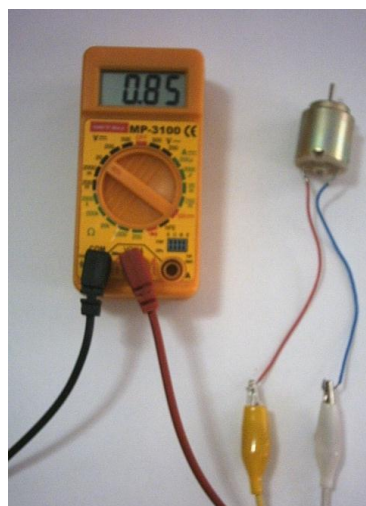


Figura 25. Un motor eléctrico puede ser usado como generador.

Como sucedió con los motores, los generadores fueron perfeccionados con el transcurso de los años. En 1867, el alemán Werner Siemens inventó la **dínamo**, es decir, el primer generador de corriente continua. Antes de este invento, las fuentes de corriente continua eran las pesadas pilas de Volta o alguna de sus variantes. A partir de este momento, la generación de corriente continua se hizo más práctica. Huelga decir que el invento de Siemens tuvo éxito en la industria. Más tarde, otros inventores –entre ellos George Westinghouse– desarrollaron los **alternadores**, o sea sistemas para producir corriente alterna.

¿Cómo funciona la dínamo? Responderemos esta pregunta en las siguientes líneas. La dínamo o generador de corriente continua consta básicamente de una espira colocada entre dos imanes, un colector y un par de escobillas. En la figura 26 se muestra una secuencia de cuatro figuras que ilustran el funcionamiento de la dínamo.

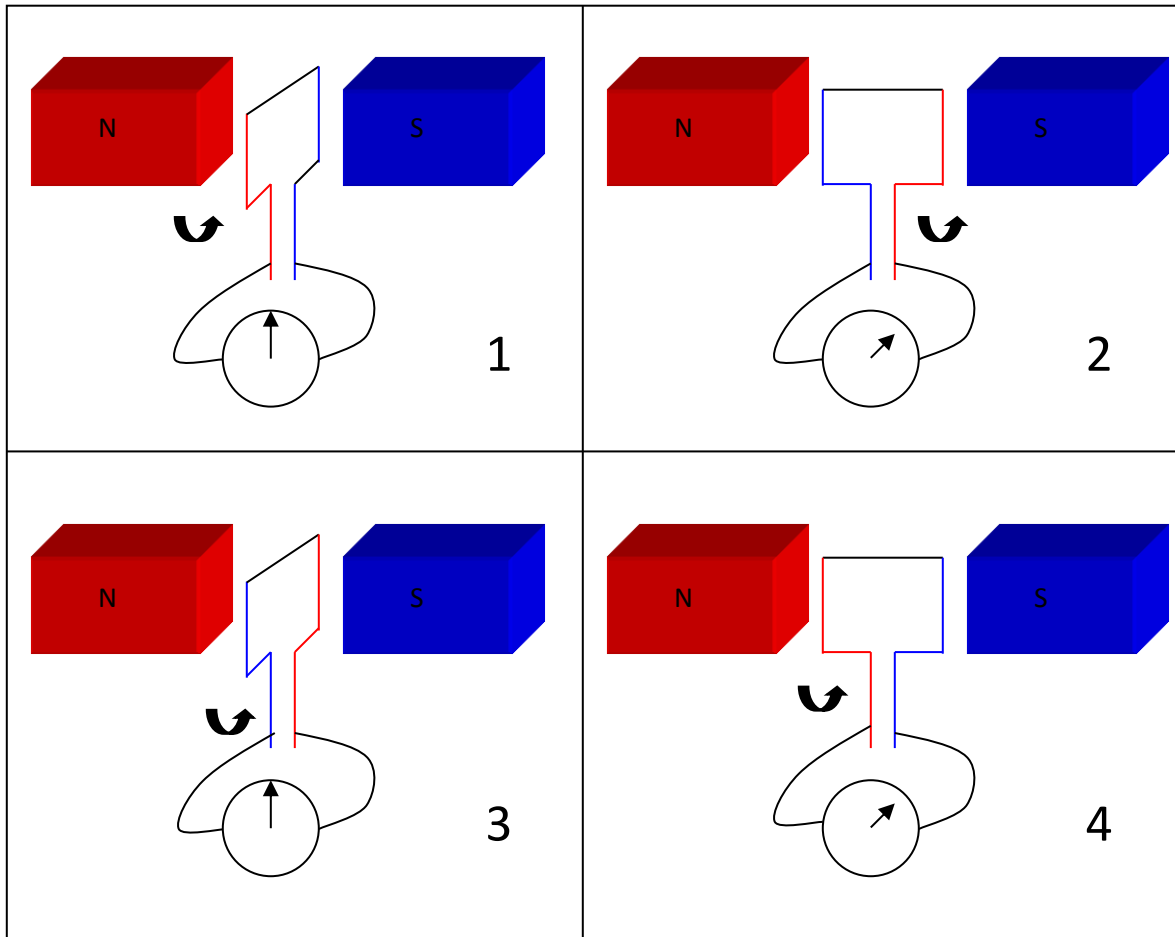


Figura 26. Secuencias esquemáticas del funcionamiento de una dínamo.

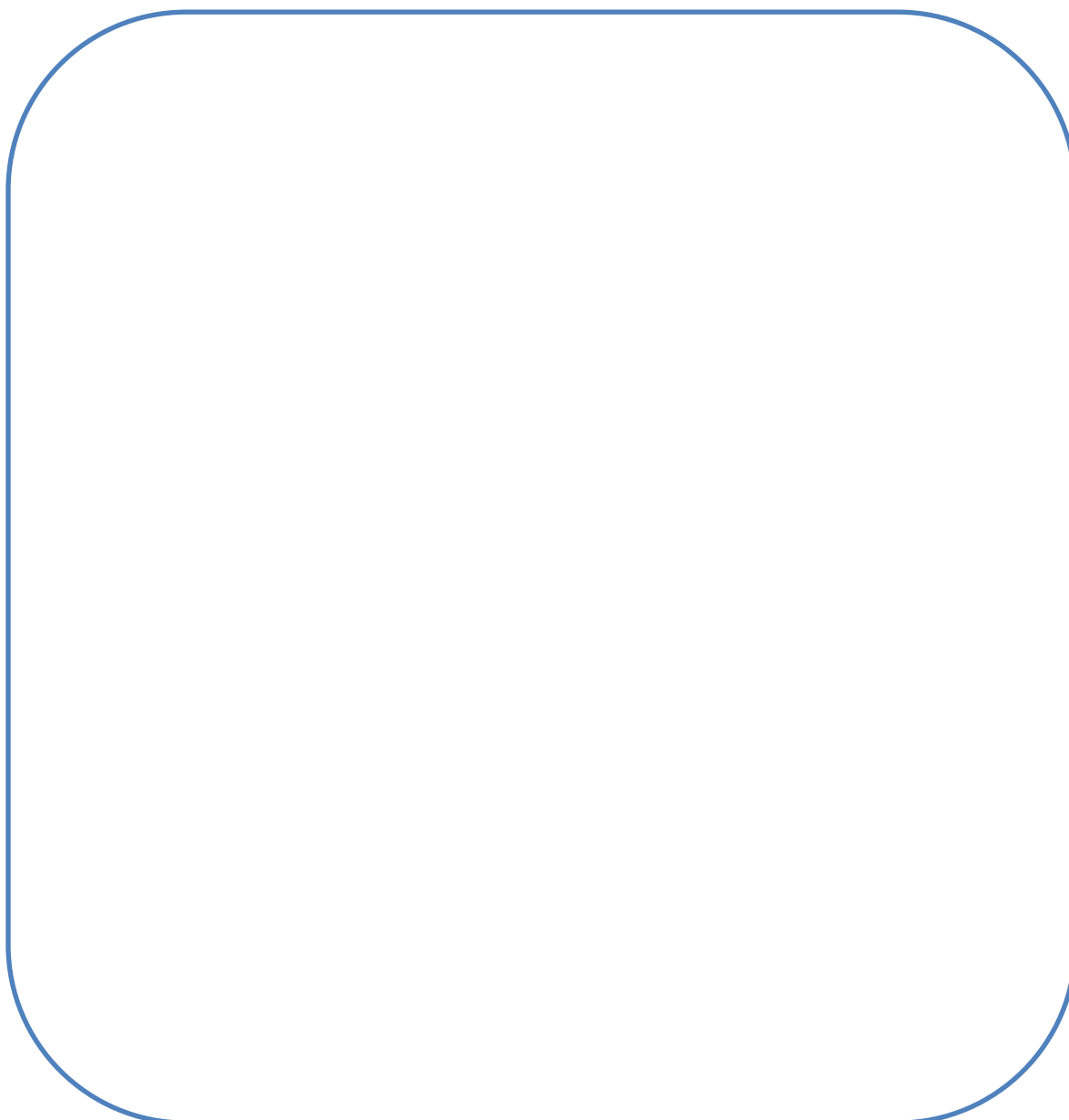
Actividades de aprendizaje

1. Explica el funcionamiento de un generador eléctrico de corriente directa.

2. Menciona algunas aplicaciones de los generadores eléctricos: a) de corriente directa (dínamo), b) de corriente alterna (alternador).

3. Investiga cómo construir un generador eléctrico sencillo. Menciona la(s) fuente(s) consultada(s) y describe el procedimiento de construcción.

4. Elabora un mapa conceptual con los conceptos y modelos matemáticos (fórmulas) más importantes de esta unidad.



SEGUNDA UNIDAD. Ondas: mecánicas y electromagnéticas

Presentación

En esta unidad se estudian las características generales de las ondas mecánicas y las electromagnéticas, además de algunos fenómenos ondulatorios, como el sonido y las telecomunicaciones.

Se enfatiza la distinción entre las ondas mecánicas y las electromagnéticas, así como el hecho de es factible transmitir la energía en la materia o el vacío.

Los conceptos centrales de esta unidad son:

- Onda.
- Amplitud.
- Frecuencia.
- Período.
- Velocidad de propagación.
- Onda mecánica.
- Onda electromagnética.
- Partícula.
- Energía de la onda.
- Reflexión.
- Refracción.
- Interferencia.
- Difracción.
- Polarización,
- Resonancia
- Efecto Doppler.
- Contaminación sonora.
- Contaminación electromagnética.

También se describe el sonido como una onda mecánica y la luz como una onda electromagnética, y se identifican los espectros sonoro y electromagnético.

Ondas y sus características

Aprendizaje: Identifica las magnitudes que caracterizan el movimiento ondulatorio.

Temática: Amplitud, frecuencia, longitud de onda, velocidad y período.

Hay dos modos de representar una onda en el plano cartesiano: la espacial y la temporal. En la representación espacial se analiza la variación del tamaño de una onda a lo largo de otro eje espacial. Un ejemplo de esta representación es cuando se hace vibrar desde un extremo una cuerda atada a la pared. En la figura 27 se representan los parámetros básicos de una onda.

En cambio, en la representación temporal lo que interesa es ver cómo cambia el tamaño de la onda con relación al tiempo transcurrido. Esta representación es muy útil cuando se investigan fenómenos como los sismos, el movimiento armónico simple, el movimiento amortiguado, etc. En la figura 28 se muestran los parámetros de una onda en este tipo de representación.

Hay parámetros comunes en ambas representaciones. A saber:

- ✓ **Amplitud.** Es el tamaño o elongación máximo de la onda. Esta distancia se determina desde el eje horizontal hasta el punto en el cual la onda alcanza un máximo. Para las ondas mecánicas la amplitud siempre tiene unidades de distancia. Sin embargo, para otro tipo de ondas –como las electromagnéticas– puede tener unidades de voltaje, campo eléctrico, campo magnético, etc.
- ✓ **Nodos.** Son los puntos de la onda que cortan al eje horizontal (a veces denominada *línea de equilibrio*).
- ✓ **Cresta.** Se refiere a la zona donde la onda alcanza su máximo.
- ✓ **Valle.** Se refiere a la zona donde la onda alcanza su mínimo.

Mientras que el periodo y la longitud de onda son exclusivos, en ese orden, de la representación temporal y espacial. Definamos los parámetros característicos de cada una de estas representaciones:

- **Longitud de onda (λ).** Es la distancia horizontal de una onda tomada de valle a valle o de cresta a cresta.
- **Periodo (T).** Es el tiempo en el cual la onda vuelve a repetirse. Puede medirse de valle a valle o de cresta a cresta.

- **Frecuencia (F).** Es el número de veces que se repite una señal ondulatoria en la unidad de tiempo. Matemáticamente es el inverso del periodo ($F = 1 / T$). Si la unidad de tiempo empleada es el segundo (s), la unidad de frecuencia es s^{-1} , también denominada *Hertz* (Hz).

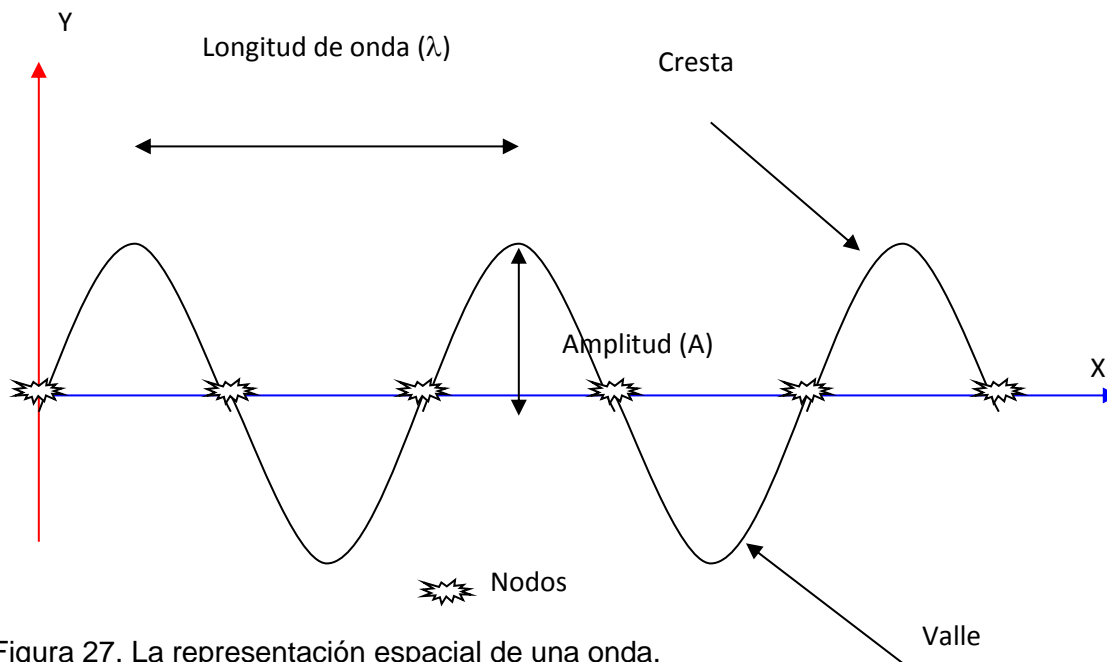


Figura 27. La representación espacial de una onda.

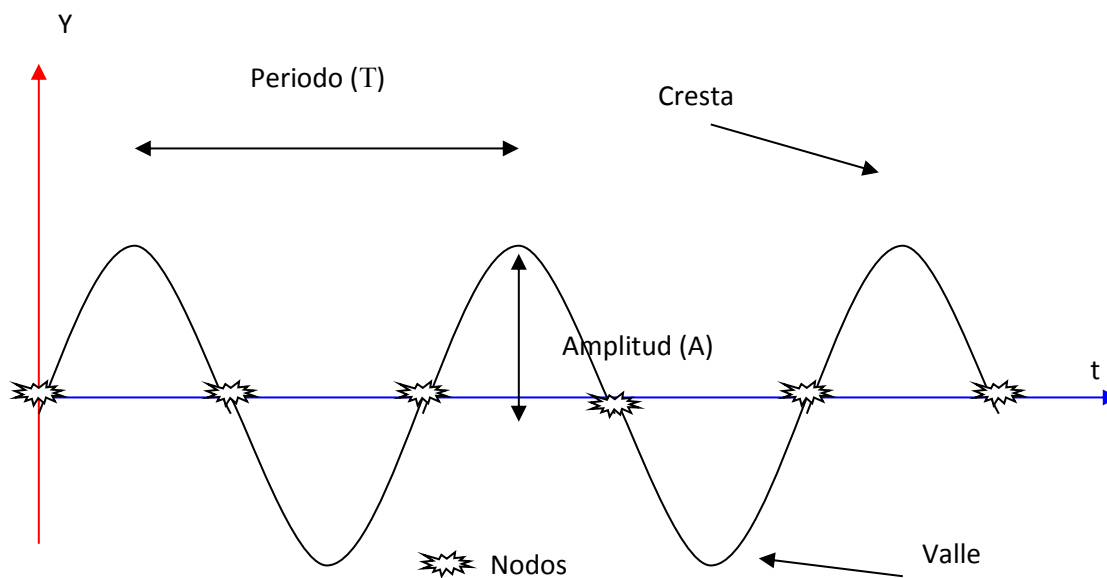


Figura 28. La representación temporal de una onda.

Al parecer no hay vinculación entre estos últimos parámetros, mas no es así: la rapidez con la que una onda se propaga los relaciona. El producto de la longitud de onda (λ) y la frecuencia (F) nos da la rapidez de propagación de la onda (v)

$$v = F \lambda$$

Si bien no siempre es posible representar con funciones matemáticas sencillas una onda, en algunos fenómenos –movimiento pendular, movimiento de un resorte, etc.- se utilizan las *funciones senoidales* o *cosenoidales* para su descripción. Para la representación espacial una ecuación útil para este tipo de fenómenos es

$$y = A \text{ sen } (k x + \alpha)$$

Aquí $k = 2 \pi / \lambda$ es el denominado *número de onda*, A la amplitud de la onda y α su *fase*. La fase nos informa la distancia horizontal que se encuentra desplazada la onda con respecto al origen.

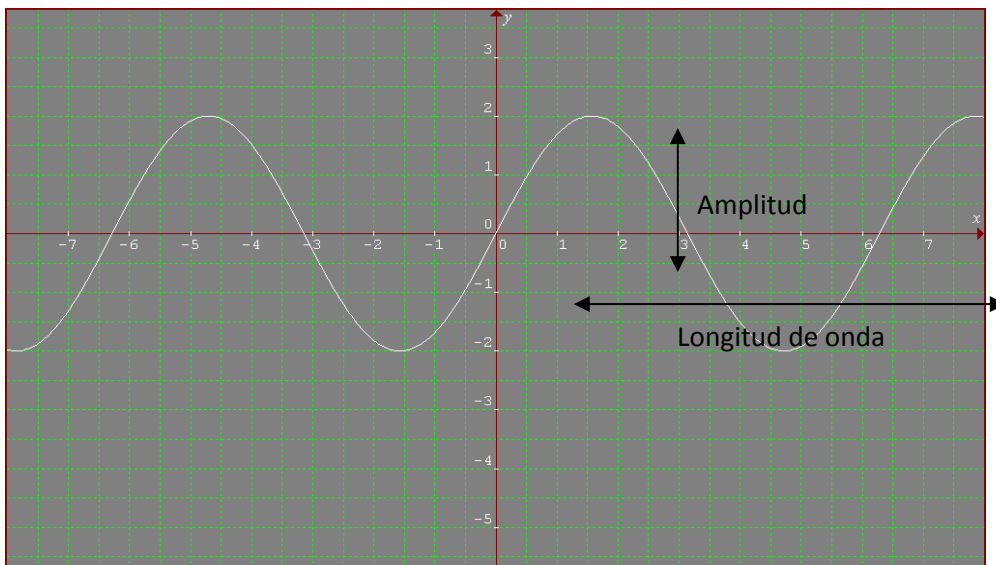
En cuanto a la representación temporal, se tiene

$$y = A \text{ sen } (\omega t + \alpha)$$

A y α son, respectivamente, la amplitud y la fase. Mientras que $\omega = 2 \pi F$ es la *frecuencia angular* y se mide generalmente en radianes sobre segundo (rad/s).

Realizaremos dos ejercicios para ilustrar el uso de las primeras dos ecuaciones .

Ejemplo 1. Obtener la ecuación de onda de la señal senoidal que se muestra en el gráfico:



Solución. Observando la figura, tenemos que:

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

$$\lambda = 6.25 \text{ m}$$

$$\alpha = 0$$

Por lo tanto, según la expresión (2), la ecuación de onda de esta señal senoidal es

$$y = A \text{ sen } (kx + \alpha) = 2\text{m} \text{ sen } \left[\frac{2\pi x}{6.25\text{m}} \right]$$

Ejemplo 2. Si la rapidez del sonido a 20 °C es de 343 m/s y un instrumento musical genera una nota de 440Hz de frecuencia, ¿cuánto vale la longitud de onda asociada a dicha nota?

Solución. Despejando λ de la primera ecuación y sustituyendo los valores de la rapidez y la frecuencia:

$$\lambda = v / F = (343 \text{ m/s}) / (440 \text{ Hz}) = 0.78 \text{ m}$$

Actividades de aprendizaje

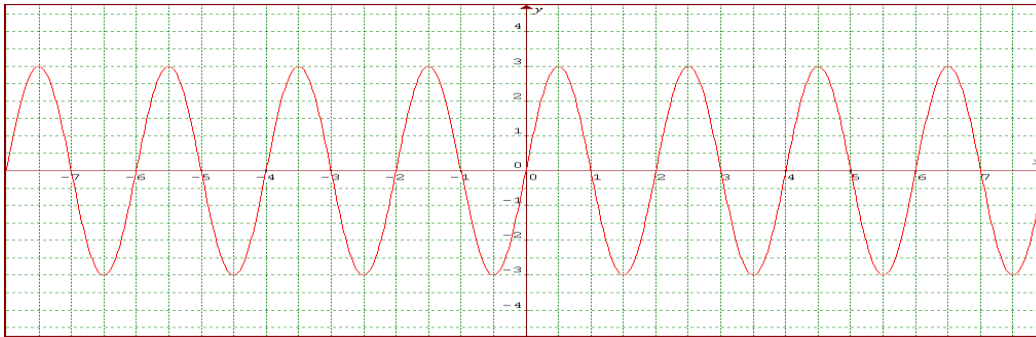
Resuelve los siguientes ejercicios.

1. Al golpear un diapason se produce una nota con una frecuencia de 220 Hz. Encontrar la rapidez del sonido si la longitud de onda de la nota es de 1.50 m.

2. La gráfica de abajo pertenece a una onda senoidal. Obtén la amplitud, la longitud de onda, la fase, la frecuencia y el período de la onda, considerando que ésta se desplaza a 0.15 m/s. (La escala del gráfica se encuentra en m).

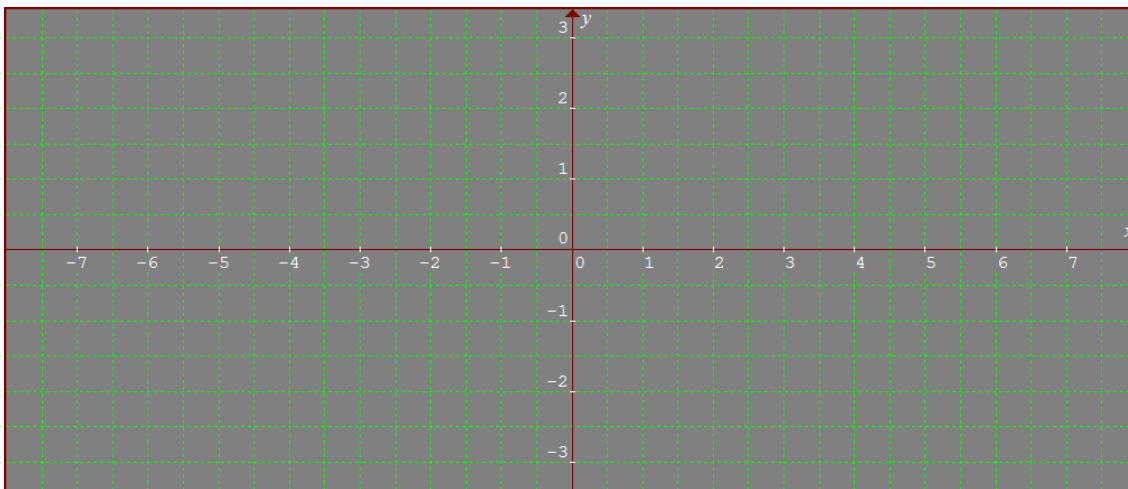
A = _____ λ = _____ α = _____ F = _____ T = _____

Escribe la ecuación de onda correspondiente a esta gráfica: $y =$ _____



3. Gráfica la ecuación: $y = 2 \text{ sen } (0.628 x + 0.785)$ [Programa tu calculadora en radianes]. Obtén la amplitud, la longitud de onda y la fase.

$A = \underline{\hspace{2cm}}$ $\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$ $\alpha = \underline{\hspace{2cm}}$



4. Completa la siguiente tabla para las ondas mecánicas:

Fenómeno	Longitud de onda λ (m)	Frecuencia F (Hz)	Período T (s)	Velocidad en el medio v (m/s)
Nota La		440		340
Onda sísmica de tipo P		750		7500
Tubo de cobre	5			3500
Onda sísmica de tipo S	5.6	750		
Silbido en el aire		15 000		340

Aprendizajes: 1. Identifica las ondas como una forma en que se propaga la energía en un medio material o en el vacío 2. Diferencia las ondas transversales de las longitudinales. 3. Diferencia las ondas mecánicas de las ondas electromagnéticas.

Temática: Ondas mecánicas y electromagnéticas; longitudinales y transversales.

En la Física, una onda es la propagación de una perturbación en donde no existe transporte de masa o de partículas, sino que se transmite energía. Las perturbaciones se refieren a fenómenos de diferente índole como los sismos, los maremotos, la actividad eléctrica del cerebro, del corazón o de un circuito, entre otros, que pueden ser registrados por algún medio, dispositivo o aparato.

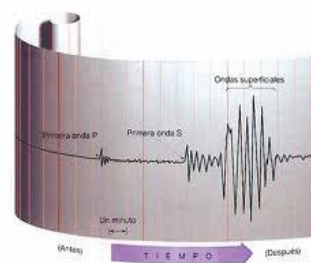


Figura 29. Un sismograma.

La forma gráfica que se emplea para estudiar una perturbación en particular, es lo que da lugar a su representación por medio de ondas, a veces muy simples como en el caso de un péndulo o muy complejas como en un sismo (figura 29).

Existen varios fenómenos físicos en los cuales se emplean ondas para representarlos. Como ejemplo podemos mencionar los sismos, el sonido y las señales electromagnéticas. Hay que distinguir entre las ondas que requieren un medio para su propagación (**ondas mecánicas**) y aquellas que no lo precisan (**ondas electromagnéticas**).

Las ondas mecánicas no se propagan igual a través de los sólidos, los líquidos y los gases. De acuerdo a su forma de propagación, se clasifican las ondas mecánicas en *transversales* y *longitudinales*. Las ondas transversales tienen como característica que la dirección de la perturbación es perpendicular a la dirección en la cual se propaga la onda (figura 30). En cambio, en las ondas longitudinales la dirección de la perturbación es paralela a la dirección en que se propaga la onda (figura 31).

Las ondas o perturbaciones, sean transversales o longitudinales, tienen diferentes formas geométricas regulares o irregulares, ser periódicas o no-periódicas, tener un modelo matemático que las describa o no, etc. En función de lo anterior, la representación y comprensión de un fenómeno ondulatorio puede ser relativamente simple o sumamente compleja.

Independientemente de su complejidad o simpleza, las ondas poseen algunos parámetros básicos que es indispensable conocer para abordar con éxito el estudio de los fenómenos ondulatorios.

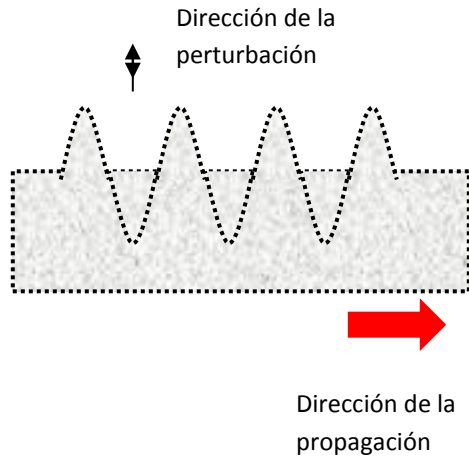


Figura 30. Una onda transversal.

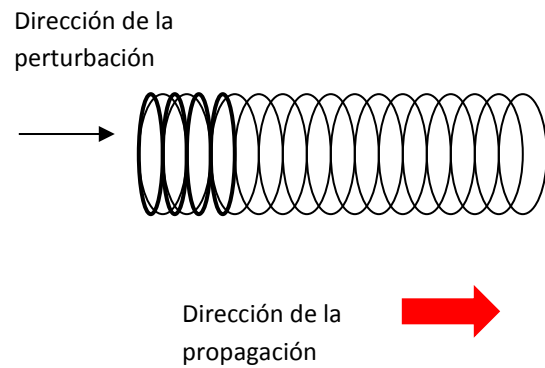


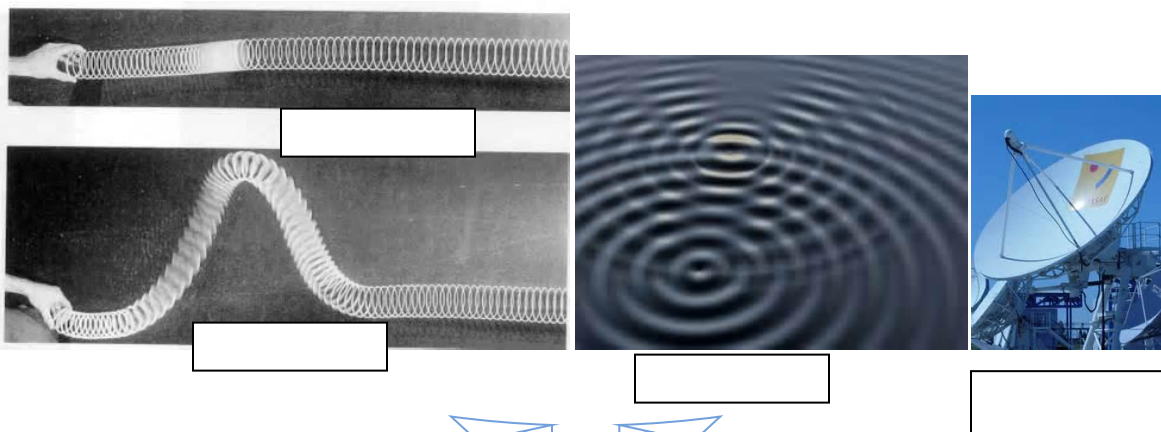
Figura 31. Una onda longitudinal.

Actividades de aprendizaje

1. Investiga cuántos tipos de ondas se han identificado en la actualidad. Descríbelas brevemente.

2. Menciona la diferencia entre las ondas longitudinales y las transversales. Da ejemplos de cada una de ellas.

3. Clasifica correctamente las ondas que aparecen en las siguientes imágenes:



4. Menciona algunas aplicaciones de las ondas mecánicas y de las ondas electromagnéticas.

Aprendizajes: 1. Describe cualitativamente cómo se generan las ondas electromagnéticas.
2. Aplica las magnitudes del movimiento ondulatorio.

Temática: Sonido y luz.

Al realizar un experimento con un haz de luz polarizada que hizo pasar por un vidrio inmerso en un campo magnético, Faraday descubrió en 1846 que dicho haz cambiaba de dirección. Inmediatamente se preguntó si existía una relación entre la luz y el magnetismo.

Los científicos tuvieron curiosidad de saber a qué velocidad viajan las chispas eléctricas. La primera estimación de la que se tiene noticia fue efectuada en 1834 por Charles Wheatstone. Él, mediante un espejo giratorio, midió la velocidad de dos chispas producidas en los extremos de un largo alambre. Dieciséis años más tarde, el francés Fizeau estimó la velocidad de las chispas eléctricas entre un tercio y dos terceras partes de la velocidad de la luz, dependiendo del material por el que se produjeran las chispas eléctricas. En 1857, el alemán Gustav R. Kirchhoff comparó la fuerza eléctrica atractiva entre dos cargas con la fuerza magnética cuando éstas se descargaban, encontrando que ambas se encuentran relacionadas con una constante que posee las dimensiones de una velocidad. Además, esta velocidad no era otra sino la misma velocidad de la luz. Kirchhoff tuvo el primer indicio de que las señales electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz, pero no continuó sus investigaciones en esta dirección.

Sin embargo, correspondió al inglés James Clerk Maxwell la demostración matemática rigurosa de que las señales electromagnéticas son ondas y viajan a la velocidad de la luz. En 1865 Maxwell publicó el resultado de sus investigaciones teóricas en un trabajo intitulado *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. Para Maxwell, la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos radica en las ondulaciones transversales –como la luz– que tienen lugar en un medio. En 1883, el físico Fitzgerald expresó que, si la teoría de Maxwell era válida, sería posible generar radiación electromagnética variando la corriente eléctrica en un circuito. Fitzgerald sugirió que un condensador en su proceso de descarga podía ser una fuente de ondas electromagnéticas.

Sin embargo, fue hasta el año de 1886 en que el físico alemán Heinrich Rudolph Hertz) pudo demostrar experimentalmente la existencia de las ondas electromagnéticas predichas por la teoría de Maxwell, además de que éstas viajan –en el vacío– a la misma velocidad de la luz.

Hertz construyó un detector de ondas electromagnéticas (figura 32) formado por dos bucles o espiras separadas entre sí. Cuando Hertz hizo pasar corriente eléctrica por una espira, notó que saltaba una chispa en dirección de la segunda.

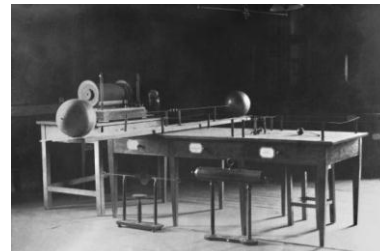


Figura 32. Detector de Hertz.

Para él quedó claro que las ondas electromagnéticas así generadas podían transmitirse a través de un espacio vacío. Este hecho sentó las bases de las futuras transmisiones inalámbricas a través del telégrafo, la televisión, el radar y los modernos satélites de telecomunicaciones. Más tarde, Hertz demostró que las ondas electromagnéticas tenían propiedades semejantes a las ondas luminosas, pues eran susceptibles de reflejarse, refractarse, difractarse y polarizarse

De esta manera, con el experimento de Hertz quedó en claro que cualquier onda electromagnética se desplaza a la velocidad de la luz.

Ahora bien, todas las señales electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz, es válido preguntarse qué hace diferente a un haz de luz visible respecto a una señal infrarroja o de radiofrecuencia.

Se ha observado que un conjunto de cargas en movimiento genera un campo eléctrico y un campo magnético en dirección perpendicular. Por lo tanto, cada una de las señales electromagnéticas podría generarse sabiendo proporcionar a las cargas la frecuencia de oscilación adecuada. Sin embargo, esto no es tan fácil, ya que generar cada una de las señales electromagnéticas requiere métodos específicos. Por ejemplo, para generar ondas de radio se recurre a osciladores contruidos con capacitores, inductores, resistores, cristales, etc.

En cambio, si de generar rayos X se trata, se establece una gran diferencia de potencial entre dos electrodos encapsulados en una ampolla de vidrio al vacío y, posteriormente, se hacen frenar violentamente las cargas. El resultado es una señal de altísima frecuencia y corta longitud de onda –invisible a simple vista- capaz de penetrar algunos materiales.

Actividades de aprendizaje

1. Describe brevemente el experimento de Hertz.

2. ¿Cómo se genera una onda electromagnética?

3. Investiga -e ilustra en el siguiente espacio- cómo se representa una onda electromagnética.



El sonido: ejemplo de una onda mecánica

El sonido es una onda mecánica de carácter longitudinal, es decir, que se propaga en dirección paralela a la fuente que lo produjo. El oído humano es capaz de captar sonidos en el intervalo de 20 a 20 000 oscilaciones por segundo. Por debajo de las 20 oscilaciones por segundo, tenemos los *infrasonidos*; por encima de las 20 000, los *ultrasonidos*. Una aplicación del ultrasonido es en los **ecógrafos** utilizados en el diagnóstico médico.

Al ser una onda mecánica, el sonido tiene una rapidez de propagación variable dependiendo del medio en que se genere. A una temperatura de 20°C y a nivel del mar, la rapidez del sonido es de 343 m/s. Este valor se altera con la temperatura y otros factores como la humedad y la altura sobre el nivel del mar. En la Tabla I se muestra la rapidez del sonido en diferentes materiales.

TABLA I. LA RAPIDEZ DEL SONIDO EN DISTINTOS MEDIOS

Medio	Velocidad (m /s)
Caucho	60
Oxígeno (0°C)	316
Aire (20° C)	343
Aire (100 °C)	387
Agua de mar	1540
Poliestireno	1850
Cobre	3500
Aluminio	5100
Hierro	4500
Acero	4700-5200

La rapidez del sonido es función de distintos parámetros, en función de que el medio sea un sólido o un fluido. En el primer caso, la velocidad del sonido se calcula con la siguiente expresión

$$v = (Y / \rho)^{1/2}$$

La constante Y se conoce como el *módulo de Young*, mientras que ρ es la densidad del medio. En el aire la velocidad del sonido aumenta con la temperatura.

En un fluido la rapidez del sonido se obtiene de la siguiente manera:

$$v = (\gamma R T / M)^{1/2}$$

En este caso, γ es la *constante adiabática*, R la constante universal de los gases (8.314 J/mol. K), T la temperatura absoluta y M la masa molecular del gas.

Ilustraremos el uso de las ecuaciones anteriores con dos ejemplos.

Ejemplo 1. Un gas posee una masa molecular de 3 kg/mol a una temperatura de 200 K. Obtener la velocidad del sonido en este gas, si su constante adiabática es de 1.55.

Solución. En este caso empleamos la ecuación con los siguientes datos: $M = 3$ kg/mol, $T = 200$ K y $\gamma = 1.55$. Al sustituir, queda

$$v = (\gamma R T / M)^{1/2} = [(1.55) (8.314 \text{ J/mol. K}) (200 \text{ K}) / 3 \text{ kg/mol}]^{1/2} = 29.31 \text{ m/s}$$

Ejemplo 2. El módulo de Young de un material es de 400 N/m². Si posee una densidad de 5 kg/m³, obtener la rapidez de las ondas sonoras en dicho material.

Solución. Al sustituir $Y = 400$ N/m² y $\rho = 5$ kg/m³ en la ecuación correspondiente, resulta:

$$v = (Y / \rho)^{1/2} = [(400 \text{ N/m}^2) / (5 \text{ kg/m}^3)]^{1/2} = 8.94 \text{ m/s}$$

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Resuelve los siguientes ejercicios.

1. Un gas posee una masa molecular de 22 kg/mol a una temperatura de 500 K. Obtener la velocidad del sonido en este gas, si su constante adiabática es de 1.11.

2. El módulo de Young de un material es de 8000 N/m². Si posee una densidad de 12 kg/m³, obtener la rapidez de las ondas sonoras en dicho material.

3. Sabiendo que las microondas viajan en el aire con una rapidez cercana a 300 000 000 m/s, encuentra la longitud de onda de un horno que tiene una frecuencia de operación de 1.4×10^9 Hz.

7. Completa la tabla para las ondas electromagnéticas mostradas a continuación:

Onda electromagnética	Longitud de onda λ (m)	Frecuencia F (Hz)	Período T (s)
Radio UNAM A.M.		860 000	
Horno de microondas	0.125		
Onda ELF			0.001
Apuntador láser de color rojo		680×10^9	

4. Menciona otros fenómenos en los que aparezcan. a) ondas mecánicas, b) ondas electromagnéticas.

Aprendizaje: Diferencia el comportamiento de las ondas y de las partículas.

Temática: Ondas y partículas.

A lo largo de la historia de la física se descubrieron diferentes fenómenos, a veces asociando su comportamiento con las ondas y otras con las partículas. La asociación no fue gratuita; generalmente se debió a la mejor explicación del fenómeno aportada por una u otra visión. Por ejemplo, dentro de la mecánica clásica, la interpretación ondulatoria es más idónea que la corpuscular para comprender la reflexión, la difracción, la polarización, la refracción y la interferencia. De manera similar, la radiación electromagnética es explicada suponiendo que estas señales se comportan como ondas.

Sin embargo, en el siglo XX se realizaron algunos experimentos que obligaron a revisar la concepción ondulatoria de la materia: se consiguió la difracción de los electrones (cosa que se consideraba imposible para las partículas), se descubrió que la materia posee una longitud de onda, etc. Análogamente, se demostró que la radiación a veces presenta un comportamiento corpuscular. En la actualidad, para entender la materia, se habla de la *dualidad onda-partícula*. Dicha dualidad se refiere a que en determinadas circunstancias la materia manifiesta un comportamiento de una onda y en otras como partícula.

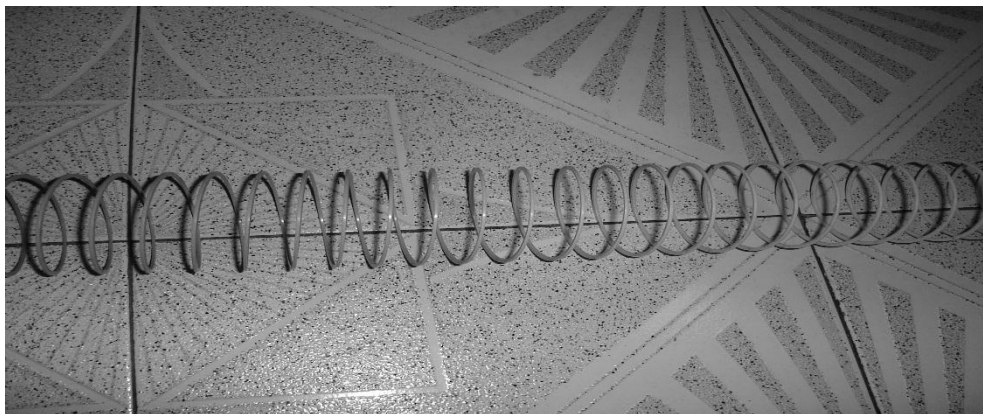


Figura 33. En un resorte hay transporte de energía, no de masa.

Pero en la interpretación de la física clásica, es útil distinguir a las ondas y a las partículas con base en su comportamiento. Vamos a realizar una sencilla diferenciación. Si dispones de un resorte de plástico y lo sujetas de ambos extremos (figura 33) podrás observar que, si le transfieres energía sacudiéndolo en uno de sus extremos, las espiras que recibieron el impulso parecen desplazarse a lo largo del resorte hacia el otro extremo. Mas no es así. En realidad lo que se transmite en este movimiento ondulatorio es energía, no masa. De esta forma, cualquier onda mecánica no desplaza materia sino que transfiere energía.

En cambio, si contemplamos desde lejos un objeto que se mueve en el espacio describiendo una trayectoria senoidal (figura 34), en este caso la trayectoria no es resultado de la transferencia de energía a través de un medio sino del desplazamiento del objeto.

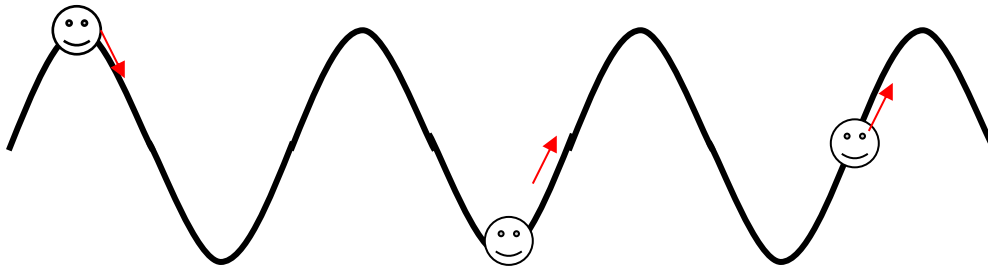


Figura 34. Objeto desplazándose en una trayectoria senoidal

Los fenómenos ondulatorios no son exclusivos de las ondas mecánicas; de hecho los fenómenos electromagnéticos y algunos asociados a la física contemporánea requieren de la concepción ondulatoria para explicar algunas de sus propiedades. Por el contrario, como ya lo dijimos con anterioridad, otros fenómenos son mejor comprendidos si se recurre a la concepción corpuscular.

Actividades de aprendizaje

1. Explica el concepto de dualidad onda-partícula.

2. Investiga y menciona algunos fenómenos que se expliquen bajo la teoría ondulatoria.

3. Investiga y menciona algunos fenómenos que se expliquen bajo la teoría corpuscular.

Energía de las ondas

Aprendizaje: Relacionar la frecuencia y amplitud de las ondas con su energía.

Temática: Energía de las ondas.

Comentamos con antelación que una onda transmite energía. Surge entonces la pregunta: ¿hay alguna forma de calcular esta energía? La respuesta es afirmativa. Veamos cómo se calcula dicha energía para una onda de tipo senoidal.

Supongamos que un cuerpo sujeto a una cuerda se mueve describiendo una trayectoria en forma de un círculo de radio $r = A$ (figura 35). Del curso de Física I sabemos que la velocidad lineal (v) y la velocidad angular (ω) de un objeto que se desplaza con movimiento circular uniforme es

$$v = \omega r = \omega A$$

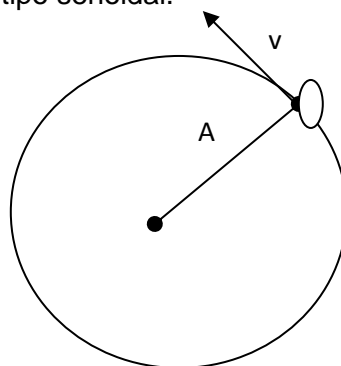


Figura 35. Relación entre el radio y la velocidad angular

Dado que $\omega = 2 \pi F$, al sustituir esta relación en la ecuación anterior, queda

$$v = \omega A = 2 \pi F A$$

Por otra parte, es posible demostrar que la energía total de la partícula que se mueve a través del círculo de radio A es igual a su energía cinética máxima:

$$E = K = m v^2 / 2$$

Sustituyendo la penúltima ecuación en la última, resulta

$$E = m (2 \pi F A)^2 / 2 = 2 \pi^2 F^2 A^2 m$$

Lo importante de esta relación es que indica la dependencia de la energía de la onda en función de la amplitud; en otras palabras, la energía de una onda es directamente proporcional al cuadrado de su amplitud. Ahora podemos explicarnos de manera cualitativa por qué los sismos intensos son registrados en un sismógrafo con mayor amplitud. La razón radica en que, mientras mayor amplitud registre una onda sísmica, mayor será la cantidad de energía que porte esa señal ondulatoria (con sus repercusiones en el terreno, las construcciones, entre otras). En la figura 36 se visualiza esta comparación.

Cuando se consideran ondas planas, suele referirse a la energía por unidad de longitud, como en el caso de una cuerda delgadísima –prácticamente sin grosor- de longitud l que se utilice para formar ondulaciones. En este caso, la energía por unidad de longitud es

$$(E/l) = 2 \pi^2 F^2 A^2 m/l = 2 \pi^2 F^2 A^2 \mu$$

$\mu = m/l$ se conoce como la *densidad lineal* de la cuerda

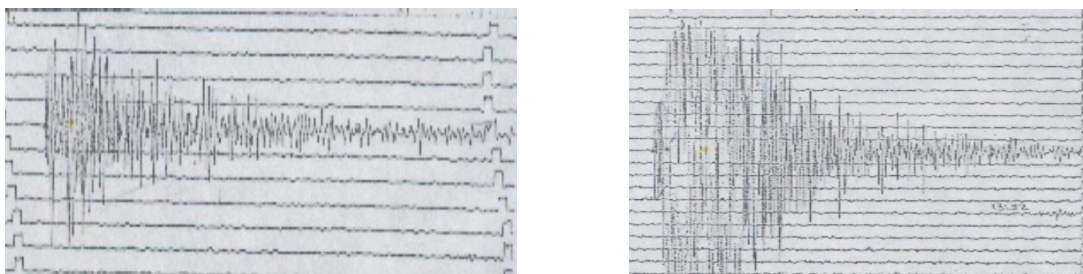


Figura 36. Dos sismos de intensidades diferentes.

Finalmente, realizaremos un ejercicio que involucra lo anteriormente expuesto.

Ejemplo. Una señal senoidal tiene una velocidad de propagación de 2 m/s . Si tiene amplitud de 0.5 m , periodo de 0.1 s , fase igual a $\pi/4$ y densidad lineal de 0.01 kg/m , encontrar:

- la ecuación de la señal;
- su longitud de onda; y
- su energía por unidad de longitud.

a) Identifiquemos algunos de los parámetros. Aquí $A = 0.5 \text{ m}$, $v = 2 \text{ m/s}$, $T = 0.1 \text{ s}$, $\alpha = \pi/4$ y $\mu = 0.01 \text{ kg/m}$.

Además, $F = 1/T$ y $\omega = 2\pi F$. Por lo tanto:

$$F = 1/0.1 \text{ s} = 10 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega = 2\pi 10 \text{ s}^{-1} = 20\pi \text{ s}^{-1}$$

Como se trata de una señal que involucra al tiempo, su representación es temporal:

$$y = A \text{ sen}(\omega t + \alpha) = (0.5 \text{ m}) \text{ sen}(20\pi t + \pi/4)$$

b) Para conocer la longitud de onda, recurrimos a la ecuación:

$$\lambda = v/F = (2 \text{ m/s}) / (10 \text{ s}^{-1}) = 0.2 \text{ m}$$

c) la energía de la onda es

$$(E / l) = 2 \pi^2 F^2 A^2 \mu = 2 \pi^2 (10 \text{ s}^{-1})^2 (0.5 \text{ m})^2 (0.01 \text{ kg / m}) = 4.93 \text{ J / m}$$

Actividades de aprendizaje

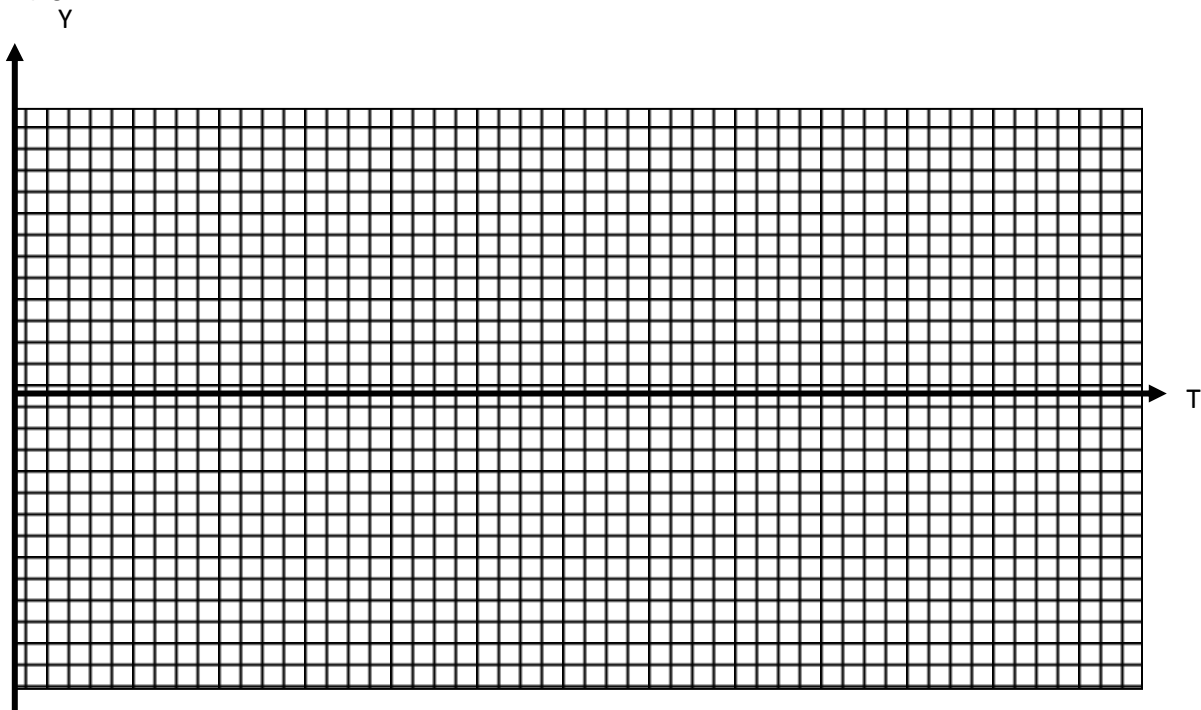
1. Una onda senoidal tiene una velocidad de propagación de 1 m / s. Si tiene amplitud de 1.3 m, longitud de onda de 4 m, fase igual a $\pi / 3$, y densidad lineal de 0.05 kg / determina:

a) la ecuación de la señal;

b) su frecuencia y su periodo;

c) su energía por unidad de longitud;

e) grafica la ecuación



Aprendizaje: Relacionar los intervalos de los espectros electromagnético y sonoro con su aplicación.

Temática: 1. Espectro sonoro. 2. Espectro electromagnético.

El espectro sonoro

Por naturaleza estamos dotados de cinco sentidos, cada uno de los cuales nos permite percibir diferentes señales del mundo exterior. Por ejemplo, nuestros ojos captan solamente señales luminosas de frecuencias comprendidas entre 3×10^{14} - 3×10^{15} Hz. En cambio, el sentido del tacto detecta algunas señales infrarrojas que el ojo no percibe. El oído es un sentido que nos abre una ventana al mundo exterior cuya *extensión* se encuentra entre los 20 y los 20 000 Hz de frecuencia. Obviamente la edad, las condiciones de vida, la salud, etc. generalmente estrechan esa ventana. Por *espectro sonoro* vamos a entender tanto el intervalo de frecuencia audible (20 a 20000 Hz), como las frecuencias debajo de los 20 Hz (infrasonidos) y por encima de los 20000 Hz (ultrasonidos).

El espectro electromagnético

Cada radiación electromagnética se caracteriza por estar comprendida en un intervalo de frecuencia (o longitud de onda) determinado. A continuación se mencionan las señales electromagnéticas actualmente conocidas (entre paréntesis se expresa su intervalo de frecuencia aproximado):

- **Ondas de Extremada Baja Frecuencia** (ELF, por sus siglas en inglés) [0-3000 Hz].
- **Ondas de radio y de televisión** (3×10^3 – 3×10^9 Hz)
- **Microondas** (3×10^9 - 3×10^{11} Hz)
- **Rayos infrarrojos** (3×10^{11} - 3×10^{14} Hz)
- **Radiación visible** (3×10^{14} - 3×10^{15} Hz)
- **Rayos ultravioleta** (3×10^{15} - 3×10^{17} Hz)
- **Rayos X** (3×10^{17} - 3×10^{20} Hz)
- **Radiación gamma** (3×10^{20} - 3×10^{22} Hz)
- **Rayos cósmicos** (mayor a 3×10^{22} Hz)

Actividades de aprendizaje

1. Completa la tabla.

Señal del espectro electromagnético	Aplicaciones	Fenómenos naturales en las que aparece
Ondas ELF		
Ondas de radio y televisión		
Microondas		
Rayos infrarrojos		
Luz visible		
Radiación ultravioleta		
Rayos X		
Rayos cósmicos		

2. Completa la tabla.

Aparato, dispositivo, tecnología o señal	Frecuencia F (Hz)	Longitud de onda λ (m)	Operaciones
Teléfono inalámbrico	700×10^6		
Horno de microondas	2450×10^6		
Radioemisora de onda corta		21	

LED infrarrojo		950×10^{-9}	
Ondas ELF	60		
Radioemisora de A.M.	860×10^3		
LED verde		560×10^{-9}	
Radiación cósmica de fondo	300×10^9		
Ionización del hidrógeno		91.2×10^{-9}	

3. Completa la tabla siguiente.

Señal electromagnética	Intervalo de frecuencia F (Hz)	Intervalo de longitud de onda λ (m)
Ondas de <i>Extremada Baja Frecuencia</i> (ELF)	[0–3000].	
Ondas de radio y de televisión	$(3 \times 10^3 - 3 \times 10^9)$	
Microondas	$(3 \times 10^9 - 3 \times 10^{11})$	
Rayos infrarrojos	$(3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{14})$	
Radiación visible	$(3 \times 10^{14} - 3 \times 10^{15})$	
Rayos ultravioleta	$(3 \times 10^{15} - 3 \times 10^{17})$	
Rayos X	$(3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{20})$	
Radiación gamma	$(3 \times 10^{20} - 3 \times 10^{22})$	
Rayos cósmicos	Mayor a 3×10^{22}	

Fenómenos ondulatorios

Aprendizaje: Describir cualitativamente algunos de los fenómenos característicos de las ondas.

Temática: Reflexión, refracción, interferencia, difracción, polarización, resonancia y efecto Doppler.

Las ondas que se generan en un estanque con agua, en una cuerda, al hacer oscilar una lámina, etc. es posible que sufran modificaciones al pasar a otro medio o al cambiar las características de éste. Las ondas mecánicas son susceptibles de experimentar diferentes fenómenos como la reflexión, la refracción, la interferencia, la difracción, etc. Estos fenómenos no son exclusivos de dichas ondas, sino también de las ondas electromagnéticas y de las ondas de materia. En cuanto a las ondas electromagnéticas, todos hemos percibido algunos de estos fenómenos: cuando en el receptor de radio o de televisión otra señal eléctrica o electromagnética produce interferencia; al rebotar el haz infrarrojo producido por el control remoto en un obstáculo para activar un aparato; cuando la luz entra por un medio y se descompone en varios colores; etc. Tengamos en cuenta lo anteriormente mencionado para los siguientes capítulos. En esta sección solamente estudiaremos las ondas mecánicas.

Reflexión de las ondas. Cuando se produce una ondulación o pulso en una cuerda atada a la pared por uno de los extremos, no es difícil percatarse de que, después de chocar contra el obstáculo, el pulso cambiar la dirección de su movimiento y, además, puede llegar invertido (figura 37).

Existen muchas situaciones en donde se presenta la reflexión de las ondas mecánicas. Por ejemplo, si sobre un recipiente con agua se coloca un objeto que sobresalga de la superficie y a continuación se producen ondas en el líquido, se observará que éstas, al rebotar contra el objeto, formarán ondas invertidas.

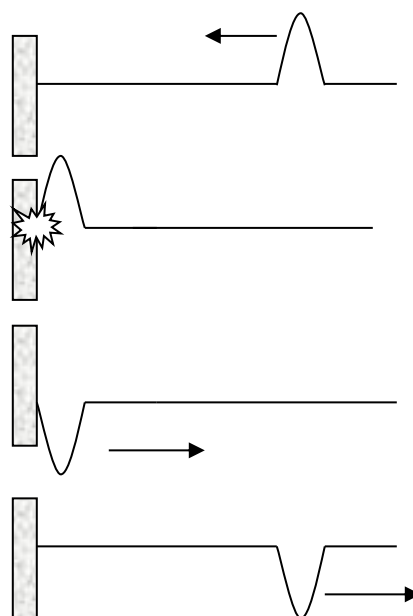


FIGURA 37. REFLEXIÓN DE UNA ONDA.

El sonido es susceptible de sufrir reflexión. La situación típica en donde se demuestra la reflexión del sonido se presenta cuando hablamos en dirección de un obstáculo situado a unas decenas de metros; las ondas sonoras rebotan y detectamos en forma de *eco* el sonido producido. Otro fenómeno interesante es la *reverberación*. Sucede que si se genera un sonido en un espacio pequeño en el cual los objetos reflejen las ondas sonoras, éstas llegan en un tiempo muy pequeño a la fuente emisora, de tal manera que el sonido original parece durar más. Por esta razón, en las salas de concierto que cuidan la calidad acústica se disponen los espacios y se buscan los materiales adecuados para que no ocurra la reverberación.

Interferencia de las ondas. Si dos ondas son producidas por fuentes independientes e interactúan en una determinada zona del espacio o de un plano, el resultado es un nuevo movimiento ondulatorio en el cual se combinan o *superponen* las características de las ondas originales. Si sobre la superficie de un líquido se dejan caer simultáneamente dos objetos, se producen ondas concéntricas que, al interactuar, forman un patrón de interferencia (figura 38) con zonas en donde las ondas se refuerzan y otras en las que se debilitan.

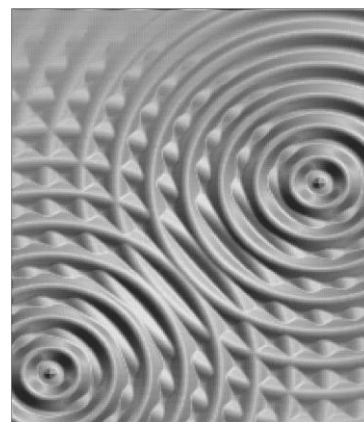


FIGURA 38. REPRESENTACIÓN DE LA INTERFERENCIA DE DOS ONDAS CONCÉNTRICAS

En general, a la interacción entre ondas de distinta amplitud, frecuencia y fase se le conoce como *superposición*. Ésta produce dos tipos de interferencia: la constructiva y la destructiva. Por simplicidad, consideraremos primeramente la situación en la que interfieren dos ondas senoidales en la representación temporal de igual amplitud, frecuencia y fase. En este caso, la interferencia de las ondas equivale, desde el punto de vista matemático, a sumar las ecuaciones de cada onda. Bajo las condiciones descritas anteriormente, el resultado es una onda con el doble de amplitud (figura 39).

Por el contrario, supongamos ahora que dos ondas senoidales de la misma frecuencia y fase, pero con amplitudes de signos diferentes, interfieren. En este caso la suma de las ecuaciones es igual a cero, por lo que la amplitud de la señal es nula y tenemos una situación de interferencia destructiva (figura 40). Si las amplitudes son de signos contrarios pero ligeramente diferentes, se produce una atenuación de la onda, es decir, ésta no se anula totalmente. Las situaciones anteriores son las más sencillas en la interferencia del movimiento ondulatorio. Las situaciones reales de interferencia entre ondas mecánicas son más complejas, pues a veces intervienen más de dos ondas con diferentes amplitudes, frecuencias y fases. A manera de ilustración se presenta en la figura 41 la interferencia de dos ondas senoidales con diferente amplitud y frecuencia.

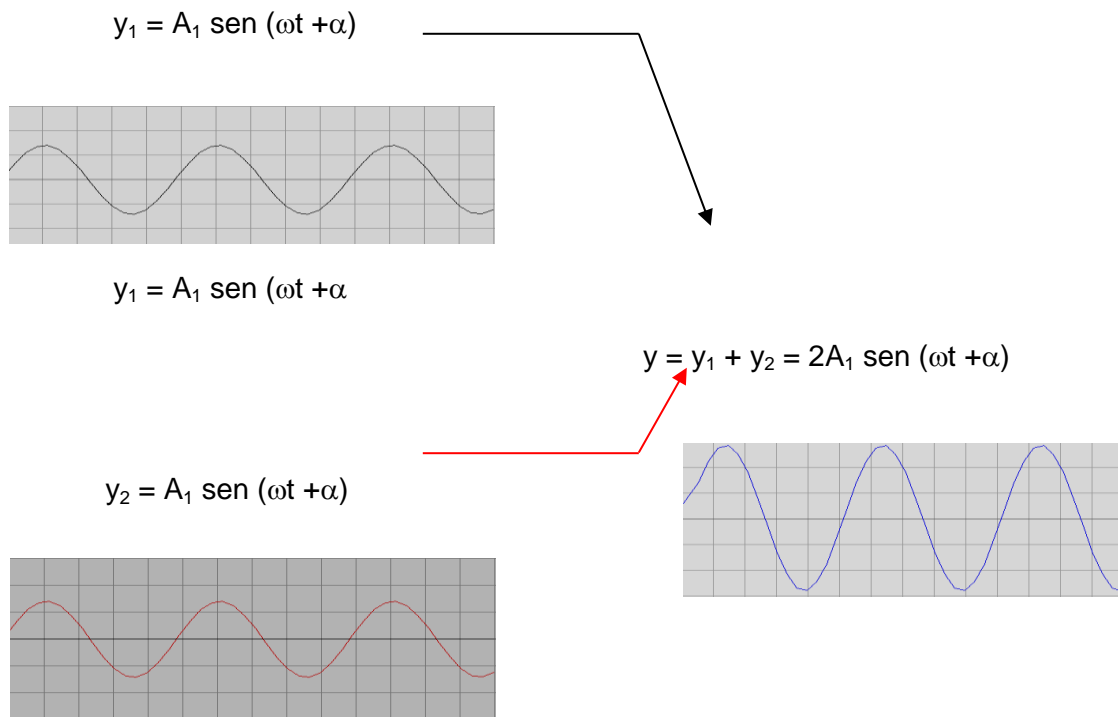


FIGURA 39. INTERFERENCIA CONSTRUCTIVA DE DOS ONDAS SENOIDALES DE IGUAL AMPLITUD, FRECUENCIA Y FASE. LA ONDA RESULTANTE ES IGUAL A LA SUMA ALGEBRAICA DE LAS DOS ONDAS.

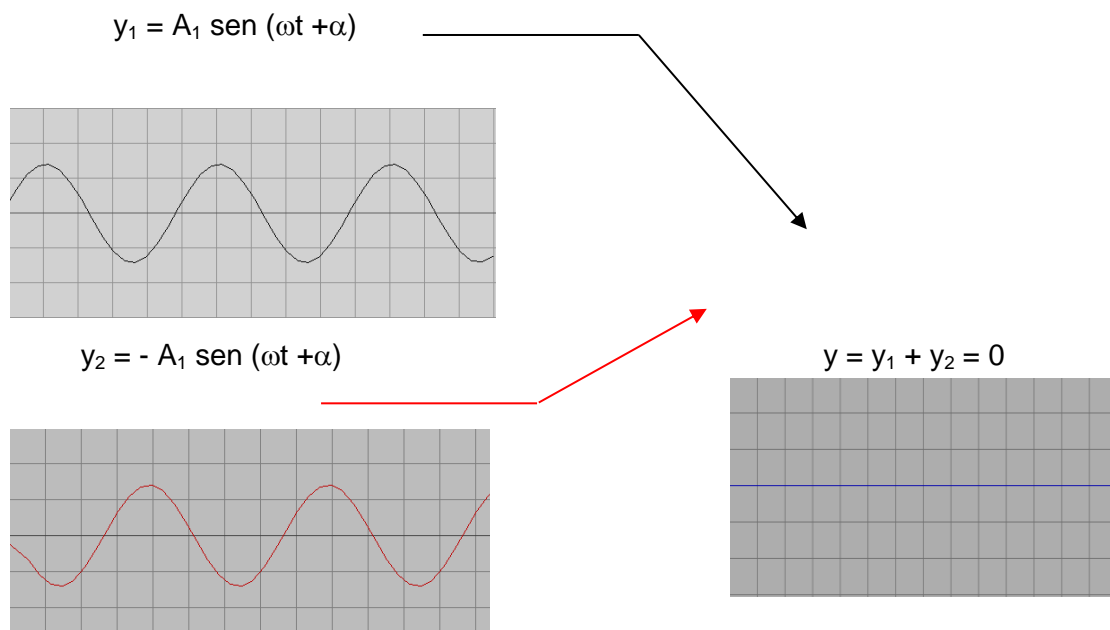
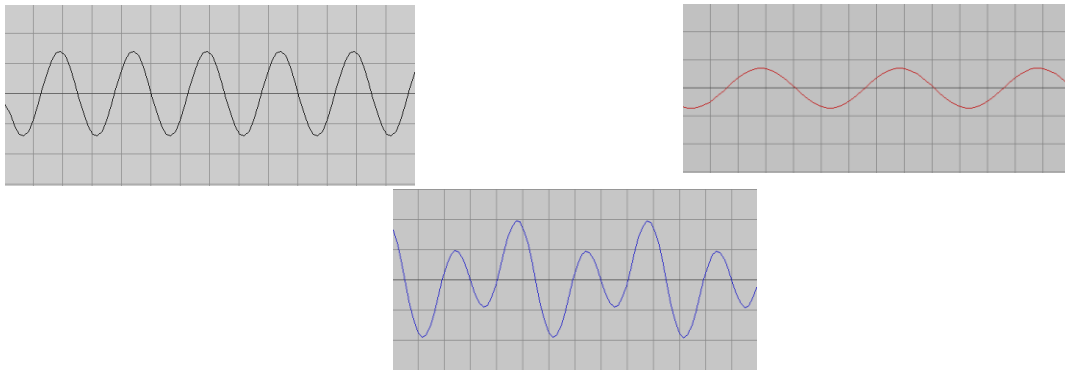


FIGURA 40. INTERFERENCIA DESTRUCTIVA DE DOS ONDAS SENOIDALES DE IGUAL AMPLITUD, FRECUENCIA Y FASE. LA ONDA RESULTANTE ES NULA.

$$y_1 = 2A_1 \text{ sen } (2\omega t + \alpha)$$

$$y_2 = A_1 \text{ sen } (\omega t + \alpha)$$



$$y = y_1 + y_2 = A_1 [2 \text{ sen } (2\omega t + \alpha) + \text{ sen } (\omega t + \alpha)]$$

FIGURA 41. RESULTADO DE LA INTERFERENCIA DE DOS ONDAS SENOIDALES, UNA DE LAS CUALES TIENE EL DOBLE DE AMPLITUD Y FRECUENCIA QUE LA OTRA.

Difracción de las ondas. Una onda que pase por una abertura o rejilla puede tener cualquiera de los siguientes comportamientos (figura 42): 1) continúa con su misma trayectoria y forma de onda; o 2) modifica su forma de onda aunque la dirección de la misma no sufra alteración. Una situación clásica es cuando una onda plana atraviesa una abertura pequeña y al salir de esta zona cambia su forma a circular.

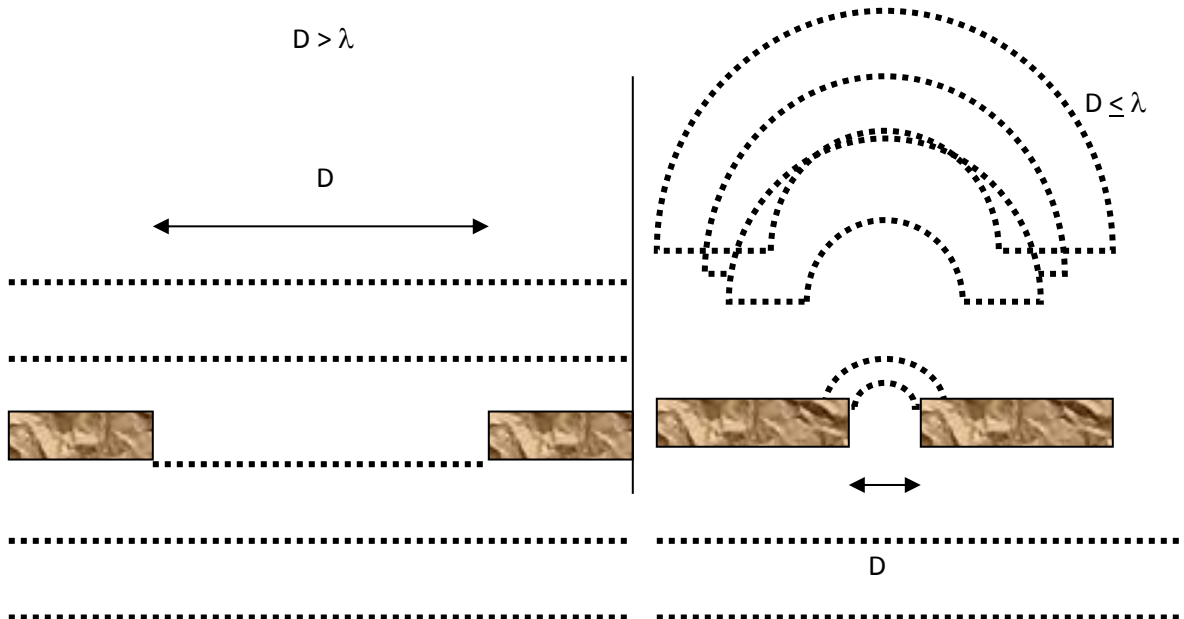


FIGURA 42. SI UNA ONDA PLANA PASA A TRAVÉS DE UNA SEPARACIÓN (D) MÁS GRANDE QUE LA LONGITUD DE ONDA (λ) DE AQUÉLLA, LA ONDA NO CAMBIA SU FORMA (IZQUIERDA). PERO SI LA SEPARACIÓN ES MENOR O IGUAL A LA LONGITUD DE ONDA, ENTONCES LA ONDA SE DIFRACTA Y CAMBIA DE FORMA.

De esta manera, si se encuentra la longitud de separación en la que la onda comienza a modificar su forma, es posible estimar la longitud de onda de la perturbación. Este es un método que permite calcular a los científicos la longitud de onda de diferentes señales, tanto mecánicas como electromagnéticas.

Refracción de las ondas. En ocasiones, después de que una onda se desplaza de un medio a otro, es factible que altere su dirección o su velocidad al pasar al segundo medio. Este fenómeno se ilustra muy bien con las ondas sonoras. Se sabe que el sonido viaja a una velocidad mayor en las capas de aire cuando éstas poseen una temperatura más elevada. Por lo tanto, si una fuente de ondas sonoras viaja de una zona de mayor temperatura a otra de menor temperatura, sufrirá no sólo un cambio de dirección sino también una disminución en su velocidad. En cambio, si las ondas se desplazan de una región de menor temperatura a otra de mayor temperatura, aumentarán su velocidad y cambiarán de dirección.

La refracción también se observa en los líquidos, particularmente en el agua. Por ejemplo, cuando una corriente de agua es desviada por un obstáculo situado de tal modo que la hace cambiar a un medio de mayor o menor profundidad, modificando la velocidad y en la dirección de las ondas (figura 43).

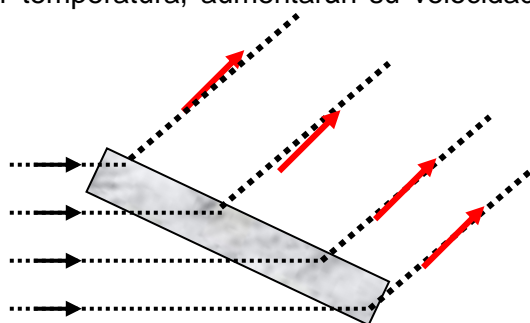


FIGURA 43. LA REFRACCIÓN DE UNA ONDA

Polarización.

La polarización es un fenómeno característico de los movimientos ondulatorios transversales y ocurre cuando las oscilaciones ocurren solamente en un plano (figura 44). Por ejemplo, al mover el extremo de una cuerda en forma perpendicular a la dirección de la propagación, tendremos un movimiento ondulatorio transversal polarizado.

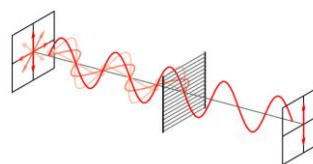


Figura 44. Polarización de una onda.

Se dice que una onda transversal se encuentra polarizada en un plano si las oscilaciones poseen la misma dirección en todos los puntos a lo largo de la dirección de propagación

Al medio o dispositivo que provoque la polarización de una onda transversal, se le denomina *polarizador*.

La luz, al ser una onda electromagnética transversal, puede polarizarse. El *polaroid* es un producto formado por dos láminas de vidrio o plástico, en cuya parte media hay cristales de sulfato de yodo-quinina. Al mover una de las placas del polaroid, podemos observar la

variación de la intensidad luminosa de una fuente luminosa, obteniendo el máximo luminoso cuando los ejes de las placas son paralelos y oscuridad cuando éstos se orientan en forma perpendicular. De esta manera, no es difícil imaginar que una de las aplicaciones de los polarizadores consista precisamente en servir como reguladores de la intensidad luminosa.

Efecto Doppler

Probablemente hayas notado el cambio que experimenta la frecuencia de una sirena cuando se acerca hacia ti y cuando se aleja; en el primer caso se percibe un sonido más *agudo*, mientras que en el segundo se torna más *grave*. A esta variación aparente de la frecuencia de un fenómeno ondulatorio debido al movimiento relativo entre la fuente y el observador se le conoce como *efecto Doppler*.

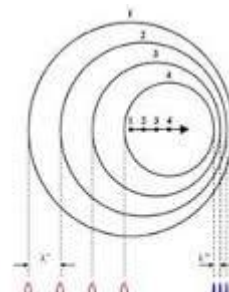


Figura 45. El efecto Doppler.

Un observador en reposo colocado a la derecha de una fuente de ondas en movimiento (figura 45), recibe las ondas de manera más seguida, percibiendo una frecuencia mayor, mientras que otro observador en reposo colocado a la izquierda de dicha fuente, recibe las ondas de manera más espaciada, detectando una frecuencia menor.

Si F es la frecuencia de las ondas emitida por la fuente y F' la frecuencia que percibe el observador, entonces

$$F = F' (v - v_0) / (v - v_f)$$

Siendo v_0 la velocidad del observador (igual a cero si está en reposo), v la velocidad de la fuente con respecto al medio (del sonido, en el caso de las ondas sonoras) y v_f la velocidad de la fuente.

Para finalizar, realizaremos un ejemplo que ilustre la aplicación de la ecuación (69).

Ejemplo. Una sirena emite una frecuencia de 10000 Hz y se desplaza a una velocidad de 20 m/s. Si un observador se mueve a 1 m/s en la misma recta que la fuente, encontrar la frecuencia percibida por el observador, suponiendo que la velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s.

Solución. Al sustituir $F' = 10000 \text{ Hz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = 1 \text{ m/s}$ y $v_f = 20 \text{ m/s}$ en la ecuación, resulta

$$F = 10\,000 \text{ Hz} (340 - 1) \text{ m/s} / (340 - 20) \text{ m/s} = 10593.75 \text{ Hz}$$

Es la frecuencia percibida por el observador.

Actividades de aprendizaje

Contesta las preguntas.

1. ¿Qué es la reflexión de las ondas? Da un ejemplo.

2. ¿Qué es la refracción de las ondas? Da un ejemplo.

3. ¿Qué es la interferencia de las ondas? Da un ejemplo.

4. ¿Qué es la difracción de las ondas? Da un ejemplo.

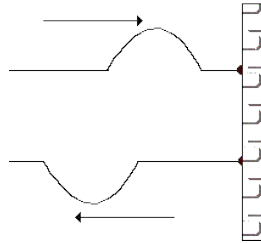
5. ¿Qué es la polarización de las ondas? Da un ejemplo.

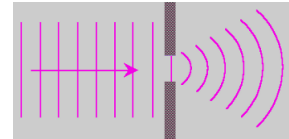
6. ¿Qué es el efecto Doppler? Da un ejemplo.

7. Un submarino emite un pulso sónico de 6000 Hz y se desplaza a una velocidad de 60 m/s. Si otro submarino se mueve a 10 m/s en la misma recta que la fuente, encontrar la frecuencia percibida por el segundo submarino, suponiendo que la velocidad del sonido en el agua es de 1540 m/s. ¿Qué frecuencia percibirá el segundo submarino si se mueve en forma rectilínea en dirección del primero?

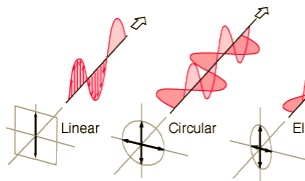
8. En las imágenes de abajo coloca el término adecuado: reflexión, refracción, interferencia, difracción, polarización y efecto Doppler.

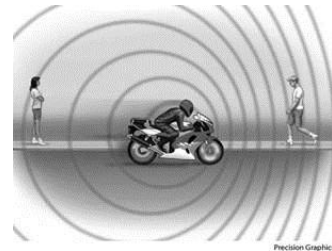








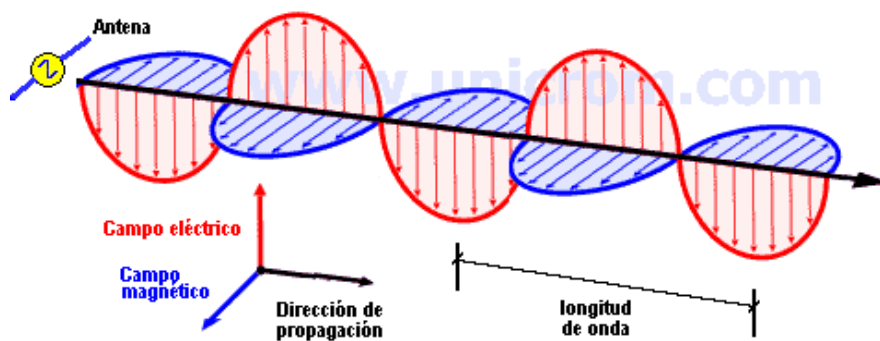




9. Completa la tabla.

Fenómeno	Ejemplos para las ondas sonoras	Ejemplos para las ondas luminosas	Ejemplos para las ondas electromagnéticas
Reflexión			
Refracción			

Difracción			
Interferencia			
Polarización			
Efecto Doppler			



Aplicaciones del estudio de las ondas

Aprendizajes: 1. Comprender algunas aplicaciones de los fenómenos ondulatorios relacionados con la ciencia, la tecnología y la sociedad. 2. Reconocer el impacto en la salud y en el ambiente de la contaminación sonora y electromagnética.

Contenidos temáticos: 1. Sistemas de diagnóstico médico, de detección de sismos y de telecomunicaciones. 2. Contaminación sonora.

Algunas aplicaciones del espectro sonoro

Las ondas acústicas son especialmente útiles en la sociedad contemporánea. Basta percatarse de que una buena parte de las señales recibidas del mundo exterior e interior del ser humano, tratan de expresarse con palabras, imágenes y/o sonidos. El sonido es un medio que nos permite establecer comunicación o mandar mensajes a nuestros semejantes, tanto de manera directa como a través de un medio.

Particular relevancia poseen las tecnologías que emplean los ultrasonidos. Una de sus primeras aplicaciones fue en los sistemas a control remoto. De hecho, muchos de los primeros controles remotos diseñados para la televisión funcionaban a base de ultrasonidos. Con el avance de la electrónica y la facilidad para producir pulsos infrarrojos a partir de un LED, aquéllos perdieron su utilidad. Actualmente las ondas ultrasónicas poseen bastantes aplicaciones. Mencionemos algunas de ellas:

- **Ahuyentadores electrónicos.** Son dispositivos electrónicos que producen pulsos ultrasónicos con la finalidad de alejar de la presencia humana a ciertas plagas o animales sensibles a estas frecuencias. Constan de un oscilador, un amplificador y una bocina diseñada para altas frecuencias (*tweeter*).
- **El sonar.** Es una tecnología basada en la generación de ultrasonidos para explorar la profundidad del fondo marino, localizar bancos de peces u objetos, etc. (figura 46). En el mar las ondas ultrasónicas viajan a unos 1540 m/s, por lo que basta calcular el tiempo entre la emisión y la recepción de la onda ultrasónica, y dividirla entre dos, para conocer la distancia a la que se encuentra un obstáculo. Un sonar consta de un transmisor, un oscilador, un transductor y un amplificador. Su origen se remonta al año de 1917 con las investigaciones del físico francés Paul Langevin. Veinticuatro años después, Frederick Hunt construyó el primer sonar.

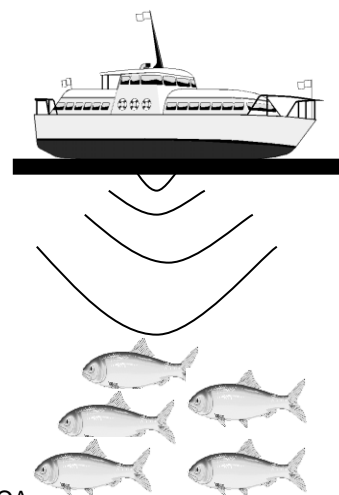


FIGURA 46. EN ALGUNOS PAÍSES SE EMPLEA EL SONAR PARA LA PESCA.

- **La ecografía.** Es una técnica similar al sonar, sólo que aquí se forma una imagen a partir de los ecos recibidos. Cuando las ondas ultrasónicas golpean un objeto, se reflejan pero retornan a diferentes tiempos. Las diferencias de tiempo permiten construir un perfil de aquél y, si el análisis es muy fino, hasta una imagen nítida. La ecografía nació como técnica útil en 1958, cuando a Ian Donald se le ocurrió utilizar el sonar para obtener imágenes de un feto en el vientre materno. A diferencia de otras señales –como los rayos X-, los ultrasonidos no dañan al feto. Desde entonces la ecografía se empleó como una técnica segura para este tipo de estudios, además de beneficiarse con el desarrollo de veloces ordenadores y monitores que permitieron formar imágenes de alta resolución. La ecografía también es útil en los terrenos de la geología y la biología.
- **En los sistemas de detección de obstáculos.** Son mecanismos dotados de varios sensores ultrasónicos para detectar la presencia de objetos. Algunos robots o vehículos manejados de manera autónoma o a control remoto, utilizan varios sensores ultrasónicos para evadir los obstáculos o mantenerse alejados de declives o elevaciones en el terreno. También se están diseñando sistemas con emisores ultrasónicos para ayudar a las personas invidentes a orientarse al caminar.
- **En la industria.** Mediante los ultrasonidos es factible detectar fallas, fracturas o defectos en ciertos materiales. También se emplean las altas frecuencias para homogeneizar o desgasificar ciertos líquidos, en la limpieza de metales, joyas, conservas, telas, etc.
- **En la investigación militar.** Las señales de ultrasonidos son estudiadas ampliamente debido a su multitud de aplicaciones. Se cree que los tanques militares a mediano plazo podrían incorporar sistemas ultrasónicos para la localización y destrucción de minas terrestres. Por medio de ultrasonidos también es posible destruir o fracturar algunos materiales. Durante la guerra fría, los soviéticos investigaron la viabilidad de construir un haz ultrasónico para destruir objetos a distancia. Al parecer no tuvieron mucho éxito.

La contaminación sonora

Para saber qué tipo de sonidos comienzan a dañarnos, requerimos conocer cómo se mide la intensidad de aquéllos. La intensidad de una onda (I) se cuantifica como su potencia media (P_m) por unidad de área (A), es decir

$$I = P_m / A$$

La unidad de la intensidad sonora es el Watt por metro cuadrado (W / m^2). Ahora bien, es más común referirse al nivel de la intensidad del sonido, más que a la intensidad en sí. Para ello se utiliza una escala de logaritmos naturales basada en una intensidad de referencia. Así, el nivel de intensidad del sonido (B) es

$$B = 10 \log (I / I_0)$$

Aquí I es la intensidad del sonido e I_0 una intensidad de referencia. El nivel de la intensidad sonora se mide en *decibeles* (dB). Ésta se fija de manera arbitraria. Normalmente se toma $I_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$ (considerado para una frecuencia de 1000 Hz). Dado que esta escala es logarítmica, el aumento en la intensidad del sonido no es proporcional al aumento experimentado por I respecto a I_0 . Por ejemplo, si $I = I_0$ como $\log (1) = 0$, entonces $B = 0 \text{ dB}$. En cambio, cuando $I = 10 I_0$, puesto que $\log (10) = 1$, se tiene: $B = 10 \text{ dB}$.

Un oído estándar el sonido menos intenso que alcanza a escuchar se encuentra cerca de los 10 dB. A este límite se le denomina *umbral de audición*. Por contraparte, el oído ya no percibe sonidos por encima de los 160-170 dB. Por encima de los 120 dB se encuentra el *umbral del dolor*, es decir, los sonidos que causan daño y molestia al oído. Además, se ha comprobado que la exposición continua a sonidos superiores a 80 dB tiene efectos negativos en la salud. En la tabla III se muestran diferentes sonidos, su intensidad típica y, cuando es el caso, los daños que ocasionan.

En el trabajo, la calle, la escuela el hogar y otros lugares públicos se debe cuidar la intensidad de los sonidos generados en el entorno. Existen medidores de intensidad sonora que registran la intensidad de diferentes sonidos (figura 47). Sería muy útil su instalación en salas de concierto, oficinas y otros sitios. La existencia de ruidos cada vez más intensos en la sociedad ha incrementado el número de personas que padecen sordera total o parcial.



Figura 47. Medidor analógico de intensidad sonora.

TABLA III. INTENSIDADES Y EFECTOS DE ALGUNOS SONIDOS

Sonido	Intensidad (dB)	Efectos
Hojas arrastradas levemente por el viento	10	Es apenas audible
Murmullo de voces	20	_____
Glifo de agua	35-40	Puede ocasionar que una persona dormida se despierte

Radio o televisión a volumen moderado	40-45	
Conversación tranquila	60-65	Por arriba de los 60 dB se pierde la concentración
Taller mecánico	70-80	Exposición prolongada: mal humor, migrañas, etc.
Licuada o calle muy transitada	80-90	Exposición prolongada: fatiga, alteraciones psíquicas y neurológicas
Metro, automotores	90-100	Exposición prolongada: Mareos, insomnio, irritabilidad continua, alteraciones en la conducta
Aviones, ambiente de discoteca	100-120	Por encima de los 115 dB en el cerebro se inducen crisis semejantes a la epilepsia
Conciertos de rock, máquinas industriales	120-140	Por encima de los 120 dB comienza el umbral del dolor. La exposición continua o prolongada causa daños irreversibles en el oído y otras zonas del cerebro
Turbina de un avión a unos cuantos centímetros	140-160	Pérdida total o de gran parte de la audición. Algunos animales expuestos a sonidos de 160 dB mueren

La contaminación electromagnética

Si bien las diferentes señales del espectro electromagnético son útiles y aparecen en muchos fenómenos naturales, lo cierto es que su uso masivo y en dosis que exceden los límites naturales del ambiente y del cuerpo humano, pueden acarrear diferentes daños. A continuación mencionaremos algunas consecuencias.



Figura 48. Fuentes de contaminación electromagnética.

- **Ondas ELF, radiofrecuencias y microondas (radiaciones no-ionizantes).** Existen estudios que sugieren que la exposición a radiación electromagnética (figura 48) procedente de transformadores de alta tensión, tendido eléctrico, aparatos electrodomésticos, radiofrecuencias provenientes de antenas de televisión y de telefonía móvil, además de las señales de los teléfonos celulares, tiene una probabilidad entre mediana y alta de desarrollar enfermedades como: “leucemia en adultos y niños, cáncer cerebral en adultos y niños, cáncer de mama femenino y masculino, abortos espontáneos, suicidio, enfermedad de Alzheimer, esclerosis lateral amiotrófica (enfermedad de Lou Gehring) y enfermedades cardiovasculares incluyendo infarto del miocardio.”¹ Estos datos son interesantes, pues el ciudadano promedio recibe dosis diversas de ondas ELF y radiofrecuencias en la casa, la calle y el trabajo. Algunos autores recomiendan establecer la vivienda o centro de trabajo lejos de transformadores, antenas de radiofrecuencia o de telefonía móvil, además de la exposición moderada a tecnologías como el teléfono celular, la computadora, ciertos electrodomésticos, entre otras medidas.
- **Rayos infrarrojos y radiación visible (radiación térmica).** El Sol emite este tipo de radiaciones, por lo que el cuerpo las recibe de manera natural. No obstante, una dosis elevada de radiación infrarroja provoca quemaduras en la piel y daños en órganos expuestos como los ojos. Si bien la radiación visible tiene la energía suficiente para alterar levemente las moléculas de los organismos vivos, se piensa que éstos han sabido adaptarse evolutivamente a pequeñas mutaciones derivadas de dichos cambios.
- **Rayos ultravioleta, rayos X y radiación gamma (radiaciones ionizantes).** Como son radiaciones de alta frecuencia y energía, es factible que alteren las moléculas que forman las células y, por lo tanto, causen mutaciones en los seres

¹ Ver: Andrei N. Tchernitchin, Rubén Riveros, “Efectos de la radiación electromagnética en la salud”, en http://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/03/chact_hidroy-3%2000023.pdf (Recuperado el 1 de septiembre de 2017)

vivos. En el caso de los rayos ultravioleta, como su poder de penetración es poco, el organismo humano cuenta con la melanina de la piel para neutralizar su efecto e impedir que la mencionada radiación incida sobre el ADN. No obstante, los rayos X y la radiación gamma son muy penetrantes y, en dosis elevadas o aun pequeñas, pueden alterar el ADN y provocar mutaciones en los genes². El cáncer es una de las consecuencias de la exposición prolongada o a dosis altas de estas radiaciones, mas no es la única pues también se han observado anomalías en el desarrollo de los organismos, deterioro de algunas funciones y otras más.

- **Rayos cósmicos.** Aunque es la radiación de mayor frecuencia o energía, sus efectos sobre los organismos no se han estudiado de manera sistemática y confiable. Algunos científicos han especulado que en determinados períodos geológicos, dosis elevadas de esta radiación pudieron inhibir el desarrollo de algunas especies y la proliferación de otras

Actividades de aprendizaje

1. Menciona algunos efectos de la contaminación sonora.

2. Menciona algunas aplicaciones del espectro sonoro.

3. ¿Cómo se mide la intensidad del sonido?

4. Describe algunas consecuencias de los distintos tipos de radiación electromagnética.

² Ver: Neus Agell Jané, “Efectos biológicos de las radiaciones electromagnéticas de alta energía”, en <http://metode.cat/es/Revistas/Monografics/Radiacions/Efectes-biologics-de-les-radiacions-electromagnetiques-d-alta-energia> (Recuperado el 7 de septiembre de 2017).

TERCERA UNIDAD. Introducción a la física moderna y contemporánea

Presentación

En esta unidad se estudian los fundamentos y avances de la física en los Siglos XX y XXI, principalmente la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad (especial y general). Además, se abordan algunas aplicaciones de la física contemporánea.

Los conceptos centrales de esta unidad son:

- Cuanto de energía.
- Relatividad.
- Espectro.
- Efecto fotoeléctrico.
- Modelo atómico de Bohr.
- Ondas de materia (Broglie).
- Principio de incertidumbre.
- Equivalencia masa-energía.
- Radiactividad.
- Radioisótopo.
- Fisión nuclear.
- Fusión nuclear.
- Generación de energía nuclear.

Se hace énfasis en las aplicaciones de la física contemporánea vinculadas con la vida cotidiana.

Cuantización de la materia y la energía

Aprendizaje: Conoce algunos fenómenos físicos que la física clásica no pudo explicar.

Temática: Crisis de la física clásica y origen de la física cuántica: radiactividad, espectros atómicos y radiación de cuerpo negro.

Desde la publicación de los *Principia* en 1687, obra maestra de Newton, quedó formalmente establecido el edificio de la física clásica. En cierta manera, la concepción mecanicista del mundo se impuso en muchos terrenos de la física. Las leyes de Newton se convirtieron en poderosas herramientas matemáticas para resolver infinidad de problemas físicos. Además, la teoría de la Gravitación Universal dio solución a añejos problemas astronómicos y permitió hacer predicciones que aún sorprenden. Gracias a dicha teoría se pudo comprender el movimiento de los planetas en órbitas elípticas alrededor del Sol, las mareas, el achatamiento de los polos, la periodicidad de algunos cometas, el descubrimiento de nuevos planetas al observar la perturbación experimentada en las órbitas de algunos, etc. La mecánica, pues, se consolidó en los dos siglos siguientes y tuvo el mérito de explicar prácticamente todos los fenómenos que encontró.

La concepción mecanicista también contribuyó al desarrollo de otras disciplinas de la física, como la termodinámica, la hidráulica y la óptica. Aún con la síntesis de los fenómenos eléctricos y magnéticos efectuada por Maxwell en el siglo XIX, la física clásica permaneció incólume.

Sin embargo, a finales del siglo XIX, varios descubrimientos llamaron la atención de muchas personalidades prominentes de la ciencia. La física clásica comenzó a experimentar sus primeras dificultades por no poder explicar a cabalidad dichos descubrimientos. En los años siguientes surgiría una nueva física edificada sobre bases diferentes respecto a los de la física clásica

En los albores del siglo XX, existieron cuatro problemas que la física clásica no pudo resolver. A saber:

- I. La emisión de la radiación térmica del cuerpo negro (más adelante se le conoció a este problema como la <<catástrofe ultravioleta>>).
- II. El comportamiento de los calores específicos a temperaturas bajas.
- III. El efecto fotoeléctrico.
- IV. La radiactividad.

Actividades de aprendizaje

1. Describe en qué consiste la llamada “catástrofe ultravioleta”.

2. Describe en qué consiste el efecto fotoeléctrico.

3. Describe en qué consiste la radiactividad.

Aprendizaje: Describe el fenómeno del efecto fotoeléctrico.

Temática: Efecto fotoeléctrico.

En 1887, Heinrich Hertz –descubridor de las ondas electromagnéticas- notó que en algunos materiales emiten carga eléctrica cuando incide sobre ellos una radiación de longitud de onda muy pequeña.

Un año después, Wilhelm Hallwachs demostró que las cargas emitidas eran electrones. Más adelante, el alemán Philipp Lenard y el ruso Stoliétov –trabajando de manera independiente- estudiaron el fenómeno con detenimiento. A este fenómeno se le conoce como *efecto fotoeléctrico* (figura 49).

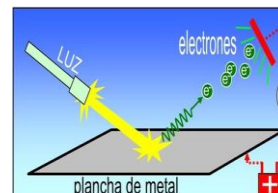


FIGURA 49. EL EFECTO FOTOELÉCTRICO. CUANDO INCIDE RADIACIÓN LUMINOSA SOBRE CIERTOS MATERIALES, SE ESTABLECE UNA CORRIENTE ELÉCTRICA.

A partir de los trabajos de Lenard y Stolietov se pudo establecer los siguientes resultados:

- La existencia de una frecuencia umbral (F_u) en cada material, es decir, una frecuencia por debajo de la cual no es posible la emisión de electrones.
- Para una misma frecuencia, la corriente eléctrica es directamente proporcional a la intensidad de la radiación incidente.
- La energía máxima que adquieren los electrones emitidos es independiente de la intensidad de la radiación que incide sobre el material.

Definitivamente la física clásica no estaba preparada para explicar este fenómeno. Por ejemplo, era inexplicable porqué una radiación de gran intensidad, al incidir sobre una superficie, no provocara la emisión de electrones; mientras que una radiación de menor intensidad –pero diferente longitud de onda- desencadenara la emisión de electrones al ser recibida por el material.

Pensando a la manera de la física clásica, era lógico que entre mayor intensidad tuviera la radiación, más grande sería la energía cinética de la cargas eléctricas y éstas, al colisionar contra la superficie del material, podrían *arrancar* a los electrones con mayor facilidad. Los hechos experimentales probaron que esta suposición no es correcta y que la energía de la radiación depende de la frecuencia, como fue establecido por el mismo Planck.

En el año de 1905, el físico alemán Albert Einstein –entonces empleado de una oficina de patentes suizas- publicó en la revista alemana *Annalen der Physics*, un artículo en el cual expuso una teoría para explicar el efecto fotoeléctrico. Einstein supuso que la radiación incidente se compone de un *quantum* de energía. De manera que al incidir la radiación sobre la superficie de un material, la energía cinética máxima alcanzada por el electrón (K) es igual a la diferencia entre la energía de la radiación incidente ($h F$) y una energía característica de cada material –denominada *función de trabajo* W_0 - dependiente de la frecuencia umbral (F_u). En términos matemáticos, se tiene

$$K = h F - W_0$$

Aquí $W_0 = h F_u$, o sea, la función de trabajo es directamente proporcional a la frecuencia umbral y, por lo tanto, es característica de cada material.

Actividades de aprendizaje

1. ¿En qué consiste el efecto fotoeléctrico?

2. Completa la tabla siguiente.

Energía cinética máxima K (J)	Energía de la radiación incidente E (J)	Función de trabajo W_0 (J)	Frecuencia de la radiación F (Hz)	Longitud de onda de la radiación λ (m)
	3×10^{-19}	2.1×10^{-19}		
67.3×10^{-19}	82.3×10^{-19}			
43.89×10^{-19}		22.77×10^{-19}		

3. Encontrar la energía cinética máxima de los electrones en el potasio cuando incide un haz ultravioleta con una longitud de onda de 2500×10^{-10} m, si la función de trabajo de este elemento es de 3.5×10^{-19} J

Aprendizajes. 1. Reconoce los modelos elementales de la estructura de la materia. 2. Describe algunos espectros de gases y su relación con la estructura de los átomos. 3. Aplica cualitativamente el modelo atómico de Bohr para explicar el espectro del átomo de hidrógeno.

Temáticas: 1. Cuantización de la energía y efecto fotoeléctrico. 2. Estructura de la materia: átomos y moléculas. 3. Espectros de emisión/absorción de gases. 4. Modelo atómico de Bohr.

Los modelos atómicos

Desde la Antigüedad, el ser humano se ha preguntado de qué se compone la materia que lo rodea y cuál es su estructura. Demócrito de Adbera supuso que la materia se encuentra formada por *átomos* (átomo es un término que significa “sin división”) de carácter eterno e indestructibles, con variadas formas. Otros filósofos dieron por hecho que la materia se encuentra formado por los cuatro elementos de la alquimia (tierra, agua, fuego y viento), añadiendo algunos un quinto elemento o *quintaesencia*, capaz de organizar y animar a dichos elementos.

Sin embargo, mientras las especulaciones acerca de la materia se concentraron en el campo filosófico, no hubo un avance científico significativo para desentrañar su estructura. Fue hasta el Siglo XVII cuando se retomó la concepción atomista de la materia. Por ejemplo, en su obra *Sintagma Philosophicum* (1649) Gassendi supuso que los átomos eran rígidos e indestructibles, y que se mueven a través del espacio vacío dando lugar a las diversas propiedades de la materia.

Más tarde, el inglés John Dalton sugirió en su obra *Nuevo sistema de filosofía química* (1803) que los gases se encuentran formados por átomos que se repelen entre sí con una fuerza dependiente de la distancia. Extendiendo la teoría de Dalton a la estructura de la materia, se pudo explicar la estructura de las moléculas: las cuales se forman por combinación de elementos, y cada elemento a su vez, se compone de un número determinado de átomos.

Por otra parte, los descubrimientos de Faraday relativos a la electrólisis plantearon una inquietante posibilidad: que la electricidad estuviese compuesta por partículas cargadas. En 1881, el alemán Helmholtz supone que la electricidad está formada por átomos y diez años más tarde Johnstone Stoney llamó **electrones** a esas partículas o *átomos de electricidad*.

En 1897 el inglés J.J. Thomson realizó un experimento que demostró que dichas partículas estaban cargadas en forma negativa. Interpretando los resultados de su experimento, Thomson supuso que el átomo puede concebirse como una enorme masa de carga positiva con pequeñas partículas o electrones de carga negativa adheridos a la

superficie de aquélla. Pero el modelo de Thomson no se mantuvo con vida ni una década. En 1911 Ernest Rutherford sugirió a dos de sus colaboradores –Marsden y Geiger- la realización de un experimento de dispersión con la intención de conocer la estructura del átomo. Si el átomo tenía la constitución imaginada por Thomson, se esperaba que la mayoría de las partículas alfa –proyectadas a gran velocidad- atravesaran la plaquita de oro sin sufrir una desviación apreciable respecto a su trayectoria original. Lo sorprendente es que los colaboradores de Thomson descubrieron que una parte de las partículas alfa no sufrieron desviación, pero otras se dispersaron en ángulos muy grandes y hasta en dirección opuesta. Rutherford interpretó estos resultados suponiendo que existe un núcleo de carga positiva, el cual era el responsable de la desviación de algunas de las partículas alfa cargadas positivamente. Alrededor de ese núcleo positivo que concentra la mayor parte de la masa del átomo, estarían ubicadas a cierta distancia las partículas de carga negativa, es decir, los electrones.

Desde el descubrimiento del electrón (Thomson, 1897), el protón (Rutherford, 1919) y el neutrón (Chadwick, 1932), los investigadores continuaron descubrimiento nuevas partículas al investigar los diferentes fenómenos en el interior del núcleo atómico. Después de muchos estudios e intentos para clasificar a las partículas elementales –que se supone son los constituyentes fundamentales de la materia–, la teoría del **modelo estándar** ha tenido éxito en tratar de explicar las interacciones de la materia y la mayoría de las interacciones fundamentales con base en cuatro *partículas portadoras* de cada una de éstas, seis *leptones* y seis *quarks*. Una partícula portadora es aquélla que transmite alguna de las interacciones fundamentales de la naturaleza (gravitacional, electromagnética, nuclear débil y nuclear fuerte). En los párrafos siguientes estudiaremos brevemente el modelo estándar de las partículas elementales. Sin considerar las antipartículas –que corresponden a la antimateria–, actualmente el gran número de partículas conocidas pertenece a alguno de los grupos siguientes (figura 50):

I. **Leptones.** Hay seis leptones básicos con carga eléctrica negativa (electrón, muón y tau) y tres con carga nula (neutrinos e , μ y τ). Los únicos leptones estables son el electrón y los neutrinos.

II. **Quarks.** Son seis y se denominan: **u** (up), **d** (down), **c** (charm), **s** (strange), **t** (top) y **b** (bottom). Tienen la peculiaridad de tener una carga eléctrica fraccionaria ($\pm 1/3$ o $\pm 2/3$). Dado que los quarks no pueden mantenerse aislados, al combinarse dan lugar a partículas como los bariones y los mesones. También hay antiquarks

Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	u up	c charm	t top	Y photon
	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ fuerza débil
Leptones	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	T tau	W[±] fuerza débil
				Bosons (Fuerzas)

Figura 50. Las tres generaciones de la materia.

III. **Fermiones.** Estas partículas poseen un momento angular intrínseco o espín semientero ($1/2, 3/2$). Los fermiones –que incluyen a los quarks, los leptones y otras partículas compuestas– obedecen al *principio de exclusión de Pauli*. Dicho principio manifiesta la imposibilidad de que dos partículas, en el mismo lugar y tiempo, tengan iguales sus números cuánticos. Ejemplos de fermiones: el protón y el neutrón.

IV. **Bosones.** Son partículas que no se rigen por el principio de exclusión de Pauli, además de poseer un espín entero ($0, 1, 2$), es decir, dos bosones pueden estar en el mismo lugar al mismo tiempo. Ejemplos de estas partículas: el fotón (portador de la interacción electromagnética) y los mesones.

Aunque aún no se ha presentado una teoría cuántica consistente para la interacción gravitacional, el modelo estándar es útil para describir las restantes interacciones fundamentales.

Actividades de aprendizaje

1. Describe brevemente algunos modelos atómicos.

2. Describe los grupos de partículas del modelo estándar.

3. Investiga qué es la antimateria.

Los diferentes tipos de espectros

Con el avance de la espectroscopia, se reconoció la existencia de cuatro tipos de espectros:

- ✓ El espectro continuo de emisión
- ✓ El espectro continuo de absorción
- ✓ El espectro de rayas de emisión
- ✓ El espectro de rayas de absorción

El espectro continuo de emisión se obtiene cuando una sustancia o material se calienta y la temperatura sigue aumentando. Típicamente, suele aparecer el rojo, luego el anaranjado, el amarillo, el verde, el azul y el violeta. En buena parte de los materiales la coloración se presenta en forma ininterrumpida, lo que implica que en ellos se encuentran las diferentes longitudes de onda, al menos del espectro visible. Un ejemplo de este tipo de espectro se muestra en la figura 51.



Figura 51. Un espectro continuo de emisión.



Figura 52. Un espectro continuo de absorción de colores. Los colores azul y verde están ausentes.

El espectro continuo de absorción (figura 52) se manifiesta cuando una sustancia que emite un espectro continuo pasa a través de algún cuerpo y el resultado es la ausencia de algunos colores comparado con el espectro continuo de emisión.

En los dos tipos de espectros anteriores, la luz simplemente pasa por un prisma y se dispersa. En el espectro de rayas continuo, la fuente de luz pasa antes por una diminuta rendija que solamente permite el paso de algunas líneas (figura 53). Dependiendo de la posición en la que aparezcan estas líneas, podemos conocer qué elementos están presentes en dicha fuente

Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen, alrededor del año 1859, se percataron de que ciertas franjas oscuras que aparecen el espectro del Sol en realidad corresponden a las líneas de emisión de ciertos gases. Además, cada elemento posee su espectro de rayas particular, por lo que su identificación tanto en las estrellas como en sustancias desconocidas se hizo más fácil.

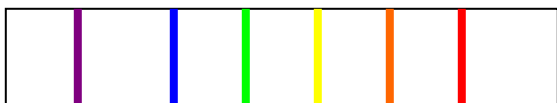


Figura 53. Un espectro de rayas de emisión.



Figura 54. Un espectro de rayas de absorción. La posición de las líneas oscuras indica a qué elemento pertenece.

En cambio, un espectro de rayas de absorción se obtiene cuando antes de dirigir una fuente de luz hacia una rejilla, se le interpone alguna sustancia. El resultado es una o varias líneas en diferentes zonas del espectro (figura 54).

Actividades de aprendizaje

1. Describe brevemente los diferentes tipos de espectros.

2. Busca ilustraciones para representar:

a) Un espectro continuo de emisión



b) Un espectro continuo de absorción



c) Un espectro de rayas de emisión



d) Un espectro de rayas de absorción



El espectro de hidrógeno

Para los físicos que estudiaban la espectroscopia era muy curioso el hecho de que los espectros continuos de emisión fueran muy similares en la mayoría de las sustancias. Esto es porque toda sustancia que aumenta su temperatura emite mayor cantidad de energía. En cambio, los espectros de rayas son como la firma o huella digital de cada elemento, es decir, muy específicos.

Algunos físicos –como Kirchhoff– suponían que ambos espectros tienen el mismo origen. Los espectros de rayas, entonces, tendrían que ver más con la estructura interna de la materia que con propiedades macroscópicas como la emisión térmica. En ambos casos, la energía asociada a los espectros de rayas representó un problema que la física clásica no pudo solucionar.

Sin embargo, aunque no había una explicación para las rayas de emisión de los espectros, los investigadores continuaron con sus experimentos y hasta obtuvieron modelos matemáticos empíricos para calcular la posición de las diferentes líneas.

En 1885, Balmer encontró una ecuación para obtener el inverso de la longitud de onda de una serie de rayas que aparecen en el espectro visible y el ultravioleta cercano del átomo de hidrógeno. Esta relación es conocida como la *serie de Balmer* y se calcula así:

$$1 / \lambda = R (1/ 2^2 - 1/ n^2) \quad .$$

Aquí $R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ es la llamada *constante de Rydberg*, mientras que n puede tomar los valores 3, 4, 5, etc.

Las rayas de emisión de la serie Balmer –conocidas como $H_\alpha = 656.28 \text{ nm}$, $H_\beta = 486.13 \text{ nm}$, $H_\gamma = 434.05 \text{ nm}$, $H_\delta = 410.17 \text{ nm}$ y $H_\epsilon = 397.0 \text{ nm}$ – se ilustran en la figura 55.

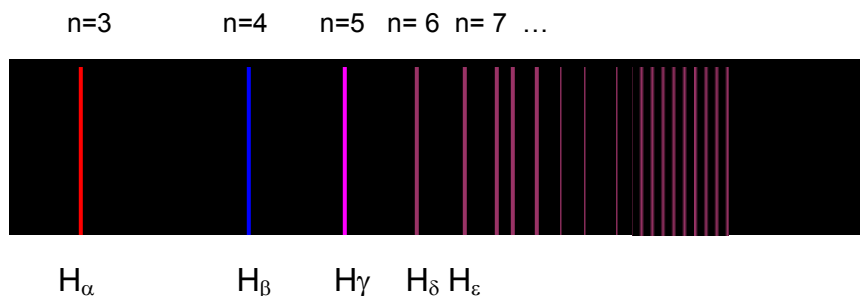


Figura 55. Espectro de rayas del Hidrógeno (Serie Balmer).

Más adelante, otros físicos estudiaron las líneas espectrales del hidrógeno en la región ultravioleta e infrarroja, llegando a series parecidas a la de Balmer. A modo de ilustración escribiremos estas series:

$$1 / \lambda = R (1 - 1/ n^2) \quad \text{Serie de Lyman} \quad (\text{ultravioleta})$$

$$1/\lambda = R(1/3^2 - 1/n^2) \quad \text{Serie de Paschen (infrarrojo)}$$

$$1/\lambda = R(1/4^2 - 1/n^2) \quad \text{Serie de Brackett (infrarrojo)}$$

$$1/\lambda = R(1/5^2 - 1/n^2) \quad \text{Serie de Pfund (infrarrojo)}$$

En cada serie n toma valores a partir del siguiente número entero que caracteriza la serie: $n = 2$ para la serie Lyman; $n = 4$ en la serie Paschen; $n = 5$ en la serie Brackett; y $n = 6$ en la serie Pfund.

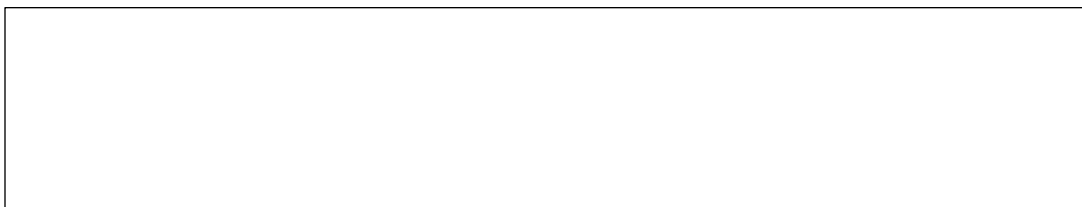
A pesar de estos logros, el problema seguía en pie: ¿cuál era el origen de los espectros de rayas? El danés Niels Bohr parecía tener la respuesta.

Actividades de aprendizaje

1. Calcula las primeras cuatro longitudes de onda de la serie Lyman:

$$\lambda_1 = \text{_____ m} \quad \lambda_2 = \text{_____ m} \quad \lambda_3 = \text{_____ m} \quad \lambda_4 = \text{_____ m}$$

2. Representa a escala las longitudes de onda anteriores en el siguiente espacio:



El modelo atómico de Bohr

En julio de 1913 apareció un artículo de Niels Bohr titulado “On the Constitution of Atom and Molecules”. En este trabajo Bohr introdujo dos postulados aparentemente arbitrarios – y que con el tiempo mostraron ser revolucionarios– para explicar las líneas del espectro de hidrógeno (figura 56). Según Bohr

“I. (...) El equilibrio dinámico de los sistemas en los estados estacionarios puede discutirse con el auxilio de la mecánica [clásica], mientras que el paso de los sistemas entre estados estacionarios diferentes no puede ser tratado sobre esta base.

“II. Que este último proceso es seguido por la emisión de una radiación *homogénea*, para la cual la relación entre la frecuencia y la cantidad de energía emitida está dada por la teoría de Planck.”*

* *Cit. pos.* Shamos, Morris H., *Great Experiments in Physics*, E.U., Henry Holton and Company, 1959, p. 338.

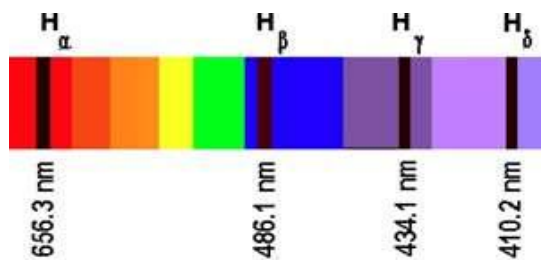


Figura 56. Líneas de emisión del hidrógeno (α , β , γ y δ).

Bohr se alejó de la mecánica clásica al suponer que el electrón no puede tomar cualquier órbita, sino solamente aquellas que corresponden a un momento angular *cuantizado* (L) dado por

$$L = n h / 2 \pi$$

Siendo n un número entero y h la constante de Planck. El momento angular L está dado por el producto de la masa (m), la velocidad del electrón (v) y el radio de la órbita (r):

$$L = m v r$$

Según Bohr, la velocidad de un electrón en una órbita es

$$v = (1 / 4 \pi \epsilon_0 m r)^{1/2}$$

Al igualar las ecuaciones antepenúltima y penúltima, y sustituyendo el valor de la velocidad dada en la expresión anterior, resulta

$$m [q (1 / 4 \pi \epsilon_0 m r)^{1/2}] r = n h / 2 \pi$$

Reagrupando y simplificando términos queda

$$q [m r / 4 \pi \epsilon_0 r]^{1/2} = n h / 2 \pi$$

Al despejar $r^{1/2}$ queda

$$r^{1/2} = n h [4 \pi \epsilon_0]^{1/2} / 2 \pi q m^{1/2}$$

Al elevar al cuadrado y simplificar, tendremos

$$r = n^2 h^2 \epsilon_0 / \pi q^2 m$$

Este valor representa el radio de las órbitas que puede tomar el electrón. A la cantidad

$$r_0 = h^2 \epsilon_0 / \pi q^2 m$$

se le denomina *radio de Bohr*. De acuerdo con este valor, es factible reescribir la penúltima ecuación en términos de la ecuación anterior como:

$$r = n^2 r_0$$

Obtengamos este valor, considerando que q y m son, respectivamente, la carga y la masa del electrón:

$$r_0 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi q^2 m} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})^2 [8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N m}^2] / \pi (1.602 \times 10^{-19} \text{ C})^2 (9.109 \times 10^{-31} \text{ kg})}$$

La siguiente simplificación nos da:

$$r_0 = \frac{[(6.626)^2 (8.85) \times 10^{-68-12} \text{ J}^2 \text{ s}^2 \text{ C}^2] / [\pi (1.602)^2 (9.109) \times 10^{-38-31} \text{ N m}^2 \text{ C}^2 \text{ kg}]}$$

Finalmente obtenemos para el radio de Bohr el valor de

$$r_0 = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Según esta ecuación, el resto de los radios de las órbitas que puede ocupar el electrón es directamente proporcional a n^2 . Precisamente porque no puede tomar cualquier valor, se dice que las órbitas del electrón –así como su energía– se encuentran *cuantizadas*. El factor n es conocido como el *número cuántico orbital*, mismo que proporciona la dimensión o el tamaño de la órbita (figura 57). Así, para $n = 1$ se tiene un átomo cuyo electrón se encuentra situado a una distancia r_0 respecto al núcleo; para $n = 2$ el electrón se encontrará a una distancia de $4 r_0$; etc.

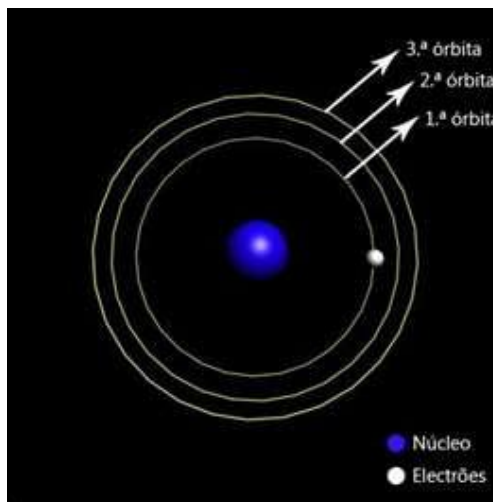


Figura 57. Las primeras tres órbitas del átomo de Bohr.

Bohr demostró que la energía total de un electrón en su órbita n es igual a

$$E = - \frac{m q^4}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2}$$

El siguiente paso de Bohr fue introducir la hipótesis de Planck para explicar la emisión de energía del electrón cuando éste se desplazara de una órbita a otra. Esta energía emitida es la diferencia de las energías inicial y final que posee el electrón en cada órbita. En una órbita dada el electrón tiene la energía

$$E_i = -mq^4 / 8 \varepsilon_0^2 h^2 n_i^2$$

Al cambiar a otra órbita, la energía final será

$$E_f = -mq^4 / 8 \varepsilon_0^2 h^2 n_f^2$$

De acuerdo con la hipótesis de Planck, la diferencia de energías es proporcional a la frecuencia de la radiación emitida, esto es

$$(E_i - E_f) / h = F$$

Restando las dos ecuaciones anteriores, queda

$$F = [mq^4 / 8 \varepsilon_0^2 h^3] [1/n_f^2 - 1/n_i^2]$$

Dado que la frecuencia se puede escribir como es $F = c / \lambda$, el inverso de la longitud de onda resulta

$$1 / \lambda = [mq^4 / 8 \varepsilon_0^2 c h^3] [1/n_f^2 - 1/n_i^2]$$

Si calculamos la cantidad del primer corchete del lado derecho de esta ecuación, obtendremos

$$1/\lambda = [9.109 \times 10^{-31} \text{ kg } (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^4] / [8(8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N m}^2) (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}) (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})^2]$$

$$1 / \lambda_R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Si comparamos este valor con la constante de Rydberg, notaremos que en realidad son iguales. En otras palabras: las hipótesis de Bohr para explicar las líneas espectrales del hidrógeno coinciden con los resultados experimentales de la espectroscopia (figura 58). El modelo de Bohr se construyó tanto con resultados de la mecánica y del electromagnetismo, así como de la teoría de los *quanta* de Max Planck. El éxito del mismo consistió en su capacidad para explicar las diferentes series espectrales del átomo de hidrógeno.

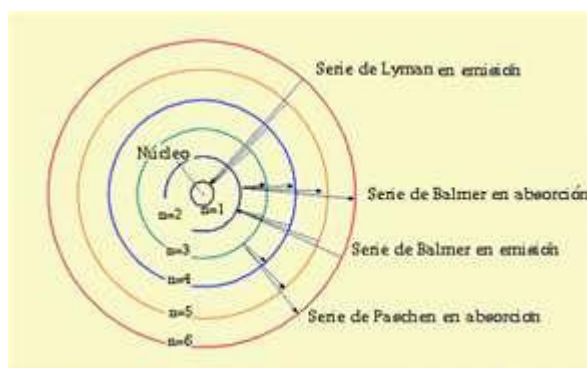


Figura 58. Líneas espectrales y niveles atómicos.

Actividades de aprendizaje

1. ¿Cuánto vale el radio de la tercera órbita de un átomo?
2. Al saltar un electrón de un nivel a otro, en un átomo se detecta un haz de radiación con una frecuencia de 9×10^{16} Hz. ¿Cuánto vale el cambio en la energía?
3. Encontrar la frecuencia y la longitud de onda del fotón emitido cuando el átomo de hidrógeno sufre una transición de $n_i = 5$ a $n_f = 2$.

4. Explica el concepto de órbita cuantizada.

5. ¿En qué consiste el modelo atómico de Bohr?

Aprendizajes: 1. Conoce el comportamiento cuántico de los electrones. 2. Conoce el principio de incertidumbre de Heisenberg y su importancia en la física cuántica

Temáticas: 1. Naturaleza cuántica de la materia a nivel microscópico: Hipótesis de De Broglie. 2. Principio de incertidumbre de Heisenberg.

En el año 1924, el físico francés Louis-Víctor de Broglie propuso la existencia de ondas de materia, es decir, supuso que toda la materia tenía asociada una cierta longitud de onda, la cual se relaciona con la cantidad de movimiento lineal de la partícula y la constante de Planck, esto es

$$\lambda = h / mv = h / p$$

Donde $h = 6.628 \times 10^{-34}$ J/s (constante de Planck), λ es la longitud de onda, m la masa de la partícula y v su velocidad (la cantidad de movimiento es: $p = mv$). Para velocidades cercanas a la velocidad de la luz, deben introducirse las correcciones relativistas para la masa, esto es, considerar el factor de Lorentz.

La propuesta de Broglie fue revolucionaria porque, según la mecánica clásica, las ondas y las partículas son conceptos diferentes. La primera se caracteriza por tener un lugar en el espacio, mientras que la onda se propaga a través de éste con determinada velocidad y no tiene masa. Además, las ondas –como ya estudiamos en la segunda unidad– tienen fenómenos característicos como la reflexión, la difracción, la refracción, la interferencia, la polarización y la resonancia.

Ahora bien, según la hipótesis de Broglie, si las partículas tenían asociada una onda entonces se observarían en éstas algunos fenómenos ondulatorios como los que acabamos de citar. Aunque al principio fue difícil de aceptar, los físicos se convencieron de lo anterior a partir de diferentes evidencias experimentales. De esta manera, se acuñó el término “dualidad onda-partícula” para designar fenómenos en los cuales las partículas en ocasiones mostraban un clásico comportamiento ondulatorio y en otros uno francamente corpuscular.

En el año 2001, Stephen Hawking expresó que la dualidad onda-partícula es un concepto de la mecánica cuántica en el cual no hay diferencias entre partículas y ondas: es factible que las partículas se comporten como ondas y viceversa.

Los físicos encontraron diferentes fenómenos en los cuales se observa el comportamiento ondulatorio y en otros el corpuscular. Veamos.

Mencionemos aquellos en los que se tiene un comportamiento ondulatorio:

- **Efecto fotoeléctrico.** Al emitirse la radiación en forma de paquetes o *quanta* de energía, la radiación electromagnética muestra un comportamiento de partícula al colisionar contra los fotones.
- **Efecto Compton** (figura 59). La radiación electromagnética interacciona con los electrones, a la manera de dos partículas que colisionan y se dispersan.

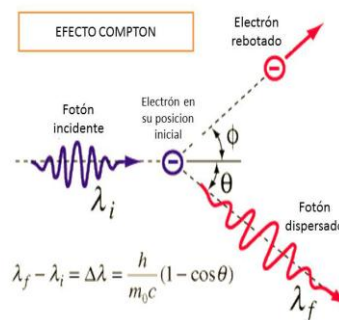


Figura 59. El efecto Compton.

- **Efecto Einstein.** Es una predicción de la teoría de la relatividad. Consiste en que la frecuencia de un fotón emitido desde la superficie de un cuerpo de gran masa disminuye a medida de que aquél se aleja.

- **Producción de pares.** En ocasiones, un fotón al colisionar contra una partícula, cede parte de su energía y otras veces genera un par electrón-positrón.

En contraparte, existen fenómenos donde se manifiesta el comportamiento ondulatorio de las partículas. A saber:

- **Ondas de materia.** Broglie propuso que toda partícula tiene asociada una determinada longitud de onda, misma que es inversamente proporcional a su ímpetu o cantidad de movimiento.
- **Difracción de los electrones.** Dirigiendo un haz de electrones contra una delgada placa compuesta por cristales de níquel, Davison y Germer lograron obtener la difracción de los electrones.
- **Difracción de neutrones.** Estas partículas también muestran patrones de difracción cuando pasan por un medio cuya separación entre sus planos sea del tamaño adecuado, es decir, del orden de magnitud de las dimensiones de dichas partículas.

De esta manera, parafraseando a Hawking, en efecto parece que en la Naturaleza no hay, en ciertas condiciones, diferencias entre las ondas y las partículas. Así lo evidencian fenómenos en los que observa el comportamiento ondulatorio y en otros el corpuscular. Aunque aún no se resuelve esta paradoja desde la perspectiva de la ciencia oficial, existen diferentes propuestas y soluciones filosóficas a esta dicotomía. Una de éstas sostiene que el experimentador y su forma de medir interfiere en el mundo cuántico, influyendo para que las partículas muestren un comportamiento ondulatorio o uno corpuscular.

Lo anterior implica que el observador perturba de alguna manera, al medir, y determina en cierto modo el resultado que obtiene. El principio de incertidumbre de Heisenberg muestra que de alguna manera la imposibilidad de no alterar un sistema físico cuando se miden algunas variables.

Actividades de aprendizaje

1. La masa de la Tierra es de 5.98×10^{24} kg y se mueve alrededor del Sol con una velocidad de 30 000 m/s. Encuentra la longitud de onda de Broglie asociada a la Tierra.
2. ¿Cuál es la longitud de onda de Broglie de un electrón que se mueve a 200 000 km/s? (la masa del electrón es de 9.1×10^{-31} kg).

3. Menciona los fenómenos donde la materia tiene un comportamiento ondulatorio.

4. Menciona los fenómenos donde la materia tiene un comportamiento corpuscular.

El principio de incertidumbre de Heisenberg

Un año después de la propuesta de Broglie, el físico Werner Karl Heisenberg estableció que no es posible que ciertos pares de magnitudes físicas sean medidas con la precisión que se desee en forma simultánea. Entre estas magnitudes se encuentran la posición y la cantidad de movimiento o ímpetu. Lo anterior no es consecuencia de los instrumentos de medición, sino tiene relación con cuestiones de probabilidad.

Así, cuando se pretende calcular con precisión la posición de una partícula, aumenta la imprecisión para determinar su cantidad de movimiento lineal, y viceversa.

En la mecánica clásica no existe un principio semejante, por lo que el principio de incertidumbre marca una diferencia entre ésta y la mecánica cuántica. La primera tiene carácter determinista, es decir, si se conocen las condiciones iniciales del sistema y su modelo matemático, entonces es factible conocer sus condiciones finales. En cambio, la mecánica cuántica se basa en la *probabilidad*; por lo tanto, aunque se conozcan las condiciones iniciales del sistema y su modelo matemático, de las condiciones finales solamente se puede hablar de manera probabilística.

Para Heisenberg, las medidas de posición y la cantidad de movimiento de una partícula dependen de cierta distribución de probabilidad cuántica del sistema. Por esta razón, la medida de un objeto observable sufre una *desviación estándar* Δx , al igual que su cantidad de movimiento, es decir, Δp . Heisenberg demostró que el producto de estas dos desviaciones es mayor o igual a

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 4\pi$$

Ahora bien, si se desea determinar la posición con toda precisión, esto implica que $\Delta x = 0$. De la ecuación anterior se desprende que

$$\Delta p \geq (h / 4\pi) / \Delta x \rightarrow \infty$$

Lo anterior implica que la incertidumbre en la cantidad de movimiento tiende a infinito.

De igual manera, si se quiere calcular la cantidad de movimiento con toda precisión, esto implica que $\Delta p = 0$. Entonces

$$\Delta x \geq (h / 4\pi) / \Delta p \rightarrow \infty$$

En este caso, la incertidumbre en la precisión tiende a infinito.

En síntesis, el aumento en la precisión de la posición implica una disminución en la precisión de la cantidad de movimiento (y viceversa). Lo anterior constituye la esencia del principio de incertidumbre formulado por el eminente físico Werner Heisenberg.

¿El principio de incertidumbre sólo es válido en los dominios de la mecánica cuántica o también en la mecánica clásica? Para responder esta pregunta, veamos la siguiente situación.

Cuando un oficial se dispone a medir la velocidad de un vehículo con un radar de mano (figura 60), envía un haz de microondas que choca contra el vehículo, se refleja en éste y regresa al dispositivo. Como éste se basa en el efecto Doppler, es posible determinar la velocidad del vehículo.



Figura 60. Radar Doppler

En esta medición, la energía del haz de microondas es baja –comparada con la del vehículo –, por lo que el instrumento de medición no afecta la trayectoria ni la velocidad del vehículo. Ahora imagina que el vehículo tuviera el tamaño de una molécula y luego el de un electrón. En el primer caso, aún podríamos determinar la velocidad del mismo con precisión. Sin embargo, si el vehículo tuviera el tamaño del electrón, entonces la energía del haz de microondas del rada alteraría la trayectoria del vehículo –prácticamente lo “empujaría”– y con ello la medición de la velocidad resultaría afectada.

De esta manera, en el mundo macroscópico de la mecánica clásica, los efectos del principio de incertidumbre son insignificantes, pero el mundo microscópico de las partículas se encuentra sometido a otros principios estudiados por la mecánica cuántica.

Veamos un ejemplo.

Ejercicio 1. Encontrar la mínima incertidumbre asociada a la posición de un electrón que se mueve con una velocidad de 2000 m/s, suponiendo que la cantidad de movimiento se mide con una precisión de un centésimo.

Solución. Despejamos Δx de la desigualdad dada en la ecuación. La masa del electrón es $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg. Además $\Delta p / p = \Delta p / m v = 1 \times 10^{-2}$. Por lo tanto

$$\Delta x \geq (h / 4\pi) / \Delta p = [(6.628 \times 10^{-34} \text{ J/s}) / (4\pi)] / (9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}) (2000 \text{ m/s}) (1 \times 10^{-2})$$

$$\Delta x \geq 2.89 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Así, 2.89×10^{-6} m es la mínima incertidumbre asociada a la posición del electrón.

Actividades de aprendizaje

1. Explica el principio de incertidumbre de Heisenberg.

6. La masa en reposo del protón es de 1.673×10^{-27} kg. Encontrar la mínima incertidumbre asociada a la posición de esta partícula, suponiendo que la cantidad de movimiento se mide con una precisión de un milésimo, cuando: su velocidad es de 5000 m/s.

La relatividad especial y general

Aprendizajes: 1. Contrasta el principio de relatividad de Galileo y las ideas de Newton sobre el espacio y tiempo con las de Einstein. 2. Comprende algunas implicaciones de la constancia de la velocidad de la luz. 3. Conoce la interpretación relativista de la relación masa–energía.

Temáticas: 1. Límites de aplicabilidad de la mecánica clásica y origen de la física relativista. 2. Postulados de la relatividad especial. 3. Equivalencia entre la masa y la energía.

Los límites de la Física Clásica

Durante más de dos siglos, las contribuciones más destacadas de Newton a la Física –las tres leyes y la ley de la gravitación universal– permitieron asombrosas explicaciones y nuevos descubrimientos. Aún en nuestros días, las contribuciones de Newton siguen siendo útiles en varios terrenos científicos y tecnológicos. Mencionaremos solamente unos cuantos:

- ✓ La explicación de las mareas por efecto de la Luna.
- ✓ El descubrimiento de Neptuno por la observación de perturbaciones gravitacionales en la órbita de otros planetas.
- ✓ El cálculo de la masa de los planetas y otros cuerpos celestes.
- ✓ La cuantificación de la fuerza en interacciones de diferentes tipos.

- ✓ El conocimiento de la velocidad que debe darse a un objeto para que se convierta en satélite o escape a la influencia gravitacional de un cuerpo celeste.
- ✓ La determinación del período de rotación de los planetas o satélites, conociendo la distancia a la que se encuentran del cuerpo en torno del cual gravitan.
- ✓ La explicación de las órbitas elípticas que describen los planetas alrededor del Sol.
- ✓ La comprensión de diferentes tipos de movimientos como el circular, el parabólico y el de caída libre.
- ✓ Las distintas aplicaciones del equilibrio trasnacional y rotacional de los sistemas.

En fin, las aportaciones de Newton fueron determinantes para el avance de la ciencia y de la tecnología. Por lo tanto, el trabajo de Newton es reconocido históricamente como la primera gran síntesis de la Física y de la Ciencia en general. No obstante, en el Siglo XIX el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos, condujo a los científicos al establecimiento de nuevas leyes y principios que abrieron nuevos horizontes de estudio. El inglés James Clerk Maxwell fue el encargado de unificar y explicar estos fenómenos en un conjunto de ecuaciones, dando nacimiento a una nueva rama de la Física: el electromagnetismo. Para algunos, el trabajo de Maxwell constituye la segunda gran síntesis de la Física. En este período, las leyes establecidas por Newton aún no mostraban puntos débiles o problemas que no pudiera resolver o explicar de manera satisfactoria.

En la concepción de Newton, el espacio y el tiempo son absolutos, es decir, que no cambian y son válidos para cualquier observador, independientemente de su estado de movimiento. Por ejemplo, en la concepción newtoniana el tiempo medido en la Tierra es el mismo que mediría un observador situado en cualquier otra galaxia independientemente de la velocidad a la que se desplace. Pero más adelante, los físicos encontraron fenómenos en los cuales parecía existir una velocidad máxima en el Universo. De hecho, el genial matemático Henry Poincaré supuso, a partir de la evidencia experimental, que la velocidad de la luz podría ser la máxima en el Universo.

La teoría de la relatividad especial

En el año 1905, Einstein publicó cinco artículos en la revista alemana *Annalen der Physik* (Anales de Física). Uno de los artículos titulado: “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, contiene las formulaciones de lo que más adelante fue conocida como la *teoría de la relatividad especial*. Para formular su teoría, Einstein partió de dos postulados:

- “I. Las leyes que rigen los cambios de estado de los sistemas físicos son independientes de que refiramos dichos cambios de estado a uno u otro de dos sistemas de coordenadas en movimiento de traslación uniforme [principio

de la relatividad] (...) II. Todo rayo de luz se mueve en [un] sistema de <<coordenadas estacionario>> con la velocidad [de la luz], independientemente de que el rayo [sea emitido desde] un cuerpo en movimiento [Principio de la constancia de la velocidad de la luz].¹

En el año 1887, Michelson y Morley realizaron un experimento, usando un interferómetro, para detectar la presencia de un medio –el “éter– que teóricamente servía para la propagación de la luz. Dado que ésta no modificó su velocidad tanto al viajar a favor como en contra del hipotético “éter”, Einstein interpretó el resultado negativo postulando la constancia de la velocidad de la luz en cualquier dirección, prescindiendo del “éter”.

El físico alemán también se apoyó en otros trabajos, como los del irlandés George Francis Fitzgerald y el holandés Hendrik Antoon Lorentz, quienes en forma independiente propusieron que los cuerpos en movimiento experimentan una contracción dada por

$$\alpha = \frac{1}{(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2}}$$

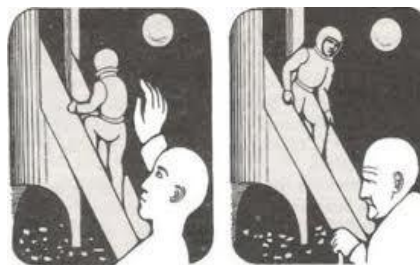
En esta expresión, c es la velocidad de la luz (300 000 km/s) y v es la velocidad del cuerpo.

En la Física de Newton, el espacio y el tiempo son absolutos, por lo que no sufren modificación cuando se comparan con otros sistemas en reposo o en movimiento. Si t_0 es el tiempo medido para un fenómeno por un observador que se encuentra en un sistema en movimiento, un observador en reposo medirá un tiempo t_1 para dicho fenómeno, tal que

$$t_0 = t_1$$

Es decir, el tiempo –en la concepción de Newton– transcurre en la misma forma, independientemente del estado de reposo o de movimiento en que se encuentre el observador.

Sin embargo, Einstein descubrió que, para un observador en movimiento, el tiempo transcurre más lentamente con respecto a un observador en reposo. Coloquialmente se dice que *el tiempo se dilata*. Este hecho da lugar a la famosa *paradoja de los gemelos* (figura 61).



¹ Einstein, Albert, “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, *Annalen der Physik*, vol. XVII, 1905; reproducido parcialmente en: Einstein *et al*, *La teoría de la relatividad: Sus orígenes e impacto sobre el pensamiento moderno* (selección de Pearce Williams), México, Alianza Editorial, 1986, p. 65.

Figura 61. El gemelo viajero envejece más lento que el gemelo en reposo.

Si t_0 es el *tiempo propio* para un observador en movimiento y t el tiempo medido por un observador en reposo, entonces

$$t = \frac{t_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}$$

En contraparte, Einstein encontró que los cuerpos en movimiento *se contraen* respecto a un observador en reposo. Si l_0 es la longitud del objeto en movimiento y l la longitud medida por un observador en reposo, es válida la ecuación siguiente:

$$l = l_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}$$

Lo más asombroso es que la masa también cambia para los sistemas en movimiento. Si m es la masa para un cuerpo en movimiento y m_0 la masa en reposo, se cumple la ecuación:

$$m = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}$$

Así, en la Física de Einstein, la masa, el tiempo y el espacio son cantidades relativas. Por esta razón, a sus planteamientos se les dio la denominación de *teoría de la relatividad*.

La ecuación anterior sirvió como base para que Einstein estableciera el llamado principio de equivalencia entre la masa y la energía:

$$E = mc^2$$

donde m es la masa de un cuerpo y c la velocidad de la luz (3×10^8 m / s). Esta ecuación nos dice que cualquier cantidad de materia posee la misma cantidad de energía. Por ejemplo, un kilogramo de uranio tiene en principio igual energía que un kilogramo de pan. La exactitud de la ecuación (100) se evidenció en forma contundente con la fisión del átomo y las explosiones nucleares (figura 62).



Figura 62. Explosión de una bomba atómica.

Veamos dos ejemplos.

Ejemplo 1. Encontrar la cantidad de masa que se desintegró en una reacción nuclear, si se liberó una energía de 9 J.

Solución. Despejamos m de la ecuación: $E = mc^2$:

$$m = E / c^2 = 9 \text{ J} / (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 1 \times 10^{-16} \text{ kg}$$

Es la masa desintegrada en la reacción nuclear.

Ejemplo 2. En un hipotético viaje interestelar, un observador en movimiento registra un tiempo de vuelo de un año desplazándose a $2.98 \times 10^8 \text{ m/s}$. ¿Cuál sería el tiempo medido por un observador en reposo?

Solución. Empleamos la ecuación para la dilatación del tiempo, con $t_0 = 1 \text{ año}$ y $v = 2.98 \times 10^8 \text{ m/s}$.

$$t = \frac{t_0}{(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2}} = \frac{1 \text{ año}}{[1 - \frac{(2.98 \times 10^8 \text{ m/s})^2}{(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2}]^{1/2}} = 8.68 \text{ años}$$

Es el tiempo que mediría un observador en reposo.

Actividades de aprendizaje

1. Menciona algunas contribuciones de la física clásica en la explicación de los fenómenos físicos.

2. ¿Cuáles son los postulados de la teoría especial de la relatividad? Explícalos y da ejemplos

3. Investiga qué es la teoría de la relatividad general. Escribe brevemente el resultado de tu investigación.

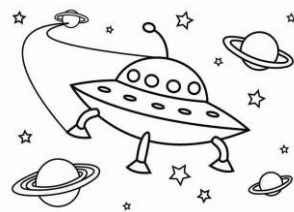
4. investiga algunas de las predicciones de la teoría de la relatividad que han sido comprobadas de manera experimental. Escríbelas.

5. Una partícula es acelerada hasta alcanzar una velocidad de 299 000 km/s. Si la partícula tiene un tiempo de vida propio de 1 segundo, ¿qué tiempo de vida para la partícula medirá un observador en reposo?

6. Encontrar la cantidad de energía que se obtiene al desintegrar un kilogramo de maíz.

7. La masa en reposo del electrón es de 9.11×10^{-31} kg. ¿Cuál debe ser la velocidad del electrón para que la masa de éste medida por un observador en reposo sea de 18.22×10^{-31} kg?

8. Una nave espacial tiene una longitud de 10 m. ¿Qué longitud mediría un observador en reposo si la nave alcanzara una velocidad de 295000 km/s?



Aplicaciones de la Física Contemporánea

Aprendizaje: Reconoce la importancia de las contribuciones de la física contemporánea al desarrollo científico y tecnológico.

Temática: 1. Radiactividad. 2. Radioisótopos. 3. Fusión y fisión nucleares. 4. Generación de energía nuclear.

La radiactividad

Becquerel fue el primero en percatarse de la capacidad de algunas sustancias –como las sales de uranio– para emitir radiaciones. Más tarde, los Curie descubrieron que otros elementos –el torio, el polonio y el radio- también lo hacen. En el año 1903, Rutherford estudió el comportamiento de la radiación emitida por una sustancia radiactiva en presencia de un campo eléctrico. Encontró tres tipos de radiaciones que denominó *rayos α , β y γ* , los cuales poseen las siguientes propiedades (figura 63):

- **Rayos α .** Están compuestas de partículas con carga positiva (en realidad son átomos de helio sin sus dos electrones). Se desvían hacia la placa con carga negativa. Son fácilmente absorbidos por la materia. Una simple hoja de papel los detiene.
- **Rayos β .** Son partículas con carga negativa (electrones) que se desvían hacia la terminal con carga positiva. Tienen mayor poder de penetración que los rayos α , aunque una lámina metálica puede absorberlos.
- **Rayos γ .** Esta radiación no es desviada por los campos eléctrico y magnético. Su poder de penetración es tan grande, que incluso pueden traspasar una placa de hierro de 30 centímetros de espesor.

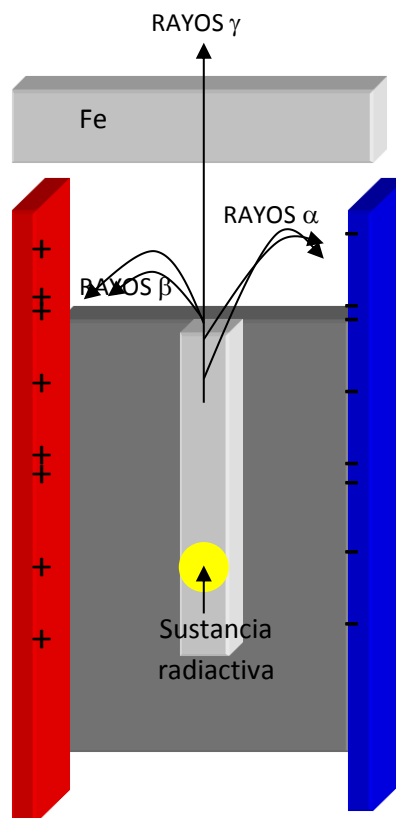


Figura 63. Los tres tipos de radiación descubierta por Rutherford.

Este experimento y el de dispersión le sugirieron a Rutherford que el átomo está formado por un núcleo cargado positivamente, alrededor del cual se encuentran los electrones.

Ahora bien, la emisión radiactiva de algunos elementos constituyó un enigma para la física clásica, pues indicaba la existencia de partículas con energías enormes –que las hacían capaces de traspasar otros materiales- procedentes del interior de la materia. Era obvio que esta energía no podía ser explicada a partir de cambios en la energía cinética o potencial de los átomos, ni aun suponiendo rotaciones o vibraciones muy intensos en el interior de la materia. Además, las sustancias radiactivas naturales no se encuentran a altas temperaturas como para suponer que en su interior los átomos poseen una energía cinética considerable.

Muchos físicos se plantearon cuál es la causa de la desintegración radiactiva y tuvieron que elaborar hipótesis definitivamente fuera del contexto de la física clásica. En 1903 Rutherford y Soddy lanzaron la hipótesis de que la emisión radiactiva se debe a la desintegración espontánea de los núcleos atómicos. Ellos experimentaron con sales de torio y notaron que la emisión radiactiva decrece con el tiempo en forma exponencial. Si ΔN es el número de núcleos desintegrados en un intervalo de tiempo Δt , entonces la actividad (R) de la muestra se calcula como

$$R = - \Delta N / \Delta t$$

Observa que esta expresión lleva el signo negativo para que R sea una cantidad positiva, pues ΔN es negativo. La unidad usada para medir la actividad es el Curie (Ci) [$1 \text{ Ci} = 3.70 \times 10^{10}$ desintegraciones / segundo].

Si R_0 es la actividad inicial de una sustancia, Rutherford y Soddy descubrieron que, después de un tiempo t , la actividad R disminuye a un valor dado por la siguiente ecuación (figura 64)

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

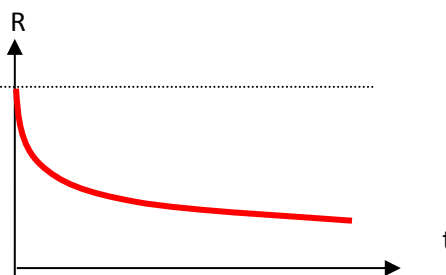


Figura 64. Curva de decaimiento radiactivo.

Aquí λ es la llamada *constante de desintegración*, misma que posee una magnitud diferente para cada elemento radiactivo. Nota que este modelo matemático nos indica que, en tiempos muy largos, la actividad radiactiva se hace muy pequeña, aunque nunca desaparece por completo).

Para estimar el valor de λ se calcula el tiempo en el cual la actividad radiactiva disminuye a la mitad, es decir, cuando $R = R_0 / 2$. De la ecuación precedente se sigue que

$$R_0 / 2 = R_0 e^{-\lambda t_m}$$

O bien

$$2 = e^{\lambda t_m}$$

Aplicando el logaritmo natural (Ln) a ambos miembros de la igualdad anterior, resulta

$$\text{Ln } 2 = \lambda t_m$$

De manera que la constante λ se puede calcular así:

$$\lambda = \text{Ln } 2 / t_m = 0.693 / t_m$$

t_m representa el *tiempo de vida medio* de la sustancia, o sea, el tiempo en el que la actividad de la misma se reduce a la mitad.

Si se conoce la vida media de una sustancia radiactiva, conviene escribir la penúltima ecuación en términos de la última ecuación, o sea

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

Algunas sustancias radiactivas poseen tiempos de vida medios del orden de segundos, otras de unos cuantos minutos, horas o días, pero algunas más de miles o millones de años.

Para finalizar, realizaremos un ejercicio de aplicación.

Ejercicio1. El cobalto 60 tiene una vida media de 5.24 años. ¿Al cabo de cuánto tiempo un kilogramo de este isótopo habrá reducido su actividad radiactiva a la cuarta parte, si su actividad inicial es de 1 Ci?

Solución. Empleamos la ecuación correspondiente para encontrar la constante de desintegración:

$$\lambda = 0.693 / t_m = 0.693 / 5.24 \text{ años} = 0.132 \text{ años}^{-1}$$

Si la actividad inicial es 1 Ci y la actividad final es $R = \text{Ci} / 4$, entonces queda, después de simplificar:

$$1/4 = e^{-\lambda t}$$

O bien, usando las propiedades de la función exponencial:

$$4 = e^{0.132 t / \text{años}}$$

Aplicando la función logaritmo natural en ambos extremos de la ecuación, resulta:

$$\text{Ln } 4 = 0.132 t / \text{años}$$

Finalmente, despejamos t:

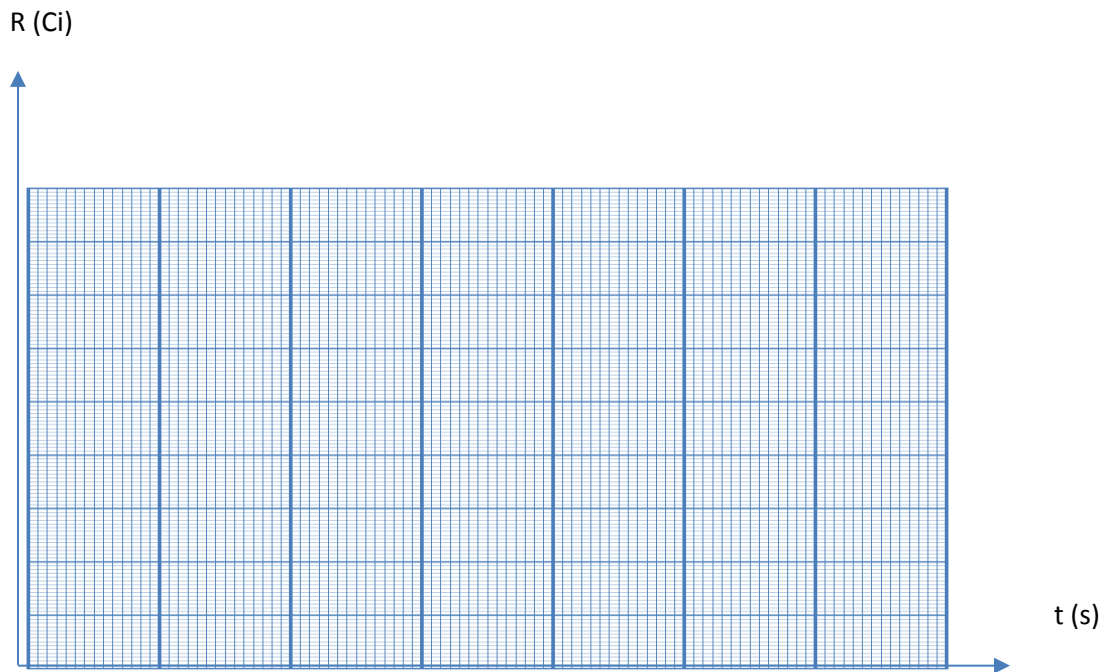
$$t = (\ln 4 / 0.132) \text{ años} = 10.50 \text{ años}$$

Actividades de aprendizaje

1. Suponiendo un decaimiento radiactivo donde $R_0 = 10 \text{ Ci}$ y $\lambda = 2 \text{ s}^{-1}$, calcula los valores solicitados en la tabla.

t (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R (Ci)											

2. Grafica la actividad (R) *versus* tiempo (t).



3. ¿Qué tipo de gráfica es? ¿Qué sucede con R cuando el tiempo es muy grande?

4. Investiga las aplicaciones de la radiactividad.

Los radioisótopos

Un isótopo es un átomo de un mismo elemento con diferente número de protones y neutrones (figura 65). En todos los elementos hay **isótopos**, aunque generalmente en una mínima proporción. Existen isótopos naturales y otros que han sido creados de manera artificial.

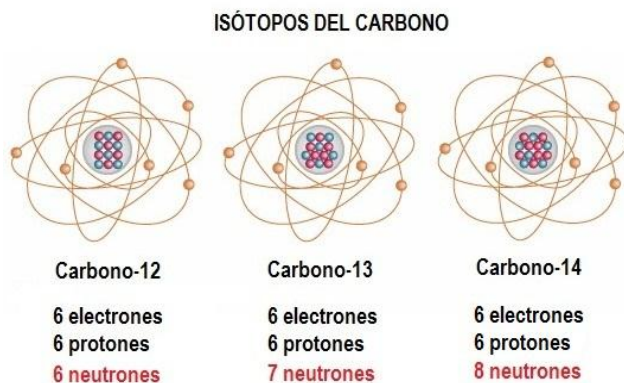


Figura 65. Los isótopos del carbono.

Al descubrirse que se podían formar radioisótopos con algunos de los elementos que forman a los seres vivos, casi de inmediato algunos biólogos sospecharon sus numerosas posibilidades. Una de ellas consiste en sustituir núcleos normales de una molécula por sus isótopos radiactivos. Así, dado que estos isótopos son relativamente fáciles de detectar, las moléculas “marcadas” se pueden seguir y analizar las complejas secuencias de reacciones que tienen lugar en los diferentes procesos biológicos. Por ejemplo, gracias a este método de “marcado” se ha facilitado el estudio del metabolismo, de la acción de las enzimas, de los mecanismos de regulación, del comportamiento de diversos medicamentos suministrados al cuerpo humano, para saber dónde se fijan los nutrientes u elementos que ingresan en el cuerpo humano o en otros organismos, etc. En 1944 los científicos Joliot, Courrier, Horeau y Süe lograron la primera síntesis de una hormona usando el método de sustitución. Esto ha permitido estudiar la acción de los fármacos en el organismo.

Los radioisótopos también pueden inyectarse en una planta y, por medio de los detectores adecuados, observar la absorción de los diferentes nutrientes, su distribución, etc.

Gracias a que los radioisótopos son “visibles” a ciertos detectores, son ideales para *rastrear* lo que sucede en el interior de un organismo vivo como el cuerpo humano. En la actualidad la denominada *medicina nuclear* es una de las técnicas más avanzadas de que disponen los médicos para el diagnóstico y/o tratamiento de diversas enfermedades.

En la medicina nuclear los radioisótopos y las radiomoléculas son empleados de manera rutinaria. El paciente puede recibir una inyección o tomar una píldora para que el radioisótopo o la radiomolécula entre a su organismo. El cobalto 60 es utilizado en la medicina nuclear para controlar el cáncer y otro tipo de malformaciones en los tejidos. La vida media de estos va desde unas cuantas horas hasta varios días, dependiendo de la sustancia inoculada. A continuación se enlistan algunas de las aplicaciones en el campo médico en donde se emplean radioisótopos (mencionados entre paréntesis):

- Estudio de la circulación sanguínea y del metabolismo cerebral (yodo 123).
- Detección de cáncer en los huesos (radiomoléculas fosforadas marcadas con tecnecio 99).
- Diagnóstico de lesiones coronarias (rubidio 82 o talio 201).
- Diagnóstico de la paratiroides y del páncreas (selenio 75).
- Diagnóstico óseo (estroncio 85).
- Tratamiento de la leucemia y diagnóstico de tumores en los ojos (fósforo 32).
- Diagnóstico de bazo, hígado, cerebro, tiroides y riñones (tecnecio 99).
- Diagnóstico y tratamiento de tiroides (yodo 125 o yodo 131).
- Tratamiento de cáncer de mama (oro 198).
- Diagnóstico de tomografía por emisión de positrones (fluorodeoxiglucosa, la cual es una molécula de glucosa marcada con el isótopo flúor 18).

La mayor parte de los radioisótopos o radiomoléculas empleados en la medicina o en la biología tienen que ser producidos de manera artificial en reactores nucleares, aceleradores de partículas, etc. La medicina nuclear es un campo muy promisorio que ha tenido un espectacular desarrollo en los últimos años.

Si bien los radioisótopos y las radiomoléculas empleados en la medicina poseen vidas medias relativamente cortas y la cantidad suministrada a los pacientes es mínima, cuando aquéllos se encuentran en la atmósfera, el agua o los alimentos pueden ser absorbidos por el organismo y, al igual que la radiación ionizante, causar diferentes daños. Los más comunes son algún tipo de cáncer o alteraciones genéticas.

Actividades de aprendizaje

1. ¿Qué es un isótopo?

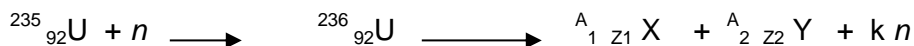
2. Menciona algunas aplicaciones de los radioisótopos.

3. Investiga las técnicas más utilizadas en la medicina nuclear.

La fisión y la fusión nucleares

La fisión nuclear

A través de muchos años de experimentación con materiales radiactivos, particularmente con el uranio 235, se sabe que cuando éste absorbe un neutrón de baja velocidad se convierte en uranio 236, escindiéndose enseguida en elementos X y Y más un determinado número de neutrones (n). La reacción de fisión para el uranio 235 se puede escribir:



En esta ecuación se cumplen las siguientes condiciones: $Z_1 + Z_2 = 92$ y $A_1 + A_2 + k = 236$. Aquí k es un número entero. Z_1 y Z_2 representan el número atómico (igual al número de protones o electrones) de cada fragmento. A_1 y A_2 son los números de masa nuclear (suma del número de protones y neutrones) de dichos fragmentos. La ecuación anterior se cumple para núcleos que posean un número atómico mayor a 230.

En síntesis, puede afirmarse que la fisión nuclear (figura 66) consiste en la **escisión** (rompimiento) de un núcleo de mayor masa atómica en dos o más fragmentos de menor masa atómica, con la consiguiente liberación de energía y otras partículas.

Ahora bien, los fragmentos X y Y no son estables, por lo cual inician una desintegración beta hasta que se transforman en núcleos estables.

En una reacción de fisión nuclear, un núcleo de gran masa atómica, después de absorber un neutrón, se vuelve inestable y decae en dos núcleos de menor masa atómica y otras partículas. Dado que las masas inicial y final de los núcleos y partículas no son iguales, se crea un *defecto de masa*, el cual se transforma en energía de acuerdo con el principio de equivalencia masa-energía de Einstein:

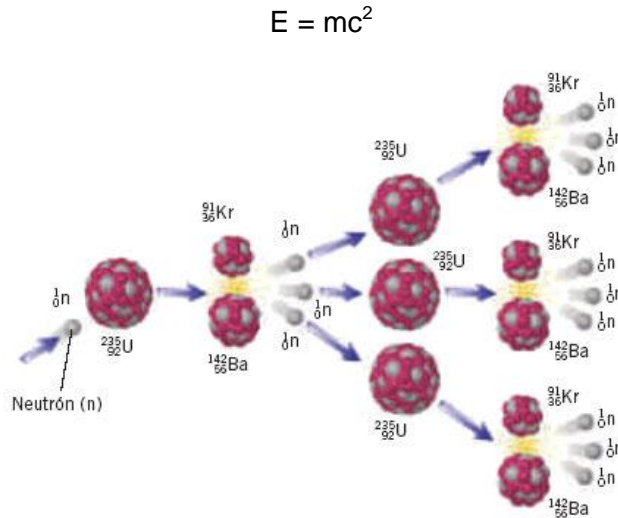
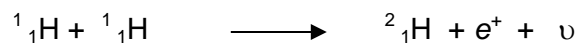


Figura 66. Esquema de la fisión nuclear del Uranio 235.

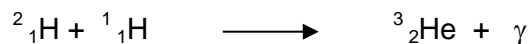
La fusión nuclear

Existen fenómenos naturales en los cuales se generan enormes cantidades de energía: las estrellas, las explosiones de supernovas, las regiones de formación estelar, entre otros. ¿Te has preguntado por qué el Sol y las estrellas emiten ingentes energías desde hace miles de millones de años? La respuesta a esta interrogante se encuentra en el proceso denominado *fusión nuclear*.

Se supone que en un periodo comprendido entre 10 y 100 millones de años, la nube de gas que da origen a una estrella se contrae, de manera que la energía potencial gravitacional se convierte en energía cinética de las partículas. Mediante este mecanismo se alcanza una densidad de unos $10\,000\text{ kg/m}^3$ y temperaturas superiores a 10 000 millones de Kelvin. En estas condiciones de presión y temperatura, los núcleos de hidrógeno son comprimidos y se fusionan para dar lugar a un núcleo de helio y liberar energía. Este proceso que ocurre en el interior de las estrellas se denomina *ciclo protón-protón*. En la primera fase, dos núcleos de hidrógeno se unen para dar lugar a un núcleo de deuterio, a un positrón y a un neutrino:



Enseguida un núcleo de deuterio se fusiona con otro núcleo de helio 3 y la emisión de un fotón (γ) de rayos gamma:



A su vez, dos núcleos de helio 3 se unen para formar un núcleo de helio y dos núcleos de hidrógeno:



Los núcleos de helio 3 y helio 4 libres eventualmente se unen y forman un núcleo de berilio 7 con la emisión de un rayo gamma. El berilio 7 es posible que se fusione con un electrón, formando un núcleo de litio 7 y emitiendo un neutrino. Finalmente, el litio 7 se une con un núcleo de hidrógeno y da lugar a la formación de dos núcleos de helio 4. Los núcleos de hidrógeno y los de helio 4 quedan libres para iniciar nuevas reacciones de fusión y emitir energía. Este mecanismo se supone que es el responsable de la emisión de energía en las estrellas similares al Sol.

La fusión nuclear es una reacción en la cual dos núcleos ligeros se unen para formar otro de mayor masa atómica. El defecto de masa, que es la diferencia entre la masa inicial y la final del sistema, se transforma en energía. En este caso, esta energía se calcula con la ecuación:

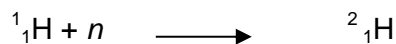
$$E = mc^2$$

Las reacciones de fusión nuclear explica la enorme energía emitida por las estrellas y otros cuerpos celestes. El ser humano ha tratado de crear reacciones de fusión nuclear a través de dispositivos conocidos como Stellarator y Tokamak.

Actividades de aprendizaje

Realiza las siguientes actividades.

1. En ciertas condiciones, un núcleo de hidrógeno (${}^1_1\text{H}$) y un neutrón (n) pueden unirse y formar un isótopo del hidrógeno: el deuterio (${}^2_1\text{H}$), o sea



a) Sabiendo que $m_{\text{H}} = 1.007825$ uma y $m_n = 1.00865$ uma, encuentren la masa inicial antes de la transformación

$$m_{\text{inicial}} = \text{_____} \text{ u.m.a.}$$

b) Encuentra la masa final después de la transformación, la cual corresponde al ${}^2_1\text{H}$

$$m_{\text{final}} = \text{_____} \text{ u.m.a.}$$

c) Calcula el defecto de masa:

$$\Delta m = m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}}$$

d) Obtén la energía liberada en esta reacción de fusión nuclear:

$$E = (m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}}) c^2 = \text{___ J}$$

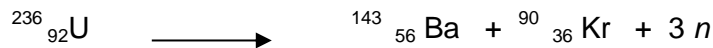
2. Considerando que $1 \text{ u.m.a.} = 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $m_{\text{U}} = 235.043015 \text{ uma}$, $m_{\text{n}} = 1.008665 \text{ uma}$, representen la primera parte donde el Uranio absorbe un protón:



a) Por lo tanto, la masa del sistema es

$$m_i = m_{\text{U}} + m_{\text{n}} = \text{_____ u.m.a.} = \text{_____ u.m.a.}$$

Después de la reacción, se forma un núcleo de Nd (142.909779 uma), uno de Zr (89.904700), 3 neutrones y 8 electrones ($m_e = 5.489 \times 10^{-4} \text{ uma}$):



b) Hagamos lo propio con las masas de los productos resultantes de la reacción. Como el antineutrino no posee masa en reposo, queda

$$m_f = m_{\text{Nd}} + m_{\text{Zr}} + 3 m_{\text{n}} + 8 m_e = \text{_____ uma} = \text{_____ uma}$$

c) ¿Coinciden m_i y m_f ? ¿Por qué?

d) Obtén la diferencia de masas: $\Delta m = m_i - m_f = \text{_____ uma} = \text{_____ kg}$

e) Empleando el principio de equivalencia masa-energía de Einstein, encuentra la energía liberada en la reacción:

$$E = \text{_____ J}$$

3. Investiga cómo funciona un reactor nuclear. Escribe los resultados de tu investigación.

4. Menciona las ventajas y las desventajas de la energía nuclear.

AUTOEVALUACIÓN

Instrucciones: Después de haber estudiado la guía y resuelto las actividades de aprendizaje, procede a resolver esta sección. Sólo hasta que hayas terminado, compara tus respuestas con las que se dan al final de la guía. Recuerda que debes consultar otros libros para que tu preparación rumbo al examen extraordinario sea exitosa. ¡Adelante!

1. Tecnología que utiliza el ultrasonido. Control remoto
2. Fenómeno en el cual una onda cambia de dirección. 0.1 m
 Mecánicas
3. Fenómeno en el que la onda altera su forma. 10 m
4. Fenómeno en el cual la onda altera su dirección o velocidad. Electromagnéticas
5. Estableció el principio de incertidumbre. Frecuencia
 Nodo
5. Representa el tamaño máximo de una onda. Reflexión
6. Tiempo durante el cual una onda se repite. Polarización
7. Tipo de ondas que necesitan un medio material para propagarse. Amplitud
8. Tipo de ondas que pueden viajar en ausencia de un medio material. Refracción
9. Una onda sonora viaja a 340 m/s y su frecuencia es de 34 Hz; por lo tanto, su longitud de onda tiene un valor de...
 Difracción
 Heisenberg
 Sonar
 Periodo
 Einstein

Opción múltiple

Subraya la respuesta correcta.

1. Es una aplicación de la radiación ultravioleta:
 - a) los controles remotos.
 - b) los detectores de billetes falsos.
 - c) la esterilización fría.
 - d) el horno de microondas.
2. Subraya la aseveración correcta.
 - a) La fuerza electrostática es directamente proporcional al cuadrado de la distancia e inversamente proporcional al producto de las cargas.
 - b) La fuerza electrostática es directamente proporcional al producto de las cargas y de la distancia.
 - c) La fuerza electrostática es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
 - d) La fuerza electrostática es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional a la distancia.
3. Realizó un experimento para demostrar la influencia de los campos magnéticos en los eléctricos:
 - a) Coulomb
 - b) Faraday
 - c) Henry
 - d) Oersted
4. Verificó experimentalmente la cuantización de la carga eléctrica:
 - a) Millikan
 - b) Coulomb
 - c) Ámpere
 - d) Faraday
5. Formas para electrizar la material:
 - a) Frotamiento, inducción y magnetización.
 - b) Frotamiento, contacto y polarización.
 - c) Frotamiento, contacto e inducción.
 - d) Inducción, contacto y magnetización.
6. El valor del campo eléctrico se obtiene:
 - a) Multiplicando la carga eléctrica y la fuerza eléctrica.
 - b) Dividiendo la carga eléctrica entre la fuerza eléctrica.

- c) Calculando el inverso del producto de la carga eléctrica y la fuerza eléctrica.
- d) Dividiendo la fuerza eléctrica entre la carga eléctrica.

7. Material cuya resistividad eléctrica es mayor:

- a) El oro.
- b) El caucho.
- c) El silicio.
- d) El aluminio.

8. Ejemplo de material diamagnético:

- a) El hierro.
- b) El aluminio.
- c) El agua.
- d) El platino.

9. Tipo de central eléctrica que funciona por la energía procedente del viento:

- a) Eoloeléctrica
- b) Hidroeléctrica
- c) Geotermoeléctrica
- d) Nucleoeléctrica

10. Las señales electromagnéticas:

- a) No pueden viajar a través del vacío.
- b) Se propagan solamente a través de un medio cuya velocidad sea de 3×10^8 m/s.
- c) Se propagan en el vacío con una velocidad de 3×10^8 m/s.
- d) En cualquier medio se propagan con una velocidad de 3×10^8 m/s.

11. La potencia eléctrica en un material óhmico se calcula:

- a) Multiplicando el voltaje y la corriente eléctrica.
- b) Dividiendo el voltaje entre la corriente eléctrica.
- c) Dividiendo la corriente eléctrica entre el voltaje.
- d) Multiplicando el voltaje y el cuadrado de la corriente eléctrica.

12. La fuerza electromotriz:

- a) Es directamente proporcional al cambio en el flujo magnético.
- b) Es inversamente proporcional al cambio en el flujo magnético.
- c) Es directamente proporcional al tiempo.
- d) Es directamente proporcional al producto del flujo magnético y el tiempo.

13. Es un ejemplo de isótopo radiactivo:

- a) Cesio 137
- b) Deuterio
- c) Silicio 30

d) Plomo 208

14. En una fisión nuclear:

- a) Núcleos de elementos ligeros se unen para formar núcleos de mayor peso atómico y se libera energía.
- b) Un núcleo de gran peso atómico se escinde en otros más ligeros y se libera energía.
- c) Se desintegra la totalidad del elemento y se convierte en energía.
- d) un núcleo de gran peso atómico se convierte en un núcleo de otro elemento y se pierde energía.

15. Es uno de los problemas que la física clásica no pudo resolver:

- a) La catástrofe ultravioleta.
- b) Las leyes de la óptica.
- c) La carga eléctrica.
- d) La unificación de los campos eléctricos y magnéticos.

16. En una desintegración beta:

- a) Un neutrón decae en un protón y un electrón.
- b) Un protón decae en un neutrón y un antineutrino.
- c) Un neutrón decae en un protón, un electrón y un antineutrino.
- d) Un neutrón decae en un protón, un electrón y un neutrino.

17. Científico que construyó el primer reactor nuclear:

- a) Einstein
- b) Fermi
- c) Bohr
- d) Heisenberg

18. En un material aislante:

- a) Prácticamente no se opone resistencia al paso de la corriente eléctrica.
- b) La resistencia eléctrica es muy grande
- c) El paso de la corriente eléctrica depende de cómo se polarice el material.
- d) Se forma en el interior un campo magnético muy intenso.

19. Fenómeno en el cual hay emisión de electrones cuando incide radiación de cierta frecuencia sobre un material:

- a) Corrimiento al rojo
- b) Creación de pares
- c) Emisión estimulada.
- d) Efecto fotoeléctrico.

20. Material empleado como combustible en algunos reactores nucleares:

- a) Titanio
- b) Uranio
- c) Grafito
- d) Agua mineral

21. Es una consecuencia de la teoría de la relatividad general:

- a) La existencia de los campos electromagnéticos.
- b) La existencia del fotón.
- c) La existencia de las ondas de materia.
- d) La existencia de las ondas gravitacionales.

22. Un fenómeno que muestra el comportamiento ondulatorio de la radiación es:

- a) El efecto Compton
- b) La difracción de Bragg
- c) El efecto fotoeléctrico
- d) El corrimiento gravitacional hacia el rojo (efecto Einstein)

23. Es una consecuencia de la teoría electromagnética de Maxwell:

- a) La existencia de las ondas electromagnéticas.
- b) La existencia del fotón.
- c) La existencia de las ondas de materia.
- d) La existencia de las ondas gravitacionales.

24. El núcleo atómico está formado por:

- a) Protones y neutrinos.
- b) Neutrones y electrones.
- c) Protones y neutrones.
- d) Electrones y protones.

25. Un ejemplo de material conductor es:

- a) La plata.
- b) El plástico.
- c) El silicio.
- d) El germanio.

EJERCICIOS

1. Obtener la longitud de onda de una nota musical emitida con una frecuencia de 440 Hz que viaja a una velocidad de 340 m/s?

Respuesta: 0.772 m

2. ¿A qué velocidad viajará el sonido cuando se golpea una varilla que tiene un módulo de Young igual a $5\,000\text{ N/m}^2$ y una densidad de 7 kg/m^3 ?

Respuesta: 26.73 m/s

3. Dos cargas de $10 \times 10^{-6}\text{ C}$ se encuentran separadas por una distancia de 0.03 mm . Encontrar la fuerza de repulsión electrostática entre ellas.

Respuesta: 1000 N

4. Suponiendo que los siguientes dispositivos siguen la ley de Ohm, completa la siguiente tabla:

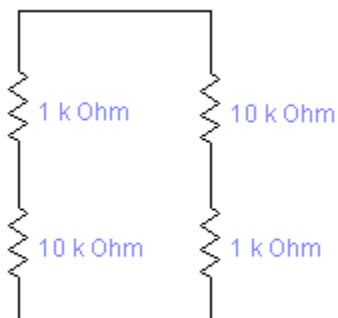
Dispositivo	Corriente eléctrica $I\text{ (A)}$	Resistencia eléctrica (Ω)	Voltaje (V)	Potencia (W)
a) Resistor		100		0.25
b) Calculadora	1×10^{-3}		3	
c) Cafetera		8	120	

Respuestas: a) 0.05 A y 5 V ; b) $3000\ \Omega$ y $3 \times 10^{-3}\text{ W}$; c) 15 A y 1800 W

5. Calcular la intensidad del campo magnético a 20 cm de una partícula cuya carga es de $1 \times 10^{-3}\text{ C}$.

Respuesta: $2 \times 10^{-5}\text{ T}$

6. Obtener la resistencia equivalente del arreglo mostrados enseguida:



Respuesta: 5.5 kΩ

7. Completa la siguiente tabla:

Dispositivo, tecnología o fenómeno	Frecuencia F (Hz)	Longitud de onda λ (m)
a) Radiocomunicador	49.1×10^6	
b) Emisión del hidrógeno neutro	1.4×10^9	
c) Estación de radio de onda corta		31

Respuestas: a) 6.11m; b) 0.21 m; y c) 9.68×10^6 Hz

8. Encontrar la energía máxima de los electrones en el potasio cuando incide un haz ultravioleta con una longitud de onda de 2500×10^{-10} m, si la función de trabajo de este elemento es de 3.5×10^{-19} J.

Respuesta: 4.01×10^{-19} J

9. Un electrón tiene una masa de 9.109×10^{-31} kg y una velocidad de 100 000 m/s. Obtener su longitud de onda de De Broglie.

Respuesta: 6.87×10^{-9} m

10. Si en un reactor de fisión nuclear se fisiona solamente la milésima parte de 5.67 kg de uranio 238, calcular la energía liberada en el proceso.

Respuesta: 5.10×10^{14} J

RESPUESTAS

Relación de columnas

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Tecnología que utiliza el ultrasonido. | () Control remoto |
| 2. Fenómeno en el cual una onda cambia de dirección. | () 0.1 m |
| 3. Fenómeno en el que la onda altera su forma. | (8) Mecánicas |
| 4. Fenómeno en el cual la onda altera su dirección o velocidad. | (10) 10 m |
| 5. Estableció el principio de incertidumbre. | (9) Electromagnéticas |
| 6. Representa el tamaño máximo de una onda. | () Frecuencia |
| 7. Tiempo durante el cual una onda se repite. | () Nodo |
| 8. Tipo de ondas que necesitan un medio material para propagarse. | (2) Reflexión |
| 9. Tipo de ondas que pueden viajar en ausencia de un medio material. | () Polarización |
| 10. Una onda sonora viaja a 340 m/s y su frecuencia es de 34 Hz; por lo tanto, su longitud de onda tiene un valor de... | () Amplitud |
| | (4) Refracción |
| | (3) Difracción |
| | (5) Heisenberg |
| | (1) Sonar |
| | (7) Periodo |
| | () Einstein |

Opción múltiple

1.b); 2. c); 3. d); 4. a); 5. c); 6. d); 7. b); 8. c); 9. a); 10. c); 11. a); 12. a) 13; a); 14. b); 15. a); 16. c); 17. b); 18. b); 19. d); 20. b); 21. d); 22. b); 23. a); 24. c); 25. a).

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Giancoli, D. *Física Principios con aplicaciones*, México, Prentice-Hall, 2006.

Hewitt, P. *Física Conceptual*, México, Pearson, 2009.

Hetch, E. *Fundamentos de Física*, México, Thomson-Learning, 2010.

Posadas, Y., *Física II. Ondas, electromagnetismo y física contemporánea*, México, Progreso, 2006.

Tippens P. *Física Conceptos y aplicaciones*. México, McGraw Hill, 2012.

Zitzewitz *et al.* *Física 2. Principios y problemas*. Ed. McGraw Hill. México, 2012.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Alba, F., *El desarrollo de la tecnología. La aportación de la física*, México, Fondo de Cultura Económica, Colección “La Ciencia para todos”, 2010.

Alonso, M. y O. Rojo, *Física. Campos y ondas*, México, Addison-Wesley Iberoamericana, 1987.

Flores, N. E. y J. E. Figueroa, *Física moderna*, México, Prentice Hall, Primera Edición, 2004.

Gamow, G., *Biografía de la física*, Madrid, Alianza Editorial, 2008.

Gutiérrez, C., *Física general*, México, McGraw-Hill, 2009.

Posadas, Y., *Emprende los temas de Física*, México, Edelvives, 2017.

Serway, R. y J. Faughn, *Física* (Vol. 2), México, Thomson, 2004.

Tippens, P., *Física. Conceptos y aplicaciones*, México, McGraw-Hill, 1996.

Wilson, J.D. y A.J. Buffa, *Física*, México, Pearson, 2013.