



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
PLANTEL AZCAPOTZALCO
CIENCIAS EXPERIMENTALES



GUÍA PARA EXAMEN EXTRAORDINARIO

FÍSICA IV

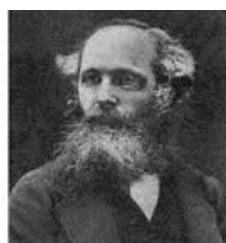
(PROGRAMA DE ESTUDIOS REVISADO Y ACTUALIZADO 2016)



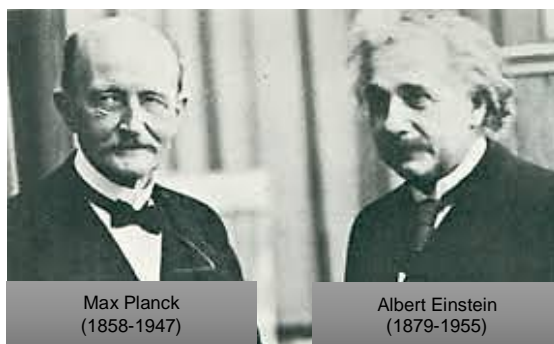
Christiaan Huygens
(1629-1695)



Michael Faraday
(1791-1867)



James C. Maxwell
(1831-1879)



Max Planck
(1858-1947)

Albert Einstein
(1879-1955)

AUTORES:

CUETO CRUZ VÍCTOR MANUEL
ESTRADA DÍAZ JOSÉ GUADALUPE
GARCÍA GARCÍA MAURICIO
ROMERO MIRANDA LAURA ANGELICA
VILLAVICENCIO ROJAS FABIAN

MAYO 2019

Índice

Introducción.....	3
Instrucciones.....	3
Unidad 1. Sistemas electromagnéticos	5
Diferencia de potencial eléctrico	6
Potencial eléctrico.....	6
Líneas y superficies equipotenciales.....	7
Capacitancia y energía potencial eléctrica	10
Capacitor de Placas Paralelas.	10
Energía de un capacitor.....	12
Conexión en serie de capacitores.....	13
Conexión en paralelo de capacitores.....	14
Circuito mixto de capacitores.....	15
Potencia eléctrica	17
Potencia en Corriente Continua.	18
Potencia en Corriente alterna.....	19
El valor eficaz.	23
Campos magnéticos	27
Flujo Magnético.....	28
Densidad del flujo magnético.....	29
Ley de Ampere.	30
Efecto motor	33
Ley de Faraday	35
Generadores eléctricos	37
Transformadores	39
Radiación Electromagnética.....	42
Semiconductores.....	45
El Diodo	49
El Transistor	51
Ejercicios de la unidad 1	54
Autoevaluación unidad 1.....	57
Soluciones de autoevaluación unidad 1	60

Unidad 2.	Sistemas ópticos	61
Óptica geométrica		62
Reflexión		62
Refracción		63
Formación de imágenes y diagramas de rayos		67
Espejos planos y curvos		67
Lentes simples		71
Óptica física		74
Principio de Huygens		74
Fenómenos ondulatorios		75
Interferencia		75
Difracción		76
Polarización		78
Óptica cuántica		81
Carácter cuántico de la luz		81
Efecto Fotoeléctrico		84
Luminiscencia		86
Láser		88
Ejercicios de la unidad 2		89
Autoevaluación unidad 2		92
Soluciones de autoevaluación unidad 2		95
Apéndice		96
Bibliografía		97

Introducción

La guía de Física IV considera la relación entre contenidos, la teoría básica, el tiempo y los ejercicios que permiten clarificar el curso, lo que propicia la cobertura eficiente de los aprendizajes.

En el Área de Ciencias Experimentales se tiene como meta proporcionar a los estudiantes los elementos de la cultura básica correspondientes al conocimiento científico y tecnológico, para que cuente con información y metodologías básicas que les permitirán, a su egreso, interactuar con su entorno de una manera más creativa, responsable, informada y crítica. Pretende una enseñanza que permita al estudiante modificar sus estructuras de pensamiento y mejorar sus procesos intelectuales.

Siendo congruentes con el postulado de aprender a aprender, se propone la búsqueda de respuestas a interrogantes, con la investigación como metodología de aprendizaje, que le permitirá aprender cómo se alcanza el conocimiento de las ciencias que integran el Área de Ciencias Experimentales.

Propósitos generales

Los propósitos generales de Física IV son que,

El alumno será capaz de:

- Describir el comportamiento de sistemas electromagnéticos y ópticos.
- Utilizar la experimentación como elemento esencial en el aprendizaje del electromagnetismo y la óptica.
- Emplear la herramienta vectorial como apoyo de los aprendizajes que lo requieran.
- Emplear modelos matemáticos a partir de resultados experimentales, que expresen relaciones entre las magnitudes que caracterizan a los sistemas electromagnéticos y ópticos.
- Resolver situaciones o problemas donde se manifiesten procesos: de transmisión de carga eléctrica, energía y luz.
- Desarrollar y presentar proyectos de investigación escolar, ya sean experimentales, de campo, de desarrollo tecnológico o documentales, relativos al curso y que respondan a sus intereses.
- Reconocer la trascendencia y el impacto en la sociedad de los sistemas electromagnéticos y ópticos.

Instrucciones

Esta guía fue realizada con el propósito de adquirir los aprendizajes señalados en el mapa curricular actualizado en 2016 de la materia de Física IV por el Colegio de Ciencia y Humanidades (CCH), brindando una pauta al estudio de la asignatura, para detectar los aprendizajes en los que se tienen deficiencias y organizarse para fortalecerlos, poniendo como meta aprender Física IV y por consecuencia incrementar la oportunidad de aprobarla, al presentar el examen extraordinario.

El uso de esta guía es muy sencillo e intuitivo para el autoaprendizaje del alumno, así como para facilitar el acompañamiento por parte de un asesor, la guía se presenta de la siguiente manera:

- Objetivo de cada unidad
 - Los aprendizajes expeditos del programa operativo de Física IV
 - Conceptos e ideas clave con una breve explicación.
 - Ejemplos resueltos del aprendizaje, intentado facilitar la comprensión y seguimiento del aprendizaje a tratar
 - Ejercicios propuestos (con diferentes grados de complejidad)
 - Autoevaluación de la unidad.
 - Respuestas de la autoevaluación.
- Al final se presentan un apéndice con la explicación de múltiplos y submúltiplos de unidades.
- Como punto final se tiene la Bibliografía utilizada en el desarrollo de esta guía.
- A través de la guía se usan las unidades en el Sistema Internacional (SI).
- Estudia cada aprendizaje, rescatando los conceptos que consideres fundamentales.
- Consulta, discute y analiza con un asesor de Física IV, los aprendizajes de la guía.
- Responde las preguntas y problemas que aparecen para cada unidad.
- Esta el Programa Integral de Asesorías (PIA) donde te pueden apoyar.

Instrucciones para la solución de los problemas.

- Para resolver un problema es importante que comprendas lo que se te pide, obteniendo la información necesaria en cada caso.
- Extrae los datos que te da el enunciado, exprésalo en el sistema internacional de unidades en una lista.
- Elabora un bosquejo, diagrama, dibujo o esquema que ilustre y te aclare el problema.
- Escribe las posibles ecuaciones que consideres necesarias para resolver el problema.
- Realiza los despejes necesarios en las ecuaciones planteadas.
- Sustituye los valores con las unidades correspondientes en las ecuaciones. Si hay una constante en la ecuación normalmente en esas unidades tienen que estar los datos.
- Realiza las operaciones y verifica que las unidades obtenidas sean consistentes con la magnitud calculada.
- Analiza si tus resultados son consistentes con la realidad del problema.
- Presenta los resultados con unidades y conclusiones, de una manera clara.

Unidad 1.

Sistemas electromagnéticos

Presentación

En esta unidad se estudiará el electromagnetismo, privilegiando aplicaciones que tengan relación con fenómenos cotidianos y con dispositivos tecnológicos, para que el alumno desarrolle habilidades en la experimentación. Se estudiará el comportamiento de los campos eléctrico y magnético en situaciones específicas, densidad de flujo, la diferencia de potencial, FEM, corriente eléctrica directa y alterna, capacitancia, inductancia y las leyes del electromagnetismo, así como sus aplicaciones en algunos sistemas. El estudio y análisis de los conceptos electromagnéticos permitirán desarrollar proyectos para explicar el funcionamiento de dispositivos electromecánicos, electrónicos y de comunicación.

Propósitos

Al finalizar la unidad el alumno:

- Describirá el funcionamiento de dispositivos electromagnéticos y electrónicos en aplicaciones cotidianas.
- Comprenderá las implicaciones y consecuencias físicas de las ecuaciones de Maxwell.
- Resolverá situaciones teóricas y experimentales donde se relacionen las variables eléctricas, magnéticas y electromagnéticas.
- Comprenderá que la electricidad y el magnetismo conforman un mismo fenómeno y que la luz se propaga como onda electromagnética.

Diferencia de potencial eléctrico

Aprendizaje

1. Describe la diferencia de potencial eléctrico en dispositivos como baterías y capacitores.

Potencial eléctrico.

Se sabe que un cuerpo puede tener energía potencial gravitacional debido a su colocación en un campo gravitacional. Asimismo, un objeto con carga tiene energía potencial eléctrica gracias a su lugar en un campo eléctrico. Al igual que se requiere trabajo para levantar un objeto masivo contra el campo gravitacional de la Tierra, se requiere trabajo para mover una partícula cargada contra el campo eléctrico de un cuerpo cargado, como se muestra en la figura 1.1.1.

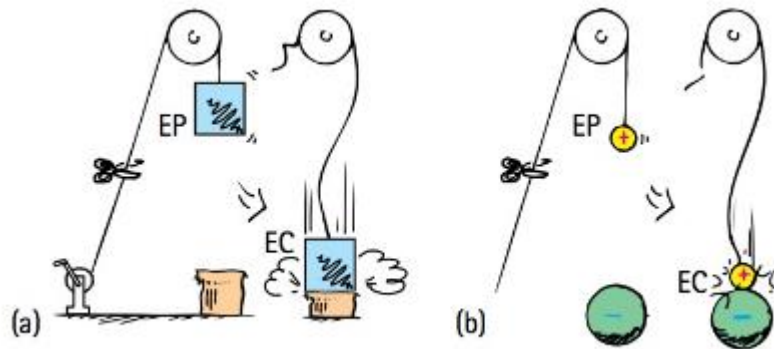


Figura 1.1.1. a) Al soltarse, la EP (energía potencial gravitacional) de una masa sostenida en un campo gravitacional se transforma en EC (energía cinética). b) Al soltarse, la EP de una partícula cargada mantenida en un campo eléctrico se transforma en EC. (Tomado del libro Física conceptual de Paul W. Hewitt.)

Se llama *potencial eléctrico* en un punto de un campo eléctrico a la energía potencial de la unidad de carga eléctrica positiva situada en ese punto. El potencial eléctrico se designa por V ; es decir,

$$V = \frac{EP}{q} \quad (1.1)$$
$$\text{Potencial eléctrico} = \frac{\text{energía potencial eléctrica}}{\text{carga}}$$

Debemos tener en cuenta que, aunque el campo eléctrico es una magnitud vectorial, el potencial eléctrico es una magnitud escalar, por tratarse de una energía.

De la anterior ecuación se deduce que

$$EP = qV \quad (1.2)$$

Energía potencial = carga eléctrica × potencial eléctrico

Por lo que es importante saber el potencial eléctrico, ya que nos permite conocer la energía potencial de cualquier carga que se coloque en ese sitio.

En el SI la energía se expresa en joules (J) y la carga eléctrica en coulombs (C), el potencial eléctrico en el SI debe expresarse en joules/coulombs (J/C), unidad que se llama *volt* y se abrevia V.

$$1 \text{ volt} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}}$$

Recordemos que la energía potencial, depende del punto de referencia, por lo que podemos colocarlo donde mejor nos convenga. El cero de energía potencial eléctrica se escoge usualmente en el infinito o en la superficie de la tierra si se trata de la energía potencial gravitacional. Por lo que el potencial eléctrico en un punto será positivo o negativo según el punto de referencia que se escoja.

Líneas y superficies equipotenciales.

En un campo eléctrico se llaman líneas o superficies equipotenciales a las líneas o superficies (imaginarias) que resultan de unir todos los puntos que tienen el mismo potencial eléctrico. Por lo que, la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera de una línea o superficie es cero. Las superficies equipotenciales son siempre perpendiculares a las líneas de fuerza.

Diferencia de potencial eléctrico.

En la mayoría de las situaciones lo que importa conocer es la *diferencia de potencial eléctrico* entre dos puntos, en lugar que el potencial eléctrico en cada uno de esos puntos, ya que lo que se busca es calcular el trabajo requerido para mover una carga eléctrica de un punto a otro. La diferencia de potencial se suele llamar también voltaje, y se puede designar como ΔV .

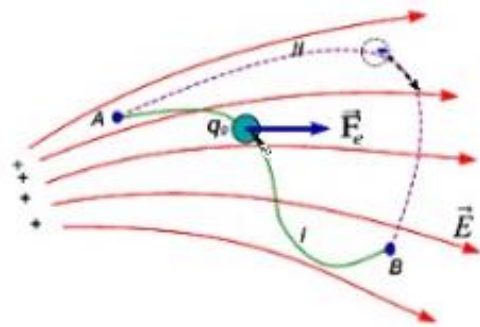


Figura 1.1.2. En una trayectoria cerrada no importa el camino tomado, por lo que el trabajo sería el mismo.

Supongamos que tenemos una carga moviéndose entre dos puntos A y B de un campo eléctrico como lo muestra la figura 1.1.2 Si se sitúa una carga q en el punto A, donde el potencial eléctrico es V_A , su energía potencial es EP_A y tenemos que $EP_A = q V_A$

Si la carga se encuentra en el punto B, donde el potencial eléctrico es V_B , su energía potencial es EP_B y tenemos $EP_B = q V_B$

Y si la carga se mueve desde el punto A hasta el punto B, siguiendo una trayectoria cualquiera. Entonces el campo eléctrico ejerce sobre la carga en cada punto de la

trayectoria una fuerza, y esa fuerza realiza un trabajo sobre la carga. Por lo que, si designamos por W el trabajo realizado por el campo eléctrico, tenemos:

$$W = EP_A - EP_B = qV_A - qV_B$$
$$\left(\begin{array}{l} \text{trabajo del} \\ \text{campo eléctrico} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{energía} \\ \text{potencial} \\ \text{inicial} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{energía} \\ \text{potencial} \\ \text{final} \end{array} \right) \quad (1.3)$$

Podemos escribir la anterior relación en la forma

$$W = q(V_A - V_B) \quad \text{o} \quad W = q\Delta V \quad (1.4)$$

Despejando $\Delta V = W / q$, observamos que la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos se mide por el trabajo que realiza el campo eléctrico al mover la unidad de carga del primer punto al segundo.

Ejemplo 1. ¿Cuál es el trabajo necesario para trasladar una carga de 2×10^{-7} coulomb desde un punto a 30 cm de una carga de 3×10^{-6} coulomb hasta otro punto a 12 cm de la misma si el medio es el vacío?

Solución:

Primero se calcula el potencial producido por la carga de 3×10^{-6} C en los puntos dados. Después se obtiene la diferencia de potencial entre los dos puntos efectuando la resta entre los valores obtenidos. Finalmente, se multiplica la diferencia de potencial por la carga de 2×10^{-7} C para calcular el trabajo:

$$V_1 = k \frac{q}{r_1} = 9 \times 10^9 \frac{N m^2}{C^2} \frac{3 \times 10^{-6} C}{0.3 m} = 90000 V$$
$$V_2 = k \frac{q}{r_2} = 9 \times 10^9 \frac{N m^2}{C^2} \frac{3 \times 10^{-6} C}{0.12 m} = 225000 V$$

Como las dos cargas son positivas, para aproximar una a la otra es necesario efectuar un trabajo externo, es decir, incrementar la energía potencial del sistema de cargas. Por lo tanto, el trabajo debe ser positivo.

La diferencia de potencial es:

$$\Delta V = 225000 V - 90000 V = 135000 V$$

El trabajo realizado sobre la carga de 2×10^{-7} C es:

$$W = q \Delta V = 135000 V \times 2 \times 10^{-7} C = 0.027 J$$

Ejemplo 2. Un protón, cuya carga es 1.6×10^{-19} C, se mueve en un campo eléctrico uniforme en una trayectoria que pasa por los puntos A, B y C, mostrados en el esquema. Si la intensidad del campo eléctrico es de 50 N/C, calcule la diferencia de potencial entre A y C, si la distancia AB es de 3 m y la distancia BC es de 4 m.

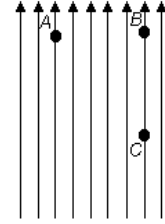


Figura 1.1.3.

Solución:

Al moverse la partícula entre A y B no se realiza trabajo, pues el desplazamiento y la fuerza son perpendiculares. Luego, el trabajo total se realiza entre B y C.

$$W = \Delta V q = E d q = 50 \times 4 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-17} \text{ J}$$

Aprendizaje

2. *Determina la energía potencial eléctrica en un capacitor.*

Capacitancia y energía potencial eléctrica

Un capacitor o condensador es un dispositivo eléctrico, consta de dos conductores separados por medio de un dieléctrico (o un vacío). El capacitor se carga mediante una batería (una batería es un dispositivo que mantiene una diferencia de potencial relativamente constante entre sus terminales), una vez cargado el capacitor se desconecta la batería, apareciendo en las placas del capacitor una diferencia de potencial de igual valor a la diferencia de potencial de las terminales de la batería.

La razón entre la carga eléctrica en cualquiera de los dos conductores y la diferencia de potencial entre ellas se llama capacitancia C

:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1.5)$$

Donde C [=] Faradios

Como el faradio es una unidad grande se emplean los siguientes submúltiplos del faradio para expresar la capacitancia de los capacitores comunes.

1 microfaradio ($1\mu\text{F}$) = 10^{-6} F

1nanofaradio (nF) = 10^{-9} F

1 picofaradio (pF) = 10^{-12} F

Capacitor de Placas Paralelas.

Para un capacitor, la capacitancia depende de la geometría del mismo, es decir, el tamaño y forma de las placas, la separación entre ellas, etc. Para el capacitor de placas paralelas, la capacitancia se puede calcular como:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (1.6)$$

Dónde:

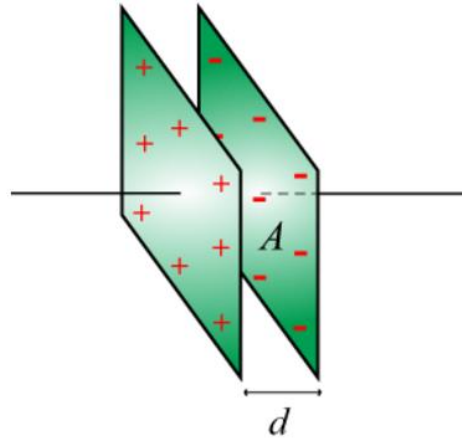
C = capacitancia, medida en farad (F).

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

A = área de cualquiera de las placas del capacitor, medida en metros cuadrados (m^2).
 d = separación entre las placas del capacitor, medida en metro (m).

Una representación de esto se muestra en la figura 1.2.1.

Figura 1.2.1. Capacitor de placas paralelas cuya área de cada placa es A y cuyas placas están separadas una distancia d , y cuyo medio entre ellas es el aire (o el vacío).



Por lo que la capacitancia de un capacitor de placas paralelas es directamente proporcional al área de sus placas e inversamente proporcional a la separación de éstas.

Ejemplo 1. Un capacitor de placas paralelas tiene un área para cada placa de 1 cm^2 ($1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$) y una separación de 1 mm ($1 \times 10^{-3} \text{ m}$). Determina su capacitancia si el medio que existe entre dichas placas es el aire:

Datos:

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

$$\text{Fórmula: } C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

$$d = 1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 1 \text{ cm}^2 = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$C = ?$$

Utilizando la fórmula para la capacitancia y sustituyendo los datos se tiene

$$C = \frac{(8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2})(1 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}{1 \times 10^{-3} \text{ m}} = 8.85 \times 10^{-13} \text{ F} = 0.885 \text{ pF}$$

Energía de un capacitor.

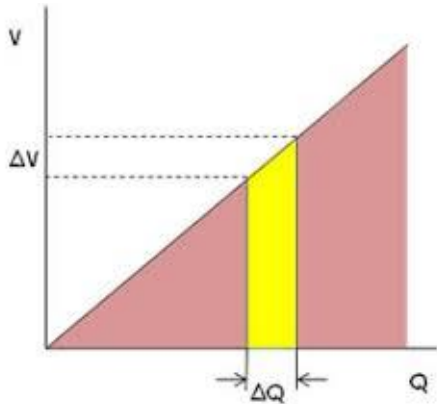


Figura 1.2.2. Cambio del potencial de un conductor a medida que su carga varía desde cero hasta q.

Para transferir una pequeña cantidad de carga q de una placa a otra, después de conectarse a una batería, aparece entre las placas del capacitor una pequeña diferencia de potencial ($\Delta V = \frac{\Delta q}{C}$). Por tanto se debe realizar un trabajo para transferir una carga eléctrica adicional contra esa diferencia de potencial (ΔV). Conforme más carga eléctrica se transfiere de una placa a otra, la diferencia de potencial aumenta en proporción a la carga como se muestra en la gráfica .

Al cargarse un capacitor lo hace de manera que la gráfica de voltaje (ΔV) contra la carga eléctrica es una línea recta con una pendiente $1/C$.

Entonces el trabajo total requerido para cargar el capacitor hasta una carga final q es igual al área ubicada debajo de la línea, la cuál es el área de un triángulo cuya altura es V y base es igual a q , es decir, $W = \frac{1}{2} q V$; este trabajo que se requirió para cargar el capacitor con la batería, es igual a la energía almacenada en el capacitor después que es cargado. Esta energía almacenada se puede representar por E , de manera que la ecuación anterior se convierte en:

$$E = \frac{1}{2} q V \quad (1.7)$$

Y a partir de ($C = \frac{q}{V}$)

La energía almacenada es:

$$E = \frac{1}{2} q V = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{q^2}{2C} \quad (1.8)$$

Ejemplo 2. Al capacitor de 20 pF se le conecta una pila de 1.5 V. si se desconecta la pila, ¿cuánta energía queda almacenada en dicho capacitor?

Datos:

$$C = 20 \text{ pF} = 20 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$V = 1.5 \text{ V}$$

$$E = ?$$

Fórmulas y sustitución

$$E = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} (20 \times 10^{-12} \text{ F})(1.5 \text{ V})^2$$

Resultado.

$$E = 22.5 \times 10^{-12} \text{ J}$$

Conexión en serie de capacitores.

En este tipo de circuitos, los capacitores se conectan uno tras otro, como se muestra en la siguiente figura. En esta figura también se muestra una batería que proporciona la diferencia de potencial V para cargar los capacitores, pero se puede generalizar a cualquier número de capacitores.

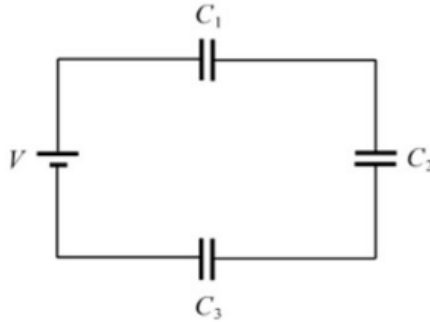


Figura 1.2.3. Capacitores en serie

Los capacitores en serie se pueden sustituir por un capacitor equivalente (C_{eq}) de valor:

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots} \quad (1.9)$$

Este capacitor equivalente siempre será de menor valor que el menor. Para el caso especial de que tengamos dos capacitores en serie, la ecuación anterior puede quedar como:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (1.10)$$

El capacitor equivalente tendrá una carga equivalente q_{eq} dada por $q_{eq} = C_{eq} V$,

Además, se cumple que:

$$q_{eq} = q_1 = q_2 = q_3 = \dots \quad (1.11)$$

Lo anterior nos indica que la carga en cada capacitor individual es igual a la carga del capacitor equivalente.

Se debe observar que:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (1.12)$$

La ecuación anterior nos indica que la diferencia de potencial V , que proporciona la batería, será igual a la suma de las diferencias de potencial en cada uno de los capacitores.

Cada V_i se calcula como: $V_i = Q_i / C_i$, finalmente, la energía en el capacitor equivalente será la suma de las energías en cada capacitor:

$$E_{eq} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \quad (1.13)$$

Cada E_i , se calcula como: $E_i = \frac{1}{2} q_i V_i$.

Conexión en paralelo de capacitores.

En este tipo de conexión de capacitores, todos los capacitores se conectan a la misma diferencia de potencial, como se muestra en la siguiente figura. Sólo se muestran tres capacitores, pero se puede generalizar a cualquier número de capacitores.

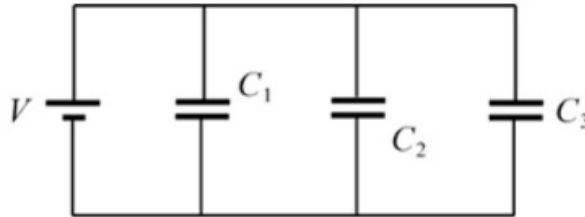


Figura 1.2.4. Capacitores en paralelo

Los capacitores en paralelo se pueden sustituir por un capacitor equivalente (C_{eq}) de valor:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1.14)$$

Este capacitor equivalente siempre será de mayor valor que el mayor de los capacitores en el circuito.

Todos los capacitores están conectados a la misma diferencia de potencial, así que:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots \quad (1.15)$$

El capacitor equivalente tendrá una carga equivalente q_{eq} , dada por:

$$q_{eq} = C_{eq}V \quad (1.16)$$

La carga equivalente q_{eq} , será igual a la suma de las cargas individuales:

$$q_{eq} = q_1 + q_2 + q_3 + \dots \quad (1.17)$$

en donde cada q_i se calcula como $q_i = C_i + V$.

Finalmente, la energía en el capacitor equivalente será la suma de las energías en cada capacitor:

$$E_{eq} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \quad (1.18)$$

Cada E_i , se calcula como $E_i = \frac{1}{2} q_i V_i$

Circuito mixto de capacitores.

Este circuito no es más que la combinación de los circuitos en serie y en paralelo, como se muestra en la siguiente figura.

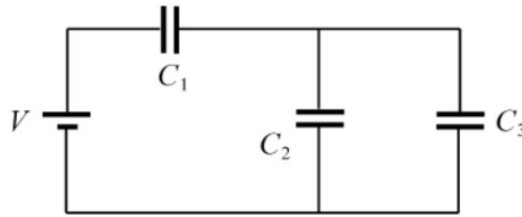


Figura 1.2.5. Circuito mixto

Se puede observar que los capacitores C_2 y C_3 se encuentran conectados en paralelo. Se pueden sustituir por un capacitor equivalente $C_{2,3}$. El circuito simplificado quedaría como la figura 1.2.6 y ahora, los capacitores C_1 y $C_{2,3}$ se encuentran conectados en serie.

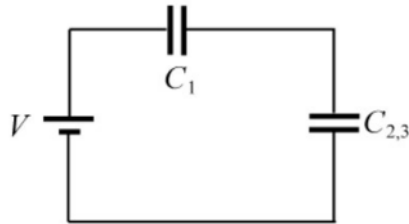


Figura 1.2.6. Circuito mixto de capacitores

Ejemplo 3. En el diagrama que se muestra a continuación, determine:

La capacitancia del capacitor equivalente.

La carga, la diferencia de potencial y energía en cada capacitor.

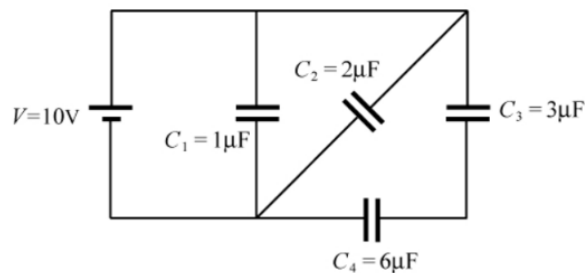


Figura 1.2.5.

Los capacitores C_3 y C_4 están en serie, así que los simplificamos y nos queda:

$$C_{3,4} = \frac{1}{\frac{1}{3\mu\text{F}} + \frac{1}{6\mu\text{F}}} = 2\mu\text{F}$$

Los capacitores C_1 , C_2 , $C_{3,4}$ están en paralelo y se pueden sustituir por un capacitor equivalente C_{eq} , como se muestra en la figura 1.2.8:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_{3,4} = 1 \mu\text{F} + 2 \mu\text{F} + 2 \mu\text{F} = 5 \mu\text{F}$$

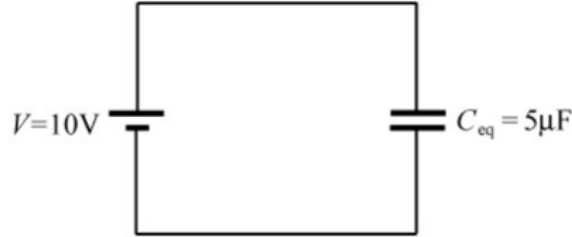


Figura 1.2.6.

La carga del capacitor equivalente será:

$$q_{eq} = C_{eq} V = (5 \times 10^{-6}\text{F})(10\text{V}) = 5 \times 10^{-5}\text{C}$$

la energía en el capacitor equivalente es:

$$E = \frac{1}{2} q V = \frac{1}{2} (5 \times 10^{-5}\text{C})(10\text{V}) = 2.5 \times 10^{-4}\text{J}$$

$$q_1 = C_1 V_1 = (1 \times 10^{-6}\text{F}) (10\text{V}) = 1 \times 10^{-5}\text{C}$$

$$q_2 = C_2 V_1 = (2 \times 10^{-6}\text{F}) (10\text{V}) = 2 \times 10^{-5}\text{C}$$

$$q_{3,4} = C_{3,4} V_{3,4} = (2 \times 10^{-6}\text{F}) (10\text{V}) = 2 \times 10^{-5}\text{C}$$

Potencia eléctrica

Aprendizaje

3. Determina la potencia de elementos eléctricos que trabajen con cd o ca.

Cuando hablamos de la potencia eléctrica de una lámpara o bombilla, nos referimos a la cantidad de luz que emite, si hablamos de la potencia eléctrica de un radiador eléctrico hablamos de su capacidad para dar calor, si es la potencia eléctrica de un motor será la capacidad de movimiento y fuerza del motor, etc.

Lógicamente una lámpara con más potencia, dará más luz, un radiador con más potencia, dará más calor y un motor con más potencia, tendrá más fuerza de giro. Los 3 fenómenos se producen gracias a la corriente eléctrica y de ahí que los 3 tengan una potencia eléctrica.

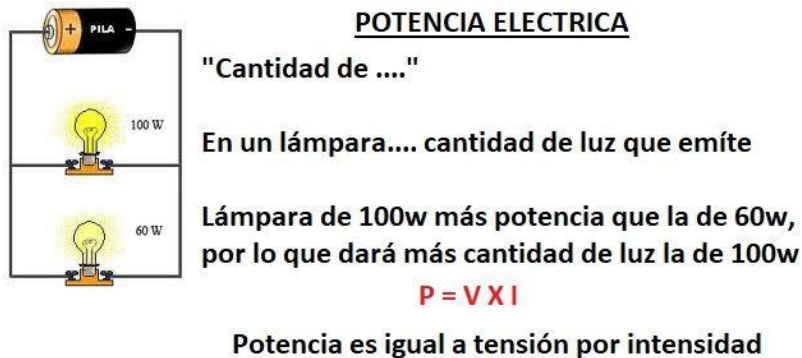


Figura 1.3.1. Diagrama de potencia eléctrica.

En la figura 1.3.1. la lámpara de 100W luce más que la de 60W debido a que tiene más potencia.

La potencia eléctrica se mide en vatios (W) aunque es muy común verla en Kilovatios (KW). 1.000W es 1KW de potencia. Para pasar de W a kW solo tendremos que dividir entre 1,000.

En la mayoría de los aparatos eléctricos puedes ver su potencia en la placa de características que viene por la parte de atrás y pegada. A veces solo viene la tensión a la que se debe conectar y la intensidad que circula por el receptor, en este caso es fácil calcularla, solo tienes que multiplicar la $V \times I$ como ya explicamos. Aquí tienes un ejemplo:



Figura 1.3.2. Placa de datos.

La fórmula de la potencia, en corriente continua, es $P = VI$, potencia es igual a tensión V a la que se conecta el receptor, por la intensidad de corriente I que atraviesa el receptor. Si el receptor tiene una resistencia R , podemos utilizar la ley de Ohm para poner la fórmula de la potencia en función de la V y la R o de la I y la R del receptor. Recuerda que la ley de ohm es $V = RI$.

Definimos la potencia eléctrica como la capacidad que tiene la electricidad de producir un trabajo y transformar la energía en un tiempo dado.

En el sistema internacional, la unidad de potencia es el Watt (W) y se cumple la siguiente relación:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule} \times \text{segundo} = 1 \text{ Ampere} \times \text{Voltio}$$

1 kilowatt (kW) = 1,000 Watts (Ejemplo: Fuerza motriz en general en aparatos electrodomésticos)

$$1 \text{ Megawatt (MW)} = 1,000,000 \text{ Watts (Ejemplo: Plantas industriales, ciudades)}$$

Calculo de potencia eléctrica

Para calcular la potencia que consume un dispositivo conectado a un circuito eléctrico se multiplica el valor de la tensión, en **volt (V)**, aplicada por el valor de la **intensidad (I)** de la corriente que lo recorre (expresada en **ampere**).

Potencia en Corriente Continua.

La corriente continua es la que tienen las pilas, las baterías y las dinamos. Todo lo que se conecte a estos generadores serán receptores de corriente continua. Ya hemos dicho que para calcular la potencia en c.c. (corriente continua) se hace mediante la fórmula:

$$P = VI \tag{1.19}$$

Tensión × Intensidad de corriente

La corriente directa o continua es aquella cuyo valor y sentido son constantes (no cambian en el tiempo).

En el siguiente gráfico, se puede ver la representación gráfica de la corriente directa para una intensidad de corriente de 10 A.

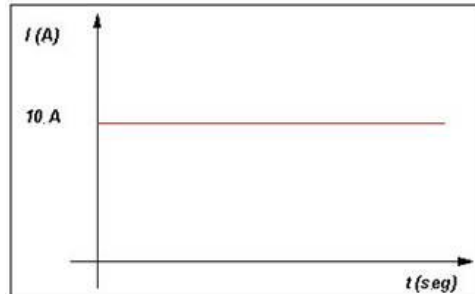


Figura 1.3.3. Gráfica de corriente directa.

Por lo tanto, una corriente continua se produce en un circuito cuando se aplica una fuente de tensión continua a este circuito, por ejemplo, una batería de auto o un panel fotovoltaico que alimenta unas lámparas incandescentes.

Cuando la tensión se pone en Voltios (V) y la Intensidad de corriente en Amperios (A), la potencia nos dará en vatios (W).

Potencia en Corriente alterna.

La corriente alterna es la que se genera en las centrales eléctricas, por eso todos los receptores que se conecten a los enchufes de las viviendas son de corriente alterna (c.a).

La corriente alterna es aquella cuyo valor y sentido cambian en el tiempo de forma periódica. En el caso de la corriente usada industrialmente, al graficar la corriente alterna, la gráfica obtenida tiene la forma de una onda sinusoidal.

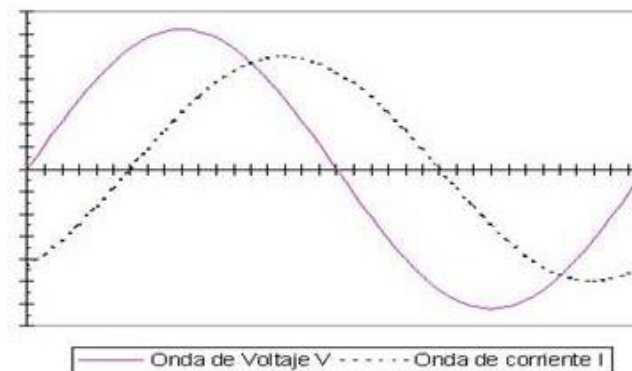


Figura 1.3.4. Gráfica de corriente alterna.

$$V = V_{max} \sin(\omega t \pm \varphi_v) \quad (1.20)$$

$$I = I_{max} \sin(\omega t \pm \varphi_i) \quad (1.21)$$

Donde:

V, I = Valores instantáneos de tensión y corriente, en V y A, respectivamente.

V_{max} , I_{max} = Valores máximos de tensión y corriente, en V y A respectivamente.

ω = Frecuencia angular o velocidad angular del generador, en rad/s.

t = Tiempo, en segundos.

φ_v , φ_i = Ángulos de desfase inicial de la tensión y la corriente, en radianes.

La corriente alterna presenta características únicas, las cuales deben ser evaluadas por el auditor energético para determinar la eficiencia de un sistema eléctrico alimentado por ella. Estas magnitudes son:

El ángulo de fase

El valor eficaz

La potencia eléctrica y la corriente alterna.

Aquí la potencia es un poco más compleja, ya que no solo hay una potencia, sino que hay 3 diferentes.

Tipos de Potencia.

- Potencia Activa:

$$P_a = VI \cos(\varphi) \quad (1.22)$$

Se mide en w (vatios o watts).

- Potencia reactiva:

$$Q = VI \sen(\varphi) \quad (1.23)$$

Se mide en VAR (voltio amperios reactivos)

- Potencia Aparente:

$$S = VI \quad (1.24)$$

Se mide en voltios amperios (VA)

Aquí puedes ver el triángulo de potencias para su cálculo y deducir sus fórmulas:

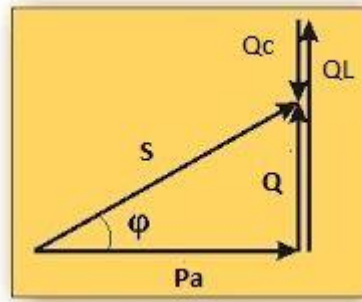


Figura 1.3.5. Triángulo de potencias para corrientes alternas (c.a.).

La potencia activa es la única de las 3 potencia que se transforma en energía útil, es decir es la potencia útil del receptor.

La potencia reactiva es una potencia perdida. Esta potencia es una potencia consumida por las bobinas y por los condensadores. Tenemos 2 potencias reactivas, Q_L (potencia reactiva inductiva) que será la potencia reactiva consumida por las bobinas para crear campos magnéticos y Q_C (potencia reactiva capacitiva) potencia reactiva consumida por los condensadores para crear campos eléctricos. La suma vectorial de ambas será la potencia reactiva total como luego veremos en los ejemplos. Las dos son potencias perdidas, no sin realmente útiles.

La potencia aparente es la suma vectorial de las otras dos, es la potencia útil más la potencia perdida.

Potencia activa.

Esta potencia es la que se transforma en energía en los receptores, la que disipan por la parte de resistencia eléctrica que tienen, la única que se transforma en energía útil. Solo esta potencia eléctrica se transforma en trabajo por el receptor, este valor es el que nos dice qué tan potente es el receptor y es la que viene expresada en las características de todos los receptores. Es por lo tanto la más importante. Se mide en vatios (W) igual que en c.c.

Como las señales eléctricas en c.a. son una onda sinodal, que cambian con el tiempo, la fórmula de la potencia depende de la gráfica de la tensión y la intensidad, de cuanto se retrasa una con respecto de la otra, por eso se debe utilizar el ángulo a través de coseno del ángulo ϕ (fi), ángulo de retraso de la onda de la tensión con respecto a la onda de la intensidad. Fíjate como son estos desfases en 3 circuitos puros, uno resistivo puro (resistencia pura), uno inductivo puro (bobina pura) y uno capacitivo puro (condensador puro):

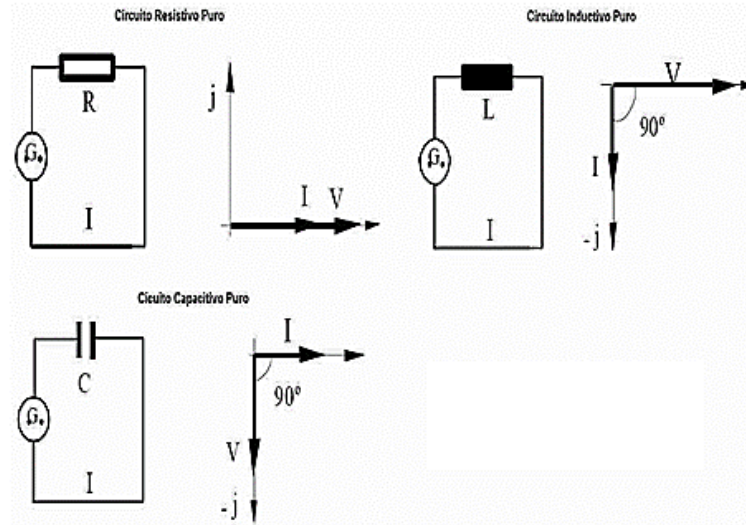


Figura 1.3.6. Desfases en tres circuitos.

La potencia activa se calcula a partir de la fórmula (1.22):

$$P_a = VI \cos(\varphi)$$

El $\cos(\varphi)$ también se conoce como "Factor de Potencia", es el ángulo de desfase entre la V y la I. Fíjate en los ángulos de desfases de la figura anterior. Según esto, tenemos para cada tipo de circuito:

- Resistivo puro (Resistencias): La V y la I están en fase. Entonces, ángulo de desfase es 0° ; y $\cos(0^\circ) = 1$, por lo tanto, el factor de potencia en receptores de resistencias puras es 1. A un arreglo de este tipo, se le denomina circuito R.
- Inductivo puro (Bobinas): La V está adelantada 90° respecto al I, entonces, el ángulo de desfase es 90° , y $\cos(90^\circ) = 0$, por lo tanto, el factor de potencia es 0. A estos arreglos se les llama circuitos L.
- Capacitivo puro (Capacitores): La V está atrasada 90° respecto al I, entonces, el ángulo de desfase es $\varphi = -90^\circ$, y $\cos(90^\circ) = 0$, por lo tanto, el factor de potencia es 0. A estos arreglos se les denomina circuitos C.

Por ejemplo una bombilla o un radiador eléctrico (resistencia eléctrica) serán receptores cuya potencia será la misma en c.c. que en c.a. por ser puramente resistivos, y por qué su factor de potencia es 1.

Si los receptores que conforman un circuito no son solo resistivos, el factor de potencia tomará un valor diferente a 1.

La mayoría de los receptores tienen una parte resistiva y otra inductiva o capacitiva (incluso las 3), por eso el desfase entre la tensión y la intensidad estará en valores entre 0 y 1 (mayor que 0 y menor que 1). Los circuitos reales suelen ser circuitos RLC (con los 3 componentes) o RL o RC.

Esto por ejemplo ocurre con los motores, transformadores de voltaje y la mayoría de los dispositivos o aparatos que trabajan con algún tipo de enrollado o bobina, el valor del factor de potencia se muestra siempre con una fracción decimal menor que "1" (como por ejemplo 0,8), que es la forma de indicar cuál es el retraso o desfase de la V con respecto a la I.

Ejemplo. Calcula la potencia que desarrolla un motor eléctrico monofásico, cuyo consumo de corriente es de 10.4 A, posee un Factor de Potencia de 0.96, y está conectado a una red eléctrica de corriente alterna también monofásica, de 220 volt (V).

A partir de la fórmula de la potencia (1.22)

$$P = VI \cos(\varphi)$$

Sustituimos los datos

$$P = (220 V)(10.4 A)(0.96) = 2,196 W = 2.196 KW$$

Potencia Activa en Circuitos Inductivos y Capacitivos Puros (LC).

Los circuitos L y C puros sabemos que su factor de potencia es 0, por lo tanto, su potencia activa es 0. Si existiera la bobina o condensador puro no tendrían nada resistivo. Entonces, solo en la teoría podemos analizar un circuito inductivo puro, es decir una bobina pura, o un circuito capacitivo puro, un condensador puro. Decimos que solo en teoría porque en realidad una bobina no solo es una bobina, es un conductor enrollado, y por lo tanto, además de inductivo, tiene un componente resistivo (tienen una resistencia). Lo mismo pasa con los condensadores, por eso cuando trabajamos con un circuito que tiene un condensador o una bobina su factor de potencia nunca será 1.

El valor eficaz.

Si analizamos la onda de corriente, el valor de la corriente cambia constantemente siguiendo el comportamiento sinusoidal. Por lo tanto, ¿cómo podemos comparar una corriente directa (c.d.) de 5 A, con una corriente alterna (c.a.) que cambia constantemente de valor? La respuesta es por sus efectos caloríficos y por ello se creó el concepto de valor eficaz, el cual se define de la siguiente forma:

Se dice que 1 Ampere eficaz de corriente alterna produce los mismos efectos caloríficos que un 1 Ampere de corriente directa al circular por el mismo componente resistivo.

El valor eficaz en el caso de una onda sinusoidal se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$I_{eficaz} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1.25)$$

Dónde:

I_{eficaz} = Valor eficaz de corriente, en Amperes.

I_{max} = Valor máximo de la corriente, en Amperes.

Lo mismo se para la tensión eléctrica. En el caso del voltaje doméstico, el valor aproximado (en México) son 127 VCA, el cuál es el valor eficaz de la tensión recibida de la concesionaria y corresponde a una onda de corriente alterna cuyo valor máximo es aproximadamente $180 V \sim \sqrt{2}(127 V)$.

Los valores eficaces se identifican mediante letras mayúsculas, I para la corriente o V para el voltaje. Y en general se utilizan indistintamente para el caso de corriente alterna o directa.

El valor eficaz de una corriente cambia si la onda se distorsiona y pierde la forma sinusoidal pura, por lo tanto, algunos instrumentos de medición toman en cuenta esta situación. Los instrumentos más baratos realizan la operación matemática directa de la expresión mostrada en la anteriormente, en cambio los más modernos y precisos, mediante el uso de microprocesadores realizan operaciones instantáneas y calculan el verdadero valor eficaz (denominados instrumentos de medición TRUE RMS).

El valor eficaz del voltaje:

$$V_{eficaz} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707 V_{max} \quad (1.26)$$

Y el valor eficaz de la corriente a partir de la ley de Ohm:

$$I_{eficaz} = \frac{V_{eficaz}}{R} \quad (1.27)$$

Ejemplos de potencia.

Ejemplo 1. Calcula la potencia de un timbre que trabaja a una tensión de 12V y por el que circula una intensidad de 2mA.

Lo primero poner el voltaje en voltios (ya está) y la intensidad de corriente en amperios, sabemos que 2mA (miliamperios) son 2/1000 Amperios, es decir 0.002 A. Ahora solo queda aplicarla fórmula de la potencia

$$P = (12 V)(0.002 A) = 0.06 W.$$

Ejemplo2. Una bombilla se conecta a una terminal de 220V, y al medir la corriente eléctrica, se observa que por ésta pasa una corriente de 0.45A. ¿Qué potencia eléctrica disipada en la bombilla?

Utilizando los datos del problema y la fórmula de potencia tenemos lo siguiente:

$$P = (220 V)(0.45A) = 99 W.$$

Ejemplo 3. Calcular la potencia eléctrica disipada en un aparato con una resistencia interna de 100Ω (ohm) que se conecta a una toma de voltaje de 127 V.

Para calcular la potencia disipada podemos utilizar la ley de Ohm, la cual nos relaciona, el voltaje, la corriente y la resistencia:

$$V = RI$$

De la expresión anterior podemos despejar y obtener una expresión para la corriente eléctrica como función del voltaje y la resistencia, es decir

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

Esta expresión se puede sustituir en la fórmula para el cálculo de la potencia:

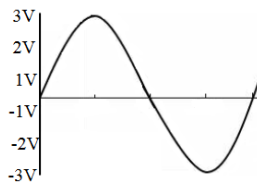
$$P = VI = V \left(\frac{V}{R} \right) = \frac{V^2}{R}$$

Finalmente, podemos sustituir los valores dados en el problema:

$$P = \frac{(127 V)^2}{100 \Omega} = 161 W$$

Ejemplos de valor eficaz

Ejemplo 1. Calcular el voltaje eficaz de la onda sinusoidal



De la gráfica se puede observar que el voltaje pico-pico es

$$V_{pp} = 6 V$$

De este valor podemos calcular el voltaje máximo:

$$V_{max} = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{6 V}{2} = 3 V$$

Por lo tanto, el valor del voltaje eficaz es:

$$V_{eficaz} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{3 V}{\sqrt{2}} = 2.12 V$$

Ejemplo 2. Calcular el valor pico a pico de una onda sinusoidal que tiene un valor eficaz de voltaje de 1.5V.

Despejando el voltaje máximo de la fórmula para el voltaje eficaz se tiene:

$$V_{max} = \sqrt{2}V_{eficaz} = \sqrt{2}(1.5 V) = 2.12 V$$

Por lo tanto, el voltaje pico-pico es

$$V_{pp} = 2 V_{max} = 2 (2.12 V) = 4.24 V$$

Campos magnéticos

Aprendizaje

4. *Identifica la densidad de flujo del campo magnético producido por: un conductor recto, una bobina y un solenoide.*

El campo magnético en el espacio alrededor de una corriente eléctrica, es proporcional a la corriente eléctrica que constituye su fuente, de la misma forma que el campo eléctrico en el espacio alrededor de una carga, es proporcional a esa carga que constituye su fuente. La ley de Ampere establece que para cualquier trayecto de bucle cerrado, la suma de los elementos de longitud multiplicado por el campo magnético en la dirección de esos elementos de longitud, es igual a la permeabilidad multiplicada por la corriente eléctrica encerrada en ese bucle.

Campo Magnético.

Los campos magnéticos son producidos por corrientes eléctricas, las cuales pueden ser corrientes macroscópicas en cables, o corrientes microscópicas asociadas con los electrones en órbitas atómicas. El campo magnético B se define en función de la fuerza ejercida sobre las cargas móviles en la ley de la fuerza de Lorentz. La interacción del campo magnético con las cargas, nos conduce a numerosas aplicaciones prácticas. Las fuentes de campos magnéticos son esencialmente de naturaleza dipolar, teniendo un polo norte y un polo sur magnéticos. La unidad SI para el campo magnético es el Tesla, que se puede ver desde la parte magnética de la ley de fuerza de Lorentz, $F_{\text{magnética}} = qvB$, que está compuesta de (Newton x segundo) / (Coulomb x metro).

Fuerza de Lorentz.

La fuerza ejercida sobre una carga eléctrica q que se mueve con una velocidad v , y que se encuentra bajo la influencia de un campo eléctrico E y un campo magnético B , está dada por:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1.28)$$

A esta se le denomina **fuerza de Lorentz**. El término de la fuerza eléctrica tiene la misma dirección del campo eléctrico, la dirección de la fuerza debida al campo magnético está dada por la regla de la mano derecha.

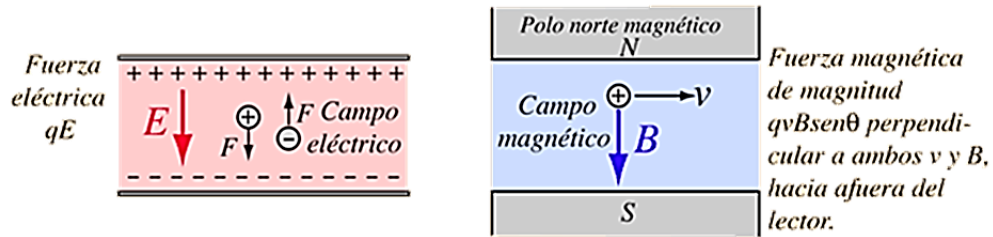


Figura 1.4.1. Fuerzas eléctrica y magnética ejercidas sobre una carga q .

Las líneas de campo magnético alrededor de un cable largo que lleva una corriente eléctrica, forman círculos concéntricos alrededor del cable. La dirección del campo magnético es perpendicular al cable y está en la dirección que apunta los dedos de la mano derecha si ellos envolvieran el cable, con el pulgar señalando la dirección de la corriente.

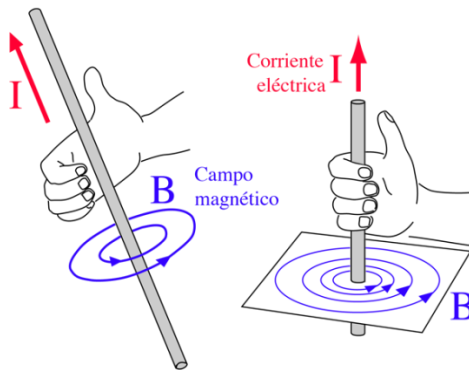


Figura 1.4.2. Regla de la mano derecha.

Flujo Magnético.

El flujo magnético es el producto del campo magnético B medio, multiplicado por el área perpendicular que atraviesa, es decir:

$$\Phi_B = B \cdot A = BA \cos(\theta) \tag{1.29}$$

Es una cantidad de conveniencia que se toma en el establecimiento de la ley de Faraday y en el estudio de objetos como los transformadores y los solenoides. En el caso de un generador eléctrico donde el campo magnético atraviesa una bobina giratoria, el área que se usa en la definición del flujo es la proyección del área de la bobina sobre un plano perpendicular al campo magnético. Como la unidad SI para el campo magnético es el Tesla, la unidad para el flujo magnético Φ_B será $T \cdot m^2$. Esta combinación de unidades tiene el nombre histórico de Weber (Wb).

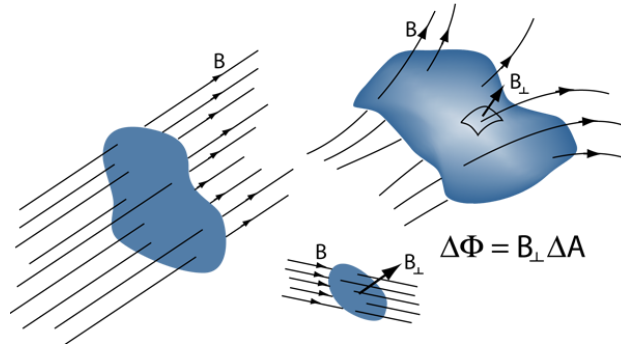


Figura 1.4.3. Ilustración del flujo magnético que atraviesa un área transversalmente..

La contribución al flujo magnético para una determinada área es igual al área por la componente del campo magnético perpendicular al área. Para una superficie cerrada la suma del flujo magnético es siempre igual a cero (ley de Gauss para el magnetismo). No importa cuán pequeño sea el volumen, las fuentes de campos magnéticos son siempre fuentes dipolares (como imanes de barra miniatura), de modo que hay tantas líneas de campo magnéticos entrando (al polo sur) como saliendo (del polo norte).

Densidad del flujo magnético.

Densidad de flujo magnético o **INDUCCIÓN MAGNÉTICA** se llama al vector que representa el campo magnético. Ver figura "flujo magnético en bobinas y conductores". Es también la cantidad de flujo magnético por unidad de área. Sus unidades son por consiguiente Weber **por metro cuadrado** (Wb / m^2). Al Wb / m^2 se le llama "**Tesla**".

Transformaciones útiles del SI:

- Para el campo magnético

$$1 T = \frac{N s}{C m} = \frac{N}{A m} = \frac{N m}{A m^2} = \frac{Wb}{m^2}$$

- Para el flujo magnético

$$1 Wb = V s$$

En el sistema CGS (centímetro-gramo-segundo), también existe la unidad G, o Gauss, para el campo magnético

$$1 G = 1 \times 10^{-4} T$$

Notas adicionales.

La magnitud de la unidad SI de la densidad de flujo magnético terrestre es aproximadamente $1 \times 10^{-4} \text{ Wb}/\text{m}^2$, mientras que la densidad de flujo magnético en la proximidad de la cerca de un

imán permanente de gran potencia es del orden de 0.2 Wb/m^2 . Los electroimanes más potentes disponibles en la actualidad pueden crear inducciones cercanas a 10 Wb/m^2 .

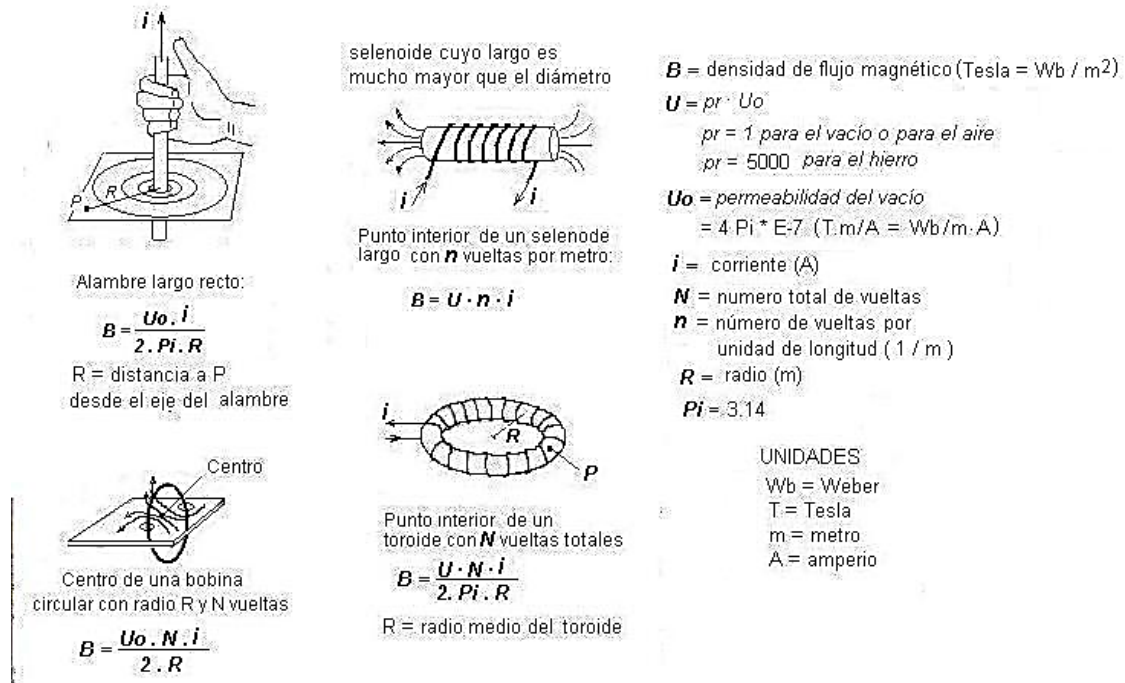


Figura 1.4.4. Flujo magnético en bobinas y conductores.

6y

Ley de Ampere.

Si suponemos que el solenoide es muy largo comparado con el radio de sus espiras, el campo es aproximadamente uniforme y paralelo al eje en el interior del solenoide y es nulo fuera del solenoide. En esta aproximación es aplicable la ley de Ampere.

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 I \quad (1.29)$$

La integral del lado izquierdo se refiere a la circulación del campo magnético a lo largo de un camino cerrado, cada segmento del circuito es representado por el término dl (Δl). En el lado derecho, el término I se refiere a la intensidad de corriente que atraviesa dicho camino cerrado, μ_0 es la permeabilidad magnética del medio la cual es la capacidad de un medio para atraer y hacer pasar a través de ella campo magnéticos.

Campo magnético producido por una corriente a través de un alambre recto.

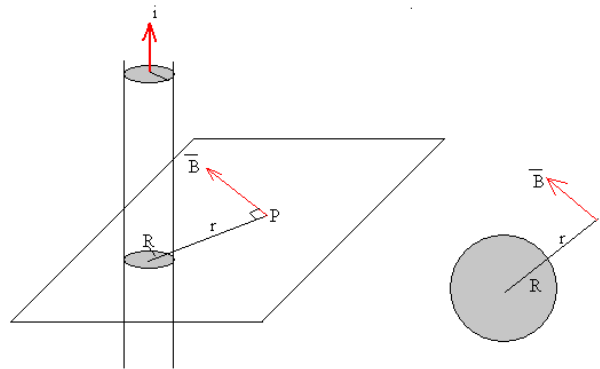


Figura 1.4.6. Campo magnético generado por un alambre recto por el que fluye una corriente eléctrica.

Apliquemos la ley de Ampere a una corriente rectilínea que fluye uniformemente distribuida y que circula a lo largo de un cilindro radio interior a .

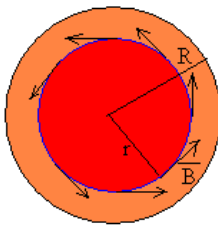
La dirección del campo magnético en el punto P es perpendicular al plano determinado por el eje de la corriente cilíndrica y el punto P, es decir, tangente a la circunferencia de radio r con centro en el eje y que pasa por el punto P.

La simetría de la distribución de corrientes nos indica que el camino cerrado que tenemos que elegir es una circunferencia de radio r , centrada en el eje del cilindro y situada en un plano perpendicular al mismo. La circulación del campo magnético \mathbf{B} a lo largo de dicha circunferencia tiene la misma expresión que para la corriente rectilínea

$$B \cdot 2\pi r \tag{1.30}$$

Vamos a calcular ahora la intensidad que atraviesa la circunferencia de radio r (en color azul) en los dos casos siguientes.

- Para $r < a$



Como vemos en la figura, la intensidad que atraviesa la circunferencia de radio $r < R$ es una parte de la intensidad total I .

$$I \frac{\pi r^2}{\pi R^2} = I \frac{r^2}{R^2} \tag{1.31}$$

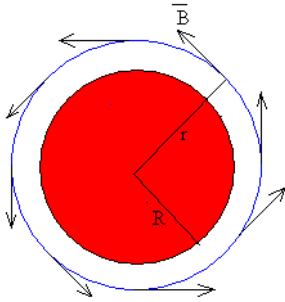
Aplicando la ley de Ampere

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 \left(I \frac{r^2}{R^2} \right) \tag{1.32}$$

Despejando el campo magnético de esta expresión se tiene

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r \quad (1.33)$$

- Para $r > R$



La intensidad de corriente que atraviesa la circunferencia de radio $r > R$ es I

Aplicando la ley de Ampere

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 I \quad (1.34)$$

Despejando el campo magnético se tiene

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1.35)$$

En un solenoide o bobina, en el cual la dirección del campo magnético B es perpendicular al área transversal de la bobina, se puede realizar un procedimiento similar al realizado en el caso de un alambre recto.

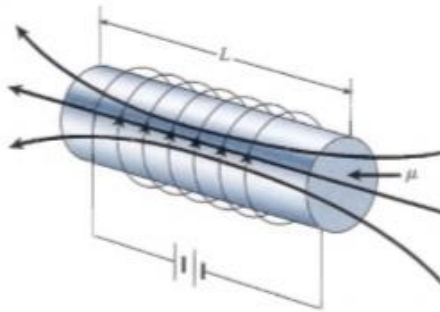


Figura 1.4.6. Solenoide de N espiras y longitud L en el cual se induce un campo magnético que es aproximadamente paralelo al eje de la bobina.

En este caso, se obtiene a partir de la ley de Ampere, la siguiente relación

$$B = \left(\frac{N}{L}\right) \mu_0 I \quad (1.36)$$

Dónde N representa el número de espiras en la bobina y L es la longitud del solenoide.

Efecto motor

Si una **corriente eléctrica** pasa por un alambre puesto a través de un campo magnético se produce una fuerza en el alambre, que, si no está bien sujeto, se mueve. Ése es el principio del motor eléctrico, llamado también efecto motor. La fuerza motriz producida depende de la fuerza del campo y de la corriente, y de la longitud del alambre y de su orientación dentro del campo. Se produce el máximo de fuerza cuando el alambre es perpendicular al campo. La dirección de la misma (respecto de la corriente y el campo) se expresa en la regla de la mano izquierda, enunciada por **Fleming**.

En un motor eléctrico, la corriente pasa por unas bobinas de alambre, que pueden girar libremente sobre un eje situado dentro de un **campo magnético**. El efecto motor origina en el alambre unas fuerzas que producen un par motor, o de torsión, en torno al eje que hace girar al conjunto formado por éste y las bobinas. En los motores pequeños suministran el campo magnético imanes permanentes; en los grandes, se utilizan **electroimanes**.

Emplean el mismo principio los **galvanómetros**, que constituyen la base de la mayoría de los instrumentos que miden la intensidad de la corriente y el voltaje, pero contienen un resorte o un alambre de torsión que se opone a la rotación de las bobinas y el eje. Esa rotación se detiene cuando el par de torsión debido al efecto motor se equilibra exactamente con el efecto contrario, que ofrecen el resorte o el alambre de torsión. Cuanto más fuerte es la corriente, más tiempo tarda el eje en cesar su rotación. El ángulo recorrido en esa rotación es una medida de la corriente que pasa por las bobinas. En un altavoz de **bobina móvil**, una corriente variable pasa por una bobina de alambre situada dentro de un campo magnético. El efecto motor produce un movimiento en la bobina, que está sujeta a un cono de cartón o plástico. Los movimientos resultantes en ese cono hacen vibrar el aire inmediato, creando ondas sonoras.



Figura 1.4.7.

Este **gigantesco motor eléctrico** de una planta petroquímica nos presenta un estator de casi 5 metros de diámetro. El motor entero pesa más de 80 toneladas y produce 5,8 megavatios de potencia mecánica (equivalentes a 7800 CV al freno), que mueven a una enorme compresora.

Como apoyo ver el siguiente link:

<http://www.maquinascientificas.es/07experimento%20oersted.htm>

Ejemplos

Ejemplo 1. Calcula el campo magnético B cerca de un alambre. Un alambre eléctrico en la pared de un edificio porta una corriente i de 25 A verticalmente hacia arriba. ¿Cuál es el campo magnético debido a esta corriente en un punto P a 10 cm del alambre?

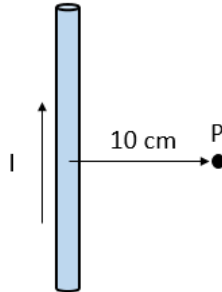


Figura 1.4.8. Conductor Recto por el que pasa una corriente I . El campo magnético generado se calcula en el punto P

Aplicando la relación obtenida a partir de la Ley de Ampere, fórmula (1.35):

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Sustituyendo los valores del ejercicio y considerando que la permeabilidad magnética en el vacío es $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Tm/A}$, se tiene

$$B = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{Tm/A})(24 \text{ A})}{2\pi(0.10\text{m})}$$

Finalmente

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

Ejemplo 2. Calculo del flujo. Un lazo cuadrado de alambre de 10.0 cm por lado está en un campo magnético B de 1.25 T. ¿Cuáles son los valores máximo y mínimo de flujo que pueden pasar a través del lazo?

El flujo está dado por la ecuación

$$\Phi_B = B \cdot A = BA \cos(\theta)$$

Es un máximo para $\theta=0^\circ$, lo que ocurre cuando el plano del lazo es perpendicular a B . El valor mínimo ocurre cuando $\theta=90^\circ$ y el plano del lazo está alineado con B .

Por lo tanto, el valor máximo es:

$$\Phi_B = (1.25 \text{ T})(0.10\text{m}) \cos 0^\circ = 0.125 \text{ Wb}$$

El valor mínimo es 0 Wb cuando $\theta=90^\circ$, ya que $\cos 90^\circ = 0$, en este caso $\Phi_B = 0$.

Ley de Faraday

Aprendizaje

5. *Determina experimentalmente la FEM inducida por un flujo magnético variable.*

Esta ley se fundamentó en el hecho de que un campo magnético variable puede inducir una corriente eléctrica en un alambre conductor que se encuentre a su alcance, como se muestra a continuación.

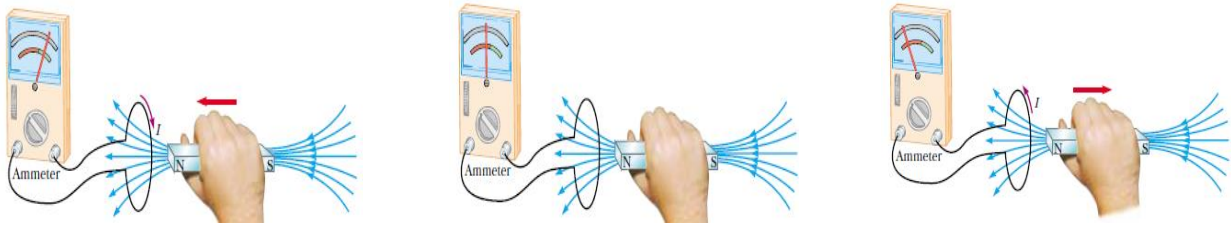


Figura 1.5.1. Un imán en movimiento induce una corriente eléctrica sobre un alambre.

Como se puede observar, mientras se acerca el imán al conductor, el amperímetro muestra una lectura positiva, pero en el momento en que se detiene el imán la lectura cae inmediatamente a cero, y cuando se mueve en dirección contraria la lectura del amperímetro se hace negativa. Este es el fenómeno detrás de la ley de Faraday que interpreta dicha corriente eléctrica en términos de una diferencia de potencial en los extremos del alambre, a la cual llamó **fuerza electromotriz** o fem. Por tanto, dado que un campo magnético induce una diferencia de potencial en el conductor, a esta ley también se le llama ley de inducción de Faraday que dice que:

La fem inducida en un circuito es directamente proporcional a la razón de cambio del flujo magnético a través del circuito

Este enunciado también se puede escribir de la forma:

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (1.37)$$

El signo menos implica un fenómeno que se conoce como ley de Lenz, el cual no dice que cuando el campo magnético cambia y produce una corriente, dicha corriente también crea un campo magnético que se opone al cambio del flujo magnético. Es precisamente este el origen del signo menos.

Ejemplos

1. Una espira rectangular cuyas dimensiones son 5×10 cm cae desde una posición en la que el campo magnético es $B = 0$ T hasta un punto en el que $B = 0.5$ T de modo que el campo apunta en dirección perpendicular al plano del alambre. Calcule la magnitud de la fem inducida sobre el alambre si dicho desplazamiento ocurre en tan solo 0.25 s.

Tenemos que el área de la espira es $A = 0.05 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. En la posición inicial el campo magnético es cero, por tanto, el flujo magnético también valdrá cero. En la posición final la dirección del vector normal al plano de la espira y la dirección de \mathbf{B} son paralelas, de modo que el flujo magnético será

$$\Phi = BA \cos \theta = 0.5 \text{ T} \cdot 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cos 0 = 0.0025 \text{ Wb}$$

La fem inducida será

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(0.0025 - 0)\text{Wb}}{.25 \text{ s}} = -0.01 \text{ V}$$

2. El campo magnético perpendicular a una espira de alambre circular, de 8.0 cm de diámetro, cambia de +0.52 T a -0.45 T en 180 ms, donde el signo (+) significa que el campo penetra el plano de la espira y (-) significa que sale del plano de la espira. a) Calcule la fem inducida. b) ¿En qué dirección fluye la corriente inducida?

En este caso hay que calcular el flujo magnético Φ para ambos valores de \mathbf{B} considerando que la espira es circular cuyo radio es de $r = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$ y tiene un área de

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot (0.04 \text{ m})^2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Por tanto tenemos que cuando $B = +0.52$ T la dirección del vector normal al plano de la espira y la dirección de \mathbf{B} son paralelas, por tanto $\theta = 0^\circ$, de modo que

$$\Phi = BA \cos \theta = 0.52 \text{ T} \cdot 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cos 0 = 0.0026 \text{ Wb}$$

Cuando $B = -0.45$ T la dirección del vector normal al plano de la espira y la dirección de \mathbf{B} son antiparalelas, por tanto $\theta = 180^\circ$, de modo que

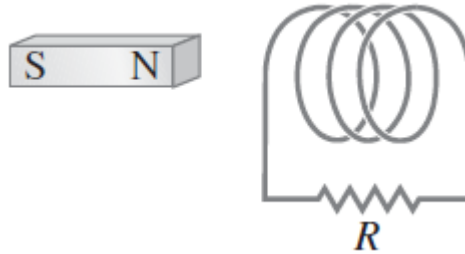
$$\Phi = BA \cos \theta = 0.45 \text{ T} \cdot 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cos 180 = -0.00225 \text{ Wb}$$

La fem inducida será

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(-0.00225 - 0.0026)\text{Wb}}{.18 \text{ s}} = 0.027 \text{ V}$$

Ejercicios

1. El polo norte del imán en la figura se insertará en la bobina. ¿En qué dirección fluye la corriente inducida a través del resistor R ?



2. La espira rectangular que se ilustra en la figura se empuja hacia el campo magnético que apunta hacia dentro. ¿En qué dirección va la corriente inducida?



3. Una espira de alambre, de 22.0 cm de diámetro, inicialmente se orienta perpendicular a un campo magnético de 1.5 T. La espira gira de tal forma que en 0.20 s su plano queda paralelo a la dirección del campo. ¿Cuál es la fem inducida promedio en la espira?
4. El flujo magnético a través de una bobina de alambre que contiene dos espiras cambia a una tasa constante de 258 Wb a +38 Wb en 0.42 s. ¿Cuál es la fem inducida en la bobina?
5. Un anillo conductor tiene un área de 8 cm^2 y se orienta un dirección perpendicular a la dirección de un campo magnético que cambia de los 0.5 T a los 0.25 T en 0.1 s. a) Calcule la magnitud de la fem inducida en el anillo. b) si la resistencia en el anillo es de 2Ω , calcule el valor de la corriente inducida en el anillo.

Generadores eléctricos

Un generador es un dispositivo que convierte un movimiento mecánico en una corriente eléctrica, si dicho movimiento se realiza dentro de un campo magnético. La corriente eléctrica fluye en un alambre enrollado en forma de bobina, a la cual se le puede agregar un núcleo ferroso para incrementar la corriente. La siguiente figura muestra la configuración más básica de este dispositivo

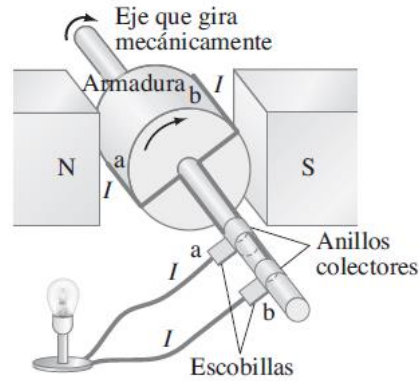


Figura 1.5.2. Esquema básico de un generador eléctrico.

Esta idea se usa en todas las plantas de generación eléctrica, como las termoeléctricas, plantas de energía nuclear, pero también en los aerogeneradores. Otro uso de este dispositivo es en los alternadores (generadores) de un auto, cuyo esquema se muestra a continuación

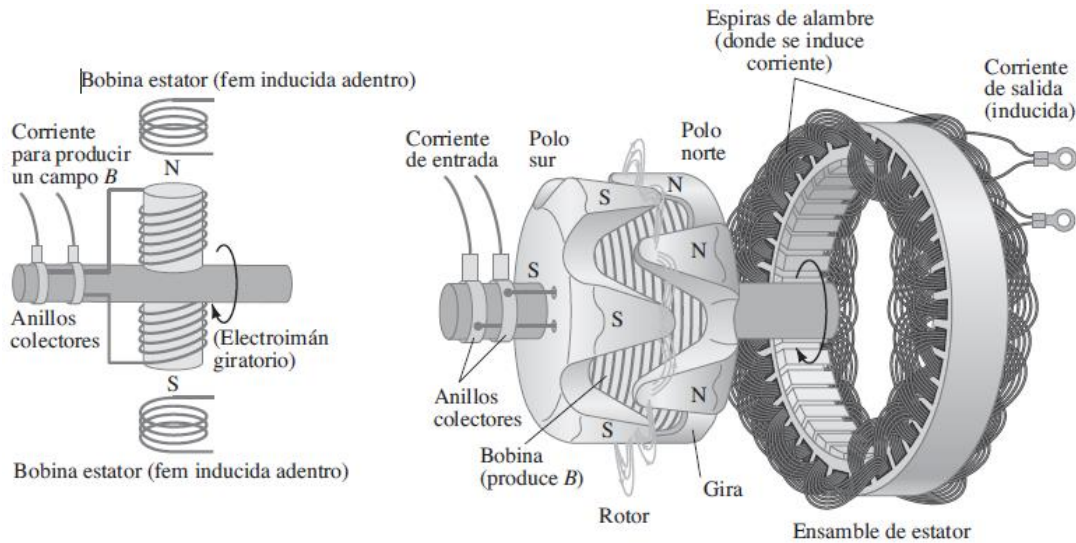


Figura 1.5.3. Generador eléctrico usado en un automóvil.

Como se muestra, estos aparatos tienen una cantidad N de vueltas, por lo que la fuerza electromotriz fem se magnifica de forma que

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -NAB \frac{\Delta \cos \omega t}{\Delta t} = NAB\omega(\sin \omega t) \quad (1.38)$$

Dado que la función seno toma valores entre 1 y -1, el valor máximo de la fem inducida será

$$\mathcal{E}_{\max} = NAB\omega \quad (1.39)$$

La corriente obtenida se calcula mediante la ley de Ohm.

Ejemplos

1. Una bobina con 20 y un área de 0.1 m^2 gira con una rapidez de 60 rev/s , y su eje de rotación es perpendicular a un campo magnético constante de 0.2 T . ¿Cuánto vale la magnitud máxima de la fem inducida?

Para encontrar la frecuencia angular hay que recordar que $1 \text{ rev} = 2\pi \text{ rad}$, de modo que $\omega = 60 \text{ rev/s} \cdot 2\pi \text{ rad/rev} = 377 \text{ rad/s}$. por tanto tenemos que

$$\mathcal{E}_{\text{max}} = NAB\omega = 20 \cdot 0.1 \text{ m}^2 \cdot 0.2 \text{ T} \cdot 377 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 150.8 \text{ V}$$

2. Un generador consiste de una bobina con 8 vueltas, cuya área es de 0.09 m^2 , y tiene una resistencia de 12Ω . La bobina gira dentro de un campo magnético constante de 0.5 T y una frecuencia de 60 Hz . Calcule a) la fem inducida y b) la corriente máxima inducida.

La frecuencia angular de la bobina es: $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 60 \text{ Hz} = 377 \text{ rad/s}$, por lo tanto

$$\mathcal{E}_{\text{max}} = NAB\omega = 8 \cdot 0.09 \text{ m}^2 \cdot 0.5 \text{ T} \cdot 377 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 136 \text{ V}$$

Por la ley de Ohm tenemos

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{max}}}{R} = \frac{136 \text{ V}}{12 \Omega} = 11.3 \text{ A}$$

Transformadores

Los transformadores cumplen la función de aumentar o disminuir un voltaje en ca, y esto depende de dos bobinas (devanados), aquella que toma el voltaje a transformar se llama *el primario* y la que nos da la salida se llama *el secundario*. Aunque parece algo muy sencillo, el diseño de transformadores está muy lejos de ser una tarea sencilla, hay que recordar que en los postes que están fuera de nuestras casas, hay transformadores que distribuyen energía eléctrica a un gran número de casas y, a su vez, las centrales eléctricas usan transformadores especiales para distribuir energía a diferentes ciudades o colonias.

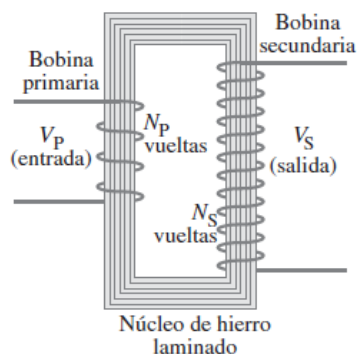


Figura 1.5.4. Esquema básico de un transformador.

El análisis de un transformador se fundamenta en el hecho de que el voltaje V_P del embobinado primario, que trabaja en ca, genera un flujo magnético que se concentra en el núcleo de hierro, de modo que el embobinado secundario se produce una fem inducida V_S , y todo esto dependerá también de la cantidad de vueltas que tengan ambos embobinados. De acuerdo con la ley de Faraday tenemos que

$$V_P = N_P \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1.40)$$

$$V_S = N_S \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1.41)$$

Suponiendo que no se pierde el flujo magnético, estas ecuaciones se pueden igualar de modo que

$$\frac{V_P}{N_P} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{V_S}{N_S} \quad (1.42)$$

Por tanto, tenemos que la ecuación del transformador queda como

$$\frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S} \quad (1.43)$$

Un transformador puede alcanzar una eficiencia muy alta, los mejores pueden alcanzar una eficiencia del 99%, lo que implica que no se calientan demasiado, y que su potencia de salida es, prácticamente, la misma que en la entrada. Dado que la potencia eléctrica se obtiene mediante la relación $P = VI$ tenemos que

$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} \quad (1.44)$$

Ejemplos

1. El cargador de un teléfono celular contiene un transformador que reduce 120 V (o 240 V) en ca a 5.0 V en ca se usa para cargar una batería de 3.7 V. Suponga que la bobina secundaria contiene 30 vueltas y que el cargador suministra 700 mA. Calcule *a*) el número de vueltas en la bobina primaria, *b*) la corriente en la bobina primaria y *c*) la potencia transformada.
- 2.

Suponiendo un transformador ideal, tenemos que para encontrar el número de vueltas del embobinado primario será de

$$N_P = N_S \frac{V_P}{V_S} = \frac{30 \cdot 120 \text{ V}}{5 \text{ V}} = 720 \text{ vueltas}$$

Ahora bien

$$I_p = I \frac{N_s}{N_p} = \frac{0.7 \text{ A} \cdot 30}{720} = 29 \text{ mA}$$

La potencia transformada será

$$P = I_s V_s = 0.7 \text{ A} \cdot 5 \text{ V} = 3.5 \text{ W}$$

Radiación Electromagnética

Aprendizaje

6. *Comprende que las variaciones del campo eléctrico o magnético generan ondas electromagnéticas.*

Como se ha mencionado, un campo magnético variable genera una corriente eléctrica en un alambre, y la corriente en un alambre genera un campo magnético. Las ecuaciones que sintetizan todos los fenómenos eléctricos y magnéticos son las leyes de **Maxwell** en las que se relacionan la electricidad y el magnetismo. Entre toda esta información tenemos que las leyes de Maxwell nos dicen que un campo eléctrico variable genera un campo magnético, y un campo magnético variable genera un campo eléctrico. Un detalle muy importante en todo esto es que los campos creados también pueden variar, es decir, un campo eléctrico variable crea un campo magnético variable el cual crea un campo eléctrico variable etc. Lo que esto implica es que las ecuaciones de Maxwell predicen la existencia de ondas electromagnéticas ---radiación electromagnética---, las cuales fueron detectadas por Heinrich Hertz en 1887 lo que permitió el diseño de sistemas de comunicación como la radio, la televisión, el radar y la comunicación satelital entre otros.

Además de todo esto, se puede decir que las ecuaciones de Maxwell nos permitieron relacionar la luz visible con los rayos X y con las ondas de radio. Una de las condiciones para crear ondas electromagnéticas es que el campo magnético y campo eléctrico se encuentren orientados perpendicularmente, es decir, que el plano en el que se propaga el campo eléctrico este a 90° del plano en el que se propaga el campo magnético.

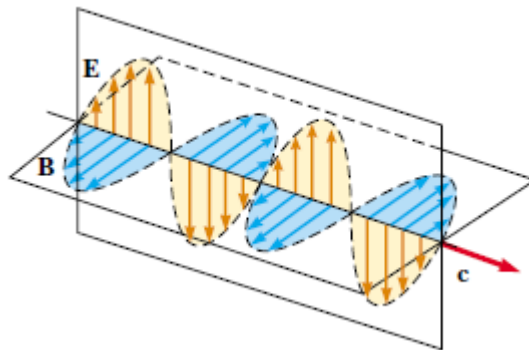


Figura 1.6.1. Representación de una onda electromagnética. Las líneas azules representan el campo magnético, y la amarillas al campo eléctrico.

Las propiedades de dichas ondas se deducen de las ecuaciones de Maxwell. Para facilitar el análisis, consideremos que la onda viaja en la dirección del eje x , y que el campo eléctrico es paralelo al eje y y lo que implica que el campo magnético es paralelo al eje z . Ondas como esta, restringidas en las direcciones que tienen dichos campos se llaman ondas polarizadas, es decir, ondas con una dirección específica. Debe quedar claro que la dirección de los campos no

necesariamente deben coincidir con los ejes y y z , sino que pueden encontrarse a cierto ángulo de estos y, dicho ángulo, será el ángulo de polarización. Las expresiones para dichos campos son:

$$E = E_y = E_0 \sin(kx - \omega t) \quad (1.45)$$

$$B = B_y = B_0 \sin(kx - \omega t) \quad (1.46)$$

Donde x representa la dirección en que se propaga la onda, t es el tiempo, k se conoce como el número de onda y ω es la frecuencia angular. Estas últimas se relacionan con la longitud de onda λ y la frecuencia f de la onda de modo que

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.47)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (1.48)$$

$$v = f\lambda = \frac{\omega}{k} \quad (1.49)$$

Hay que recordar que las propiedades de un medio, o del vacío, que miden la interacción con el campo eléctrico y magnético ---que tanto el medio es atraído o penetrado por dichos campos-- se llaman permitividad para el caso eléctrico y permeabilidad para el caso magnético. Esto tiene importancia por el hecho de que dependiendo el medio una onda electromagnética puede o no viajar en dicho medio, además de que determinan la rapidez con que lo hacen. Esto se define mediante la relación

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (1.50)$$

En el vacío tenemos que $\mu_0 \approx 8.85 \times 10^{-12}$ F/m y $\epsilon_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N/A². En el caso de una onda electromagnética en el vacío, su rapidez vale aproximadamente $v = 3 \times 10^8$ m/s que se conoce como la rapidez de la luz, y se representa con la letra c .

Por otra parte, el campo eléctrico y el campo magnético, por el hecho de que forman una onda, y esta se relaciona con la rapidez con que esta viaja, están relacionados mediante la expresión

$$\frac{E}{B} = v \quad (1.51)$$

Ejemplos

1. Si el campo eléctrico en una onda EM tiene una magnitud pico de 0.57×10^{-4} V/m, ¿cuál es la magnitud pico de la intensidad del campo magnético?

En este caso solo hay que usar la relación

$$\frac{E}{B} = c, \quad \Rightarrow \quad B = \frac{E}{c} = \frac{0.57 \times 10^{-4} \text{V/m}}{3 \times 10^8 \text{m/s}} = 1.9 \times 10^{-13} \text{T}$$

2. Suponga que una onda EM de 60.0 Hz es una onda sinusoidal que se propaga en la dirección z con \mathbf{E} en la dirección x , y $E_0 = 2.00$ V/m. Escriba expresiones vectoriales para \mathbf{E} y \mathbf{B} como funciones de posición y tiempo.

Para escribir estas expresiones necesitamos k y ω , y para esto necesitamos también los valores de λ y f . También será necesario el valor de B_0 , por tanto

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{60 \text{ Hz}} = 5 \times 10^6 \text{ m.}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{5 \times 10^6 \text{ m}} = 1.26 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}.$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 60 \text{ Hz} = 377 \text{ rad/s}$$

Para calcular B_0 tenemos

$$B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{2 \text{ V/m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 6.67 \times 10^{-9} \text{ T}$$

Como ya se mencionó \mathbf{E} viaja en la dirección x , por tanto \mathbf{B} viajará en la dirección y , de modo que

$$\mathbf{E} = \mathbf{i} (2 \text{ V/m}) \text{ sen}[(1.26 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}) z - (377 \text{ rad/s}) t]$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{j} (6.67 \times 10^{-9} \text{ T}) \text{ sen}[(1.26 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}) z - (377 \text{ rad/s}) t]$$

Ejercicios

1. Si el campo magnético en una onda EM viajera tiene una magnitud pico de 12.5 nT, ¿cuál es la magnitud pico del campo eléctrico?
2. Escriba las expresiones de los vectores \mathbf{E} y \mathbf{B} para una onda que tiene una frecuencia de 3 GHz y la magnitud de su campo magnético es de $B_0 = 2$ nT.
3. El campo eléctrico de una onda electromagnética está descrito de la forma

$$\mathbf{E} = \mathbf{j} (100 \text{ V/m}) \text{ sen}[(1.5 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}) z - \omega t]$$

Calcule el valor de a) ω , b) la amplitud del campo magnético y c) la frecuencia de dicha onda.

4. Un horno de microondas opera con una frecuencia de 2.45 GHz y su campo eléctrico tiene un pico aproximado de 750 V/m. Calcule a) la magnitud del pico del campo magnético, b) la longitud de onda, c) el valor de k y d) el valor de ω .

Semiconductores

Aprendizaje

7. Describe los conceptos básicos de los semiconductores.

Para entender que es un material semiconductor, es importante primero recordar que son los conductores y los aislantes. Los aislantes son materiales que no conducen electricidad bajo condiciones normales, ya que sus electrones de valencia están fuertemente ligados al átomo, lo que ocasiona que no existan suficientes electrones libres. En un conductor tenemos que en cada átomo existe al menos un electrón de valencia el cual está débilmente ligado al átomo, por lo que se puede convertir en un electrón libre muy fácilmente.

Los semiconductores son materiales que se encuentran entre los conductores y los aislantes, en lo que respecta a su habilidad de conducir electricidad. Los semiconductores en su estado puro, o estado intrínseco, no son ni conductores ni aislantes. El silicio es el semiconductor más usado en electrónica, pero también tenemos al antimonio (Sb), al arsénico (As), el astatinio (At), el boro (B), el polonio (Po), telurio (Te) y germanio (Ge).

En términos de la energía involucrada entre estos materiales, tenemos que existe un espacio energético entre la banda de valencia, y la banda de conducción, a este espacio con un vacío energético se le llama **Band Gap**, y representa la cantidad de energía extra que necesita un electrón para pasar de la banda de valencia, a la banda de conducción. Esta diferencia energética es mayor para los aislantes, y muy pequeña para los conductores. Los semiconductores se encuentran en medio de estas dos diferencias energéticas como se muestra en la figura.

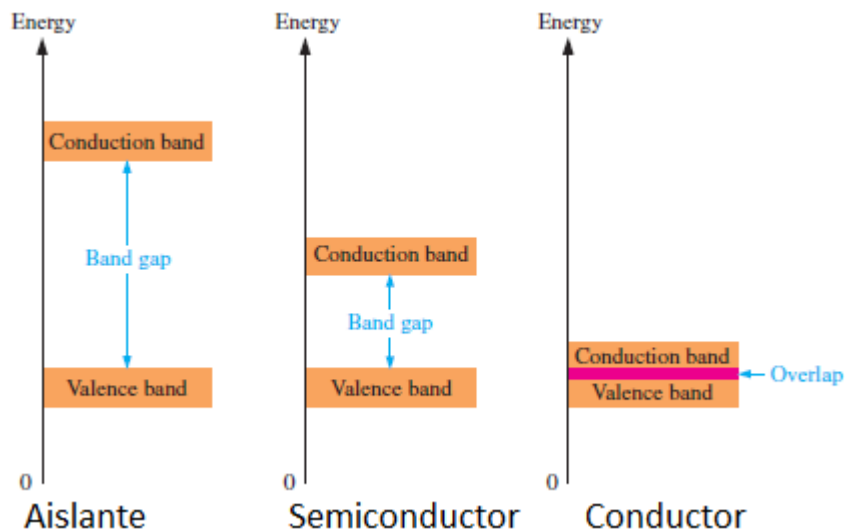


Figura 1.7.1. Niveles energéticos y los diversos materiales eléctricos.

Enlaces en los semiconductores.

Los materiales semiconductores forman arreglos cristalinos de modo que cada átomo forma enlaces covalentes con otros átomos, de modo que cada átomo comparte un electrón de valencia con cada uno de los átomos restantes. Para el caso del silicio y del germanio, el número de electrones de valencia es de cuatro, de modo que cada átomo se enlaza con otros cuatro átomos como se muestra en la figura.

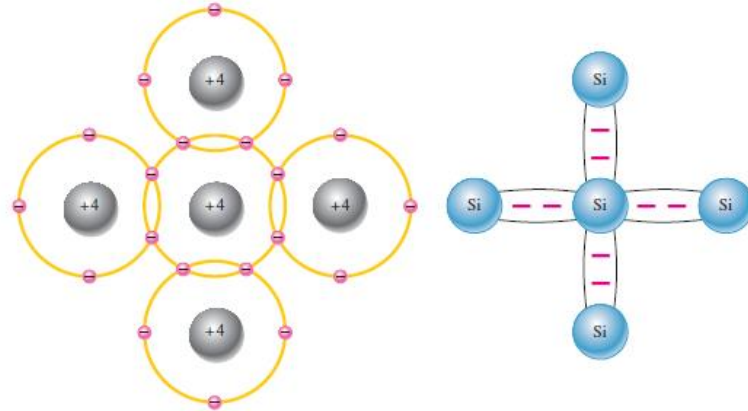


Figura 1.7.2. Enlaces covalentes en el cristal de silicio.

En el caso del silicio en estado puro y a temperatura ambiente, algunos electrones de valencia adquieren suficiente energía para saltar a la banda de conducción como se muestra en la figura.

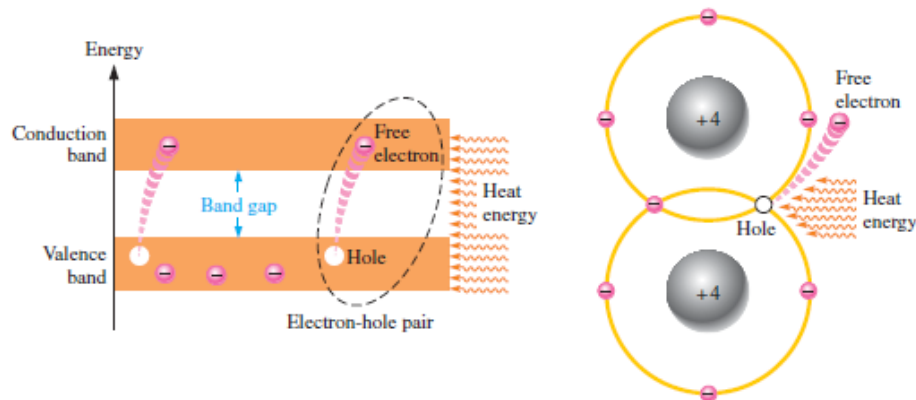


Figura 1.7.2. Electrón que escapa de la banda de valencia hacia la banda de conducción

Cuando esto pasa, queda una vacante en la banda de valencia que recibe el nombre de **hueco**, lo que crea un par **electrón-hueco**. Si se aplica una diferencia de potencial a través de una pieza de silicio puro, los electrones libres se moverán hacia la terminal positiva, creando una corriente de electrones en la banda de conducción. Por otra parte, los huecos pueden ser llenados por electrones en la banda de valencia, lo que no les cuesta energía, dejando otro hueco tras de sí. Todo esto genera que exista también una corriente de huecos en la banda de valencia.

Semiconductores tipo N.

Para incrementar el número de electrones en la banda de conducción, se agregan impurezas *pentavalentes*, es decir, átomos con cinco electrones de valencia como son el arsénico (As), el fósforo (P), el bismuto (Bi) y el antimonio (Sb).

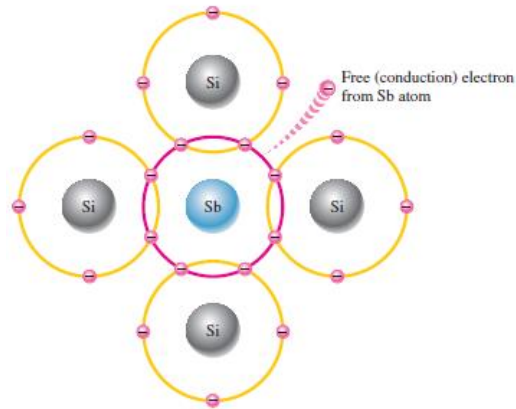


Figura 1.7.3. Arreglo cristalino dopado con un átomo pentavalente.

Los cristales de silicio o germanio dopados con átomos pentavalentes reciben el nombre de semiconductores **tipo N**, donde los electrones en la banda de conducción reciben el nombre de portadores mayoritarios, esto se debe a que hay muy pocos huecos en estos materiales.

Semiconductores tipo P.

Para incrementar el número de huecos, se agregan impurezas *trivalentes*, es decir, átomos con tres electrones de valencia como son el boro (B), el indio (In) y el galio (Ga).

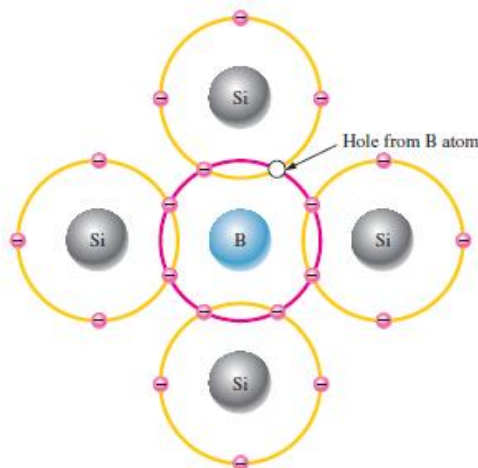


Figura 1.7.4. Arreglo cristalino dopado con un átomo trivalente.

Los cristales de silicio o germanio dopados con átomos trivalentes reciben el nombre de semiconductores **tipo P**, donde los huecos reciben el nombre de portadores mayoritarios, esto se deba a que hay muy pocos electrones libres en estos materiales.

Preguntas de repaso

1. ¿Qué diferencia hay entre un aislante, un conductor y un semiconductor?
2. ¿Cómo defines a la banda de valencia y a la banda de conducción?
3. ¿Qué es un semiconductor?
4. ¿Qué elementos de la tabla periódica son semiconductores?
5. ¿Cuál es el elemento más usado en los semiconductores?
6. ¿Qué comportamiento tienen los electrones de valencia en un enlace semiconductor?
7. ¿Qué es un material tipo N?
8. ¿Qué elementos se pueden usar para crear un semiconductor tipo N?
9. ¿Qué es un material tipo P?
10. ¿Qué elementos se pueden usar para crear un semiconductor tipo P?

La unión NP

Dos piezas semiconductoras, una tipo N y la otro tipo P al unirse forman una frontera ubicada a lo largo de dicha unión, creando un nuevo dispositivo llamado **Diodo** (figura 1.7.5.a). Esta frontera juega un papel esencial en todos los dispositivos semiconductores.

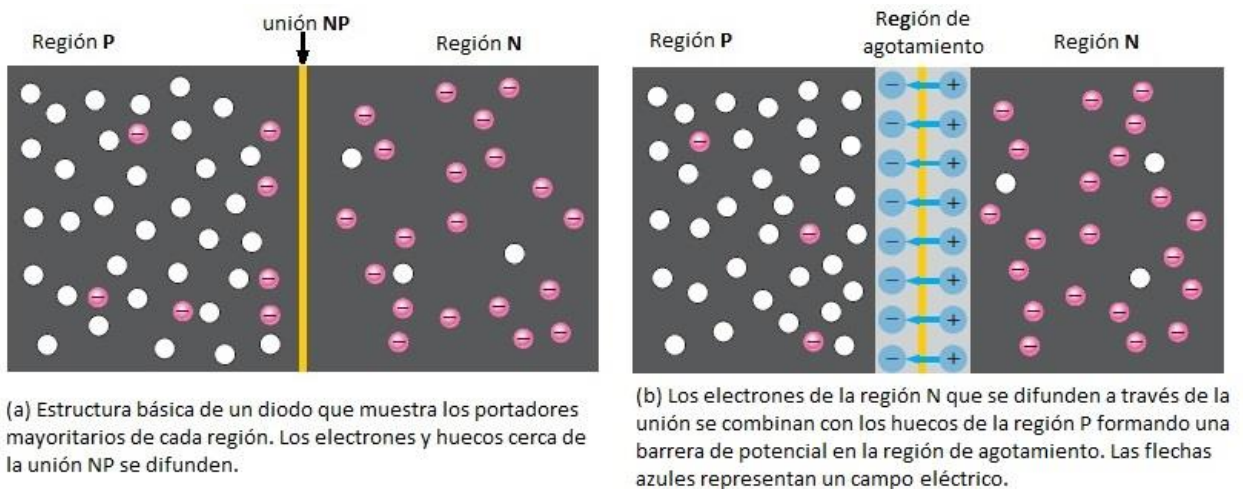


Figura 1.7.5. Unión NP.

Cuando se forma la unión NP la región N pierde electrones libres al difundirse en la unión, lo que crea una capa de cargas positivas cerca de la unión, además, estos electrones llenan los huecos en la región P cerca de la frontera, creándose una capa de cargas negativas en la región P cercana a la unión (figura 1.7.5.b). Estas dos capas forman una nueva región llamada **región de agotamiento** (depletion región). En la región de deterioro hay tantas cargas negativas como positivas en los lados opuestos de la unión NP. La fuera entre estas cargas forma el campo eléctrico

mostrado en la figura anterior. Este campo crea una barrera de potencial para los electrones de la región N, de manera que se requiere de energía para mover un electrón a través del campo eléctrico. Dicha energía debe suministrarse para que los electrones se puedan mover dentro de esta región. La diferencia de potencial en este campo eléctrico equivale al voltaje necesario para mover electrones y está dado en volts. Las barreras típicas son de 0.7 V para el silicio y de 0.3 V para el germanio, ambos a 25°C.

El Diodo

La mayoría de los diodos usan como material base al silicio, y como ya se comentó es la unión de dos piezas semiconductoras, una tipo N (el cátodo) y la otra tipo P (el ánodo). La estructura básica del diodo y su símbolo se muestran en la figura 1.7.6. Existen dos modos de operación para el diodo, uno recibe el nombre de **polarización directa** (forward bias) y el otro **polarización inversa** (reverse bias).



Figura 1.7.6. Representación simbólica de un diodo.

Polarización directa

En este modo de operación, la fuente de voltaje se conecta como se muestra en la figura 1.7.7. Como se muestra, la terminal positiva de la fuente se conecta al ánodo y la terminal negativa al cátodo. La resistencia limita la cantidad de corriente eléctrica que pasa por el diodo evitando un sobrecalentamiento y eventual daño del mismo. Otro detalle que hay que considerar es que el voltaje aplicado (V_{bias}) debe ser mayor al voltaje relacionado a la barrera de potencial en la región de deterioro.

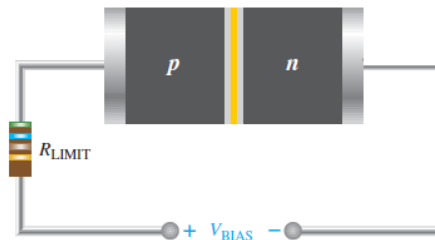


Figura 1.7.7. Polarización en directo de un diodo.

La dinámica de los electrones cuando el diodo está polarizado en modo directo se muestra en la figura 1.7.8. El voltaje aplicado proporciona suficiente energía para mover electrones dentro de la zona de deterioro, de modo que cuando llegan a la región P han perdido una porción de su energía y se combinan con los huecos que hay en la banda de valencia. Ahora bien, el voltaje

aplicado hace que los electrones en la banda de valencia sean atraídos a la terminal positiva, de modo que al moverse, dejan huecos que son llenados por otros electrones que han pasado por la región de deterioro, pero estos también son atraídos hacia la terminal positiva de modo que esto genera un movimiento de huecos hacia la terminal negativa de la fuente. Estos flujos de electrones y huecos permiten que el diodo se comporte como un material conductor.

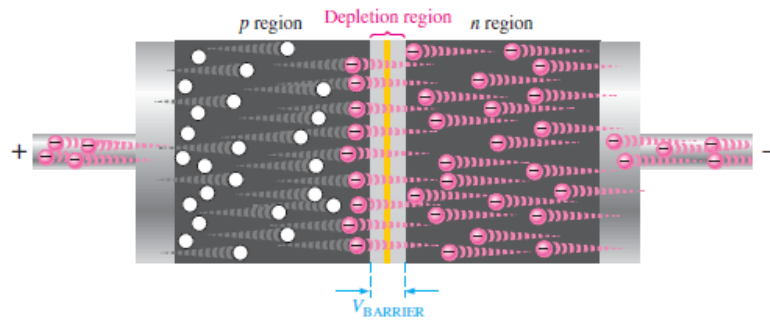


Figura 1.7.8. Flujo de electrones en polarización directa.

Polarización inversa

En esta configuración, la fuente de voltaje se conecta al revés, es decir, La terminal negativa de la fuente ahora se conecta al ánodo, y la terminal positiva al cátodo como se muestra en la figura 1.7.9.

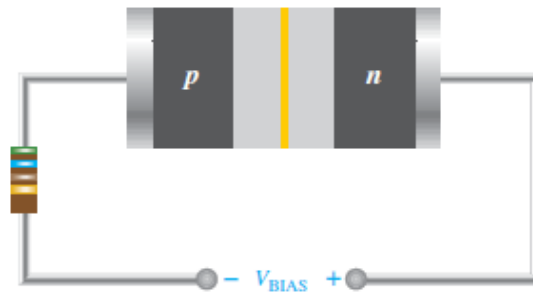


Figura 1.7.9. Diodo polarizado en inverso.

Lo que pasa en esta configuración es que la terminal positiva atrae a los electrones de la región N, mientras que la terminal negativa de la fuente proporciona suficientes electrones para llenar los huecos de la región P (figura 1.7.10). Todo esto causa que la zona de deterioro se haga más grande de modo que el número de portadores mayoritarios se reduzca y se incremente la barrera de potencial hasta que se iguala con el voltaje V_{bias} , y por lo tanto no se produce un flujo de cargas y la corriente eléctrica vale cero.

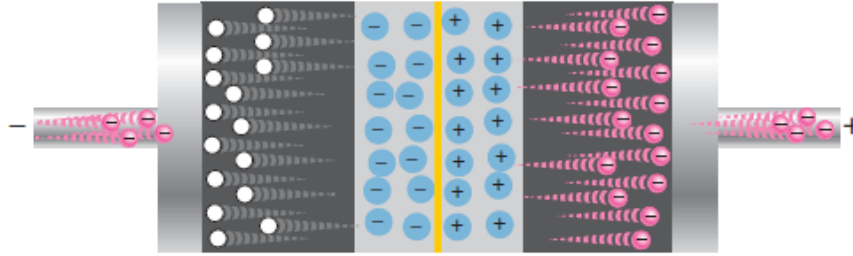


Figura 1.7.10. Flujo de electrones en polarización inversa.

Si se incrementará el voltaje de la fuente se proporcionaría suficiente energía a los electrones para que sean capaces de atravesar la zona de depleción generando una corriente eléctrica a través del diodo. A este fenómeno se le conoce como **efecto avalancha**, y la corriente en polarización inversa se incrementaría al incrementar el voltaje de la fuente. La mayoría de los diodos no operan en modo de polarización inversa, y si la corriente está limitada, no habrá daño en el diodo.

Preguntas de repaso

1. ¿Qué ocurre cuando se unen un material tipo N con otro tipo P?
2. ¿Qué voltaje es necesario aplicar para mover electrones a través de la zona de depleción para el caso del silicio y del germanio?
3. ¿Cuál es el ánodo y el cátodo en un diodo?
4. Explique cómo funciona la polarización directa y la polarización inversa.
5. ¿Qué es el efecto avalancha en un diodo?

El Transistor

El transistor se construye usando tres piezas semiconductoras. Pueden ser dos, tipo P y una tipo N, o dos tipo N y una tipo P, es decir, hay dos clases de transistores, los del tipo NPN y el tipo PNP como se muestra en la figura 1.7.11, junto con su símbolo.

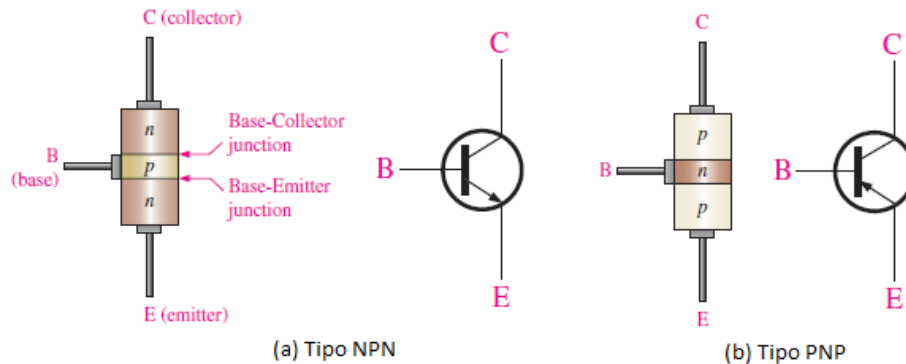


Figura 1.7.11. Transistores NPN y PNP y su símbolo electrónico.

En los transistores hay dos zonas de unión, una se conoce como la unión **base-emisor**, y a la otra como la unión **base-colector**. La unión base-colector se polariza en inverso, mientras que la unión base-emisor se polariza en directo. Para que el transistor funcione correctamente, ambas uniones deben estar polarizadas adecuadamente y, de esta manera el transistor se comporta como un amplificador (figura 1.7.12).

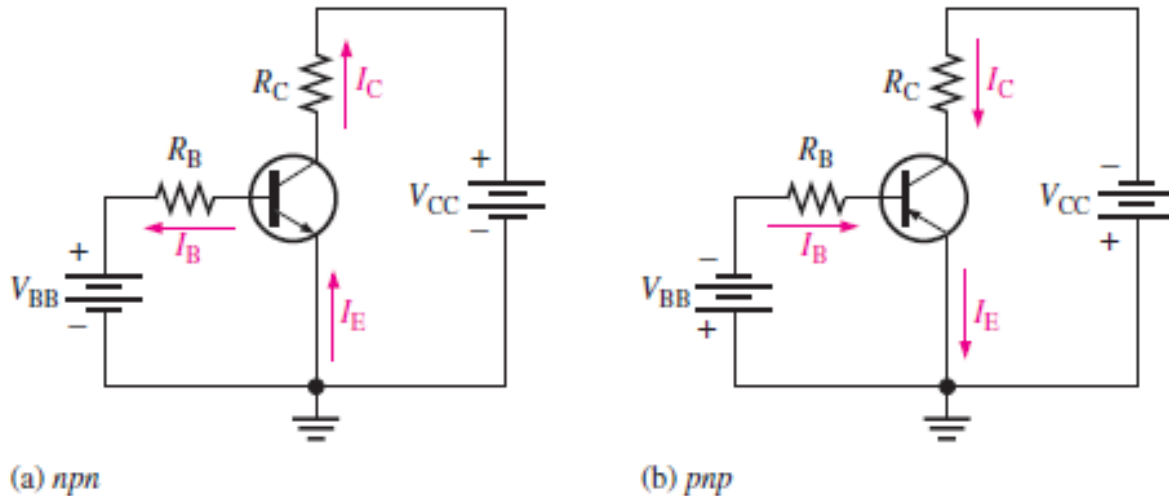


Figura 1.7.12. Conexión básica de un transistor topo NPN y PNP.

El estado activo del transistor se alcanza cuando se aplica el potencial adecuado en la base. En el caso del transistor tipo NPN, la base se conecta a una terminal positiva ya que de esa manera las dos zonas de deterioro permiten un flujo de electrones continuo desde el emisor hasta el colector como se muestra en la figura 1.7.13. Si el transistor es tipo PNP, la base se conecta a un potencial negativo, de modo que ahora el flujo de electrones va del colector hacia el emisor, es decir, al revés. Esos tipos de transistores se conocen como **BJT** (transistores bipolares de unión).

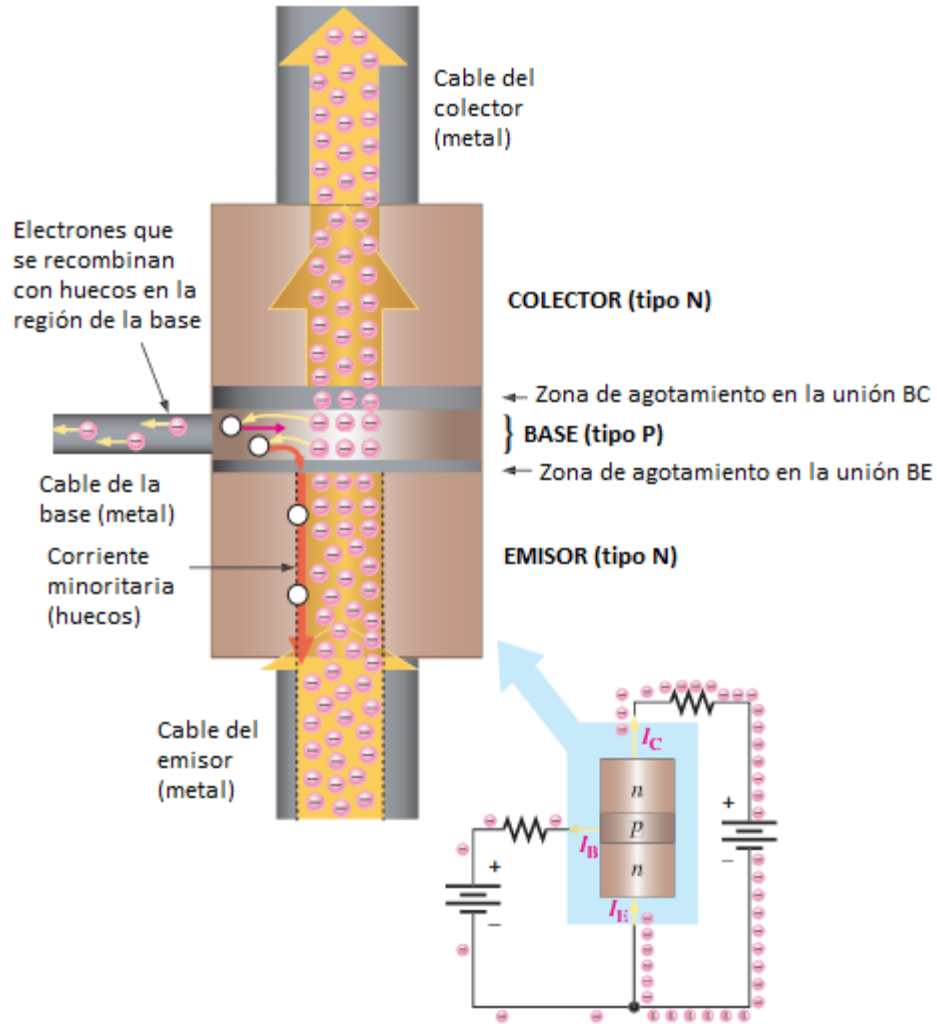


Figura 1.7.13. Dinámica de los electrones en un transistor tipo NPN.

Preguntas de repaso

1. ¿Qué símbolos se usan para los transistores NPN y PNP?
2. ¿Qué diferencias hay entre los transistores NPN y PNP?
3. ¿Cómo se conecta un transistor NPN?
4. ¿Cómo se conecta un transistor PNP?

Ejercicios de la unidad 1

1. ¿Cuánto trabajo se requiere para llevar un electrón desde la terminal positiva hasta la terminal negativa de una batería de 12 voltios?
2. Una carga de $2 \times 10^{-6} \text{ C}$ se mueve paralelamente a las líneas de fuerza de un campo eléctrico uniforme de $5 \times 10^4 \text{ N/C}$, entre dos puntos separados 15 m. Calcular el cambio de energía potencial eléctrica entre esos puntos
3. En el modelo atómico de Bohr para el hidrógeno, un electrón gira en torno al protón a una distancia de $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$.
4. Calcular el potencial eléctrico producido en un punto situado a una distancia de $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ de un protón.
5. ¿Cuál es la energía potencial de un electrón situado a esa distancia del protón?
6. Se dispone de dos placas conductoras paralelas cargadas una negativamente y la otra positivamente. La diferencia de potencial entre las placas es de 120 voltios y están separadas 3 cm. Si se considera un electrón en el punto A, ¿Cuánto vale el trabajo total realizado sobre el electrón en el camino cerrado ABCDA?

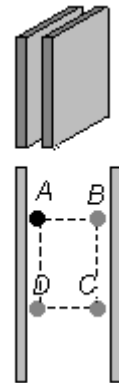


Figura 1

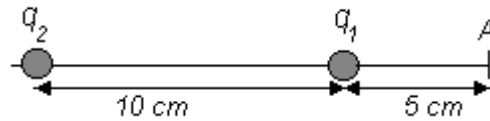
7. Calcular la capacitancia equivalente y la carga total de un capacitor de $6 \mu\text{F}$ y un capacitor de $12 \mu\text{F}$ conectados a una fuente de 12 V, a) en serie y b) en paralelo
8. Un capacitor de placas paralelas se hace con dos placas metálicas separadas 0.12 mm, ¿cuál es la capacitancia si el área de las placas es 113 cm^2 ?
9. Se tienen tres capacitores: $C_1 = 4 \mu\text{F}$, $C_2 = 8 \mu\text{F}$ y $C_3 = 16 \mu\text{F}$. determine la capacitancia equivalente si se conectan: a) en serie, b) en paralelo y c) C_1 y C_2 en paralelo conectados en serie con C_3 .
10. Calcula la potencia eléctrica de una bombilla alimentada a un voltaje de 220 voltios y que tiene una resistencia eléctrica de 10 ohmios. Calcula la energía eléctrica consumida por la bombilla si ha estado encendida durante 2 horas.
11. Calcula la potencia eléctrica de un calefactor eléctrico alimentado a un voltaje de 120 voltios y que tiene una resistencia de 50 ohmios. Calcula la energía eléctrica consumida por el motor si ha estado funcionando durante 15 minutos.

12. ¿Qué potencia desarrolla un motor eléctrico si se conecta a una diferencia de potencial de 150 volts para que genere una intensidad de corriente de 6 A?
13. La carcasa semiesférica de la figura, de radio interior $R = 1$ m y espesor despreciable, se encuentra en el interior de un campo magnético uniforme, cuyo vector densidad de flujo magnético \vec{G} es paralelo al eje ZZ' y de sentido positivo, $\vec{G} = 2 \text{ G u}_z$ [T] a) Calcular el flujo del vector \vec{G} a través de la base plana y de la superficie curva. b) Calcular el flujo a través de toda la superficie cerrada.
14. Una varilla, de 200 g y 40 cm de longitud, es recorrida por una intensidad de 2 A. Si la varilla está apoyada en una superficie horizontal de coeficiente de rozamiento 0,3, calcula el módulo y la dirección del campo magnético para que comience a deslizarse.
15. Por una espira cuadrada de 2 cm de lado pasa una intensidad de la corriente eléctrica de 1,6 A. El plano que contiene la espira está inmerso en un campo magnético de 0,6 T que forma un ángulo de 30° con el citado plano. ¿Cuál es el módulo del momento del par de fuerzas que actúa sobre la espira?
16. ¿Cuál será el flujo magnético creado por las líneas de un campo magnético uniforme de 5 T que atraviesan perpendicularmente una superficie de 30 cm^2 ?
17. Una espira de 20 cm^2 se sitúa en un plano perpendicular a un campo magnético uniforme de 0,2 T. Calcule el flujo magnético a través de la espira.
18. Determinar la variación de flujo magnético de una bobina de alambre de 25cm de diámetro que está situada perpendicularmente a un campo magnético de 12mT, si la bobina gira hasta formar un ángulo de 58° con el campo.
19. Determinar la densidad de flujo magnético de una bobina de 240mm de diámetro cuando se encuentra perpendicular a un campo magnético. El flujo que pasa a través de la bobina es de 17.5mWb
20. Una espira rectangular de $2 \times 3 \text{ cm}$ tiene su plano una cierta inclinación con respecto a un campo magnético de 3.2T. Determinar el ángulo de inclinación cuando el flujo magnético que atraviesa a la espira es de 1.5mWb.
21. Un alternador con una bobina circular tiene 250 vueltas y un diámetro de 20 cm se encuentra girando a razón de 200 rev/s dentro de un campo magnético de 0.15 T. ¿Cuánto vale la fem inducida?
22. El generador de un automóvil que está en marcha sin acelerar a 875 rpm produce 12.4 V. ¿Cuál será la salida a una rapidez de rotación de 1550 rpm, suponiendo que nada más cambia?

23. Un generador simple genera un voltaje de salida pico de 24.0 V. La armadura cuadrada consiste en devanados que tienen 5.15 cm de lado y gira en un campo de 0.420 T a una tasa de 60.0 rev/s. ¿Cuántas espiras de alambre se deben devanar en la armadura cuadrada?
24. Un generador simple tiene una bobina cuadrada de 480 espiras y 22.0 cm de lado. ¿Con qué rapidez debe girar en un campo de 0.550 T para producir una salida pico de 120 V?
25. Una bobina de armadura circular de 250 espiras, con un diámetro de 10.0 cm, gira a 120 rev/s en un campo magnético uniforme de 0.45 T de intensidad. a) ¿Cuál es la fem producida por el generador? b) ¿Qué haría usted a la frecuencia de rotación para duplicar la fem inducida?
26. Una espira rectangular cuyas dimensiones son 2×5 cm cae desde una posición en la que el campo magnético es $B = 0$ T hasta un punto en el que $B = 0.3$ T de modo que el campo apunta en dirección perpendicular al plano del alambre. Calcule la magnitud de la fem inducida sobre el alambre si dicho desplazamiento ocurre en tan solo 0.05 s.
27. Un anillo conductor tiene un área de 5 cm^2 y se orienta en una dirección perpendicular a la dirección de un campo magnético que cambia de los 0.05 T a los 0.20 T en 0.1 s. a) Calcule la magnitud de la fem inducida en el anillo. b) si la resistencia en el anillo es de 1.2Ω , calcule el valor de la corriente inducida en el anillo.
28. Un alternador con una bobina circular tiene 300 vueltas y un diámetro de 15 cm se encuentra girando a razón de 200 rev/s dentro de un campo magnético de 0.1 T. ¿Cuánto vale la fem inducida?
29. Si el campo eléctrico en una onda EM tiene una magnitud pico de $0.5 \times 10^{-4} \text{ V/m}$, ¿cuál es la magnitud pico de la intensidad del campo magnético?
30. Suponga que una onda EM de 50.0 Hz es una onda sinusoidal que se propaga en la dirección z con \mathbf{E} en la dirección x , y $E_0 = 5.00 \text{ V/m}$. Escriba expresiones vectoriales para \mathbf{E} y \mathbf{B} como funciones de posición y tiempo.

Autoevaluación unidad 1

- Al trabajo por unidad de carga que se realiza al llevar una carga de un punto a otro en un campo eléctrico se le llama:
 - corriente eléctrica entre los puntos
 - diferencia de potencial entre los puntos
 - resistividad del medio
 - capacitancia eléctrica
- El volt se define en términos de:
 - amperes
 - newton/coulomb
 - joule
 - joule/coulomb
- ¿Qué trabajo se efectúa para desplazar una carga de un coulomb a través de una diferencia de potencial de 110 voltios?
 - 9.90×10^{11} joules
 - 1.76×10^{-17} joules
 - 8.8×10^{-18} joules
 - 110 joules
- Una superficie equipotencial es el lugar geométrico de todos los puntos en los que el potencial eléctrico:
 - Se hace cero
 - es el mismo
 - es negativo
 - se hace infinito
- Dos cargas puntuales $q_1 = 5 \text{ nC}$ y $q_2 = 8 \text{ nC}$ están colocadas en el aire separadas 10 cm. Un punto A se encuentra a 5 cm de la carga q_1 . El potencial resultante en el punto A producido por las dos cargas.
 - Es positivo
 - Es negativo
 - Es cero
 - Es imposible calcularlo



- Capacidad que tiene un dispositivo (normalmente un conductor) para almacenar carga eléctrica es:
 - Reactancia
 - capacitancia
 - inductancia
 - conductancia
- Una vez que se ha cargado completamente un capacitor ¿En dónde almacena su energía acumulada?
 - Placa positiva
 - placa negativa
 - en el circuito
 - en el campo eléctrico
- En una conexión en serie de capacitores cada capacitor tiene el mismo valor de:
 - voltaje
 - carga
 - energía
 - capacitancia

Completa la oración con la palabra correcta:

- Definimos la _____ como la capacidad que tiene la electricidad de producir un trabajo o de transformar la energía en un tiempo dado.

10. La corriente _____ es aquella cuyo valor y sentido son constantes (no cambian en el tiempo).
11. La corriente _____ es la que se genera en las centrales eléctricas, por eso todos los receptores que se conecten a los enchufes de las viviendas son de corriente alterna (c.a.).
12. El concepto de _____ Se dice que 1 Ampere eficaz de corriente alterna produce los mismos efectos caloríficos que un 1 Ampere de corriente directa al circular por el mismo componente resistivo.
13. El _____ se define en función de la fuerza ejercida sobre las cargas móviles en la ley de la fuerza de Lorentz.
14. La dirección del campo magnético es _____ al cable y está en la dirección que apunta los dedos de la mano derecha si ellos envolvieran el cable, con el pulgar señalando la dirección de la _____
15. El _____ es el producto del campo magnético medio, multiplicado por el área perpendicular que atraviesa
16. _____ se llama al vector que representa el campo magnético.
17. El _____ origina en el alambre unas fuerzas que producen un par motor, o de torsión, en torno al eje que hace girar al conjunto formado por éste y las bobinas
18. Calcula la potencia eléctrica de una bombilla alimentada a un voltaje de 220 voltios y por el que pasa una intensidad de corriente de 2 amperios. Calcula la energía eléctrica consumida por la bombilla si ha estado encendida durante 1 hora.
19. Calcula la potencia eléctrica de un motor por el que pasa una intensidad de 4 A y que tiene una resistencia de 100 ohmios. Calcula la energía eléctrica consumida por el motor si ha estado funcionando durante media hora.
20. Calcula la potencia eléctrica de un motor eléctrico por el que pasa una intensidad de corriente de 3 A y que tiene una resistencia de 200 ohmios. Calcula la energía eléctrica consumida por el motor si ha estado funcionando durante 10 minutos.
21. Un motor eléctrico consume una potencia de 1500 W, donde a través de dicho motor existe una diferencia de potencial de 130 volts, ¿Cuál será la corriente a través del motor?
22. Una tostadora eléctrica de resistencia R se conecta a una diferencia de potencial V y genera una potencia eléctrica P. Si la diferencia de potencial se reduce a un cuarto. ¿Qué sucede con la potencia generada por el calentador?
23. Una superficie cerrada en forma de cilindro circular recto tiene un radio de 13 cm y una longitud de 80 cm. A través de una de las bases existe un flujo magnético entrante de 25 μWb . En la otra base existe un campo magnético uniforme cuyo vector inducción magnética \vec{B} es perpendicular a la superficie, de módulo 1,6 mT y dirigido hacia afuera. Calcular el flujo magnético a través de la superficie lateral del cilindro.
24. Un alambre de 9 cm de longitud transporta una intensidad de la corriente eléctrica de 1 A según la dirección del eje X. Si el conductor se encuentra inmerso en un campo magnético

de 0,02 T de intensidad situado en el plano XY y formando un ángulo de 30° con el eje X, ¿qué fuerza actúa sobre el cable?

25. Dos conductores rectos y paralelos están separados por una distancia de 10 cm y están recorridos en el mismo sentido por sendas intensidades de la corriente eléctrica de 10 A y 20 A. ¿A qué distancia de los conductores se anula el campo magnético?

26. La intensidad de un campo magnético es 15 T. ¿Qué flujo atravesará una superficie de 40 cm^2 en los siguientes casos?: a) El campo es perpendicular a la superficie; b) El campo y la normal a la superficie forman un ángulo de 45° .

27. Determinar el flujo magnético que penetra a una espira rectangular de $10 \times 20 \text{ cm}$ cuyo plano forma un ángulo de 52° con un campo magnético de 0.30 T.

28. Un flujo magnético de $78 \mu\text{Wb}$ corta a 600 el plano de una espira de 9.5 cm de diámetro. Calcular la densidad de flujo magnético que pasa por la espira.

29. El voltaje inducido en una bobina es proporcional a la rapidez con que cambia el _____, este fenómeno recibe el nombre de _____.

30. Un campo magnético variable crea un campo _____ variable, y un campo eléctrico variable crea un campo _____ variable.

Soluciones de autoevaluación unidad 1

Pregunta	Respuesta	Pregunta	Respuesta
1	b	16	Densidad del flujo magnético
2	d	17	Efecto motor
3	d	18	$P=0,44 \text{ kw}$; $E=0,44 \text{ kw.h}$
4	b	19	$P= 1,6 \text{ kW}$; media; $E= 0,8 \text{ kW}$
5	a	20	$P= 1,8 \text{ kW}$; $E= 0,3 \text{ kWh}$
6	b	21	$I= 11. 53 \text{ A}$
7	d	22	$P'=1/16 * P$
8	a	23	$\Phi=-5995 \times 10^{-6} \text{ Wb}$
9	Potencia eléctrica	24	$F = 9 \times 10^{-4} \text{ k N}$
10	Continua o directa	25	$r_1 = 10/3 \text{ cm}$
11	Alterna	26	$\Phi = 0,06 \text{ Wb}$ $\Phi = 420 \times 10^{-4} \text{ Wb}$
12	Valor eficaz	27	$\Phi = 4.72 \times 10^{-3} \text{ Wb}$
13	Campo magnético	28	$\beta=12.72 \text{ mT}$
14	Perpendicular; corriente	29	Campo magnético, Ley de Faraday
15	Flujo magnético	30	Eléctrico, Magnético

Unidad 2.

Sistemas ópticos

Presentación

En esta unidad se estudia la naturaleza y la propagación de la luz. Para ello se analizan los fenómenos de reflexión, refracción, difracción, interferencia, polarización, el efecto fotoeléctrico, la luminiscencia y el láser, tomando en consideración los modelos electromagnético y cuántico de la luz.

Se emplean algunos fenómenos ópticos para determinar la formación de imágenes con espejos planos, esféricos y lentes delgadas. El estudio y análisis de los conceptos ópticos nos permiten explicar el funcionamiento de dispositivos tales como: telescopio, microscopio, láser, ojo humano, cámara fotográfica.

Propósitos

Al finalizar la unidad, el alumno:

- Describirá la naturaleza de la luz de acuerdo con los modelos corpuscular y ondulatorio.
- Comprenderá el comportamiento dual de la luz a través del estudio de los fenómenos que presenta.
- Explicará el funcionamiento de dispositivos ópticos cotidianos.

Óptica geométrica

Aprendizaje

1. Comprenderá las leyes de la reflexión y la refracción.

La óptica geométrica se fundamenta en la **teoría de los rayos de luz**, la cual considera que cualquier objeto visible emite **rayos rectos** de luz en cada punto de él y en todas las direcciones a su alrededor. Cuando la luz emitida por un objeto incide en la frontera o límite entre dos medios, por ejemplo, aire y vidrio, parte de la luz que incide en la superficie se **refleja** y otra parte penetra en el vidrio. La luz que entra en el vidrio es absorbida parcialmente y la restante se transmite. La luz transmitida en general sufre un cambio de dirección, lo cual se conoce como **refracción**.

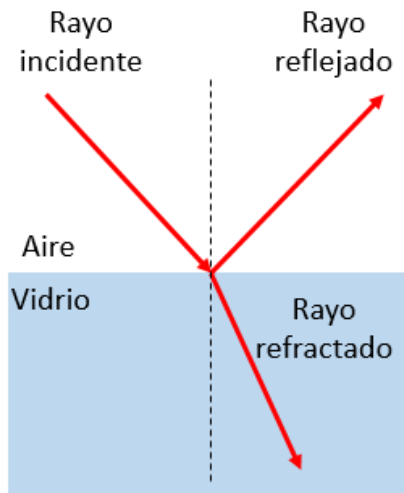


Figura 2.1.1. Cuando la luz incide en la frontera entre dos medios, la luz puede ser reflejada, refractada o absorbida.

Reflexión

La luz reflejada en una superficie tiene su **ángulo de incidencia θ_i** y su **ángulo de reflexión θ_r** , estos ángulos se miden con respecto a la normal (línea perpendicular) a la superficie. Se pueden enunciar dos **leyes de reflexión**:

- *El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.*
- *El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano.*

La reflexión de la luz procedente de una superficie pulida se llama **reflexión especular**. La luz que incide sobre la superficie de un espejo o vidrio se refleja especularmente, de este modo no se puede observar la superficie. Cuando la superficie es irregular, la luz se dispersa en distintas

direcciones provocando que la superficie se ilumine, a este tipo de reflexión se le conoce como **reflexión difusa**. Ver figura 2.1.2.

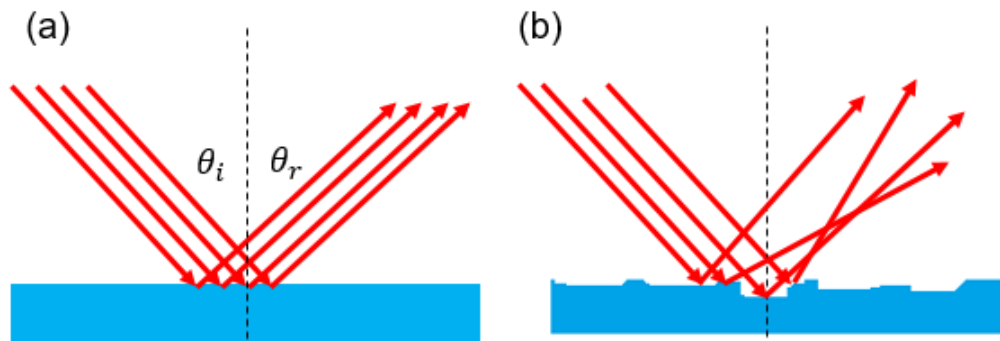


Figura 2.1.2. (a) Reflexión especular, (b) Reflexión difusa.

Refracción

La luz se propaga en línea recta a rapidez constante en un medio uniforme. Si cambia el medio, la rapidez también cambiará y la luz viajará en línea recta a lo largo de una nueva trayectoria. La desviación de un rayo de luz cuando pasa oblicuamente de un medio a otro se conoce como **refracción**. Al ángulo formado entre el haz refractado y la normal se le llama **ángulo de refracción θ_r** .

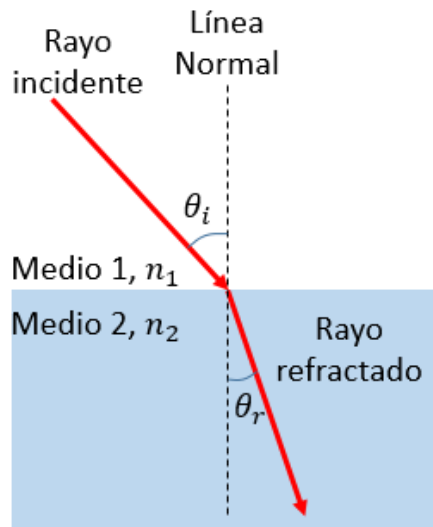


Figura 2.1.3. Refracción de un rayo de luz cuando éste atraviesa un medio diferente.

La velocidad de la luz dentro de una sustancia material es generalmente menor que la velocidad de la luz en el vacío, donde su valor aproximado es

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

El índice de refracción n de un material es la razón de la velocidad de la luz en el espacio libre respecto a la velocidad de la luz a través del material

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.52)$$

El índice de refracción es una cantidad adimensional y generalmente es mayor que 1. Por ejemplo, en el agua $n = 1.33$ y en el vidrio $n = 1.5$. En la siguiente tabla se muestran algunos valores típicos del índice de refracción para luz con una longitud de onda de 589 nm:

Sustancia	N
Aire	~1
Agua	1.33
Alcohol etílico	1.36
Cuarzo	1.54
Diamante	2.41
Glicerina	1.47
Vidrio	1.33
Hielo	1.31

La velocidad de la luz en sustancias materiales es diferente para cada longitud de onda, a este fenómeno se le conoce como **dispersión**.

Ejemplos:

Ejemplo 1. Calcula el índice de refracción en el agua, para un rayo de luz cuya longitud de onda es 589 nm, y que se desplaza a una velocidad de $2.26 \times 10^8 \text{ m/s}$	
Datos Velocidades: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ $v = 2.26 \times 10^8 \text{ m/s}$ Incógnitas: $n = ?$	Fórmulas $n = \frac{c}{v}$
Operaciones $n = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.26 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1.33$	Resultado El índice de refracción del agua para luz amarilla es 1.33

Ejemplo 2: Calcula la velocidad de un rayo de luz amarilla que se propaga en un medio cuyo índice de refracción es 2.41	
<p>Datos</p> $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ $n = 2.41$ <p>Incógnita</p> $v = ?$	<p>Fórmulas</p> $n = \frac{c}{v}$ <p>Despejando la velocidad en el medio</p> $v = \frac{c}{n}$
<p>Operaciones</p> $v = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.41} = 1.24 \times 10^8 \text{ m/s}$	<p>Resultado</p> <p>La velocidad de haz de luz al propagarse por el medio es</p> $v = 1.24 \times 10^8 \text{ m/s}$

Desde la antigüedad se aplican dos leyes básicas de refracción, que se enuncian de la siguiente manera:

- El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano.
- La trayectoria de un rayo refractado en la interface entre dos medios es exactamente reversible.

Estas dos leyes se muestran fácilmente mediante la observación y la experimentación.

Analizando la flexión que ocurre entre el ángulo incidente y refractado se obtiene lo siguiente relación:

- *La razón del seno del ángulo de incidencia con respecto al seno del ángulo de refracción es igual a la razón de la velocidad de la luz en el medio incidente respecto a la velocidad de la luz en el medio de refracción.*

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.2)$$

Una expresión equivalente es

$$n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2 \quad (2.3)$$

Esta regla fue descubierta por el astrónomo danés Willebrord Snell en el siglo XVII, y se llama en su honor, **Ley de Snell**. Estas relaciones son de gran utilidad como se verá en los siguientes ejemplos:

Ejemplos.

<p>Un haz de luz incide en una superficie de cristal de roca con un índice de refracción $n = 1.6$. Cuando el haz de luz pasa del aire al cristal incide con un ángulo $\theta = 35^\circ$, ¿Cuál es el valor del ángulo de refracción en el cristal?</p>	
<p>Datos En el aire $n_1 = 1, \theta_1 = 35^\circ$ En el cristal de roca $n_2 = 1.6, \theta_2 = ?$</p>	<p>Fórmulas $n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2$ Despejando para θ_2 $\theta_2 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{n_1}{n_2} \text{sen} \theta_1 \right)$</p>
<p>Operaciones $\theta_2 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{1}{1.6} \text{sen } 35^\circ \right) = 21^\circ$</p>	<p>Resultado El ángulo refractado será 21°</p>

<p>Un rayo de luz que viaja en el aire incide sobre sobre una pieza plana de vidrio. Si el ángulo refractado fue 30° ¿Cuál fue el ángulo del rayo incidente? Considera que el índice de refracción del vidrio es 1.33</p>	
<p>Datos En el aire $n_1 = 1, \theta_1 = ?$ En el vidrio $n_2 = 1.33, \theta_2 = 30^\circ$</p>	<p>Fórmulas $n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2$ Despejando para θ_1 $\theta_1 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \text{sen} \theta_2 \right)$</p>
<p>Operaciones $\theta_1 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{1.33}{1} \text{sen } 30^\circ \right) = 42^\circ$</p>	<p>Resultado El ángulo del rayo incidente fue 42°</p>

Formación de imágenes y diagramas de rayos

Aprendizaje

2. Determinará las características de las imágenes formadas en lentes y espejos.

Espejos planos y curvos

Se denomina espejo una superficie muy pulida que forma imágenes debido a la reflexión especular de la luz. Los espejos que cuelgan de las paredes de nuestras casas son en general **espejos planos**.

Para un espejo plano, la distancia al objeto p es igual en magnitud a la distancia a la imagen q , es decir:

$$p = q \quad (2.53)$$

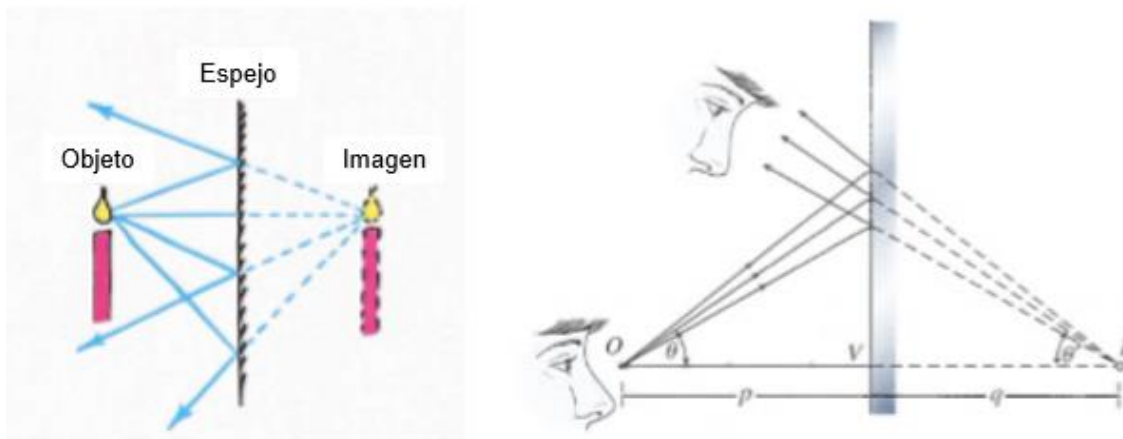


Figura 2.2.1. Construcción de la imagen de un objeto puntual formado por un espejo plano.

Las imágenes formadas en un espejo plano son producto de la reflexión de objetos reales. Las imágenes en sí mismas no son reales porque la luz no pasa a través de ellas. Esas imágenes que ante nuestros ojos parecen estar formadas por rayos de luz se denominan **imágenes virtuales**. En cambio, una **imagen real** es aquella formada por rayos de luz verdaderos.

Los mismos métodos geométricos aplicados a la reflexión de la luz desde un espejo plano, se pueden aplicar en un **espejo curvo**. La mayoría de los espejos curvos utilizados son esféricos. Un **espejo esférico** es el que puede considerarse como una parte de una esfera reflejante. Si el interior de la superficie esférica es la superficie reflejante, se dice que el espejo es **cóncavo**. Si la

porción exterior es la reflejante, el espejo es **convexo**. En cualquier caso **R**, es el radio de la curvatura y **C** es el centro de la curvatura de los espejos.

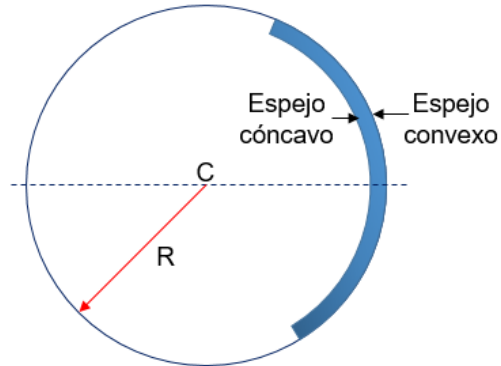


Figura 2.2.2. Espejos esféricos, dónde C es el centro de la curvatura y R es el radio de la curvatura.

El **foco** de un espejo esférico, es el **punto F** dónde los rayos paralelos al **eje óptico convergen**. El foco es real para un espejo cóncavo y virtual para un espejo convexo. Este foco se localiza sobre el eje óptico y a media distancia entre el centro de curvatura C y el espejo.

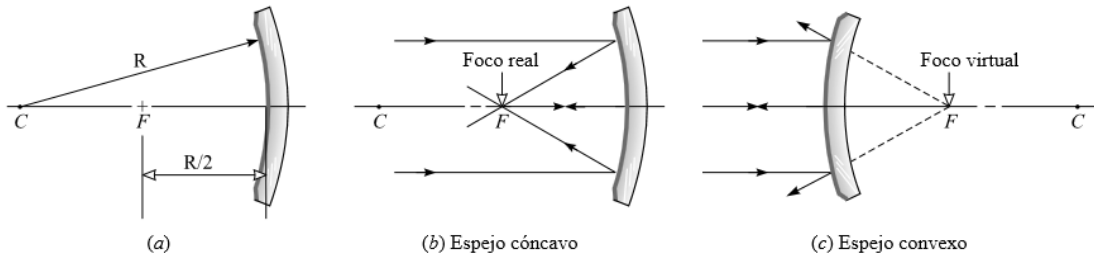


Figura 2.2.3. Puntos focales en espejos cóncavos y convexos.

La longitud focal f de un espejo es igual a la mitad del radio de su curvatura:

$$f = \frac{R}{2} \quad (2.54)$$

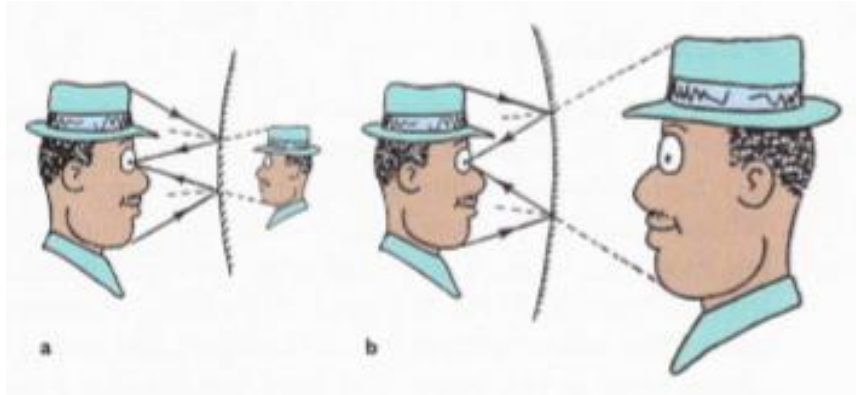


Figura 2.2.4. (a) La imagen virtual formada por un espejo convexo es menor que el objeto y está más cerca al espejo que el objeto;(b) Cuando el objeto está más cerca de un espejo cóncavo la imagen virtual es mayo y está más alejada del espejo que el objeto.

La formación de imágenes por medio de espejo esféricos se puede visualizar más fácilmente con técnicas basadas en el trazado de rayos. Los tres rayos principales se mencionan a continuación:

- **Rayo 1.** Un rayo paralelo al eje del espejo pasa por el punto focal de un espejo cóncavo o parece provenir del punto focal de un espejo convexo.
- **Rayo 2.** Un rayo que pasa por el punto focal de un espejo cóncavo o que avanza hacia el punto focal de un espejo convexo se refleja en dirección paralela al eje del espejo.
- **Rayo 3.** Un rayo que avanza sobre un radio del espejo se refleja siguiendo su misma trayectoria original.

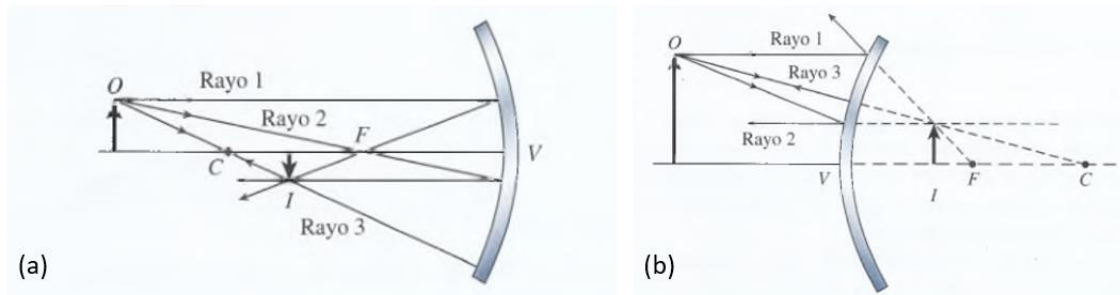


Figura 2.2.5. Trayectoria de los rayos para un (a) espejo convergente, e (b) espejo divergente.

Considerando el trazado de rayos se puede deducir una relación muy importante que se conoce como la **ecuación del espejo**:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (2.55)$$

Dónde p es la distancia del espejo al objeto, y q es la distancia de la imagen al objeto. Por otro lado, también es posible deducir una ecuación para la **amplificación M** de la imagen:

$$M = \frac{y'}{y} = \frac{-q}{p} \quad (2.56)$$

En esta ecuación y representa el tamaño del objeto (positivo si está de pie, negativo si está invertido) y y' es el tamaño de la imagen (positivo si está de pie, negativo si está invertida).

Ejercicio sugerido: A partir de la ecuación (2.55) despeja las variables p , q y f , y demuestra que las ecuaciones obtenidas son:

$$p = \frac{qf}{q-f}, \quad q = \frac{pf}{p-f}, \quad f = \frac{pq}{p+q}$$

Ejemplos:

<p>¿Cuál es la longitud focal de un espejo convergente cuyo radio de curvatura es de 25 cm? ¿Cuál es la naturaleza y la ubicación de una imagen formada por el espejo si un objeto se encuentra a 15 cm del vértice del espejo?</p>	
<p>Datos</p> $R = 25 \text{ cm}$ $f = ?$ $p = 15 \text{ cm}, q = ?$	<p>Fórmulas</p> $f = \frac{R}{2}$ $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$
<p>Operaciones: Se calcula la distancia focal del espejo</p> $f = \frac{25 \text{ cm}}{2} = 12.5 \text{ cm}$ <p>Luego, a partir de la ecuación del espejo y despejando para q se tiene:</p> $q = \frac{pf}{p-f} = \frac{(15 \text{ cm})(12.5 \text{ cm})}{15 \text{ cm} - 12.5 \text{ cm}}$ $q = 75 \text{ cm}$	<p>Resultado</p> <p>La imagen del objeto se encuentra a una distancia de 75 cm y el signo positivo de q indica que la imagen es real.</p>

Lentes simples

Un caso muy práctico de la refracción son las lentes. La forma más sencilla de explicar cómo funciona una lente consiste en considerar la refracción de la luz por un prisma. Cuando la ley de Snell se aplica a cada superficie de un prisma, la luz se desvía hacia la norma cuando entra al prisma y se aleja de ella cuando sale de él (Ver figura 2.2.6.).

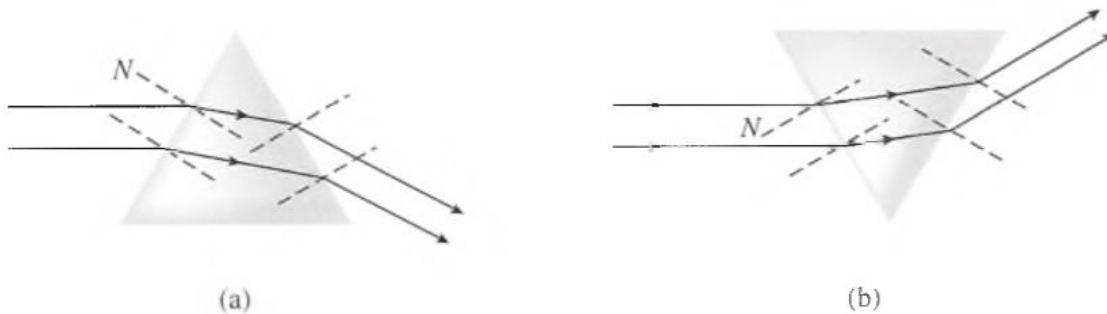


Figura 2.2.6. Los rayos paralelos de la luz al atravesar el prisma se flexionan hacia la base y permanecen paralelos.

Las **lentes convergentes** son las que refractan y hacen converger la luz paralela en un **punto focal** situado más allá de la propia lente.

Las **lentes divergentes** son las que refractan y hacen divergir la luz paralela a partir de un punto situado frente a ella.

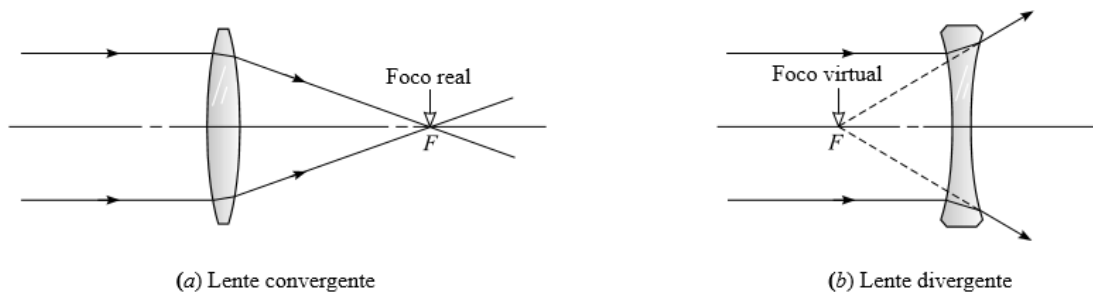


Figura 2.2.7. Puntos focales de las lentes convergentes y divergentes.

En las lentes, al igual que en el caso de los espejos, la formación de imágenes es una función de la longitud focal, sin embargo, hay diferencias importantes. La primera es que la luz puede pasar a través de la lente en dos direcciones. Esto da como resultado dos puntos focales, en una lente convergente se tiene un **foco real**, y en la lente divergente se tiene un **foco virtual** (Ver 2.2.7.). Se considera la **longitud focal f** de una lente como la distancia del centro óptico de la lente a cualquiera de sus focos.

La longitud focal de una lente no es igual a la mitad del radio de curvatura, como en los espejos esféricos, sino que depende del índice de refracción n del material con el que esté fabricada. También está determinado por los radios de curvatura R_1 y R_2 de sus superficies.

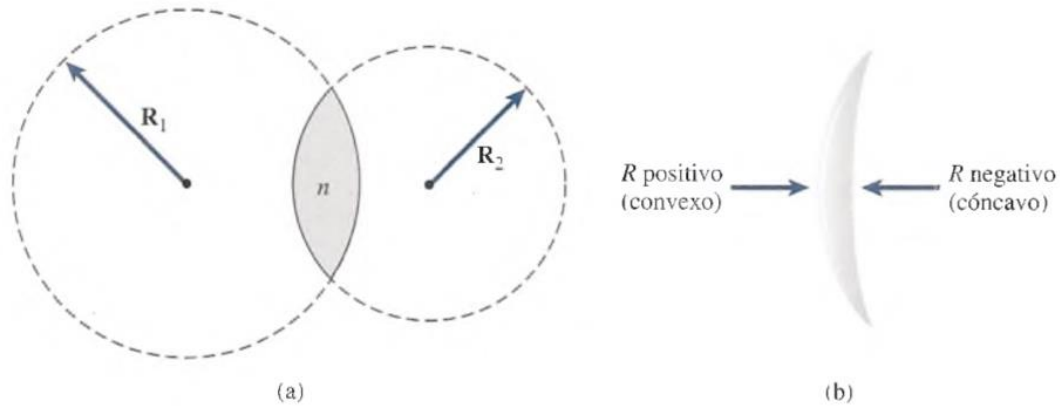


Figura 2.2.8. Radios de curvatura R_1 y R_2 en una lente convergente.

La **ecuación del fabricante de lentes** es una relación entre la longitud focal, los radios de las superficies de las dos lentes y el índice de refracción del material de éstas:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Convenciones:

- El radio de curvatura se considera positivo si la superficie es curva hacia afuera (convexa) y negativa si la curvatura es hacia adentro (cóncava).
- La longitud focal de una lente convergente se considera positiva, y la longitud focal de una lente divergente se considera negativa.

Ejemplo:

¿Cuál debe ser el radio de la superficie de una lente plano-cóncava para construir una lente divergente con una longitud focal de -30 cm?	
<p>Datos</p> $R_{\text{plano}} = R_1 = \infty$ $n_{\text{vidrio}} = 1.5$ $f = -30 \text{ cm}$ <p>Incógnita</p> $R_2 = ?$	<p>Fórmulas</p> $\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ <p>Despejando la fórmula para R_2</p> $R_2 = \left(\frac{1}{f(n - 1)} - \frac{1}{R_1} \right)^{-1}$
<p>Operaciones:</p> $R_2 = \left(\frac{1}{-30 \text{ cm}(1.5 - 1)} - \frac{1}{\infty} \right)^{-1}$ $R_2 = \left(\frac{1}{-15 \text{ cm}} \right)^{-1} = -15 \text{ cm}$	<p>Resultado</p> <p>.El radio de curvatura de la superficie debe ser -15 cm, es decir, será una lente divergente.</p>

Las características, el tamaño y la ubicación de las imágenes pueden también determinarse a partir de la **ecuación de las lentes**. Esta importante relación se puede deducir de manera similar a la **ecuación del espejo**, y la forma final es exactamente igual. La ecuación de las lentes puede escribirse

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (2.57)$$

Convenciones:

- La distancia al objeto p , y la distancia a la imagen q , se consideran positivas para objetos e imágenes reales y negativos para objetos e imágenes virtuales.
- La longitud focal se considera positiva para lentes convergentes, negativa para lentes divergentes.

La **amplificación de la lente** se define como la razón del tamaño de la imagen y' respecto al tamaño del objeto y , por lo tanto

$$M = \frac{y'}{y} = \frac{-q}{p} \quad (2.58)$$

Ejemplos:

<p align="center">Un objeto de 8 cm de altura se halla a 12 cm de una lente convergente que tiene una longitud focal de 25 cm. ¿Cuál es la naturaleza, tamaño y ubicación de la imagen?</p>	
<p>Datos</p> <p align="center">$f = 25 \text{ cm}$ $y = 8 \text{ cm}$ $p = 12 \text{ cm}$</p> <p>Incógnita</p> <p align="center">$q = ?$ $y' = ?$</p>	<p>Fórmulas</p> $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ <p>Despejando la fórmula para q</p> $q = \frac{pf}{p - f}$ <p>También se puede utilizar la fórmula</p> $M = \frac{y'}{y} = \frac{-q}{p}$ <p>Despejando para y'</p> $y' = \frac{-qy}{p}$
<p>Operaciones:</p> <p>La distancia de la imagen a la lente es</p> $q = \frac{(12 \text{ cm})(25 \text{ cm})}{12 \text{ cm} - 25 \text{ cm}} = -23 \text{ cm}$ <p>La altura de la imagen virtual es</p> $y' = \frac{-(-23 \text{ cm})(8 \text{ cm})}{12 \text{ cm}} = 15.3 \text{ cm}$	<p>Resultado</p> <p>La imagen es virtual, y el signo positivo de y' indica que la imagen no está invertida y está ampliada a 15.3 cm</p>

Óptica física

Aprendizaje

3. *Explica los fenómenos de, interferencia, difracción y polarización aplicando el modelo ondulatorio.*

La óptica física es la rama de la física que toma la luz como una onda y explica algunos fenómenos que no se podrían explicar tomando la luz como un rayo.

Principio de Huygens

¿Qué es la luz?

A fines del siglo XVII se propusieron dos teorías para explicar la naturaleza de la luz: la teoría de partículas (corpúscular) y la teoría ondulatoria. El principal defensor de la teoría corpúscular fue Sir Isaac Newton. La teoría ondulatoria era apoyada por Christian Huygens. Cada una de estas teorías intentaba explicar las características de la luz observadas en esa época. Tres de estas importantes características son:

1. Propagación rectilínea.
2. Reflexión.
3. Refracción.

Huygens explicó la propagación de la luz en términos del movimiento de una perturbación a través de la distancia entre una fuente y el ojo. Basó su argumento en un principio sencillo que aún es útil en la actualidad para describir la propagación de la luz. El principio de Huygens establece lo siguiente:

Cada punto de un frente de onda que avanza puede considerarse una fuente de ondas secundarias llamadas ondeletas. La nueva posición del frente de onda envuelve a las ondeletas emitidas desde todos los puntos del frente de onda en su posición previa.

La aplicación de este principio se ilustra en la figura 2.3.1. para los casos frecuentes de una onda plana y de una onda circular.

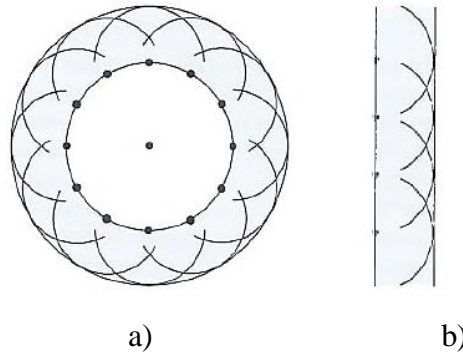


Figura 2.3.1. Principio de Huygens a) para una onda esférica y b) para una onda plana.

El principio de Huygens tuvo un particular éxito para explicar la reflexión y la refracción. La figura 2.3.2. muestra cómo se puede utilizar este principio para explicar la reflexión de la luz al pasar del aire al agua. Cuando las ondas planas golpean la superficie del agua con cierto ángulo, los puntos A, C y E se vuelven las fuentes de nuevas ondeletas. La envoltura de estas ondeletas secundarias indica un cambio de dirección. Se puede elaborar un esquema similar para explicar la reflexión.

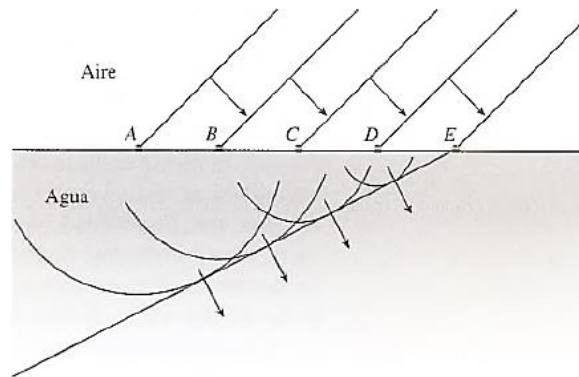


Figura 2.3.2. Explicación de Huygens acerca de la refracción en términos de la teoría ondulatoria.

Fenómenos ondulatorios

Interferencia.

La interferencia, de la luz, se da de manera constructiva cuando los desplazamientos de las ondas están en la misma dirección y la amplitud de la onda resultante es mayor que cualquiera de las ondas que interfieren, y de manera destructiva si las ondas tienden a cancelarse una a la otra cuando se superponen y la amplitud de la onda resultante es menor que cualquiera de las ondas que interfieren.

La figura 2.3.3. representa la experiencia realizada por Young (interferencia de doble rendija). Frentes de ondas planos de luz monocromática (de una longitud de onda) son hechos pasar a través de dos rendijas estrechas separadas por una distancia d . Cada rendija, se comporta como una fuente puntual (S_1 y S_2), cuyos frentes de onda son semicirculares. Finalmente, la luz

llega a la pantalla separada una distancia D del plano de las rendijas. Sobre la pantalla se forman franjas claras y oscuras sucesivamente. En los puntos de la pantalla, donde las ondas provenientes de cada una de las rendijas lleguen en igualdad de fases se producirá un máximo (interferencia constructiva). Por el contrario, las regiones de las pantallas donde las ondas provenientes de las rendijas interfieran destructivamente serán oscuras (mínimos).

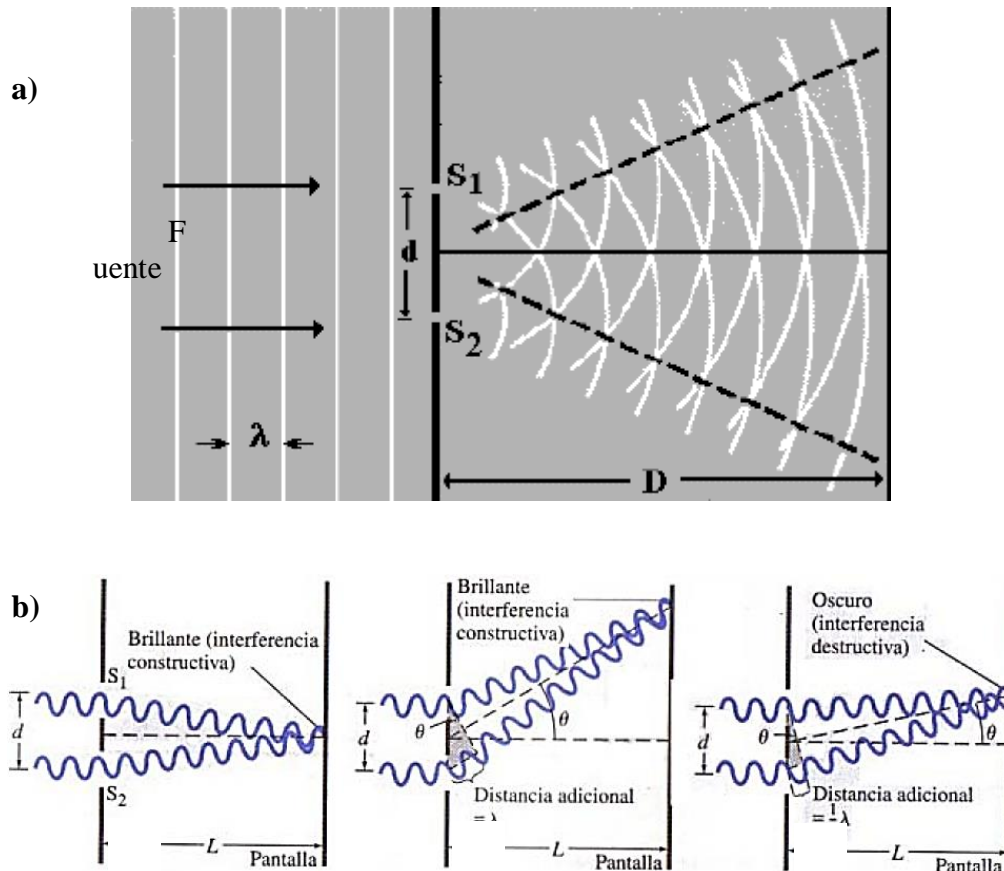


Figura 2.3.3. a) Interferencia de la luz y b) patrones de interferencia. En las rendijas S_1 y S_2 se puede identificar el principio de Huygens.

Difracción.

La difracción es la interferencia de ondas de una sola fuente. Este fenómeno produce que las ondas se curven alrededor de un obstáculo. Los efectos de la difracción son solo observables cuando se trata de obstáculos o aberturas comparables en tamaño a la longitud de la onda considerada. La figura 2.3.4.a) muestra una onda plana que pasa por una rendija. Los frentes de onda se curvan ligeramente al pasar por la rendija y, en consecuencia, se produce una divergencia angular θ en la dirección de propagación de la onda. Se demuestra que θ se relaciona con el ancho de la ranura a y con λ , por la relación:

$$\text{sen}\theta = \frac{\lambda}{a} \quad (2.11)$$

Describiremos el fenómeno de difracción asociado al paso de la luz por de una rendija estrecha. La figura 2.3.4.b) de la derecha muestra luz monocromática que pasa a través de una rendija estrecha de ancho a , y luego incide sobre una pantalla a una distancia D de la rendija. Las ondas de Huygens que se producen en las distintas partes de la rendija interfieren y forman en la pantalla una figura de interferencia con zonas brillante y oscuras. La distribución de las franjas oscuras (mínimos) en la pantalla se determina mediante la siguiente expresión:

$$\text{sen}\theta = n \frac{\lambda}{a} \quad (2.12)$$

Donde,

λ : longitud de onda

a : anchura de la ranura

n : número entero (0,1, 2, 3,...)

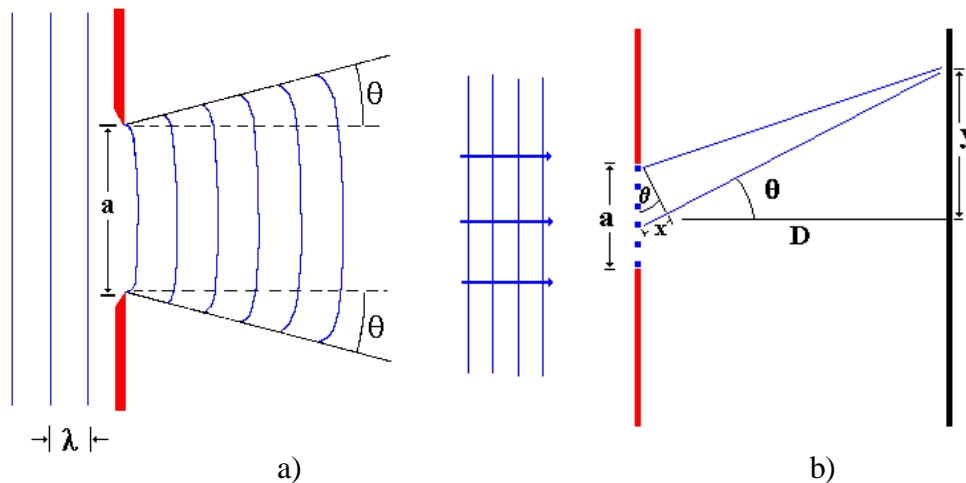


Figura 2.3.4. a) Difracción de una onda plana y b) difracción de luz monocromática al pasar por una rendija.

Ejemplo (Difracción en una rendija)

Se hace pasar una luz láser de 633 nm a través de una rendija angosta y se observa la figura de difracción en una pantalla a 6 m de distancia. La separación entre los primeros mínimos afuera de la franja central brillante es de 32 mm. ¿Cuál es el ancho de la rendija?

- Datos

$$\lambda = 633 \text{ nm} = 633 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$D = 6 \text{ m (ver figura 2.3.3. b)}$$

$$y = \frac{32 \text{ mm}}{2} = 0.016 \text{ m (ver figura 2.3.3. b)}$$

$$n = 1 \text{ (por ser los primeros mínimos)}$$

$$a = ?? \text{ incógnita}$$

- Ecuación

Como se trata de una sola rendija y se conocen los mínimos, se usa:

$$\text{sen}\theta = n \frac{\lambda}{a}$$

- Solución

De la ecuación se despeja **a**,

$$\text{sen}\theta = \frac{n\lambda}{a}$$

$$a \text{sen}\theta = n\lambda$$

$$a = \frac{n\lambda}{\text{sen}\theta}$$

Para ángulos pequeños $\text{sen}\theta = \tan\theta$ y se sabe que $\tan\theta = \frac{y}{D}$, por lo tanto,

$$a = \frac{n\lambda}{\left(\frac{y}{D}\right)}$$

- Sustitución de valores y calculos

$$a = \frac{1 \times (633 \times 10^{-9} \text{ m})}{\left(\frac{0.016 \text{ m}}{6 \text{ m}}\right)}$$
$$a = 2.37 \times 10^{-4} \text{ m}$$

- Resultado

Por lo tanto, el ancho de la rendija es de 2.37×10^{-4} metros que es igual a 0.237 milímetros.

Polarización.

Cuando en las ondas transversales la vibración ocurre en un único plano, la onda está polarizada (polarización plana). Las ondas longitudinales no presentan polarización. Los fenómenos ligados a la polarización de la luz demuestran que las ondas electromagnéticas son transversales. En un haz de luz polarizada el campo eléctrico vibra solamente en un plano perpendicular a la dirección de movimiento.

Cuando la luz no polarizada pasa a través de una lámina de Polaroid (polarizador) solo se transmiten las componentes de las amplitudes paralelas al eje óptico de la lámina. Si en la trayectoria de un haz polarizado, cuyo campo eléctrico vibra con amplitud \mathbf{E}_1 , se coloca una lámina de polaroid de modo que su eje óptico forme un ángulo θ con la dirección de polarización de la

onda incidente, la amplitud del campo eléctrico de la onda transmitida es $E_1 \cos \theta$. Una lámina colocada con este fin es un analizador y permite conocer si un haz de luz está polarizado y su plano de polarización.

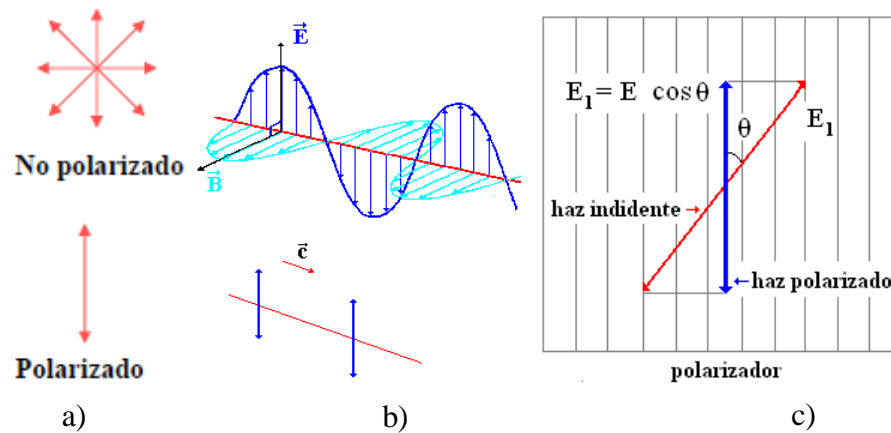


Figura 2.3.5. a) Rayo de luz polarizado y no polarizado visto de frente, b) haz de luz polarizado y c) polarizador.

Ejemplo (polarización)

Una luz no polarizada se hace pasar a través de dos hojas Polaroid. El eje de la primera hoja está en posición vertical y el eje de la segunda está a 45° con respecto a la vertical. ¿Cuál será la orientación y la intensidad de la luz después de pasar por la segunda hoja?

- Datos

I_0 : intensidad de la luz incidente (original)

I_1 : intensidad de la luz al pasar el primer polarizador

I_2 : intensidad de la luz al pasar el segundo polarizador

$\theta = 45^\circ$

- Solución

Cuando la luz incide sobre el primer polarizador, la intensidad transmitida es la mitad de la luz incidente, es decir:

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0$$

La luz que llega al segundo polarizador está polarizada verticalmente y su intensidad se reduce, al pasar por éste, en:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

Como $\theta = 45^\circ$, entonces la intensidad de la luz al pasar por la segunda hoja será,

$$I_2 = \left(\frac{1}{2}I_0\right)\cos^2(45)$$

$$I_2 = 0.25I_0 = \frac{1}{4}I_0$$

- Resultado

La luz transmitida por la segunda hoja Polaroid tiene una intensidad de un cuarto de la original y está polarizada en un plano que forma un ángulo de 45° con respecto a la vertical.

Óptica cuántica

Aprendizaje

4. *Reconoce el carácter dual de la luz y las limitaciones de los modelos corpuscular y ondulatorio en los efectos: fotoeléctrico, luminiscencia y emisión estimulada.*

La **óptica cuántica** es una rama de la física cuántica que se ocupa de la aplicación de la mecánica cuántica a fenómenos que implican la luz y sus interacciones con la materia. Así mismo, estudia el comportamiento de los fotones para el uso en la transmisión de información.

Carácter cuántico de la luz

La radiación electromagnética, incluyendo la luz, tiene un carácter dual en su interacción con la materia. Algunas veces exhibe propiedades de onda, como se demostró al explicar la interferencia y la difracción. Otras veces cuando interactúa con los átomos y las moléculas, como en el efecto fotoeléctrico, se comporta como partículas, a las que se ha llamado fotones. En 1924, Louis de Broglie fue capaz de demostrar esta dualidad de la materia deduciendo una relación para la longitud de onda de una partícula.

Esta relación se advierte analizando dos expresiones para la energía del fotón. Del trabajo de Planck, la energía de un fotón se puede expresar como función de su longitud de onda:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.13)$$

Donde,

- E: Energía de un fotón
- h: Constante de Planck (6.63×10^{-34} Js)
- f: frecuencia de la radiación
- λ : longitud de onda
- c: rapidez de la luz en el vacío

De la relatividad de Einstein, la energía total de una partícula de masa en reposo m_0 y cantidad de movimiento $p=mv$ se tiene que:

$$E = \sqrt{(m_0c^2)^2 + p^2c^2} \quad (2.14)$$

Pero como la masa en reposo de un fotón es cero, la expresión anterior se convierte en,

$$E = pc \quad (2.15)$$

Igualando esta última expresión con la de Planck obtenemos,

$$\frac{hc}{\lambda} = pc \quad (2.16)$$

De donde se obtiene que la longitud de onda de un fotón está dada por,

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (2.17)$$

Donde,

- h: Constante de Planck ($6.63 \times 10^{-34} \text{Js}$)
- λ : longitud de onda
- p: cantidad de movimiento

De Broglie propuso que todos los objetos tienen longitudes de onda relacionados con su cantidad de movimiento, independientemente de si los objetos presentan características de onda o de partícula. Por ejemplo, la longitud de onda de un electrón o de cualquier partícula se obtiene mediante la ecuación de de Broglie que puede volverse a escribir como

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (2.18)$$

Donde,

- h: Constante de Planck ($6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$)
- λ : longitud de onda
- m: masa de la partícula
- v: rapidez de la partícula

Ejemplo (energía del fotón)

Demuestre que los fotones en un haz de luz infrarroja de 1240 nm tienen energías de 1 eV.

- Datos

$$\begin{aligned} \lambda &= 1240 \text{ nm} = 1240 \times 10^{-9} \text{ m} \\ h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \\ c &= 2.998 \times 10^8 \text{ m/s} \\ E &= ?? \text{ incógnita} \end{aligned}$$

- Ecuación

Como se pide demostrar la energía del fotón, se usa:

$$\begin{aligned} E &= hf = \frac{hc}{\lambda} \\ E &= \frac{hc}{\lambda} \end{aligned}$$

- Sustitución de valores y cálculos

$$E = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})(2.998 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(1240 \times 10^{-9} \text{ m})}$$

$$E = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- Resultado

$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ y la energía calculada para el fotón de luz infrarroja es $E = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$, por lo tanto, queda demostrado que los fotones en un haz de luz infrarroja de 1240 nm tienen energías de 1 eV.

Ejemplo (Longitud de onda de de Broglie)

¿Cuál es la longitud de onda de de Broglie de un electrón que tiene una energía cinética de 100 eV?

- Datos

$$E_c = 100 \text{ eV} = 160.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\lambda = ?? \text{ incógnita}$$

- Ecuación

Para este resolver este ejercicio se usa:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

- Análisis, sustitución de valores y calculos

Dado que se pide determinar la longitud de onda de de Broglie del electrón es necesario establecer, primero, su masa y su velocidad.

De la energía cinética del electrón se tiene,

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Despejando la velocidad se obtiene,

$$v = \sqrt{\frac{2(E_c)}{m}}$$

Es sabido que la masa del electrón es de $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$. Sustituyendo valores conocidos,

$$v = \sqrt{\frac{2(160.2 \times 10^{-19} \text{ J})}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}}}$$
$$v = 5933700 \text{ m/s}$$

Como la velocidad calculada es mucho menor que 10 % la velocidad de la luz, no es relativística y se justifica la aplicación de la relación newtoniana de la energía. Ahora es posible calcular la longitud de onda de de Broglie,

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})}{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(5933700 \frac{\text{m}}{\text{s}})}$$

$$\lambda = 1.23 \times 10^{-10} \text{ m}$$

- Resultado

Por lo tanto la longitud de onda de de Broglie del electrón con una energía cinética de 100 eV es $\lambda = 1.23 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.123 \text{ nm}$

Efecto Fotoeléctrico

Cuando la luz incide sobre una superficie metálica, bajo ciertas condiciones se desprenderán electrones.

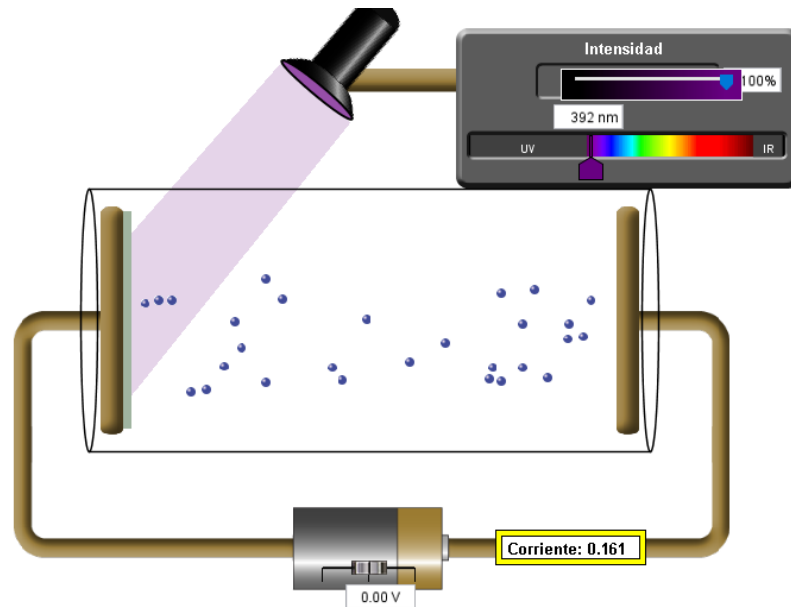


Figura 2.4.1. Efecto fotoeléctrico.

Einstein usó la ecuación de Planck, de la energía de un fotón, para explicar el efecto fotoeléctrico. Pensó que, si la luz es emitida en forma de fotones de energía hf , también debe propagarse como fotones. Cuando un fotón incide en una superficie metálica, tiene una energía igual a hf . Si toda esta energía se transfiere a solo un electrón, se esperaría que el electrón saliera despedido del metal con una energía hf . Sin embargo, es necesario emplear una cantidad de energía W para expulsar al electrón del metal. El término W se llama **función de trabajo**. Por tanto, el electrón proyectado sale con una energía cinética máxima definida por

$$E_c = \frac{1}{2}mv_{\text{máx}}^2 = hf - W \quad (2.19)$$

Esta es la ecuación fotoeléctrica de Einstein.

A medida que la frecuencia de la luz incidente varía, la energía máxima del electrón emitido cambia. La frecuencia más baja f_0 a la que el electrón es emitido se presenta cuando $E_c=0$, en este caso

$$f_0 = \frac{W}{h} \quad (2.20)$$

La cantidad f_0 se llama frecuencia umbral.

La energía del electrón emitido se puede calcular determinando la diferencia de potencial V_s que se necesita aplicar para detener el movimiento, entonces

$$V_s e = hf - W \quad (2.21)$$

Donde V_s es el potencial de frenado y e el cuanto de carga.

Ejemplo (efecto fotoeléctrico)

Se necesita luz de 650 nm de longitud de onda para expulsar electrones de una superficie metálica. ¿Cuál es la energía cinética de los electrones emitidos si la superficie es bombardeada con luz de longitud de onda de 450 nm?

- Datos

$$\lambda_0 = 650 \text{ nm} = 650 \times 10^{-9} \text{ m (longitud de onda umbral, asociada a } f_0)$$

$$\lambda = 450 \text{ nm} = 450 \times 10^{-9} \text{ m (longitud de la radiación)}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E_c = ?? \text{ incógnita}$$

- Ecuación

Para resolver el problema usaremos la ecuación fotoeléctrica de Einstein,

$$E_c = \frac{1}{2} m v_{\text{máx}}^2 = hf - W$$
$$E_c = hf - W$$

Luego, como $f_0 = \frac{W}{h}$, entonces $W = hf_0$, por lo que la ecuación anterior la podemos reescribir como,

$$E_c = hf - hf_0$$

Es sabido que $f = \frac{c}{\lambda}$, por lo que,

$$E_c = h \frac{c}{\lambda} - h \frac{c}{\lambda_0}$$
$$E_c = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

- Sustitución de valores y cálculos

$$E_c = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$
$$E_c = (6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}) (2.998 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \left(\frac{1}{450 \times 10^{-9} \text{ m}} - \frac{1}{650 \times 10^{-9} \text{ m}} \right)$$
$$E_c = 1.36 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- Resultado

Por lo tanto, la energía cinética de los electrones emitidos es $E_c = 1.36 \times 10^{-19} \text{ J}$

Luminiscencia

La luminiscencia es descrita como un proceso capaz de realizar una emisión de luz, sin necesidad de que esta sea a consecuencia de una fuente calórica, ya que la luz emitida puede ser relacionada con una fuente de luz fría.

La emisión de luz, se produce cuando los objetos son expuestos a un bombardeo constante de una radiación incidente, el objeto de acuerdo a sus propiedades, absorbe la radiación hasta el punto de no poder aceptar más energía y es cuando se produce la emisión de luz, ya que los electrones retornan a su estado fundamental.

De acuerdo a la manera en la cual el electrón es excitado, se producen distintos tipos de luminiscencia, los cuales se describen a continuación:

1. Quimioluminiscencia: se presenta como consecuencia de una reacción química.
2. Fotoluminiscencia: aparece como consecuencia de la absorción de fotones.
3. Bioluminiscencia: esta se presenta en los organismos vivos como es el caso de las luciérnagas.
4. Radioluminiscencia: es el resultado de las radiaciones ionizantes a una sustancia química.
5. Fluorescencia: aparece cuando los fotones emitidos poseen una energía de menor potencia en comparación a los que absorbieron.
6. Electroquimioluminiscencia: se origina como consecuencia de una reacción electroquímica.
7. Fosforescencia: es una especie de fluorescencia retardada, motivado a que ocurre posterior al momento en el cual es absorbida la radiación.
8. Electroluminiscencia: es el resultado de una corriente eléctrica, la cual es trasladada por alguna sustancia.
9. Triboluminiscencia: aparece cuando ocurre una fractura o se deforma un elemento mecánico en donde se involucre una reacción térmica.

Emisión Estimulada

Si un electrón se encuentra ya en un estado excitado, (en un nivel de energía superior, en contraste con su nivel más bajo posible o "estado fundamental"), entonces, un fotón incidente con energía cuántica igual a la diferencia de energía entre el nivel actual del electrón y un nivel inferior, puede "estimular" una transición a ese nivel más bajo, produciendo un segundo fotón con la misma energía que el incidente.

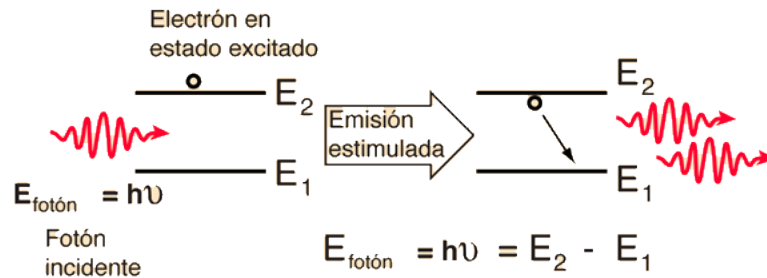


Figura 2.4.2. Emisión estimulada.

Cuando una población considerable de electrones se encuentra en niveles superiores, esta condición se conoce como "inversión de población", y prepara el escenario para la emisión estimulada de múltiples fotones. Esta es la condición previa para la amplificación de la luz que se produce en un láser, y dado que los fotones emitidos tienen un tiempo definido y una relación de fase entre sí, la luz tiene un alto grado de coherencia.

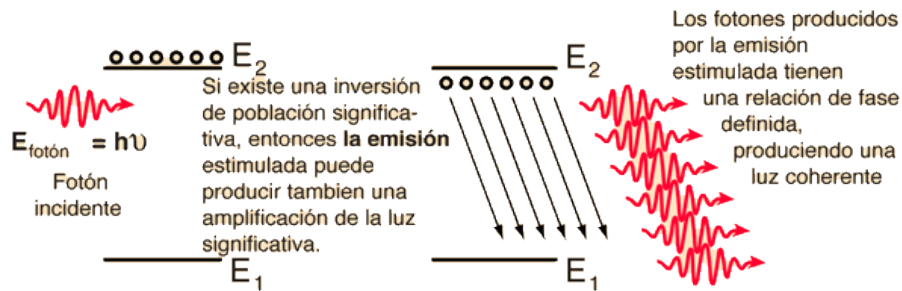


Figura 2.4.3. Inversión de población.

Al igual que la absorción y la emisión, la emisión estimulada requiere que la energía del fotón dado por la fórmula de Planck, sea igual a la separación de energías del par de estados cuánticos de energías participante.

Láser.

El proceso de emisión estimulada tiene varias consecuencias, la más notable de las cuales es la existencia del láser. En este dispositivo, la luz se amplifica por medio del proceso.

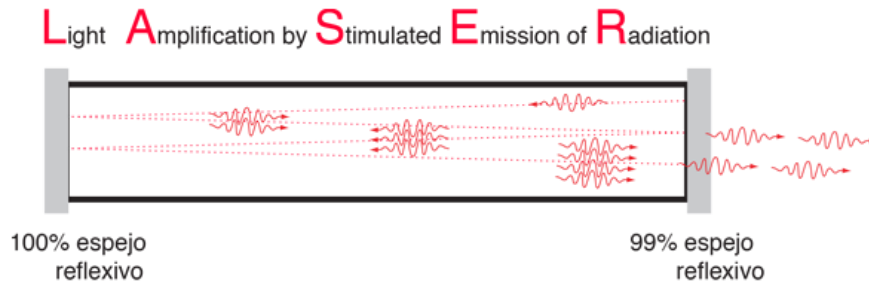


Figura 2.4.4. Láser.

Ejercicios de la unidad 2

1. La luz pasa del agua al aire con un ángulo de incidencia de 28° ¿Cuál será el ángulo de refracción?
 - (a) 21°
 - (b) 0.62°
 - (c) 39°
 - (d) 37°
2. La velocidad de un haz de luz que viaja en un medio con índice de refracción 2.2 es:
 - (a) $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
 - (b) $6.6 \times 10^8 \text{ m/s}$
 - (c) $1.37 \times 10^8 \text{ m/s}$
 - (d) $2.2 \times 10^8 \text{ m/s}$
3. Un rayo de luz amarilla incide en el agua a un ángulo de 33° sobre un medio desconocido. Si el rayo refractado forma un ángulo de 27° ¿Cuál es el índice de refracción del medio desconocido?
 - (a) 0.834
 - (b) 1.6
 - (c) 1.12
 - (d) 0.9
4. Un haz de luz se refracta a un ángulo de 15° al pasar de cuarzo a diamante ¿Cuál fue el ángulo de incidencia?
 - (a) 0.405°
 - (b) 9.6°
 - (c) 24°
 - (d) 20°
5. Enuncia las leyes de la reflexión.
6. Enuncia la ley de Snell.
7. Explica la diferencia entre una imagen virtual y una real.
8. ¿Un espejismo es ocasionado por la reflexión o por la refracción?
9. Un niño está de pie dentro de una piscina de profundidad uniforme y el nivel del agua cubre hasta la cintura ¿Por qué da la impresión de que el niño se encuentra en la parte más profunda de la piscina?
10. Investiga qué es un ángulo crítico.

11. ¿Por qué los goggles permiten que un nadador bajo el agua enfoque con más claridad lo que está mirando?
12. La rapidez de la luz en cierto medio transparente es $1.2 \times 10^8 \text{ m/s}$ ¿Cuál es el índice de refracción en dicho medio?
13. Calcula la rapidez de la luz amarilla en (a) alcohol etílico, (b) glicerina, (c) hielo.
14. Un rayo de luz incide a un ángulo de 30° y posteriormente, al pasar por agua se refracta a 27° ¿Cuál es el índice de refracción del primer medio?
15. Una lámpara de 3 cm de alto se coloca a 20 cm frente a un espejo cóncavo que tiene un radio de curvatura de 15 cm. Calcula la naturaleza, el tamaño y la ubicación de la imagen correspondiente.
16. Un espejo esférico cóncavo tiene una distancia focal de 20 cm ¿Cuáles son la naturaleza, el tamaño y la ubicación de la imagen que se forma cuando un objeto de 6cm de altura se coloca a 15 cm del espejo?
17. Un lápiz de 8 cm de largo se coloca a 10 cm de un espejo divergente que tiene 30 cm de radio. Determina la naturaleza, el tamaño y la ubicación de la imagen que se forma. Haz el diagrama de rayos.
18. Un espejo convexo corresponde a una superficie esférica cuya región reflectante corresponde a:
 - (a) La parte superior de la esfera
 - (b) la parte interna de la esfera
 - (c) la parte inferior de la esfera
 - (d) la parte externa de la esfera
19. Las imágenes formadas en un espejo plano son:
 - (a) Imágenes reales
 - (b) imágenes virtuales
 - (c) Imágenes especulares
 - (d) Imágenes regulares
20. Cuando los rayos de luz provienen de un objeto distante e inciden en un espejo convexo los rayos
 - (a) Generan un espejismo
 - (b) Divergen
 - (c) Generan una imagen más pequeña
 - (d) Convergen
21. Explica la diferencia entre un espejo convergente y un espejo divergente.

22. Realiza un dibujo trazando los rayos de las imágenes formadas en un espejo convergente cuando el objeto se sitúa (a) Más lejos que el centro de curvatura C, (b) en C, (c) entre C y la longitud focal, (d) en F, y (e) dentro de F.
23. Explica la diferencia entre una lente convergente y una lente divergente.
24. Investiga cuál es la forma de al menos 3 lentes convergentes.
25. Investiga cuáles son las características de al menos 3 lentes divergentes.
26. El radio de la superficie curva de una lente plano cóncava mide 20 cm ¿Cuál es la longitud focal si $n = 1.54$?
27. Un lápiz de 7cm se coloca a 35 cm de una lente convergente delgada cuya longitud focal es de 25 cm ¿Cuáles son la naturaleza, el tamaño y la ubicación de la imagen formada?
28. Un objeto de 8 cm de altura se encuentra a 30 cm de una lente convergente delgada cuya longitud focal es de 12 cm ¿Cuáles son la naturaleza, el tamaño y la ubicación de la imagen formada?
29. Una sola rendija de ancho igual a 0.10 mm se ilumina con una luz paralela con longitud de onda de 600 nm. En una pantalla que se encuentra a 40 cm de la rendija se observan bandas de difracción. ¿Qué tan lejos de la banda brillante central está la tercera banda
30. Calcule la energía de un fotón de luz azul de 450 nm de longitud de onda.
31. Para romper un enlace químico en las moléculas de piel humana y por lo tanto causar una quemadura de Sol, se requiere una energía de fotón de aproximadamente 3.5 eV. ¿A qué longitud de onda corresponde esta energía?
32. ¿Qué longitud de onda debe tener la radiación electromagnética para que un fotón en un haz tenga la misma cantidad de movimiento que un electrón que se mueve con una rapidez de 2.0×10^5 m/s?
33. ¿Qué diferencia de potencial se debe aplicar para detener al fotoelectrón más rápido emitido por una superficie de níquel bajo la acción de la luz ultravioleta de 200 nm de longitud de onda? La función de trabajo para el níquel es de 5.01 eV.
34. ¿Emitirá fotoelectrones una superficie de cobre, con una función de trabajo de 4.4 eV, cuando se ilumina con luz visible?

Autoevaluación unidad 2

1. A la luz procedente del rebote de un haz en superficie pulida se le llama
 - a) Reflexión oblicua
 - b) Reflexión difusa
 - c) Refracción especular
 - d) Reflexión especular
2. La refracción de la luz hace que el fondo de una alberca parezca
 - a) más profunda
 - b) más clara
 - c) menos profunda
 - d) más oscura
3. Al atravesar la luz un diamante y posteriormente viajar en agua, el ángulo refractado
 - a) Es mayor que el incidente
 - b) es menor que el incidente
 - c) son iguales
4. Si la rapidez de la luz al atravesar un medio se reduce a la quinta parte ¿Cuál será el índice de refracción de dicho medio?
5. Un haz de luz forma un ángulo de 55° con la normal al pasar de aire a agua ¿Cuál será el ángulo de refracción al entrar al agua?
6. La luz que incide procedente del aire a 40° se refracta en un medio transparente a 32° ¿Cuál es el índice de refracción de este material?
7. ¿A qué distancia de un espejo esférico cóncavo de 30 cm de radio habrá que colocar un objeto para que se forme una imagen invertida amplificada de 60 cm del espejo?
8. ¿Cuál es la amplificación de un objeto que está colocado a 10 cm de un espejo, cuya imagen no está invertida y parece estar a 40 cm detrás del espejo? ¿El espejo es divergente o convergente?
9. ¿Qué tipo de espejo se necesita para formar una imagen de una pantalla colocada a 2 m de distancia cuando un objeto se coloca a 12 cm frente al espejo? ¿Cuál es la amplificación?
10. Si se usa una lente biconvexa de vidrio para obtener una distancia focal de 30 cm ¿Cuál deberá ser la curvatura de cada una de las superficies convexas?
 - a) 15 cm
 - b) 10 cm
 - c) 30 cm
 - d) 18 cm
11. La superficie curva de una lente plano cóncava tiene un radio de -12 cm ¿Cuál es la longitud focal si la lente es de un material cuyo índice de refracción es 1.54?
 - a) 12 cm
 - b) - 22 cm
 - c) - 12 cm
 - d) 14 cm
12. Una lente menisco tiene una superficie convexa cuyo radio es de 20 cm y una superficie cóncava con un radio de -30 cm ¿Cuál es la longitud focal si el índice de refracción es de 1.54?
 - a) 15 cm
 - b) 111 cm
 - c) 50 cm
 - d) 60 cm

13. Un objeto está colocado a 20 cm de una lente convergente. Si la amplificación es -2 ¿Cuál es la distancia de la imagen?
14. Se coloca un lápiz a 20 cm de una lente divergente cuya longitud focal es -10 cm ¿Cuáles la amplificación obtenida?
15. Tenemos una lupa cuya longitud focal es 27 cm ¿Cuán cerca debe colocarse para producir una imagen no invertida tres veces más grande que el objeto?
16. Considera a la luz como una onda y explica algunos fenómenos que no se podrían explicar tomando la luz como un rayo.
- Óptica geométrica
 - Óptica física
 - Teoría corpuscular
 - Óptica cuántica
17. “Todo punto de un frente de onda inicial puede considerarse como una fuente de ondas esféricas secundarias que se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda que el frente de onda del que proceden.”
Corresponde al principio de:
- Huygens
 - Young
 - Planck
 - Pascal
18. Es la interferencia de las ondas de luz en una sola fuente y produce que las ondas se curven alrededor de un obstáculo.
- Interferencia
 - Polarización
 - Difracción
 - Reflexión
19. Se ha medido la longitud de onda de la luz asociándola a los diferentes colores, por otro lado, también se habla de la luz como formada por fotones entonces, en la actualidad, se considera a la luz como:
- Exclusivamente una onda.
 - Exclusivamente un rayo.
 - Exclusivamente una partícula.
 - Una onda y una partícula.
 - Una onda y un rayo.
20. Fenómeno que ocurre cuando al incidir luz sobre una superficie metálica, y bajo ciertas condiciones, se desprenden electrones.
- Polarización de la luz
 - Efecto fotoeléctrico
 - Efecto Compton
 - Difracción de la luz
21. Diferencia de potencial que se necesita aplicar para detener el movimiento de los fotoelectrones en el efecto fotoeléctrico:
- Frecuencia umbral
 - Longitud de onda umbral
 - Potencial de frenado
 - Frecuencia de la radiación
22. Tipo de luminiscencia que se presenta como consecuencia de la absorción de fotones.
- Bioluminiscencia
 - Fluorescencia
 - Fosforescencia
 - Fotoluminiscencia

23. Una superficie de cobre emite los primeros fotoelectrones cuando la longitud de onda de la radiación incidente es 282 nm. ¿Cuál es la frecuencia umbral para el cobre?
- a) $f_0=9.4 \times 10^{-16}$ Hz
 - b) $f_0=1.06 \times 10^{15}$ Hz
 - c) $f_0=9.4 \times 10^{-7}$ Hz
 - d) $f_0=1.06 \times 10^6$ Hz
24. ¿Cuál es la longitud de onda de de Broglie para un protón ($m=1.67 \times 10^{-27}$ kg) cuando se mueve con una rapidez de 2×10^7 m/s?
- a) $\lambda=1.99 \times 10^{-14}$ m
 - b) $\lambda=5.04 \times 10^{13}$ m
 - c) $\lambda=3.97 \times 10^{-7}$ m
 - d) $\lambda=3.32 \times 10^{-41}$ m
25. La longitud de onda de de Broglie de una partícula es 3×10^{-14} m. ¿Cuál es la cantidad de movimiento de la partícula?
- a) $p=4.52 \times 10^{19}$ kg m/s
 - b) $p=2.21 \times 10^{-19}$ kg m/s
 - c) $p=4.52 \times 10^{20}$ kg m/s
 - d) $p=2.21 \times 10^{-20}$ kg m/s

Soluciones de autoevaluación unidad 2

Pregunta	Respuesta	Pregunta	Respuesta
1	d)	16	b)
2	c)	17	a)
3	a)	18	c)
4	$n = 5$	19	d)
5	$\theta_{agua} = 38^\circ$	20	b)
6	$n = 1.21$	21	c)
7	<i>A una distancia de 20 cm</i>	22	d)
8	<i>A = 4, espejo divergente</i>	23	b)
9	<i>Espejo divergente, A = 100</i>	24	a)
10	c)	25	d)
11	b)		
12	b)		
13	<i>a 40 cm delante, imagen real</i>		
14	$A = 0.335$		
15	$\frac{2}{3}$ de la distancia focal.		

Apéndice

Múltiplos y submúltiplos.

Los Múltiplos o submúltiplos se utilizan para representar de manera simplificada cantidades muy grandes o muy pequeñas de una unidad de medida. Se les suele llamar prefijos, que son empleados principalmente en las unidades de las magnitudes físicas.

MÚLTIPLOS			SUBMÚLTIPLOS		
Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10	deca	da	10^{-24}	yocto	y

Figura A.1. Tabla de múltiplos y submúltiplos de unidades

Bibliografía

Básica.

- Bueche, F. y Eugene, Hecht. (2007). *Física general*. México: Ed. Mc Graw Hill.
- Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Azcapotzalco. *Guía para el examen extraordinario de Física IV*.
- Giancoli, Douglas C. (2006). *Física. Principios con aplicaciones*, 6ª edición. México: Ed. Pearson Educación.
- Gutiérrez, C. (2009). *Física general*, Capítulo 19. México: Mc Graw Hill.
- Haliday, D., Resnick, R. y Walker, J. (2011). *Fundamentos de física*, volumen 2, octava edición. México: Grupo Editorial Patria.
- Hecht, E. (2000). *Física 2. Álgebra y trigonometría*, capítulos 23 al 25, segunda edición. México: Thomson International Editores.
- Hewitt P. (2004). *Física conceptual*. (9ª ed). Pearson Educación.
- Jones, E. y Childers, R. (2001). *Física contemporánea*, capítulos 22, 23 y 24, tercera edición. México: Mc Graw Hill.
- Serway R. (2001) *Física*. Editorial Pearson Educación. Mexico
- Serway, R. y Faughn, J. (2007). *Fundamentos de física*, volumen 2, capítulos 14 al 17, sexta edición. México: Thomson.
- Tippens, Paul E. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones*, Capítulos 33 al 37, séptima edición. México: Mc Graw Hill.
- Wilson, J., Buffa, A. y Lou, B. (2007). *Física*, capítulos 22 al 25, sexta edición. México: Pearson Educación.
- Zitzewitz, P. W., Neff, R. y Davis, M. (2002), *Física. Principios y problemas*. México: Mc Graw Hill.

Complementaria.

- Alonso, M. y Rojo, O. (1981). *Física campos y ondas* México: Fondo Educativo Interamericano.
- Alonso, M y Finn, E. J. (1971). *Física*, vol. I. México: Fondo Educativo Interamericano
- Cromer, Alan. (1981). *Física para las ciencias de la vida*, 2ª edición, México: Editorial Reverte.
- Giancoli, D. (2009). *Física 2: principios con aplicaciones*, 6ª edición, México: Pearson Educación.
- Hecht, E. (2000). *Óptica*, tercera edición. México: Pearson Educación.
- Resnick, R. Halliday, D. y Krane, K. (2012). *Física*, vol. 2, Cuarta Edición. México: Editorial John Wiley & Son.
- Riveros, R. Héctor, *et al.* (1998). *Electricidad y magnetismo: preguntas y respuestas*. México: Trillas.

Considerar, también, la información de la plataforma del portal académico de la UNAM, en donde podrá encontrar otras guías de Física IV, en formato digital (.PDF), elaboradas por los distintos planteles del CCH mismas que se encuentran disponibles en:

<http://portalacademico.cch.unam.mx/fisica/>