

**José Alberto Alvarado Lemus
Pedro Oliver Cabanillas García
Pablo Valdes Castro**

LA ENERGÍA EN LOS PROCESOS DE LA VIDA DIARIA

Bachillerato universitario

José Alberto Alvarado Lemus

Pedro Oliver Cabanillas García

Pablo Valdés Castro

Primera edición, noviembre de 2025

Universidad Autónoma de Sinaloa

Dirección General de Escuelas Preparatorias

Ciudad Universitaria, Circuito Interior Ote. S/N, C.P. 80013

Teléfono: 667 712 1653, Culiacán, Sinaloa, México

D.R. © Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.

Luis González Obregón S/N, C.P. 80135, Nuevo Bachigualato,

Teléfono: 667 712 2950, Culiacán, Sinaloa, México

Diseño editorial: Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.

Diseño de portada: Carol Judith Zazueta Rivera

Revisión científica: Pablo Valdés Castro Doctor en Ciencias Pedagógicas. Especialidad Didáctica de la Física por la Universidad Pedagógica de Moscú, Rusia

Número de Registro: 03-2025-091810213200-01

ISBN: 978-607-9432-80-5

Prohibida la reproducción total o parcial de la obra por cualquier medio o método
o en cualquier forma electrónica, mecánica, incluso fotocopia, o sistema para recuperar
información, sin la autorización previa y por escrito de los titulares del copyright.

Todos los derechos reservados.

Impreso en México

Printed in Mexico

Contenido

A estudiantes y profesores	7
Cifras significativas	9
Cápsula 1	10
Fundamentos de mecánica: energía, fuerzas y trabajo	11
Cápsula 2	22
Leyes de Newton	23
Cápsula 3	38
Segunda ley de Newton en forma vectorial	39
Cápsula 4	52
Ley de la conservación del momento lineal	53
Cápsula 5	68
Comportamientos ondulatorio y corpuscular de la radiación electromagnética	69
Cápsula 6	82
Fuerzas a distancia: de gravitación y electrostática	83
Cápsula 7	94
Campos gravitatorio, eléctrico y magnético. Conservación de la energía	95
Cápsula 8	110
Energía eléctrica: de su generación a sus aplicaciones	111
Cápsula 9	128
La Tierra: estructura, energía interna y tectónica de placas	129
Referencias Bibliográficas	145
<i>Referencias de figuras e imágenes</i>	145
<i>Referencias de tablas</i>	152
Anexos	145
<i>Mi portafolio</i>	153
<i>Glosario</i>	154

A estudiantes y profesores

Este libro se diseñó para desarrollar el programa de estudio de la Unidad de Aprendizaje Curricular de "La energía en los procesos de la vida diaria", del Plan de Estudio del Bachillerato Escolarizado de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Nuestro objetivo es proporcionar una experiencia de aprendizaje activa y enriquecedora que permita a los estudiantes comprender conceptos teóricos y prácticos básicos relativos a la energía en los procesos de la vida diaria.

El libro está estructurado en 9 cápsulas, cada una centrada en un tema específico. Cada cápsula sigue el modelo de enseñanza 5E. En la fase "Engage" (Empezamos) se presentan preguntas que despiertan el interés y la curiosidad de los estudiantes sobre el tema. A continuación, en la fase "Explore" (Exploramos) los estudiantes participan en actividades prácticas, con materiales de fácil acceso o simulaciones virtuales que les permiten explorar los conceptos y desarrollar una comprensión inicial de ellos. Luego, en la fase "Explain" (Explicamos) se presentan los fundamentos teóricos del tema utilizando definiciones, ecuaciones y conceptos clave. En la fase "Elaborate" (Elaboramos) los estudiantes aplican los conceptos a través de la resolución de problemas. Finalmente, en la fase "Evaluate" (Evaluamos) se incluyen reactivos de opción múltiple, problemas cualitativos y cuantitativos para evaluar la comprensión de los estudiantes sobre los conceptos y su capacidad para aplicarlos, y se concluye con una reflexión.

Se espera que los estudiantes participen activamente en las actividades propuestas, trabajen con sus compañeros y contribuyan al desarrollo de un ambiente de aprendizaje colaborativo. Es importante que los estudiantes revisen el material teórico y las instrucciones de cada cápsula antes de realizar las actividades para maximizar el aprovechamiento del tiempo y la efectividad del aprendizaje.

Cada cápsula incluye objetivos específicos, actividades y preguntas de reflexión, facilitando la planificación y ejecución de las sesiones de aprendizaje. Los simuladores virtuales proporcionan una herramienta valiosa para complementar las actividades y ofrecer experiencias de aprendizaje interactivas. Se recomienda utilizar las preguntas de reflexión y los problemas propuestos para realizar una evaluación formativa que permita identificar áreas de mejora y reforzar el aprendizaje de los estudiantes.

Confiamos en que este libro sea una herramienta útil para estudiantes y profesores en el estudio de la energía en los procesos de la vida diaria, y que contribuya al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y comprensión de conceptos fundamentales de la física.

Colaboradores

Nombre	Unidad Académica / Facultad
Jesús Alfonso Félix Madrigal	Hermanos Flores Magón
Araceli Zarabia Salazar	Dr. Salvador Allende
Ana Esperanza Camacho López	Navolato
Rosa Imelda Moreno Flores	Ruiz Cortines
Verónica Elizabeth Espinoza Manzano	Rafael Buelna Tenorio
Maricarmen Rodríguez Quintero	La Cruz
Luis Mendoza Hernández	Dr. Salvador Allende
Xóchilt Guadalupe Torres Carrillo	Ciencias de la Tierra y el Espacio
Oscar Alan Valenzuela Sánchez	Dr. Salvador Allende
Maria de Lourdes Valenzuela Ponce	Central Díurna

Cifras significativas

El número de cifras que se reporta en los resultados de los problemas de cálculo no es arbitrario, está determinado por el número de ellas en los datos, ya que estos representan resultados de mediciones. Sus cifras expresan hasta dónde se suponen conocidas las cantidades dadas. Denominaremos significativas a las cifras que aportan información al reportar cierta cantidad. Ellas incluyen las cifras de las que se está seguro y la primera aproximada o dudosa.

A continuación, se presentan las principales reglas para el trabajo con cifras significativas.

1. Identificación de cifras significativas

- **Ceros a la izquierda:** Los ceros a la izquierda de un número no son significativos (ej.: en 0.0045, hay dos cifras significativas: el 4 y el 5).
- **Ceros a la derecha de un punto decimal:** Son significativos, ya que indican precisión (ej.: 2.30 tiene tres cifras significativas).
- **Casos especiales:** Algunos valores, como conversiones entre unidades, se asumen como exactos y no limitan la precisión de los cálculos (ej.: 1 metro = 100 cm).
- **Cifras significativas en notación científica:** La notación científica facilita expresar cifras significativas, especialmente en números muy grandes o pequeños. Por ejemplo, 5.67×10^2 tiene tres cifras significativas, mientras que 5.670×10^2 tiene cuatro.

2. Reglas en cálculos matemáticos

- **Suma y resta:** El resultado debe tener la misma cantidad de decimales que el valor con menor precisión. Ej.: $23.45 + 1.2 = 24.7$ (una cifra decimal).
- **Multiplicación y división:** El resultado debe tener el mismo número de cifras significativas que el factor con menos cifras significativas. Ej.: $3.45 \times 2.1 = 7.2$ (dos cifras significativas).
- **Potencias y raíces:** Como aproximación práctica, consideraremos que la cantidad de cifras significativas de un número se mantiene el mismo al calcular sus raíces y potencias.
- **Funciones trigonométricas:** Este caso es más complejo, ya que en general el número de cifras significativas en el ángulo no es igual a su número en la función trigonométrica. Sin embargo, para simplificar asumiremos que dichos números coinciden.

3. Cifras significativas en datos medidos y calculados

- En lecturas de escalas de instrumentos analógicos, como por ejemplo reglas y probetas, son significativas las cifras que indican las divisiones de la escala y el dígito estimado entre ellas, aunque este sea dudoso.
- Si se conoce la exactitud o resolución del instrumento, como por ejemplo en los pies de rey, las cifras significativas están determinadas por dicha exactitud. Así, en un pie de rey cuya exactitud es 0.1 mm, son significativas todas aquellas hasta la décima de milímetro.
- En los instrumentos digitales son significativas todas las que muestra el instrumento.
- En mediciones rigurosas hay que tener en cuenta también otros factores, como la calibración del instrumento, el ajuste del cero, el rango o parte de la escala en que se efectúa la lectura.

6. Redondeo según cifras significativas

- **Si el dígito a eliminar es 5 o mayor:** Se incrementa en uno la última cifra que se conserva. (ej.: $3.456 \rightarrow 3.46$ a tres cifras significativas).
- **Si el dígito a eliminar es menor que 5:** Se mantiene igual la última cifra que se conserva sin cambios. (ej.: $3.444 \rightarrow 3.44$).

Cápsula

1

Progresión de aprendizaje 1: Analizar la relación entre energía y fuerzas en sistemas mecánicos para comprender cómo las interacciones entre objetos causan transferencias de energía en contextos cotidianos y aplicaciones tecnológicas.

Metas de aprendizaje:

CC. Comprender que los campos de fuerza almacenan energía y pueden transmitirla entre objetos a través del espacio, aplicando este conocimiento a situaciones de la vida diaria.

CT1. Identificar patrones en las transformaciones de energía cinética y potencial durante el movimiento de objetos bajo la acción de fuerzas conservativas y no conservativas.

CT2. Establecer relaciones de causa y efecto entre la aplicación de fuerzas y los cambios de energía resultantes, utilizando el teorema del trabajo y la energía cinética.

CT3. Cuantificar el trabajo realizado por fuerzas mediante mediciones de magnitud, dirección, desplazamiento y ángulo de aplicación en sistemas traslacionales y rotacionales.

CT4. Modelar sistemas físicos utilizando ecuaciones de trabajo, energía cinética traslacional y rotacional, y torque para predecir comportamientos mecánicos.

CT5. Analizar los flujos y transformaciones de energía en sistemas mecánicos, identificando las vías de transferencia mediante trabajo, calentamiento y radiación.

CT6. Relacionar la estructura geométrica de sistemas rotacionales con su función energética, explicando cómo la distancia al eje de rotación afecta el torque y el trabajo rotacional.

CT7. Evaluar cómo las fuerzas modifican la estabilidad de sistemas físicos mediante cambios en las formas de energía y las configuraciones espaciales de los objetos.

Concepto central

CC. La energía en los procesos de la vida diaria

Conceptos transversales

CT1. Patrones

CT2. Causa y efecto

CT3. Medición

CT4. Sistemas

CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía

CT6. Estructura y función

CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 1. Fundamentos de mecánica: energía, fuerza y trabajo

En esta cápsula descubrirán por qué cargar una mochila pesada al subir escaleras los cansa más que caminar en terreno plano o por qué una puerta se abre más fácilmente cuando la empujan desde el borde que cerca de las bisagras. A través del estudio del trabajo, la energía cinética, potencial gravitatoria y el torque, analizarán como la fuerza transforma y transfiere energía. Comprenderán por qué un objeto lanzado verticalmente hacia arriba recupera su velocidad al regresar y cómo los campos de fuerza almacenan energía que puede ser convertida en otras formas.

1.1. Engage (Empezamos)

En esta fase inicial, activaremos sus conocimientos previos y despertaremos su curiosidad. Reflexionaremos sobre situaciones cotidianas donde intervienen fuerza y energía.

A continuación, se presenta una serie de preguntas que podríamos hacernos sobre el tema:

1. ¿Cómo explicarían la diferencia entre empujar un carrito de supermercado vacío y uno lleno de productos?
2. Si cargan una mochila llena de libros desde la entrada de la escuela hasta su salón, ¿están realizando trabajo? ¿Qué cambia si caminan en línea recta o si suben escaleras?
3. ¿Por qué piensan que es más difícil detener un camión en movimiento que una bicicleta que va a la misma velocidad?
4. Si empujan un carro descompuesto en una calle plana, pero no se mueve, ¿realizan trabajo desde el punto de vista de la física?
5. ¿De qué forma creen que el peso de un objeto afecta la energía necesaria para levantarla?

1.2. Explore (Exploramos)

En esta fase, pondremos manos a la obra para investigar la relación entre fuerzas y energía. A través de actividades prácticas y simulaciones, descubrirán por ustedes mismos cómo estos conceptos se manifiestan en el mundo real.

Actividad práctica 1. Trabajo y energía.

Objetivo:

Profundizar en el análisis de diversos ejemplos cotidianos de transmisión y transformación de energía mediante trabajo.

Introducción:

Como ya vieron en el semestre anterior, en física se denomina trabajo al proceso de transmisión o transformación de energía mediante la aplicación de fuerzas. En esta actividad profundizaremos en el análisis de situaciones cotidianas en las que se transmite y transforma energía mediante realización de trabajo. En unas, la realización de trabajo será evidente, pero en otras no tanto.

Materiales:

Carrito de juguete, moneda, pelota de goma.

Procedimiento:

Coloquen el carrito sobre una mesa y empujenlo, primero con cierta fuerza y luego con una mayor. Anoten cómo dependen el trabajo realizado y la energía cinética que adquiere el carrito de la magnitud

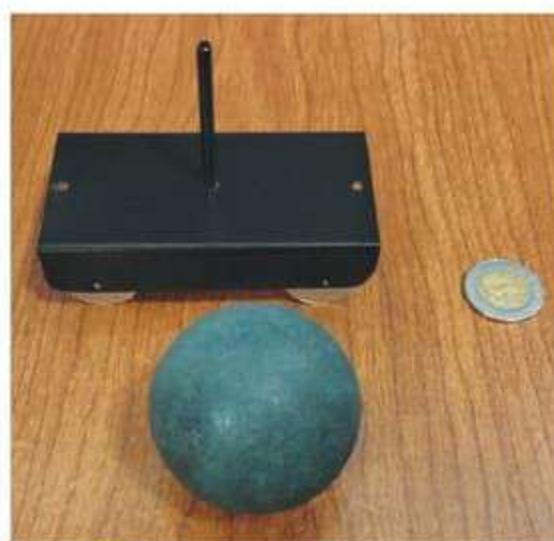


Fig. 1-P1. Materiales para explorar la relación entre trabajo y energía.

de la fuerza. Repitan la experiencia, pero esta vez empujen el carrito durante un desplazamiento corto y después durante uno mayor. Anoten cómo el trabajo y la energía transmitida dependen del desplazamiento. ¿De dónde proviene dicha energía?

Sitúen la moneda sobre la mesa y denle un impulso con el dedo índice. Identifiquen las fuerzas que realizan trabajo desde que se impulsa hasta que se detiene y describan las transformaciones de energía que tienen lugar.

Lancen la pelota verticalmente hacia arriba y vuelvan a atraparla. Identifiquen las fuerzas que realizan trabajo desde su lanzamiento hasta que la agarran nuevamente. Describan las transformaciones de energía que tuvieron lugar. ¿Qué relación hay entre el trabajo realizado durante el ascenso y el descenso?

Evaluación

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿De qué factores depende el trabajo realizado por una fuerza?
2. En las experiencias realizadas, ¿qué fuerzas realizan trabajo y qué formas de energía están involucradas?
3. Mencionen ejemplos donde se visualizan la relación entre el trabajo y la energía en la vida cotidiana.

Actividad práctica 2. Análisis del trabajo y la energía potencial gravitatoria

Objetivo:

Explorar la relación entre el trabajo realizado y la energía potencial gravitatoria en un sistema físico.

Introducción:

El trabajo realizado para elevar un objeto en un campo gravitatorio depende de la masa del objeto, la altura alcanzada y la aceleración gravitatoria. La energía suministrada al sistema es relevante para determinar cuánto trabajo puede realizar la máquina y, por lo tanto, qué altura se puede alcanzar con determinado combustible. En esta actividad utilizaremos un simulador que nos permitirá ajustar la cantidad de porciones de combustible suministrado, la masa del objeto y la aceleración gravitatoria para analizar cómo influyen estas variables en el trabajo realizado y la energía potencial gravitatoria.

Enlace Web:

<https://thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/WorkToPEgLab/>



Fig. 2-P1. Docente explica el trabajo y la energía potencial gravitatoria a través de un simulador.

Procedimiento:

Accedan al simulador utilizando el enlace proporcionado. En la interfaz, verán una máquina que eleva un objeto verticalmente. Pueden modificar la masa del objeto, la aceleración gravitatoria y la cantidad de bloques de combustible.

Haciendo clic en "Mass" y en "g Field" seleccionen una masa de entre 100 y 200 kg, y una aceleración gravitatoria de 9.8 m/s^2 . Antes de iniciar la máquina, seleccionen 3 bloques de combustible. Activen la máquina y observen hasta qué altura puede elevar el objeto. Detengan la elevación en el punto más alto alcanzado y registren la altura, así como la energía utilizada, que representa el trabajo realizado sobre el objeto.

Seleccione la masa mayor que les proporciona el simulador y repitan el experimento con diferentes cantidades de energía suministrada, ajustando a 1, 2, 4, 5 y 6 bloques de combustible para la misma masa y aceleración gravitatoria. En cada caso, observen la altura alcanzada y anoten los resultados.

Una vez completadas las mediciones con la aceleración de la Tierra, ajusten la aceleración gravitatoria a 5.7 m/s^2 (corresponde a Europa, una de las lunas de Júpiter) y repitan los experimentos para la masa anterior y cantidad de bloque de combustible. Luego realicen el mismo experimento con las aceleraciones de 8.9 m/s^2 .

Evaluación

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Cómo afecta la cantidad de energía suministrada a la altura que alcanza el objeto?
2. ¿Qué efecto tiene la masa del objeto en la altura alcanzada para una misma cantidad de energía suministrada?
3. ¿Cómo influye la aceleración gravitatoria en el trabajo realizado y la cantidad de energía suministrada?

1.3. Explain (Explicación)

En esta fase, profundizaremos en los conceptos clave de energía, fuerzas y trabajo. Exploraremos cómo estos conceptos se interrelacionan en los sistemas físicos.

1.3.1. Conceptos de energía, fuerza y trabajo

Ya te familiarizaste con los conceptos de energía, fuerza y trabajo en el tercer semestre. A continuación los resumimos brevemente.

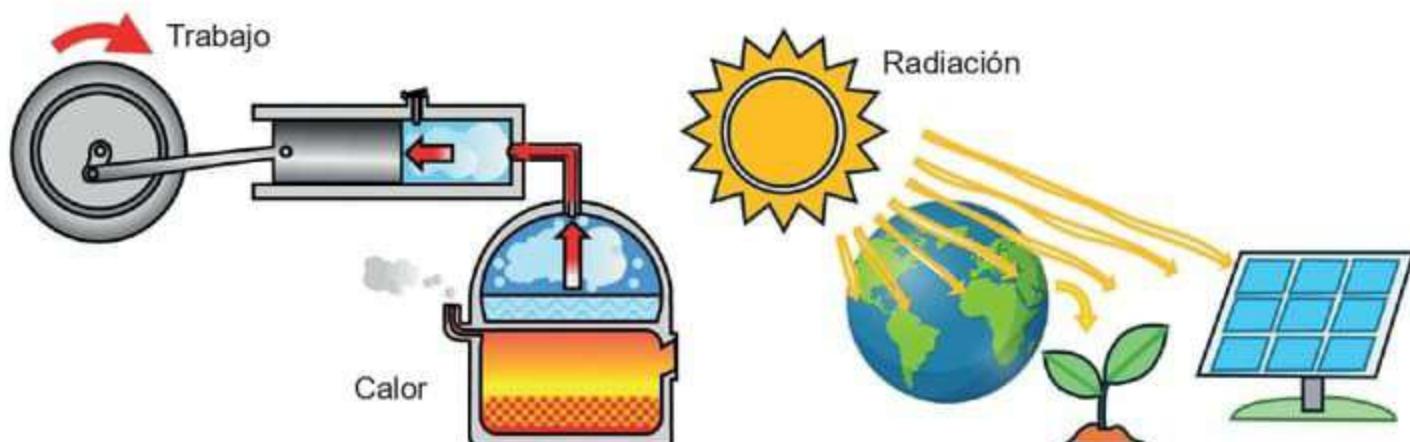


Fig. 3-P1. Vías por las cuales la energía se transmite y transforma: trabajo, calor y radiación.

De modo simplificado puede decirse que energía es una magnitud que caracteriza los cambios que ocurren o tienen posibilidad de ocurrir. Se manifiesta de diversas formas: cinética, potencial, térmica, eléctrica, entre otras. Una de las vías mediante las cuales se transmite y transforma la energía es el trabajo, otras vías son el calor o calentamiento y la radiación.

Fuerza es una acción sobre un objeto, la cual puede cambiar su velocidad, dirección de movimiento o forma. Se realiza trabajo cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo y desplaza su punto de aplicación. Un ejemplo muy simple de realización de trabajo es el desplazamiento de un cuerpo en línea recta bajo la acción de una fuerza constante. Si la fuerza y el desplazamiento del cuerpo tienen la misma dirección, el trabajo es simplemente el producto de la fuerza por el desplazamiento, o sea $F\Delta x$.

Cuando la fuerza y el desplazamiento tienen el mismo sentido, el trabajo es positivo y si tienen sentidos opuestos, negativo.

Un caso un poco más general es cuando la dirección de la fuerza forma cierto ángulo con la dirección del desplazamiento. En ese caso el trabajo es igual al producto del desplazamiento del cuerpo por la componente de la fuerza en la dirección de dicho desplazamiento, es decir, $W = F\Delta x \cos\theta$.

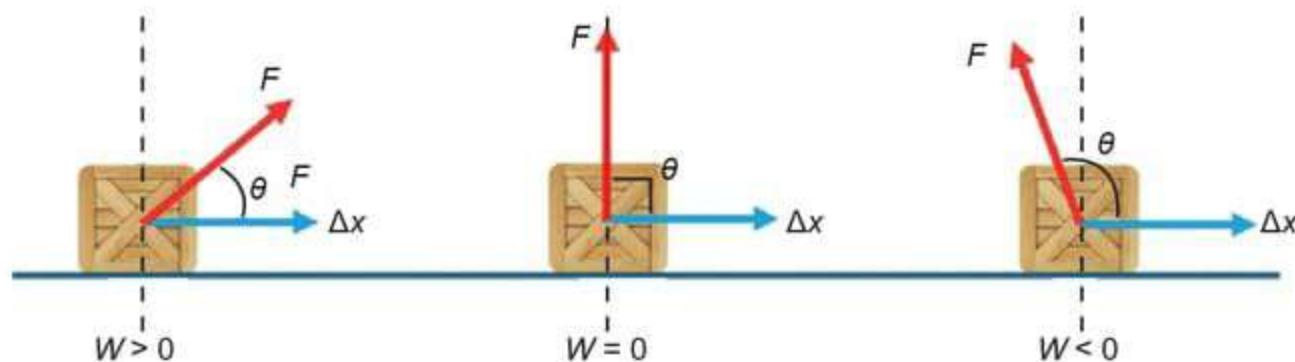


Fig. 4-P1. El trabajo depende de las magnitudes de la fuerza y el desplazamiento, así como de sus direcciones.

1.3.2. Campos de fuerza, transmisión de energía y trabajo

Los campos de fuerza son regiones del espacio donde se manifiesta una fuerza sobre objetos. Ejemplos comunes son los campos gravitatorios, eléctricos y magnéticos. Estos campos pueden almacenar energía y transmitirla de un objeto a otro a través del espacio sin necesidad de contacto directo.

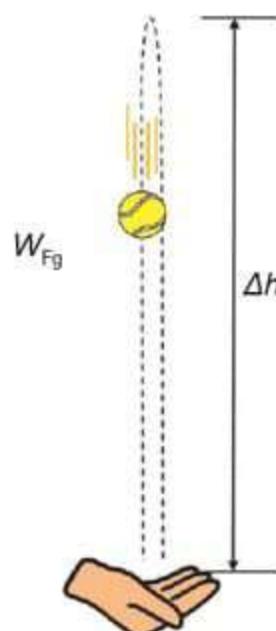


Fig. 5.P1. En un lanzamiento vertical, el trabajo de la fuerza de gravedad es negativo durante el ascenso y positivo en el descenso.

Consideremos un objeto que se lanza verticalmente hacia arriba y que la resistencia del aire es despreciable. Mientras el objeto asciende, su energía cinética va disminuyendo hasta hacerse cero en su posición de máxima elevación. Sin embargo, a medida que cae, va recuperando esa energía cinética de tal modo que cuando llega al punto de partida posee la misma que tenía al ser lanzado. El hecho de que recupere su energía cinética sugiere que, al llegar a la máxima elevación, queda almacenada en forma potencial en el campo gravitatorio. La energía cinética se transforma en energía potencial gravitatoria y viceversa mediante el trabajo realizado por la fuerza de gravedad. Dicho trabajo es:

$$W_{F_g} = F_g \Delta h$$

Donde W_{F_g} es el trabajo de la fuerza de la gravedad, F_g es la fuerza de gravedad y Δh es el desplazamiento vertical del cuerpo. Durante el ascenso del cuerpo el trabajo es negativo, ya que la fuerza y el desplazamiento tienen sentidos opuestos, mientras que durante el descenso es positivo, porque la fuerza y el desplazamiento tienen el mismo sentido.

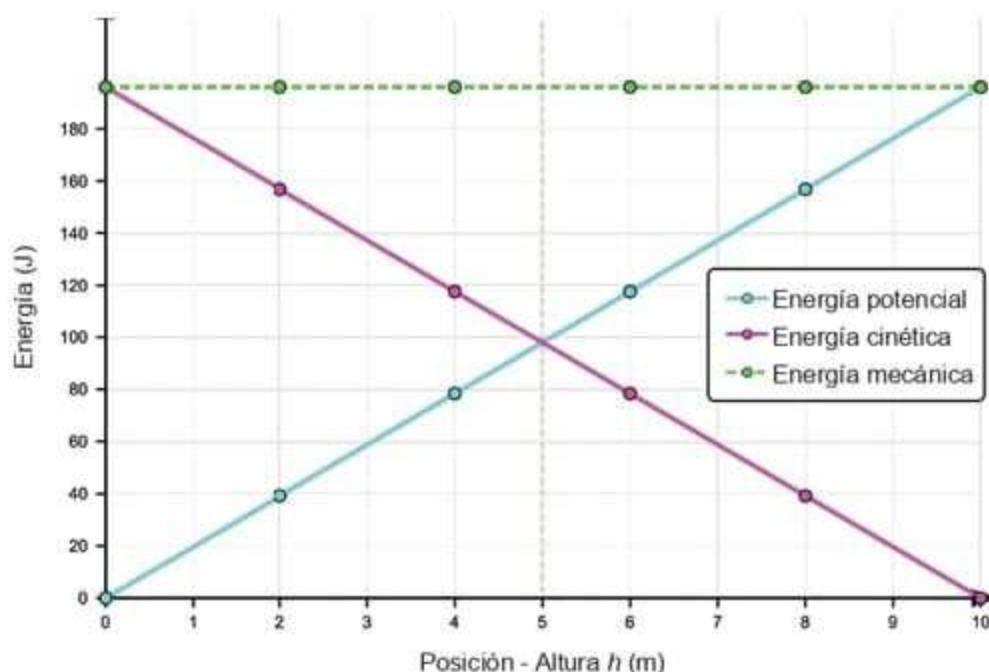


Fig. 6.P1. Gráfica de las transformaciones de energía para un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba sin resistencia del aire.

1.3.3. Teorema del trabajo y la energía cinética

Si se aplica una fuerza constante a un carrito, este aumenta su velocidad en mayor o menor medida en dependencia de las magnitudes de la fuerza y su desplazamiento: cuanto mayores sean estas, mayor será la velocidad que adquiere y, por tanto, su energía cinética.

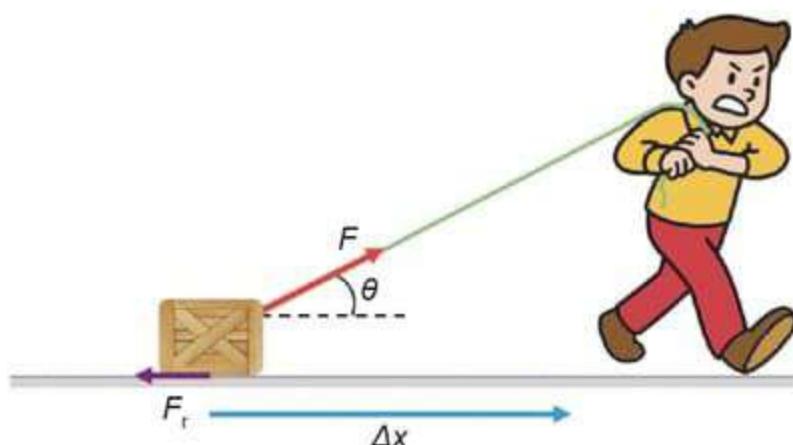


Fig. 7-P1. El trabajo de la fuerza resultante es igual a la variación de la energía cinética de la caja.

Sin embargo, por experiencia sabemos que también es posible empujar o tirar de un cuerpo a lo largo de cierto desplazamiento sin que su energía cinética varíe. Esto ocurre cuando la fuerza que aplicamos es compensada por otra, como por ejemplo la fuerza de fricción. En ese caso la fuerza neta o resultante sobre el cuerpo es cero. La relación entre el trabajo realizado por la fuerza neta sobre un cuerpo y la variación de su energía cinética puede obtenerse teóricamente y, por eso, dicha relación se conoce como teorema del trabajo y la energía cinética. Su enunciado es el siguiente:

El trabajo neto realizado por las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es igual a la variación de su energía cinética:

$$W_{\text{FR}} = \Delta E_c$$

Donde W_{FR} es el trabajo realizado por la fuerza neta o resultante y ΔE_c es la variación de la energía cinética del cuerpo.

1.3.4. Trabajo y energía cinética en la rotación de un cuerpo

Una fuerza puede realizar trabajo no solo durante la traslación de un cuerpo, sino también durante su rotación. Consideremos la situación muy común en que el eje alrededor del cual se produce la rotación está fijo, como ocurre con una puerta, una polea o un motor. En general, el trabajo realizado durante la rotación depende no solo de la magnitud de la fuerza y el ángulo de giro, sino también de la dirección de la fuerza y de la distancia de su punto de aplicación al eje de rotación. Así, sabes por experiencia que una puerta se abre más fácilmente cuando la empujas desde el borde y no cuando lo haces cerca de sus bisagras. Además, si empujas con una fuerza paralela a su eje no gira, mientras que si aplicas la fuerza perpendicularmente, el efecto en su rotación es máximo. Nos limitaremos a analizar una situación particular.

Imaginemos una regla que solo puede rotar alrededor de un eje perpendicular al plano de la figura y que pasa por O (Fig. 8-P1). Sobre la regla se aplica una fuerza F constante cuyo punto de aplicación dista r del eje de rotación. El efecto de la fuerza sobre la rotación de la regla depende de la magnitud y dirección de la fuerza y de la distancia de su punto de aplicación al eje de rotación. En el caso particular representado en la figura, depende del producto rF . Este producto se denomina torque o momento de la fuerza F , y comúnmente se

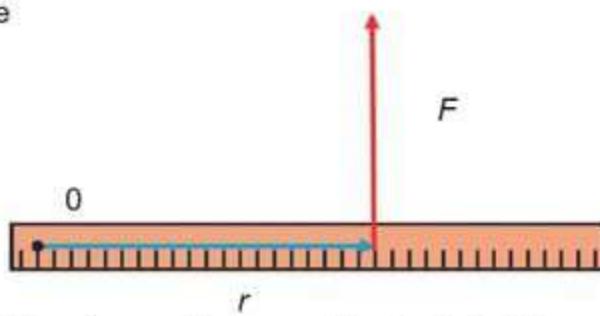


Fig. 8-P1. En este caso el torque es el producto de la fuerza aplicada por la distancia entre el punto de aplicación y el eje de rotación.

$$\tau = rF$$

El trabajo realizado por un torque constante se expresa como:

$$W_{\text{rot}} = \tau \Delta\theta$$

donde W_{rot} es el trabajo rotacional, τ es el torque aplicado y $\Delta\theta$ es el desplazamiento angular en radianes.

Análogamente que en el movimiento de traslación, el trabajo realizado por los torques conduce a variaciones de energía del movimiento, solo que en este caso es energía cinética de rotación. El teorema del trabajo y la energía cinética para la rotación se enuncia como:

El trabajo neto realizado por los torques o momentos de fuerza que actúan sobre un cuerpo es igual a la variación de su energía cinética rotacional.

1.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase, pondremos a prueba nuestra comprensión de los conceptos de energía, fuerza y trabajo mediante la resolución de problemas prácticos.

Ejercicio 1. Una turbina de viento tiene aspas de 45.0 m de longitud. Si el viento ejerce una fuerza efectiva constante tangencial de 2.00×10^3 N, ¿cuánto trabajo realiza sobre las aspas en una rotación completa?



Solución

1. Análisis del proceso:

Este problema se basa en el cálculo del trabajo realizado por una fuerza efectiva aplicada a las aspas de una turbina en rotación. Cuando una fuerza se aplica perpendicularmente a una distancia fija desde el eje de rotación, esta genera un torque constante. A medida que las aspas completan una rotación, el trabajo realizado por el viento es el producto del torque y el ángulo de rotación.

2. Identificación de los datos del problema:

$$r = 45.0 \text{ m} \text{ y } F = 2.0 \times 10^3 \text{ N perpendicular a } r.$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo del torque

$$\tau = Fr$$

$$\tau = (2.0 \times 10^3 \text{ N})(45.0 \text{ m}) = 9.0 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

b) Cálculo del trabajo realizado en una rotación completa

$$W = \tau \Delta \theta$$

$$W_{\text{rot}} = \tau(2\pi \text{ rad})$$

$$W_{\text{rot}} = (9.0 \times 10^4 \text{ Nm})2\pi = 5.7 \times 10^5 \text{ J}$$

4. Conclusión:

El trabajo realizado por el viento sobre las aspas de la turbina en una rotación completa es aproximadamente 5.7×10^5 J.

Ejercicio 2. Un escalador de 70 kg asciende una pared vertical de 30 metros. Si tarda 10 minutos en la ascensión y mantiene una velocidad constante, calcule a) el trabajo realizado contra la gravedad y b) la potencia promedio debida al trabajo realizado contra la fuerza de gravedad.



Solución

1. Análisis del proceso:

Este problema analiza el trabajo realizado por un escalador que asciende por una pared vertical a velocidad constante. Dado que el escalador se mueve a velocidad constante, la fuerza ejercida por él es igual a su peso. El trabajo realizado por la fuerza de gravedad es igual al producto de esta fuerza por la distancia vertical recorrida. La potencia promedio es la razón entre el trabajo total y el tiempo empleado en la ascensión.

2. Identificación de los datos del problema:

$$m = 70.0 \text{ kg}, h = 30.0 \text{ m} \text{ y } t = 10 \text{ min.}$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo del trabajo realizado contra la gravedad

$$W = F\Delta y = mgh$$

$$W = (70.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(30.0 \text{ m}) = 2.1 \times 10^4 \text{ J}$$

b) Cálculo de la potencia promedio desarrollada

$$P = \frac{W}{t} = \frac{2.1 \times 10^4 \text{ J}}{600 \text{ s}} = 35 \text{ W}$$

4. Conclusión:

El trabajo realizado por la fuerza de gravedad es aproximadamente $2.1 \times 10^4 \text{ J}$ y la potencia promedio desarrollada durante la ascensión es de 35 W.

1.5. Evaluate (Evaluación)

A través de diversos ejercicios y preguntas de reflexión, pondremos a prueba nuestra comprensión de estos conceptos fundamentales. Es momento de consolidar nuestro conocimiento y aplicarlo a situaciones variadas.

1.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. ¿Qué ocurre cuando una fuerza actúa sobre un objeto en movimiento?
 - A) La velocidad del objeto siempre aumenta
 - B) La forma del objeto cambia
 - C) El objeto puede cambiar su velocidad, dirección o forma
 - D) El objeto deja de moverse
2. ¿Qué sucede con la energía potencial de un objeto en caída libre en un campo gravitatorio?
 - A) Aumenta conforme cae
 - B) Se mantiene constante
 - C) Se convierte en energía cinética
 - D) Se disipa en el ambiente
3. En un péndulo simple, ¿qué sucede con la energía durante el movimiento?
 - A) La energía se convierte en calor
 - B) La energía permanece constante
 - C) La energía oscila entre cinética y potencial
 - D) La energía se pierde por fricción
4. ¿Qué describe el torque en un objeto cuando una fuerza se aplica fuera del eje de rotación?
 - A) La fuerza aplicada al objeto
 - B) La tendencia de rotación del objeto
 - C) El desplazamiento en la dirección de la fuerza
 - D) La velocidad angular del objeto
5. ¿Qué implica el cambio de energía en un sistema con fuerzas no conservativas como la fricción?
 - A) La energía cinética se conserva
 - B) La energía potencial aumenta
 - C) Parte de la energía se disipa en forma de calor
 - D) La energía permanece igual

1.5.2. Problemas cualitativos

1. Un campesino carga un costal de café hasta la cima de un cerro. Explica cuáles son las variables que influyen en el trabajo mecánico realizado.
2. Al sacar agua de un pozo tradicional con una cubeta, ¿por qué el trabajo realizado es el mismo si la cubeta se sube en línea recta o siguiendo una trayectoria curva?
3. Un atleta hace girar una piedra atada a una cuerda en una trayectoria circular horizontal. Explica si se realiza trabajo mecánico sobre la piedra.
4. Un objeto en caída libre acelera hacia el suelo. Explica por qué la fuerza gravitatoria realiza trabajo sobre el objeto durante la caída.
5. En una central hidroeléctrica, el agua almacenada en una presa cae verticalmente para mover las turbinas. Explica cuáles son las variables físicas que determinan el trabajo mecánico realizado por el agua durante su caída.

1.5.3. Problemas cuantitativos

1. Un objeto de 15 kg es empujado horizontalmente con una fuerza constante de 40 N a lo largo de 8.0 m, actuando la fuerza en la misma dirección del movimiento. Calculen a) el trabajo realizado por la fuerza y b) si se considera que debido a la fricción se disipa el 20% de la energía, ¿cuál es la energía cinética adquirida por el cuerpo?

Respuesta: 3.2×10^2 J, 2.6×10^2 J

2. Un esquiador de 70.0 kg se desliza por una pendiente que forma un ángulo de 30° con la horizontal. Parte del reposo desde una altura de 100 m y, al llegar a la base de la pendiente, el trabajo neto debido a todas las fuerzas que actúan sobre él es de 5.6×10^4 J. Determinen a) el trabajo realizado por la gravedad durante el descenso, b) el trabajo realizado por la fuerza de fricción y c) el porcentaje de energía que se disipa debido a la fricción.

Respuesta: 6.9×10^4 J, -1.3×10^4 J, 18.4%

3. Un resorte tiene una constante elástica de 200 N/m. Se comprime 0.15 m desde su posición de equilibrio y se usa para lanzar una pelota de 0.10 kg. Calculen a) la energía potencial elástica almacenada en el resorte, b) si toda esta energía se transfiere a la pelota, ¿con qué velocidad saldrá disparada? y c) ¿qué altura máxima alcanzará la pelota si se lanza verticalmente hacia arriba?

Respuesta: 2.3 J, 6.7 m/s, 2.3 m

4. Un coche de 1.2×10^3 kg viaja a 90 km/h cuando el conductor ve un obstáculo y frena hasta detenerse. Calculen a) la energía cinética inicial del coche y b) si la distancia de frenado es de 40 m, ¿cuál es la fuerza de frenado promedio?

Respuesta: 3.8×10^5 J, 9.4×10^3 N

5. Una bola de demolición de 5.0×10^2 kg se eleva a una altura de 15 m y se deja caer sobre un edificio. Calculen a) la energía potencial de la bola en su punto más alto, b) ¿con qué velocidad impactará la bola en el edificio? y c) si la bola penetra 0.10 m en el concreto antes de detenerse, ¿cuál es la fuerza promedio que ejerce el concreto sobre la bola?

Respuesta: 7.4×10^4 J, 17 m/s, 7.4×10^5 N

1.5.4. Autoevaluación y reflexión

Al concluir nuestra exploración sobre energía, fuerzas y trabajo, es momento de reflexionar sobre nuestro aprendizaje. Estas preguntas nos ayudarán a consolidar los conocimientos y a identificar áreas para seguir profundizando.

1. ¿Qué aspecto de la relación entre energía y fuerzas te resultó más sorprendente o contraintuitivo?
2. ¿De qué manera los conceptos de energía, fuerza y trabajo que hemos estudiado se conectan con otros temas de física o de otras ciencias que hayas visto anteriormente?
3. Considerando tu futura carrera o tus intereses personales, ¿cómo crees que un conocimiento profundo de estos conceptos podría ser útil?

Cápsula

2

Progresión de aprendizaje 2: Analizar la relación entre fuerza y cambios en el movimiento mediante el estudio de las leyes de Newton, la descripción matemática de la aceleración y la aplicación de modelos predictivos en sistemas físicos cotidianos y tecnológicos.

Metas de aprendizaje:

CC. Interpretar las tres leyes de Newton como principios fundamentales que explican la relación entre fuerzas, masa y aceleración en el comportamiento de objetos en reposo y movimiento.

CT1. Identificar patrones regulares en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado para predecir la posición y velocidad futura de objetos mediante modelos matemáticos específicos.

CT2. Establecer relaciones causales entre la aplicación de fuerzas netas sobre un objeto y los cambios resultantes en su estado de movimiento, incluyendo situaciones de colisión y interacción mutua.

CT3. Aplicar técnicas de medición para determinar la magnitud, dirección y sentido de las fuerzas, así como calcular la aceleración resultante en sistemas físicos.

CT4. Utilizar modelos matemáticos del movimiento uniformemente acelerado y las leyes de Newton para describir, analizar y predecir el comportamiento de sistemas de partículas.

CT5. Analizar la transferencia de energía que ocurre durante las interacciones entre objetos, especialmente en procesos de colisión y aplicación de fuerzas de acción-reacción.

CT6. Examinar cómo la estructura interna de los materiales determina su respuesta a las fuerzas aplicadas, diferenciando entre deformación elástica y plástica según la ley de Hooke.

CT7. Evaluar las condiciones de equilibrio y estabilidad de objetos sometidos a fuerzas, considerando factores como la distribución de masa y el área de apoyo.

Concepto central

CC. La energía en los procesos de la vida diaria

Conceptos transversales

CT1. Patrones

CT2. Causa y efecto

CT3. Medición

CT4. Sistemas

CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía

CT6. Estructura y función

CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 2: Leyes de Newton

En esta cápsula descubrirán por qué es más difícil mover un carro de supermercado cuando está lleno de productos que cuando está vacío o por qué sientes una fuerza hacia atrás al frenar en un automóvil. A través del estudio de las leyes de Newton desarrollarán la capacidad de analizar las relaciones entre fuerza, masa y aceleración mediante modelos simples de movimiento para predecir posición y velocidad.

2.1. Engage (Empezamos)

En esta fase inicial, reflexionaremos sobre situaciones comunes que involucran a los conceptos de fuerza y movimiento.

1. ¿Por qué crees que es más difícil detener un camión de carga que una bicicleta, aunque ambos vayan a la misma velocidad?
2. ¿Cómo explicarías el movimiento de una pelota de béisbol desde que el lanzador la suelta hasta que llega al bateador?
3. ¿De qué manera piensas que la forma de un objeto, como un avión o un coche de carreras, afecta su movimiento?
4. ¿Por qué crees que los astronautas parecen flotar dentro de la estación espacial internacional?
5. ¿Cómo imaginas que las fuerzas actúan en un juego de billar, desde que golpeas la bola blanca hasta que las otras bolas se detienen?

2.2. Explore (Exploramos)

En esta fase pondremos manos a la obra para investigar cómo las fuerzas afectan el movimiento de los objetos mediante actividades prácticas y simulaciones virtuales.

Actividad práctica 1. Fuerza, masa y cambio de velocidad.

Objetivo: Explorar cómo cambia la velocidad de un cuerpo al variar la fuerza aplicada sobre él y su masa.

Introducción:

Como saben, mientras mayor sea la fuerza con la que se patea un balón, mayor será la velocidad que adquiere. También es obvio que no es lo mismo empujar un carrito de supermercado lleno que uno con solo dos o tres productos.

En esta actividad experimentarán con situaciones similares, analizarán cómo cambia la velocidad de un cuerpo cuando varían la fuerza que se le aplica y su masa. Esto los introducirá al estudio de una ley fundamental de la física: la segunda ley de Newton.

Materiales:

Carrito de juguete, cargas de unos 10 g – 20 g (pueden ser tuercas), cargas entre 100 g – 200 g para colocar encima del carrito, hilo.

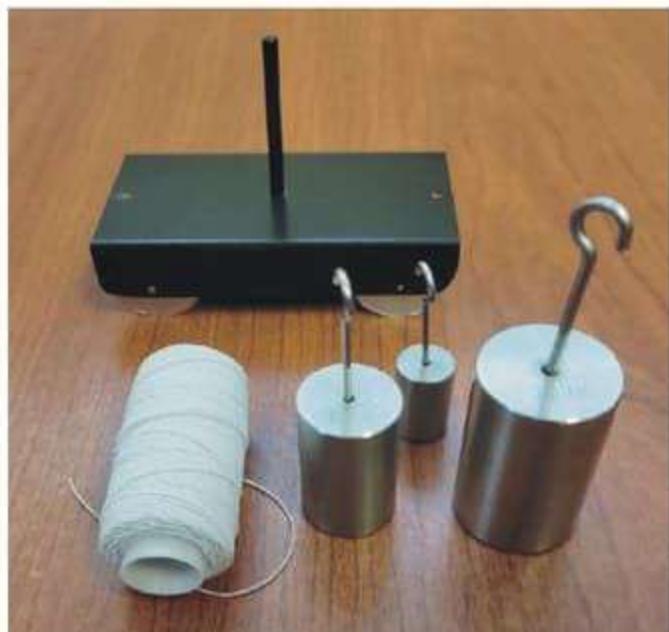


Fig. 1-P2. Materiales para explorar la relación entre fuerza, masa y cambio de velocidad.

Procedimiento:

Aten el hilo al carrito y sitúenlo en un extremo de la mesa. Lleven el extremo libre del hilo hasta el borde opuesto de la mesa y déjenlo que cuelgue. Sujeten el carrito y cuelguen del hilo una carga de 10 g. Suelten el carrito y observen la velocidad que adquiere.

Repitan la operación anterior, aumentando la carga que cuelga del hilo y comparan las variaciones de velocidad del carrito. ¿Cómo depende la variación de su velocidad de la carga que cuelga y, por tanto, de la fuerza aplicada?

Manteniendo la misma masa colgada del hilo, coloquen una masa adicional de 100 g sobre el carrito y repitan la experiencia. Después, realicen nuevamente la actividad colocando 200 g. ¿Cómo cambia la velocidad del carrito cuando aumenta su masa, si la fuerza aplicada permanece constante?

A partir de lo observado, lleguen a una conclusión sobre la dependencia del cambio de velocidad del carrito con la fuerza aplicada y su masa.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Será la fuerza que actúa sobre el carrito de igual valor que la fuerza de gravedad sobre la carga que cuelga del hilo? Explica.
2. ¿Cómo depende el cambio de velocidad del carrito de la fuerza aplicada sobre él?
3. ¿Cómo depende el cambio de velocidad del carrito de su masa?

Actividad práctica 2. Fuerza, masa y cambio de velocidad.**Objetivo:**

Explorar cómo cambia la velocidad de un cuerpo al variar la fuerza aplicada sobre él y su masa mediante una simulación virtual.

Introducción:

El simulador permite aplicar sobre cuerpos fuerzas de diferentes magnitudes y masas y observar la tasa de cambio o rapidez con que cambia la velocidad. También puede explorarse el efecto de la fricción. Esta herramienta ayudará a comprender mejor la relación entre la fuerza, la masa de los cuerpos y los cambios de velocidad que experimenta.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/forces-and-motion-basics>



Fig. 2-P2. Docente explica la relación entre fuerza, masa y cambios de velocidad.

Procedimiento:

Una vez cargado el simulador, en la parte inferior de la pantalla seleccionen la opción "Aceleración". Despues, en la ventana de la parte superior derecha marquen "Fuerzas", "Valores", "Masas" y "Aceleración". Esta última opción, "Aceleración", mostrará, debajo de las nubes, cuánto aumenta la velocidad por unidad de tiempo, es decir la tasa de cambio de la velocidad.

Comiencen explorando cómo la fuerza aplicada cambia la velocidad. Apliquen una fuerza de 50 N y lleven el cursor de la "Fricción" al extremo que dice "Nada". Anoten el valor de la aceleración de la caja que se muestra y detengan la simulación.

Ahora apliquen una fuerza de 100 N y anoten el valor de la nueva aceleración de las cajas. ¿Qué relación hay entre la aceleración y la fuerza?

A continuación, coloquen una segunda caja encima de la primera, apliquen nuevamente la fuerza de 100 N y anoten el valor de la aceleración.

¿Cómo depende la aceleración, es decir, la tasa de cambio de la velocidad, de la fuerza aplicada sobre el cuerpo y de su masa?

Finalmente, exploren el efecto de la fricción en el movimiento. Para ello deslicen el control de "Fricción" hasta la mitad, coloquen una caja y apliquen fuerza hasta que se empiece a mover. Exploren colocando otros objetos y observen la fuerza necesaria para iniciar el movimiento.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Cómo se relaciona la rapidez de cambio de la velocidad de un cuerpo con la fuerza aplicada sobre él y con su masa?
2. ¿Qué efecto tiene la fricción en el movimiento de los objetos?
3. Basándose en la exploración con el simulador, ¿cómo explicarías el concepto de fuerza neta y su relación con la rapidez de cambio de la velocidad del objeto?

2.3. Explain (Explicación)

En esta fase, profundizaremos en los conceptos fundamentales de fuerza y movimiento. Exploraremos cómo las leyes de Newton nos ayudan a entender y predecir el comportamiento de los objetos en diferentes situaciones.

2.3.1. Concepto de fuerza. Primera ley de Newton

Las fuerzas son interacciones entre objetos que pueden cambiar el estado de movimiento o la forma de un cuerpo. Toda fuerza tiene tres características fundamentales: magnitud, dirección y sentido. La magnitud representa la intensidad de la fuerza, la dirección indica su orientación en el espacio (por ejemplo, horizontal, vertical) y el sentido hacia donde está dirigida (por ejemplo, hacia arriba, hacia la derecha). El movimiento, por su parte, se refiere al cambio de posición de un objeto con respecto a un punto de referencia en un intervalo de tiempo. Los patrones de movimiento pueden ser observados y medidos en diversas situaciones, lo que permite predecir comportamientos futuros.

El estudio sistemático de las fuerzas y el movimiento se remonta a la antigua Grecia, con filósofos como Aristóteles. Sin embargo, fue Galileo Galilei en el siglo XVII quien realizó por primera vez experimentos y razonamientos que condujeron a la idea de que un cuerpo no varía su velocidad a menos que actúe una fuerza sobre él. Décadas después Newton incluyó esa idea como la primera de sus famosas leyes del movimiento. Dicha ley establece que un objeto permanecerá en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme (MRU) si no actúa sobre él una fuerza externa neta, es decir, si la suma de las fuerzas que actúan sobre el objeto es cero.

La primera ley de Newton implica que sin la acción de una fuerza neta, los cuerpos no alteran su estado de movimiento o reposo por sí mismos. Esto significa que si observamos que un cuerpo varía su velocidad, ya sea en magnitud o dirección, podemos estar seguros que sobre él está actuando una fuerza.



Fig. 3-P2. Después de golpear un disco en un tablero de aire de hockey, se mueve sin apenas variar su dirección ni el valor de su velocidad, a menos que no se golpee nuevamente.

2.3.2. Relación entre aceleración y la fuerza. Segunda ley de Newton

Hemos visto que los cambios de velocidad de los cuerpos son producidos por fuerzas. Pero esos cambios pueden ser mayores o menores, en una dirección u otra. Para describirlos se emplea una magnitud denominada aceleración.

Aceleración es la rapidez con que cambia la velocidad. Mientras mayor sea el cambio de velocidad, ya sea en magnitud o dirección, en cierto intervalo de tiempo, mayor será la aceleración. Por ejemplo, si un automóvil aumenta uniformemente su velocidad de 0 a 20 m/s en 5 segundos, su aceleración promedio sería:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{20 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{5 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}^2$$

La relación fundamental entre fuerza y cambios en el movimiento fue formulada por Isaac Newton en su segunda ley del movimiento en su obra "Principia Mathematica" (1687). En términos actuales, esta ley establece que la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa. En una ecuación esto se expresa como:

$$a = \frac{F_{\text{neta}}}{m}$$

Donde F_{neta} es la fuerza neta, m es la masa del objeto y a es la aceleración resultante. Continuando con el ejemplo del automóvil, si este tiene una masa de $1 \times 10^3 \text{ kg}$, la fuerza neta requerida para producir esta aceleración sería:

$$a = (1 \times 10^3 \text{ kg})(4 \text{ m/s}^2) = 4 \times 10^3 \text{ N}$$

Esta relación implica que, para un objeto dado, una fuerza mayor provocará un cambio mayor en su estado de movimiento. Además, cuanto mayor sea la masa del objeto, mayor será la fuerza requerida para lograr el mismo cambio en su movimiento.

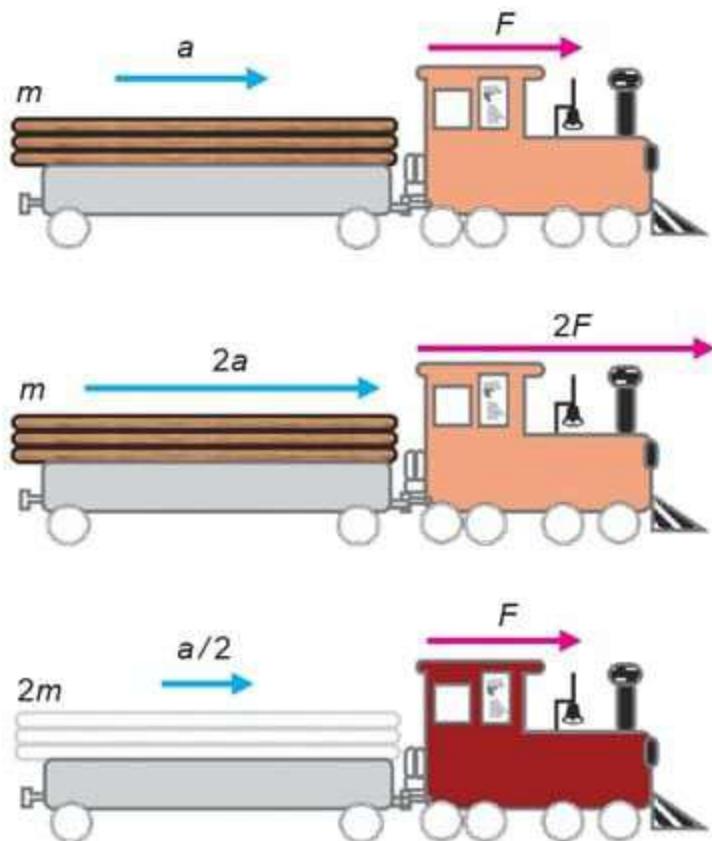


Fig.4-P2. La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza ejercida sobre él e inversamente proporcional a su masa.

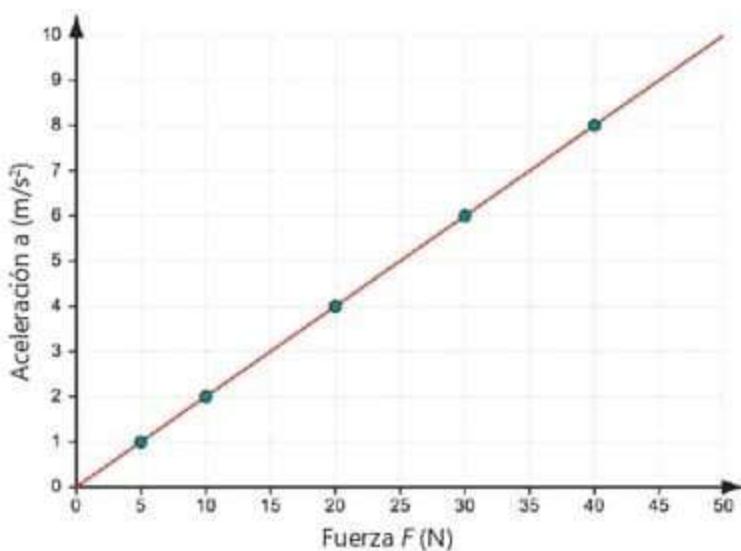


Fig.5-P2. La gráfica ilustra la proporcionalidad entre la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo y su aceleración.

2.3.3. Acción mutua entre los cuerpos. Tercera ley de Newton

La tercera ley de Newton establece que por cada acción de un cuerpo A sobre otro B hay una reacción de B sobre el A, de igual magnitud, pero en sentido opuesto. La figura 6-P2 ilustra las fuerzas de acción y reacción en el choque de dos bolas. Durante el choque, las magnitudes de estas fuerzas varían, pero en cada instante la magnitud de una es igual a la de la otra. Lo anterior se expresa como:

$$F_{AB} = -F_{BA}$$

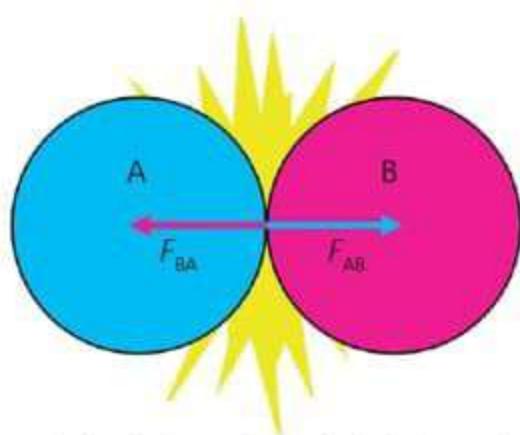


Fig. 6-P2. Choque de dos bolas. La fuerza de la bola A sobre la B, F_{AB} , es de igual magnitud y sentido opuesto que la fuerza de la bola B sobre la A, F_{BA} .

La figura 7-P2 muestra dos cajas, cada una en un carrito que son empujadas por una persona. Se han representado tres pares de fuerza de acción y reacción: entre la palma de la mano y la caja 1, entre esta y la caja 2 y entre las ruedas de los carritos y el suelo. Las dos fuerzas de cada par tienen iguales magnitudes y sentidos opuestos.

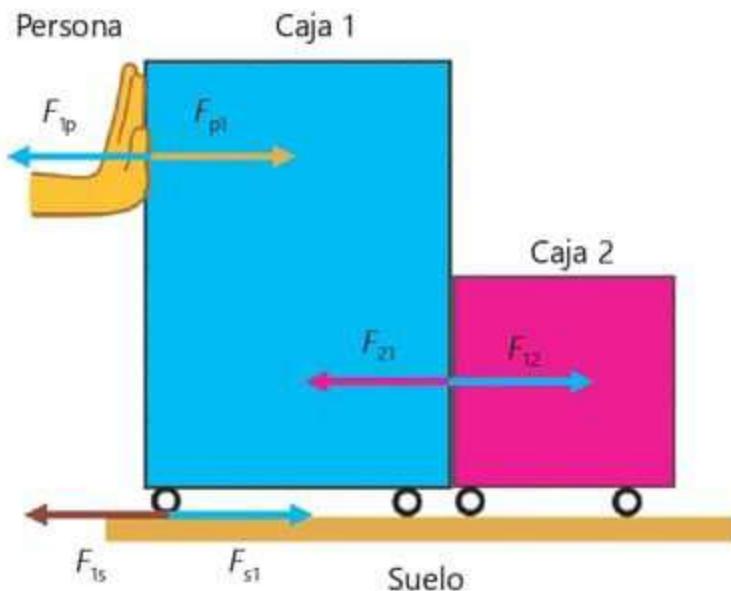


Fig. 7-P2. Tres pares de fuerza de acción y reacción: entre la palma de la mano y la caja 1, entre esta y la caja 2 y entre las ruedas del carrito y el suelo.

Consideremos ahora el caso de un libro en una mesa (Fig. 8-P2 a). Como sabes, sobre él actúa la fuerza de gravedad y si no cae al piso, es debido a la mesa. El libro actúa sobre la mesa con cierta fuerza, F_{LM} , de igual magnitud que la de gravedad. A su vez, la mesa actúa sobre el libro con una fuerza, F_{ML} , de igual magnitud y sentido opuesto. Estas dos fuerzas son parejas de acción y reacción. Pero, ¿cuál es la pareja de acción y reacción de la fuerza de gravedad sobre el libro? Dicha fuerza es la que ejerce el libro sobre la Tierra, cuyo efecto no es apreciable debido a la gran masa de esta. Nota que la tercera ley de Newton se cumple ya sea en situaciones de contacto directo entre los cuerpos, como en las figuras 6-P2, 7-P2 y 8-P2, o a distancia, como en el ejemplo de la interacción entre la Tierra y el libro.

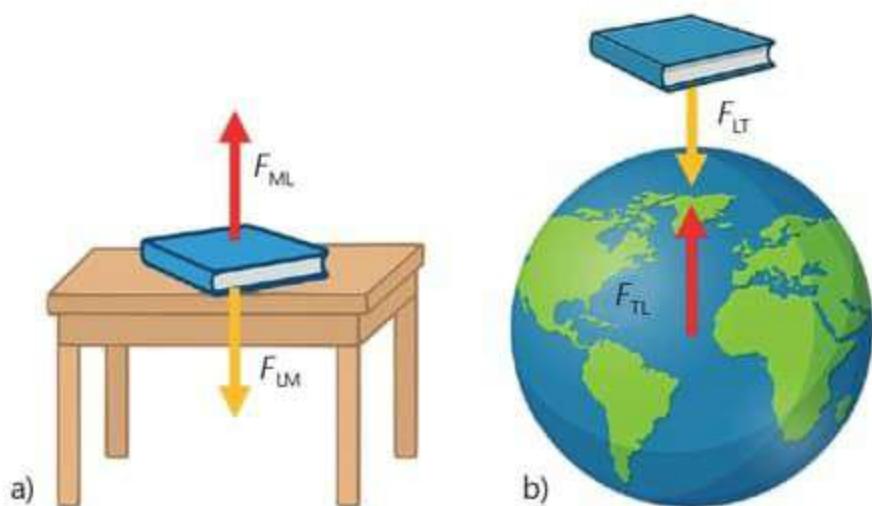


Fig. 8-P2. Fuerzas de acción y reacción entre un libro y la mesa en la que yace (a) y entre la Tierra y el libro (b).

2.3.4. Modelado y predicción de la posición y velocidad de un cuerpo

El modelo más simple de movimiento es el de un cuerpo que se mueve en línea recta con velocidad constante, denominado movimiento rectilíneo uniforme (MRU). En este caso la posición del cuerpo al cabo de cierto tiempo puede ser descrita mediante una sencilla ecuación: $x = vt$, o sea, su posición es directamente proporcional al tiempo transcurrido. Un ejemplo cotidiano que se aproxima a este tipo de movimiento es el de un auto que se mueve por una carretera recta con velocidad aproximadamente constante. En la figura 9-P2 se muestran las gráficas de posición en función del tiempo para un corredor y un caminante que van a velocidad constante. La inclinación o pendiente de la recta que representa el movimiento del corredor es mayor porque su velocidad es mayor.

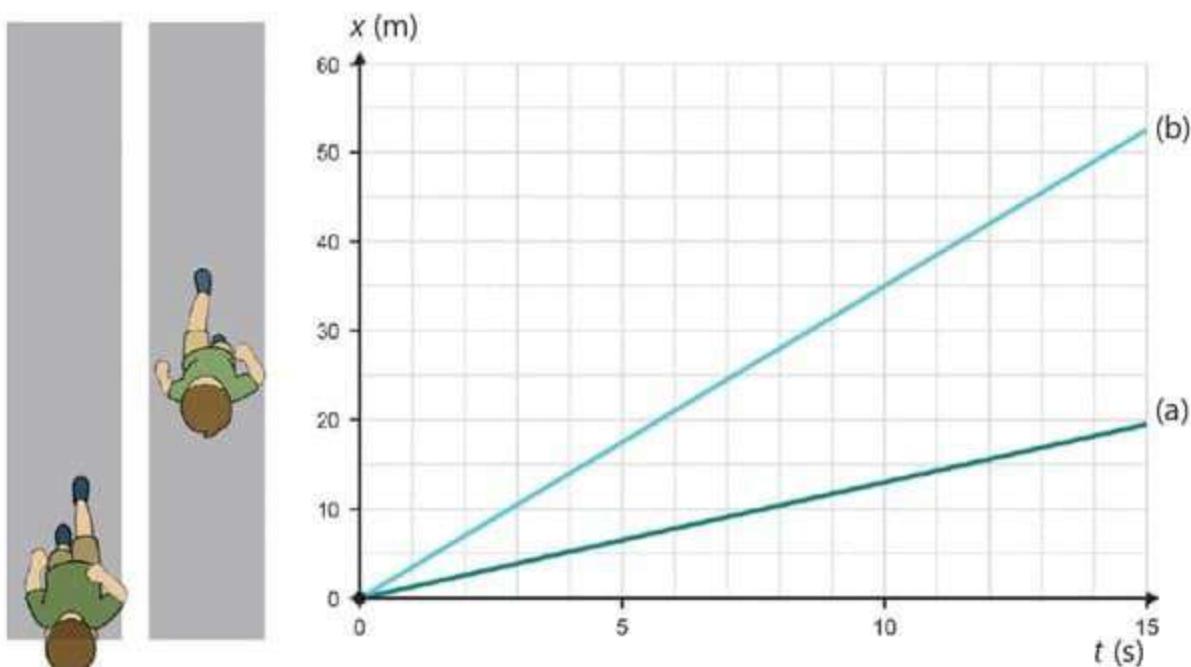


Fig. 9-P2. Gráficas de $x(t)$ para un caminante (a) y un corredor (b) que se mueven con velocidad constante. En b) la velocidad es mayor y la recta tiene mayor inclinación o pendiente.

Si se elige como referencia cierto punto de la carretera y el auto parte de unos kilómetros más adelante, entonces la ecuación es $x = x_0 + vt$, donde x_0 representa la distancia al punto de referencia a la que se encontraba el auto al iniciar el viaje.

Otro modelo también simple es el movimiento con aceleración constante, denominado movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA). Un ejemplo cotidiano es el de una canica que se deja caer. Como está sometida a la fuerza de gravedad, que es constante, su aceleración también lo es. Galileo mostró que en tales situaciones la posición del cuerpo es directamente proporcional al cuadrado del tiempo. Las ecuaciones correspondientes son, para su posición $x = \frac{1}{2} at^2$ y para su velocidad $v = at$. En la figura 10-P2 se muestra la gráfica de $x(t)$ para este caso.

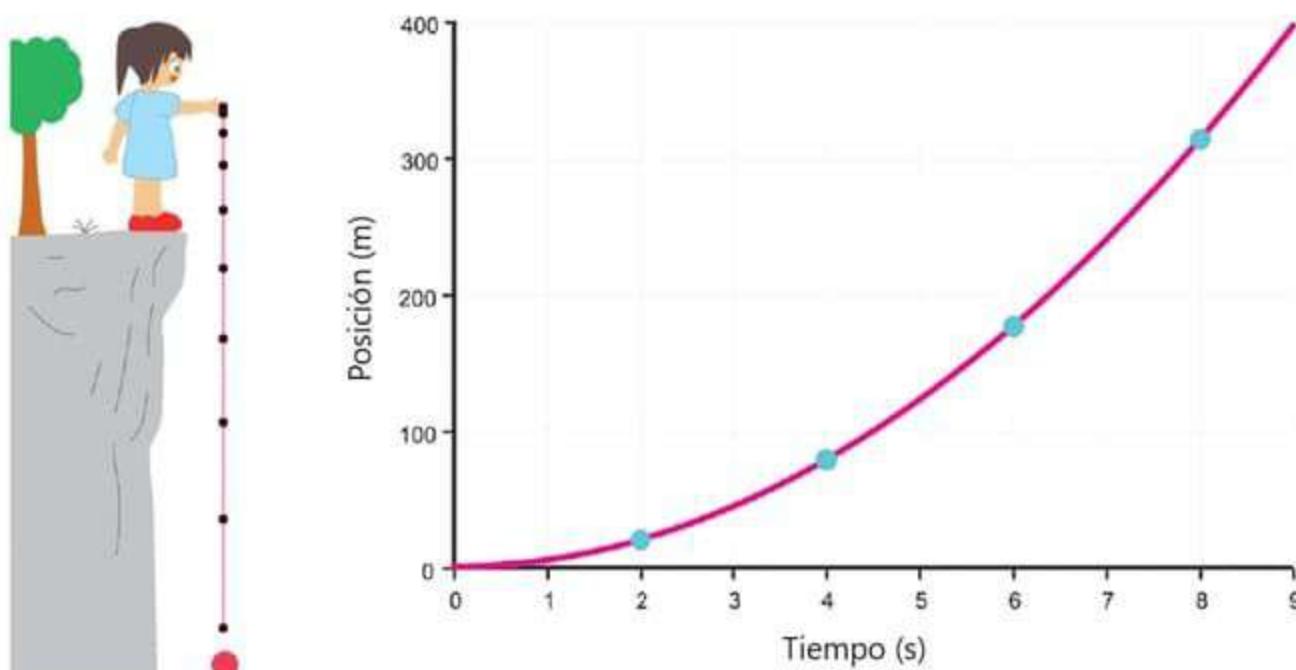


Fig. 10-P2. Gráfica de $y(t)$ para un cuerpo que se deja caer.

Observa que mientras las gráficas del movimiento rectilíneo con velocidad constante son líneas rectas, la del movimiento rectilíneo con aceleración constante es una línea curva, una rama de parábola.

Si en el lugar de simplemente dejar caer al cuerpo, lo lanzamos hacia abajo con cierta velocidad, las ecuaciones correspondientes son:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v = v_0 + at$$

Estás ecuaciones se cumplen, por supuesto, no solo para el cuerpo que se deja caer o se lanza hacia abajo, sino en general para cualquier movimiento rectilíneo con aceleración constante.

Mediante el método de sustitución, puede eliminarse el tiempo t del sistema de las dos ecuaciones anteriores, con lo cual se obtiene una tercera ecuación.

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

Δx representa el desplazamiento del cuerpo desde la posición en que su velocidad es v_0 hasta la posición en la que es v .

El modelo de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado permite predecir la posición futura de un objeto conociendo su posición y velocidad iniciales y su aceleración. Así, si lanzamos una pelota verticalmente hacia arriba con una velocidad de 20 m/s, podemos predecir su posición después de cierto tiempo, digamos de 1 segundo, considerando $a = -9.8 \text{ m/s}^2$:

$$a = 0 + (20 \text{ m/s})(1 \text{ s}) + \frac{1}{2}(-9.8 \text{ m/s}^2)(1 \text{ s})^2 = 15 \text{ m}$$

Cabe señalar que esa ecuación da la posición de la pelota tanto durante su ascenso como su descenso. Por ejemplo, esa ecuación también predice que al cabo de 3.1 s volverá a estar a 15 m, aunque en ese caso está descendiendo.

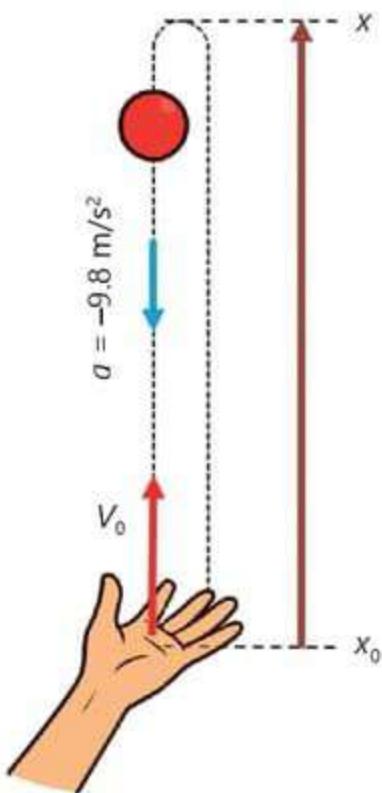


Fig. 11-P2. Pelota lanzada verticalmente hacia arriba. La ecuación $y = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$ permite conocer su posición en cualquier instante.

2.3.5. Efectos de las fuerzas sobre la deformación y el equilibrio de los cuerpos

Hemos visto que, al actuar sobre un cuerpo, las fuerzas pueden cambiar su estado de reposo o de movimiento de traslación. Pero las fuerzas también pueden provocar su deformación y su rotación.

La estructura de los materiales determina cómo responden a las fuerzas aplicadas. Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, este puede experimentar deformación elástica o plástica, dependiendo de sus propiedades y de la magnitud de la fuerza aplicada. En la deformación elástica, el cuerpo vuelve a su forma original cuando cesa la fuerza, mientras que en la deformación plástica, el cambio es permanente.

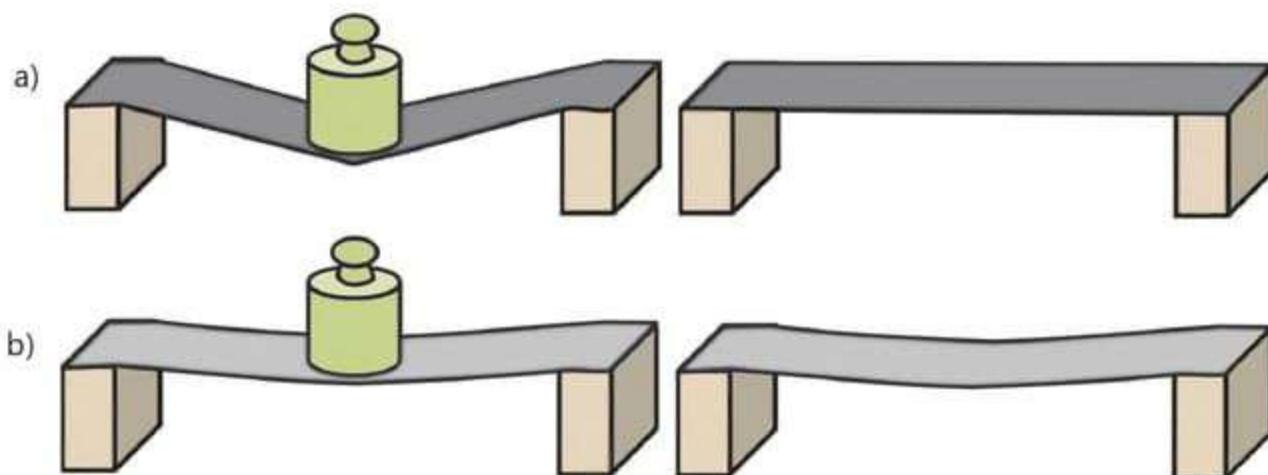


Fig. 12-P2. En a) luego de cesar la fuerza, la lámina recupera su forma (deformación elástica), mientras que en b) no la recupera (deformación plástica).

La ley de Hooke, formulada por Robert Hooke en el siglo XVII, describe el comportamiento de los materiales elásticos. Esta ley establece que la deformación de un cuerpo elástico, por ejemplo, un resorte (Fig 13-P2) es directamente proporcional a la fuerza aplicada, dentro de ciertos límites:

$$F_E = -kx$$

Donde F_E es la fuerza elástica, k es la constante elástica del cuerpo y x es su deformación.

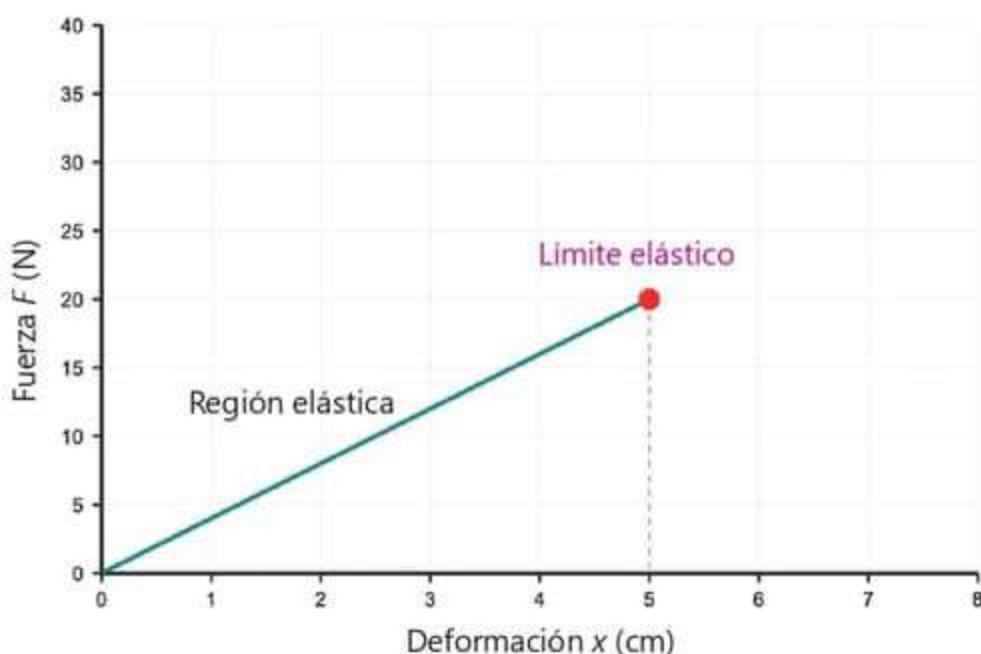
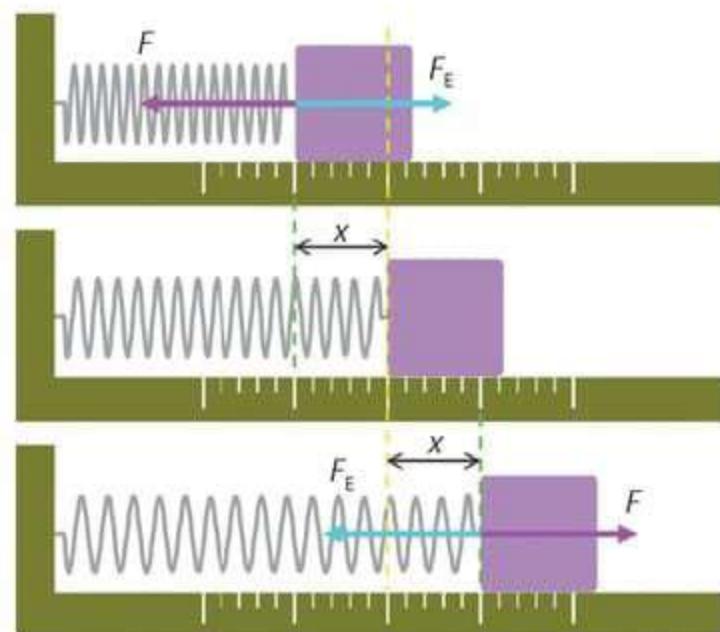


Fig. 13-P2. La fuerza aplicada a un resorte es proporcional a su deformación, siempre que no se sobrepase su límite elástico.

La comprensión de cómo las fuerzas afectan a los cuerpos es fundamental en ingeniería y diseño. Por ejemplo, en la construcción de puentes, se deben considerar las fuerzas de tensión, compresión y torsión que actuarán sobre la estructura, así como las propiedades de los materiales utilizados, para garantizar la estabilidad y seguridad de la obra.

La estabilidad del equilibrio de un objeto o sistema frente a las fuerzas aplicadas depende de varios factores, incluyendo su forma, orientación y distribución de masa. Por ejemplo, el equilibrio de un péndulo formado por una varilla que tiene en su extremo un cuerpo (Fig. 14-P2) es estable cuando el cuerpo está en su posición más baja, y totalmente inestable cuando está en su posición más elevada. La estabilidad del equilibrio de un cuerpo apoyado también depende del área de apoyo, mientras más amplia sea esta, más estable será el equilibrio.

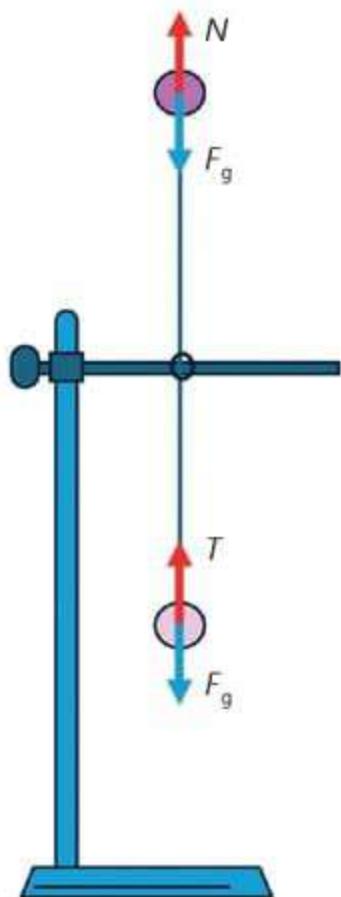
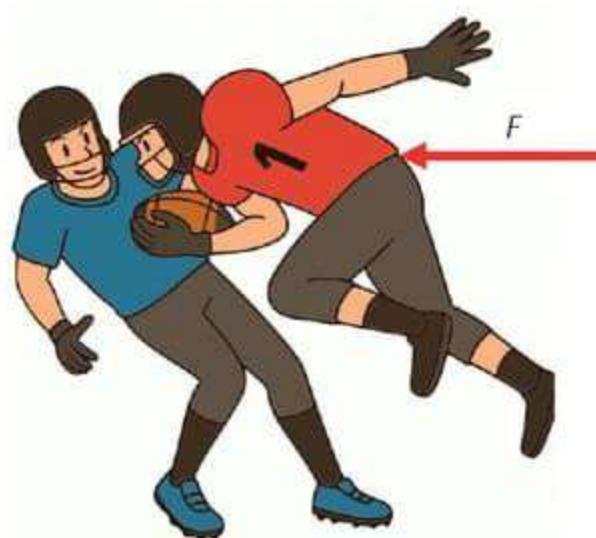


Fig. 14-P2. Dos posiciones de un péndulo formado por una varilla y una bola en su extremo. En ambas posiciones está en equilibrio, pero en la más baja el equilibrio es estable, mientras que en la más elevada es inestable.

2.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase, pondremos a prueba nuestra comprensión de las fuerzas y el movimiento mediante la resolución de problemas prácticos aplicando en ellos las leyes de Newton.

Ejercicio 1. En un partido de fútbol americano, un corredor de 90 kg, inicialmente en reposo, es interceptado por un defensa que le aplica una fuerza constante de 720 N durante 0.50 s. Si ignoramos la fricción con el suelo, calcula: a) La aceleración del corredor durante la intercepción. b) La velocidad final del corredor después de la intercepción. c) La distancia que se desplaza el corredor durante la intercepción.



Solución

1. Análisis del proceso:

Este problema trata sobre el movimiento de un corredor sometido a una fuerza constante, que lo acelera durante un corto intervalo de tiempo. Cuando una fuerza constante actúa sobre un objeto, este experimenta una aceleración constante que puede calcularse utilizando la segunda ley de Newton.

2. Identificación de los datos del problema:

Masa del corredor $m = 90 \text{ kg}$, fuerza constante recibida $F = 720 \text{ N}$ aplicada por el defensa e intervalo de tiempo $\Delta t = 0.50 \text{ s}$.

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo de la aceleración del corredor durante el contacto

$$a = \frac{F}{m} = \frac{720 \text{ N}}{90 \text{ kg}} = 8.0 \text{ m/s}^2$$

b) Cálculo de la velocidad final del corredor después del contacto

$$v = v_0 + at = 0 \text{ m/s} + (8.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(0.50 \text{ s}) = 4.0 \text{ m/s}$$

c) Cálculo del desplazamiento durante el contacto de los corredores

El desplazamiento está dado por $\Delta x = x - x_0$, por tanto,

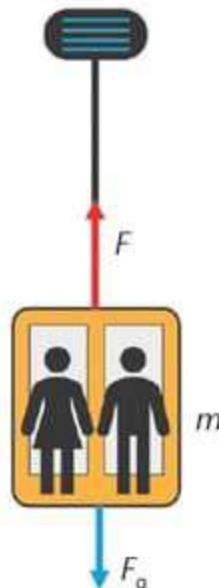
$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$\Delta x = (0 \text{ m/s})(0.50 \text{ s}) + \frac{1}{2} (8.0 \text{ m/s}^2)(0.50 \text{ s})^2 = 1.0 \text{ m}$$

4. Conclusión:

Durante el contacto, el corredor experimenta una aceleración de 8.0 m/s^2 debido a la fuerza aplicada por el defensa. Al final del contacto, su velocidad es de 4.0 m/s , y la distancia total desplazada durante el impacto es de 1.0 m .

Ejercicio 2. Un elevador de un edificio tiene una masa de $1.2 \times 10^3 \text{ kg}$ incluyendo a los pasajeros y está sujeto a un cable que ejerce una fuerza hacia arriba de $1.4 \times 10^4 \text{ N}$ a través del cable. a) Calcula la aceleración del elevador. b) Si el elevador parte del reposo, ¿qué velocidad alcanzará después de 3.0 s ? c) ¿Qué distancia habrá recorrido en ese tiempo?



Solución

1. Análisis del proceso:

Este problema describe el movimiento de un elevador sometido a una fuerza hacia arriba ejercida por el cable. La aceleración del elevador se determina aplicando la segunda ley de Newton, considerando

tanto la fuerza ejercida por el cable como la fuerza de gravedad. La fuerza neta se obtiene de la diferencia entre la fuerza hacia arriba y la fuerza gravitacional.

2. Identificación de los datos del problema:

Masa total $m = 1.2 \times 10^3$ kg, fuerza ejercida por el cable $F = 1.4 \times 10^4$ N e intervalo de tiempo $\Delta t = 3.0$ s.

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo de la aceleración del elevador

Aplicamos la segunda ley de Newton para calcular la aceleración del elevador.

$$F_{\text{neta}} = F - mg$$

$$a = \frac{F_{\text{neta}}}{m} = \frac{F - mg}{m} = 8.0 \text{ m/s}^2$$

$$a = \frac{1.4 \times 10^4 \text{ N} - (1.2 \times 10^3 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)}{1.2 \times 10^3 \text{ kg}} = 1.9 \text{ m/s}^2$$

b) Cálculo de la velocidad del elevador después de 3.0 s

$$v = v_0 + at = 0 \text{ m/s} + (1.9 \text{ m/s}^2)(3.0 \text{ s}) = 8.6 \text{ m}$$

c) Cálculo del desplazamiento al cabo de 3.0 s

$$\Delta y = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = (0 \text{ m/s})(3.0 \text{ s}) + \frac{1}{2} (1.9 \text{ m/s}^2)(3.0 \text{ s}) = 8.6 \text{ m}$$

4. Conclusión:

La aceleración del elevador es de 1.9 m/s^2 . Después de 3.0 s de movimiento desde el reposo, el elevador alcanza una velocidad de 8.6 m/s y se ha desplazado 8.6 m.

2.5. Evaluate (Evaluación)

En esta fase final, pondremos a prueba nuestro entendimiento sobre fuerzas y movimiento. A través de diversos ejercicios y preguntas de reflexión evaluaremos nuestra comprensión de estos conceptos fundamentales.

2.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. ¿Qué establece la primera ley de Newton?

- A) La aceleración es proporcional a la fuerza.
- B) Un objeto en reposo permanece en reposo si no hay fuerza neta externa.
- C) La energía se conserva en sistemas cerrados.
- D) La fuerza siempre causa un cambio en la velocidad.

2. ¿Cómo se denomina la fuerza que actúa entre dos objetos sin contacto directo?

- A) Fuerza de contacto
- B) Fuerza de fricción
- C) Fuerza a distancia
- D) Fuerza inercial

3. ¿Qué describe la segunda ley de Newton sobre la aceleración de un objeto?

- A) Es constante en todos los objetos.
- B) Es proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa.
- C) Depende únicamente de la velocidad inicial.
- D) Es independiente de la masa.

4. Según la tercera ley de Newton, cuando un libro empuja hacia abajo sobre una mesa, la mesa...
- A) No ejerce ninguna fuerza.
 - B) Ejerce una fuerza en sentido opuesto con igual magnitud.
 - C) Ejerce una fuerza mayor.
 - D) Genera movimiento hacia abajo.
5. ¿Qué ocurre con un objeto cuando la fuerza neta que actúa sobre él es distinta de cero?
- A) El objeto permanece en equilibrio.
 - B) El objeto acelera en la dirección de la fuerza neta.
 - C) La velocidad del objeto no cambia.
 - D) La fuerza de fricción aumenta proporcionalmente.

2.5.2. Problemas cualitativos

1. Cuando lanzas una pelota de goma contra una pared y rebota, ¿cómo se manifiesta la tercera ley de Newton?
2. El caminante y el corredor cuyas gráficas se representaron en la figura 9-P2 partieron juntos. ¿Cuántos segundos antes que el caminante llegará el corredor a un lugar situado a 20 m del punto de partida?
3. Un estudiante lanza verticalmente una pelota y cronometra el tiempo hasta que alcanza su punto más alto; ¿cómo aplicarías el modelo de MRUA para predecir la altura máxima de la pelota y cuáles son las limitaciones de este modelo en situaciones reales?
4. En el laboratorio cuelgas cuerpos de diferentes masas de un resorte y graficas la fuerza aplicada frente a la deformación, ¿qué revela la pendiente de esa recta?
5. En un juego de tiro con arco, un arquero tensa la cuerda antes de soltar la flecha. ¿Cómo se aplican las leyes de Newton en este proceso? Describe las fuerzas involucradas desde que el arquero tensa la cuerda hasta que la flecha abandona el arco.

2.5.3. Problemas cuantitativos

1. Un elevador de 8.0×10^2 kg parte del reposo y sube con una aceleración constante de 2.0 m/s^2 . Después de 4.0 s, el motor se apaga y el elevador continúa subiendo hasta detenerse. Desprecia las fuerzas de fricción. Calculen a) la fuerza que ejerce el cable sobre el elevador durante la aceleración y b) ¿qué altura alcanza el elevador hasta detenerse?

Respuesta: $9.4 \times 10^3 \text{ N}$, 19 m

2. Un bloque de $m = 1.5 \text{ kg}$ se mantiene en reposo al comprimir un resorte ideal $x_0 = 4.5 \text{ cm}$. Para mantener al bloque en esa posición se requiere una fuerza $F = 18 \text{ N}$. Calculen a) la constante elástica k y b) la velocidad del bloque en el punto de equilibrio si el resorte se comprime 12 cm y luego se libera.

Respuesta: $4.0 \times 10^2 \text{ N/m}$, 2.0 m/s

3. Un coche de $1.5 \times 10^3 \text{ kg}$ viaja a 90 km/h cuando el conductor ve un obstáculo y aplica los frenos. Los neumáticos ejercen una fuerza de fricción de $6 \times 10^3 \text{ N}$. Calculen a) la desaceleración del coche, b) ¿qué distancia recorrerá el coche antes de detenerse completamente? y c) si la distancia al obstáculo es de 80 m cuando el conductor comienza a frenar, ¿logrará detenerse antes de chocar?

Respuesta: 4.0 m/s^2 , 78 m, Sí

4. Dos patinadores sobre hielo, A de masa 55 kg y B de 70 kg, se encuentran en reposo, tomados de las manos. Al empujarse, cada uno ejerce sobre el otro una fuerza promedio horizontal de 150 N durante 0.40 s. a) ¿Cuál es la aceleración de cada patinador mientras dura la interacción? y b) calculen la velocidad de cada uno inmediatamente después del empuje.

Respuesta: 2.7 m/s^2 , 2.1 m/s^2 , 1.1 m/s , 0.86 m/s

5. Un cohete de juguete de 0.50 kg se lanza verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de 50 m/s. Despreciando la resistencia del aire: a) ¿qué altura máxima alcanzará el cohete? y b) ¿cuánto tiempo tardará en alcanzar el punto más alto de su trayectoria?

Respuesta: $1.3 \times 10^2 \text{ m}$, 5.1 s

2.5.4. Autoevaluación y reflexión

En esta etapa final, los invito a reflexionar sobre su aprendizaje acerca de las fuerzas y el movimiento. Estas preguntas les ayudarán a consolidar sus conocimientos y a pensar en cómo aplicarlos más allá del aula. Tómense el tiempo necesario para considerar cada pregunta cuidadosamente.

1. ¿Qué aspecto de la relación entre fuerzas y movimiento te resultó más sorprendente o contraintuitivo?
2. ¿De qué manera los conceptos de fuerza y movimiento que hemos estudiado se conectan con otros temas de física o de otras ciencias que hayas visto anteriormente?
3. Considerando tu futura carrera o tus intereses personales, ¿cómo crees que un conocimiento de las leyes del movimiento y las fuerzas podría ser útil?

Cápsula

3

Progresión de aprendizaje 3: Analizar la naturaleza vectorial de la fuerza y la aceleración mediante la aplicación de la segunda ley de Newton en situaciones que involucran múltiples fuerzas actuando simultáneamente sobre objetos macroscópicos.

Metas de aprendizaje:

- CC.** Fuerzas e interacciones en el movimiento de objetos macroscópicos
- CT1.** Identificar patrones regulares en el comportamiento de magnitudes vectoriales durante procesos de suma vectorial y descomposición en componentes perpendiculares.
- CT2.** Establecer relaciones de causa y efecto entre la aplicación de fuerzas vectoriales y los cambios resultantes en el estado de movimiento o reposo de los objetos.
- CT3.** Aplicar técnicas de medición para determinar módulo, dirección y sentido de fuerzas, así como calcular sus componentes en sistemas de coordenadas perpendiculares.
- CT4.** Modelar sistemas físicos donde múltiples fuerzas interactúan simultáneamente, incluyendo cuerpos en equilibrio, objetos en planos inclinados y proyectiles.
- CT5.** Analizar el flujo de energía cinética y potencial en movimientos de proyectiles y objetos que descienden por planos inclinados bajo acción gravitatoria.
- CT6.** Relacionar la estructura vectorial de fuerzas y aceleraciones con su función predictiva en el análisis del movimiento bidimensional.
- CT7.** Evaluar condiciones de estabilidad y cambio en sistemas mecánicos mediante el análisis del equilibrio de fuerzas y la aplicación de la segunda ley de Newton vectorial.

Concepto central

- CC.** Fuerzas e interacciones en el movimiento de objetos macroscópicos

Conceptos transversales

- CT1. Patrones
CT2. Causa y efecto
CT3. Medición
CT4. Sistemas
CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía
CT6. Estructura y función
CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 3: Segunda ley de Newton en forma vectorial

En esta cápsula se abordará un nuevo tipo de magnitudes: los vectores. Conocerán que estas magnitudes no obedecen la regla de suma habitual y aprenderán el procedimiento gráfico que permite sumarlas. Analizarán la segunda ley de Newton en su forma vectorial y comprenderán cómo aplicarla para explicar y predecir el movimiento en dos dimensiones, utilizando como ejemplos el descenso de un cuerpo por un plano inclinado y el movimiento de un cuerpo lanzado horizontalmente.

3.1. Engage (Empezamos)

En esta fase inicial reflexionaremos sobre situaciones cotidianas en las que se requiere conocer un nuevo tipo de magnitud para comprenderlas: las magnitudes vectoriales. Entre ellas se encuentra la fuerza.

1. ¿Pueden pensar en ejemplos de cantidades que solo necesitan un número para describirse, y otras que requieren especificar además del número, una dirección?
2. ¿Puede un objeto estar en reposo, aunque le estén aplicando varias fuerzas? ¿Cómo es posible?
3. ¿Cómo pueden saber si un cuerpo va a moverse o quedarse quieto solo analizando las fuerzas que actúan sobre él?
4. ¿Por qué un objeto que se deja caer verticalmente aumenta su velocidad más rápidamente que otro que baja por una rampa, si en ambos casos actúa la misma fuerza de gravedad?
5. ¿Cómo es posible que una pelota lanzada horizontalmente y otra que se deja caer al mismo tiempo lleguen al suelo a la vez, si una realiza un recorrido mayor que la otra?

3.2. Explore (Exploramos)

En esta fase pondremos manos a la obra para explorar el efecto que tiene aplicar sobre un cuerpo dos fuerzas en distintas direcciones.

Actividad práctica 1. Aceleración de un cuerpo bajo la acción de dos fuerzas en distintas direcciones.

Objetivo:

Explorar la aceleración que adquiere un cuerpo al aplicarle simultáneamente dos fuerzas en distintas direcciones.

Introducción:

Como conocen, la segunda ley de Newton establece que la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza aplicada. En los casos analizados hasta ahora, la aceleración del cuerpo y las fuerzas aplicadas sobre él tenían la misma dirección, estaban en una misma línea. Pero ¿qué sucede si sobre un cuerpo actúan simultáneamente dos fuerzas en direcciones distintas, formando cierto ángulo entre sí?, ¿cuál será la dirección de la aceleración?

Descubrirán que la combinación de dos fuerzas no se realiza mediante una suma común, lo que conducirá a reescribir la segunda ley de Newton.

Materiales:

Tapa de envases de un litro con dos pequeños orificios en su borde que formen entre sí un ángulo de 60° - 90° , hilo, cargas de unos 10 g (por ejemplo, tuercas), regla, papel y lápiz.



Fig. 1-P3. Materiales para explorar la aceleración de un cuerpo bajo la acción de dos fuerzas en distintas direcciones.

Procedimiento:

Coloquen el disco hacia el centro de la mesa. Lleven el extremo de uno de los hilos hasta una esquina de la mesa y el extremo del otro hilo hasta la otra esquina y déjenlos colgar de modo que los hilos se apoyen en el borde de la mesa.

Sujeten el disco y suspendan iguales cargas de los hilos. Suelten el disco y observen la dirección de la aceleración que adquiere. ¿Tiene la aceleración la misma dirección que alguna de las fuerzas? ¿Cuál es su dirección?

Tracen un esquema en el que representen mediante flechas las fuerzas aplicadas sobre el disco. Seguidamente trasladen paralelamente a sí misma una de las flechas hasta colocarla a continuación de la otra, de modo que el origen de una coincida con la punta de la otra. Unan mediante una tercera flecha el origen de la primera con la punta de la segunda, formando un triángulo entre ellas. ¿Coincide la dirección de la aceleración del disco con la dirección de la tercera flecha?

Evaluación

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué indica la actividad realizada acerca del modo en que deben combinarse las fuerzas para hallar la aceleración que tendrá el cuerpo al aplicarle dos fuerzas que formen cierto ángulo entre sí?
2. ¿Qué sugiere acerca de la relación entre la aceleración que adquiere un cuerpo y dos fuerzas aplicadas sobre él?
3. ¿Se atreverían a dar una formulación de la segunda ley de Newton de manera que incluya cuál es la aceleración que adquiere un cuerpo cuando actúan sobre él varias fuerzas?

Actividad práctica 2. Aceleración de un cuerpo bajo la acción de dos fuerzas en direcciones distintas.

Objetivo:

Explorar mediante una simulación la aceleración que adquiere un cuerpo al aplicarle simultáneamente dos fuerzas en distintas direcciones.

Introducción:

En las situaciones analizadas hasta ahora la aceleración que adquiría el cuerpo y las fuerzas aplicadas sobre él tenían la misma dirección, estaban en una misma línea. Pero, ¿qué sucede si sobre un cuerpo actúan simultáneamente dos fuerzas en direcciones distintas?, ¿cuál será la dirección de la aceleración? Descubrirán que la combinación de dos fuerzas no se realiza mediante una suma común. Esto conducirá a reescribir la segunda ley de Newton.

Enlace Web:

https://www.compadre.org/physlets/mechanics/ex4_2.cfm?NOH=1

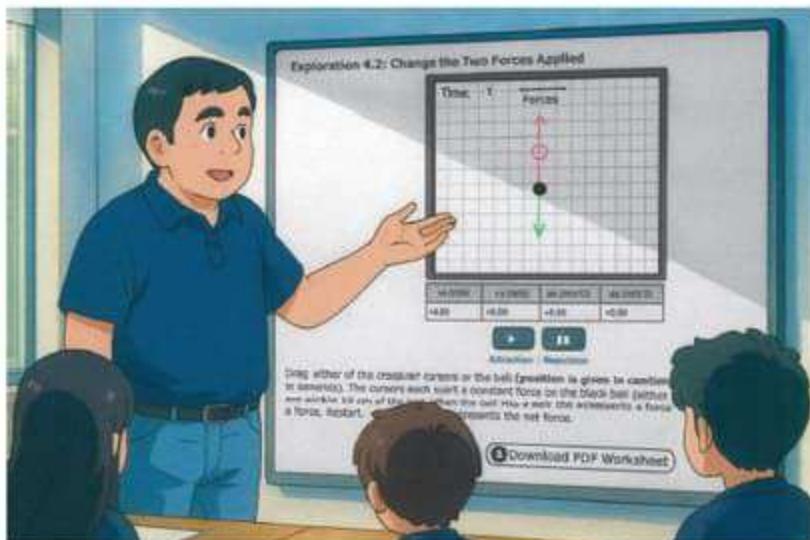


Fig. 2-P3. Docente explica la relación de la aceleración de un cuerpo bajo la acción de dos fuerzas en direcciones distintas.

Procedimiento:

El software simula un disco que puede moverse sin fricción en un tablero horizontal bajo la acción simultánea de dos fuerzas. Hagan clic en la opción "Repulsión". Se muestran dos flechas, una verde y otra roja, las cuales representan a las fuerzas aplicadas sobre el disco. Pongan en marcha la simulación. Expliquen por qué el disco permanece en reposo a pesar de que sobre él están actuando dos fuerzas.

Detengan la simulación, arrastren muy ligeramente el disco hacia la derecha, cuidando que el centro del disco se mantenga en la misma línea horizontal, pongan en marcha la simulación y deténganla antes de que las flechas toquen la pared. Para repetir la observación, reinicien la simulación haciendo clic en "Restart", al final del primer párrafo del texto. Despues hagan clic en "Repulsion" y nuevamente pongan en marcha la simulación y deténganla.

En una hoja de papel, dibujen un esquema con las flechas verde y roja que representan a las fuerzas sobre el disco. Seguidamente trasladen paralelamente a sí misma una de las flechas hasta colocarla a continuación de la otra, de modo que el origen de una coincida con la punta de la otra. Unan mediante una tercera flecha el origen de la primera con la punta de la segunda, formando un triángulo entre ellas. ¿Coincide la dirección de la aceleración del disco con la dirección de la tercera flecha?

Evaluación

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué indica la actividad realizada acerca del modo en que deben combinarse las fuerzas para hallar la aceleración que tendrá el cuerpo al aplicarle dos fuerzas que formen cierto ángulo entre sí?
2. ¿Qué sugiere acerca de la relación entre la aceleración que adquiere un cuerpo y dos fuerzas aplicadas sobre él?
3. ¿Se atreverían a dar una formulación de la segunda ley de Newton de manera que incluya cuál es la aceleración que adquiere un cuerpo cuando actúan sobre él varias fuerzas?

3.3. Explain (Explicación)

En esta fase consideraremos las magnitudes vectoriales y la regla básica para sumarlas. Abordaremos la segunda ley de Newton en su forma vectorial y cómo puede ser utilizada para explicar y predecir el estado de reposo o movimiento de los cuerpos en diversas situaciones.

3.3.1. La fuerza y la aceleración como magnitudes vectoriales

Se denominan magnitudes escalares aquellas que se caracterizan completamente con un valor numérico y su unidad. Por ejemplo, tiempo, longitud, masa o temperatura son magnitudes escalares. En cambio, las magnitudes vectoriales requieren dar tres características para quedar totalmente definidas: módulo, que indica la intensidad o cantidad; dirección, que señala la orientación en el espacio (por ejemplo, horizontal o vertical) y sentido, que determina hacia dónde sobre esa dirección (por ejemplo, izquierda o derecha en una dirección horizontal, arriba o abajo en una vertical).

La fuerza es una magnitud vectorial. El mismo valor de fuerza aplicado en distintas direcciones puede producir resultados distintos. Por ejemplo, tirar de un cuerpo hacia adelante no genera el mismo efecto que hacerlo hacia un lado (Fig. 3-P3). Para describir una fuerza de manera completa es necesario indicar no solo su magnitud, sino también su dirección y sentido.

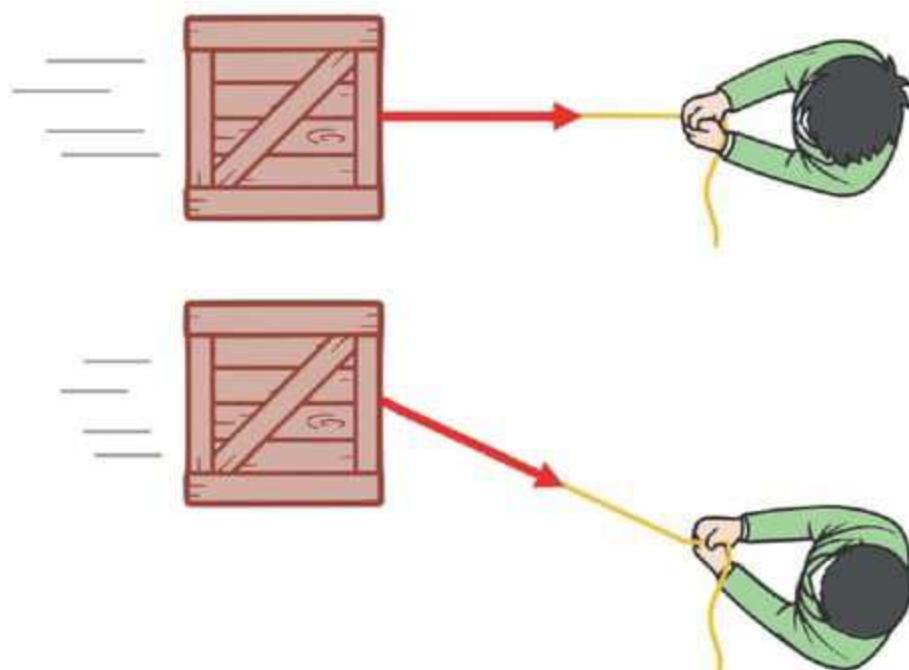


Fig. 3-P3. Tirar de un cuerpo hacia adelante no produce el mismo efecto que tirar hacia un lado. El resultado depende no solo de la magnitud de la fuerza, sino también de su dirección.

El desplazamiento es otro ejemplo de magnitud vectorial. No es lo mismo desplazarse cien metros hacia el norte que hacerlo hacia el este o el sur, aunque la distancia recorrida sea la misma el resultado es diferente.

De acuerdo con la segunda ley de Newton, la aceleración de un cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa sobre él. Como la fuerza es una magnitud vectorial, la aceleración también: tiene la misma dirección y sentido que la fuerza. Por ejemplo, sobre un cuerpo cerca de la superficie de la Tierra actúa la fuerza de gravedad dirigida verticalmente hacia abajo. Por consiguiente, tanto si el cuerpo está ascendiendo como si está descendiendo, su aceleración sigue dirigida verticalmente hacia abajo. Esto significa que mientras asciende, su velocidad disminuye (porque la aceleración es opuesta al movimiento), y mientras descende, su velocidad aumenta (ya que tiene el mismo sentido que el movimiento).

3.3.2. Representación gráfica y suma vectorial de fuerzas

Las fuerzas y, en general cualquier vector, pueden representarse gráficamente mediante flechas. La longitud de la flecha indica la magnitud del vector, su orientación señala la dirección y su punta indica el sentido (Fig. 4-P3).

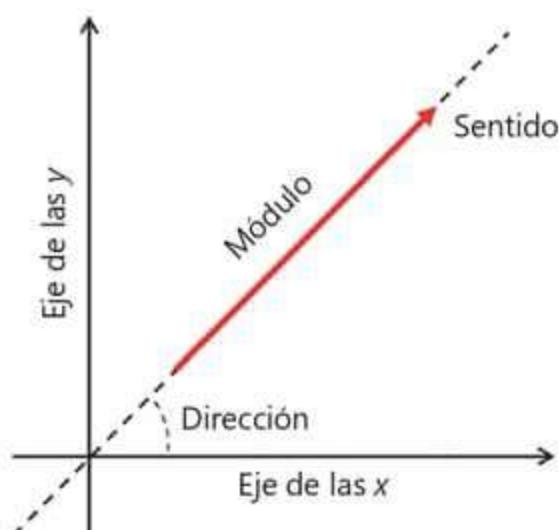


Fig. 4-P3. Un vector se representa mediante una flecha: su longitud indica la magnitud del vector, su orientación la dirección y su punta el sentido.

Para indicar el carácter vectorial de una magnitud, se suele colocar una pequeña flecha sobre la letra que la representa. Por ejemplo, la fuerza comúnmente se denota como \vec{F} .

Cuando se aplican dos fuerzas en la misma dirección y sentido sobre un cuerpo, el efecto resultante es equivalente al de una sola fuerza cuya magnitud es la suma de las magnitudes aplicadas. Así, si dos personas tiran de un carrito hacia adelante, una con una fuerza de 3 N y la otra con 4 N, el efecto neto sobre la aceleración del carrito será como si actuara una única fuerza de 7 N hacia adelante (Fig. 5-P3).

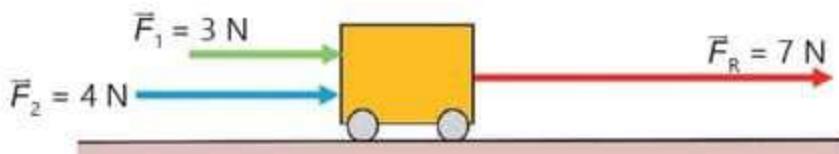


Fig. 5-P3. Sobre el carrito actúan dos fuerzas con la misma dirección y sentido. Su aceleración es como si actuara una única fuerza de 7 N hacia la derecha.

Si las fuerzas se aplican en la misma dirección, pero en sentidos opuestos, digamos, la de 4 N hacia adelante y la de 3 N hacia atrás, el resultado será una fuerza de 1 N en el sentido de la mayor, es decir, hacia adelante (Fig. 6-P3).

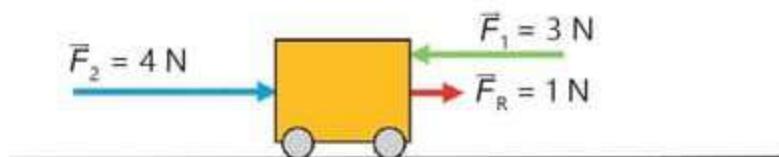


Fig. 6-P3. Sobre el carrito actúan dos fuerzas en la misma dirección, una de 4 N y otra de 3 N, pero sentidos opuestos. Su aceleración es como si actuara una sola fuerza de 1 N en el sentido de la mayor.

Sin embargo, cuando las fuerzas actúan en direcciones diferentes, la suma no sigue una regla tan simple. Imaginemos que aplicamos una fuerza de 4 N hacia adelante y otra de 3 N lateralmente (Fig. 7-P3). Gráficamente podemos representarlas mediante flechas de longitudes proporcionales a sus magnitudes, una de 4 cm hacia adelante y la otra de 3 cm hacia la izquierda (Fig. 7-P3). Para hallar el efecto combinado de ambas fuerzas, trasladamos la segunda flecha a continuación de la primera. El efecto neto de las dos es igual al de la fuerza representada por la flecha que va del origen de la primera a la punta de la segunda. Esta flecha representa la suma vectorial, o fuerza resultante de las dos. Este procedimiento se denomina regla del triángulo.

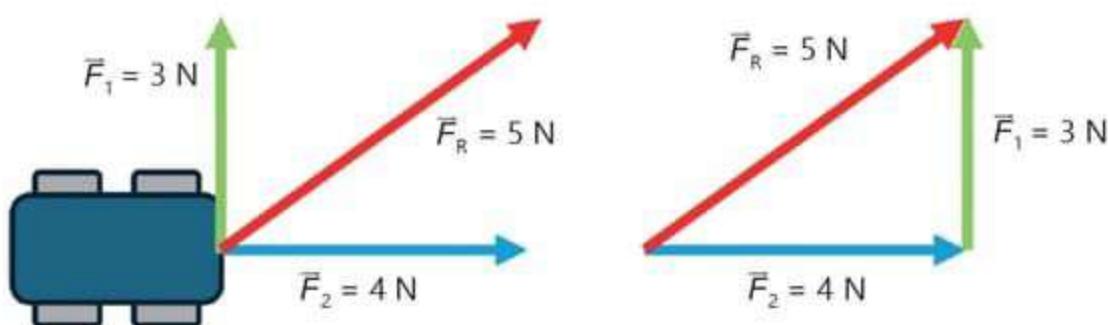


Fig. 7-P3. Sobre el coche actúan dos fuerzas, \vec{F}_1 y \vec{F}_2 , en diferentes sentidos. Para hallar la suma de ellas se traslada una flecha a continuación de la otra y se traza la flecha que une el extremo de la primera con la punta de la segunda.

La regla anterior se aplica no solo a las fuerzas, sino en general, a la suma de dos vectores cualesquiera. En la figura 8-P3 se han representado los vectores \vec{A} y \vec{B} y la suma o resultante de ellos, \vec{R} .

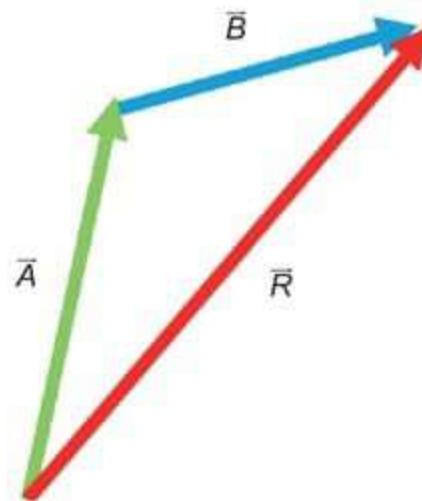


Fig. 8-P3. Regla del triángulo: el vector \vec{R} es la suma o resultante de los vectores \vec{A} y \vec{B} .

En el caso de los desplazamientos, la regla de suma de dos vectores resulta especialmente intuitiva. Por ejemplo, en un terreno rectangular podemos ir desde un vértice hasta el opuesto recorriendo dos lados consecutivos del rectángulo, o bien desplazándonos directamente según la diagonal que une ambos vértices (Fig. 9-P3). A los efectos de llegar al mismo punto es equivalente ir por un camino o por el otro. De este modo, el resultado de los dos desplazamientos consecutivos por los lados del rectángulo equivale al de un solo desplazamiento entre un vértice y el opuesto. Este último es la suma de los otros dos.

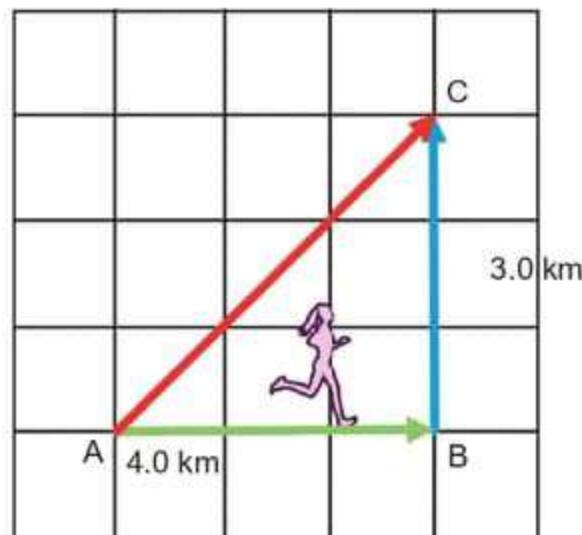


Fig. 9-P3. A los efectos de ir de A a C es equivalente desplazarse según AB y después de BC, que desplazarse directamente según AC.

Hemos visto mediante los ejemplos de fuerzas y desplazamientos que el efecto combinado de dos magnitudes vectoriales puede sustituirse por el de un solo vector. Pero el inverso también es cierto: el efecto de una magnitud vectorial puede sustituirse por el de dos vectores, estos se denominan componentes del vector. Aunque las componentes de un vector pueden formar cualquier ángulo entre sí, lo más frecuente es trabajar con aquellas que están en dos direcciones perpendiculares entre ellas, ya que de ese modo se facilitan muchos de los análisis y se simplifican los cálculos.

En la figura 10-P3, \vec{A}_x y \vec{A}_y , son las componentes del vector \vec{A} .

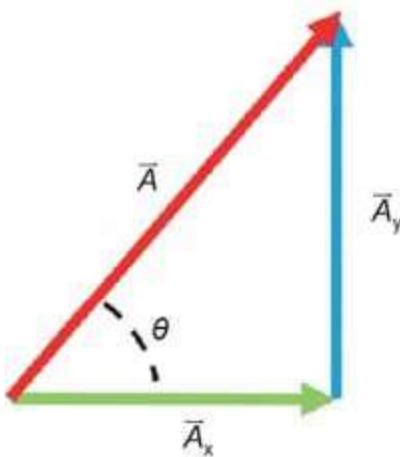


Fig. 10-P3. El efecto combinado de los vectores \vec{A}_x y \vec{A}_y es equivalente al del vector resultante \vec{A} , y a la inversa, el efecto del vector \vec{A}_x puede sustituirse por el efecto conjunto de \vec{A}_x y \vec{A}_y .

3.3.3. Segunda ley de Newton y cuerpos en reposo

Puesto que tanto la fuerza como la aceleración son magnitudes vectoriales, en lo adelante escribiremos la ecuación de la segunda ley de Newton en la forma $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

A primera vista pudiera parecer que si un cuerpo está en reposo, es porque no hay fuerzas actuando sobre él. En definitiva, según la segunda ley de Newton, si no hay fuerza sobre el cuerpo, su aceleración es cero y si está en reposo continúa en dicho estado. Sin embargo, la mayoría de los cuerpos que nos rodean están en reposo y, no obstante, todos están sometidos a varias fuerzas. Lo que sucede es que la suma de ellas es nula.

Examinemos una situación familiar, un estante con libros es empujado pero no se mueve. Sobre el estante actúan cuatro fuerzas: la de gravedad, \vec{F}_g , hacia abajo, la del piso, \vec{N} , hacia arriba, la fuerza con que la persona empuja el estante hacia la derecha, \vec{F}_p , y la fuerza de rozamiento, \vec{F}_r , hacia la izquierda. La suma de todas ellas es nula y por eso el estante queda en reposo.

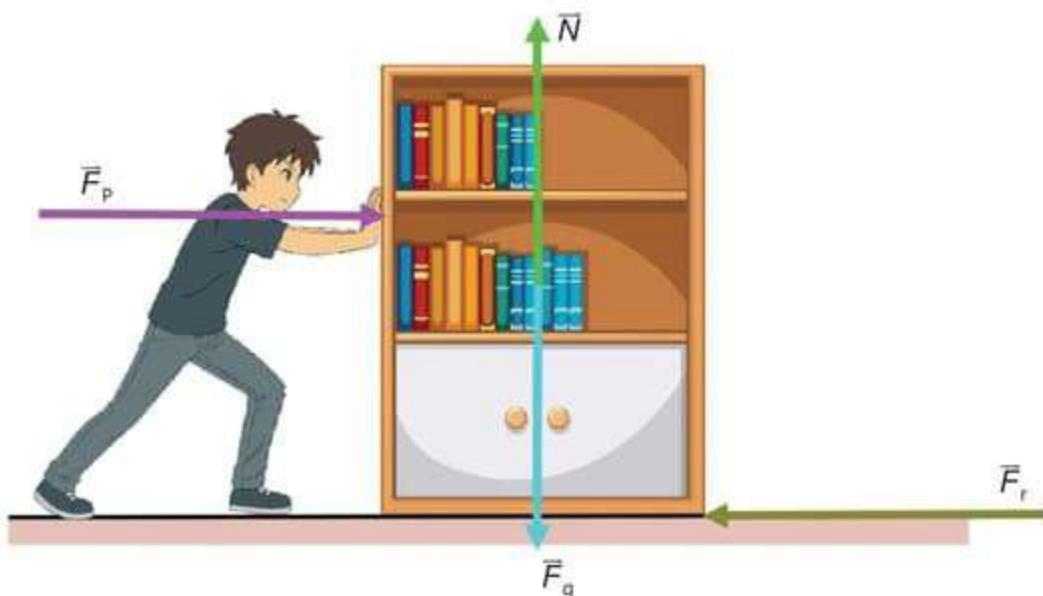


Fig. 11-P3. Sobre el estante actúan cuatro fuerzas, pero la suma de todas ellas es nula, por lo que no cambia su estado de reposo.

Consideremos otro ejemplo, una piñata que cuelga del techo sostenida por dos cuerdas que se extienden hacia los lados en forma de "V" (Fig. 12-P3). En este caso, cada cuerda tira en una dirección distinta, ni vertical ni horizontal. Sobre la piñata actúan así tres fuerzas: la de gravedad \vec{F}_g y las producidas por las cuerdas, \vec{T}_1 y \vec{T}_2 . Sin embargo, si se suman las tres siguiendo la regla de suma de vectores, veremos que el resultado es nulo. Un modo fácil y rápido de visualizar esto es trazar las componentes horizontales y verticales de las fuerzas. La suma de las componentes horizontales de \vec{T}_1 y \vec{T}_2 es nula y la suma de sus componentes verticales, $2\vec{T}_y$, tiene igual valor, igual dirección y sentido opuesto que la fuerza de gravedad, por lo que la suma de las tres fuerzas es nula.

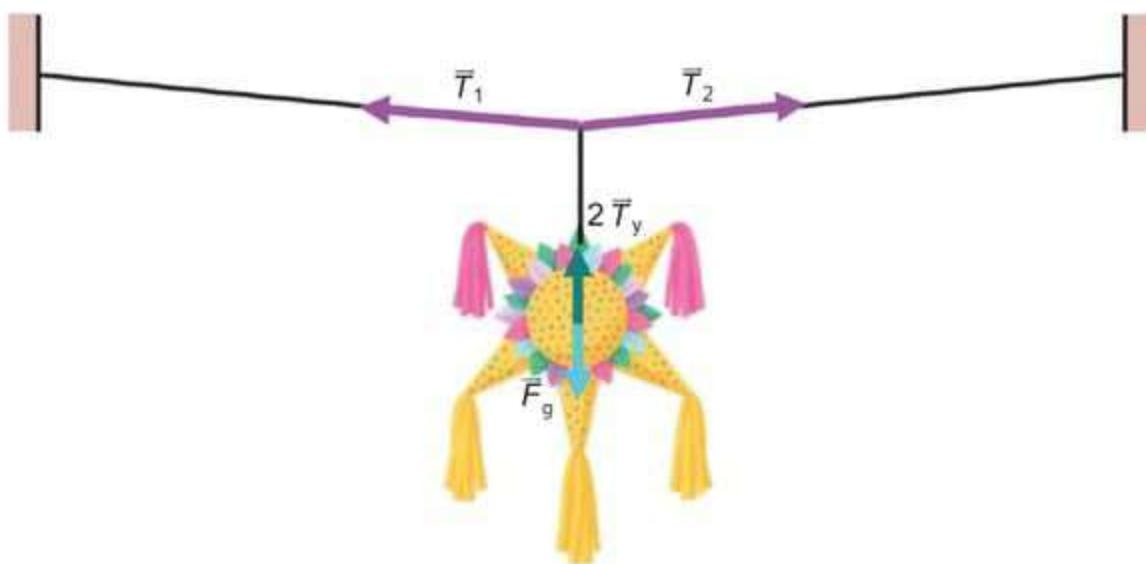


Fig. 12-P3. Una piñata cuelga de dos cuerdas en forma de V. Se han representado las fuerzas que actúan sobre ella, \vec{F}_g , \vec{T}_1 y \vec{T}_2 , así como la suma de estas dos últimas $2\vec{T}_y$.

3.3.4. Segunda ley de Newton y descenso de un cuerpo por un plano inclinado

Ahora que ya conoces que sobre los cuerpos siempre actúan varias fuerzas simultáneamente, es momento de subrayar que la \vec{F} implicada en la segunda ley de Newton representa la suma de todas las fuerzas ejercidas sobre el cuerpo. Teniendo en cuenta esto, comparemos el movimiento de un cuerpo que desciende por un plano inclinado con el movimiento del mismo cuerpo cuando simplemente se deja caer (Fig. 13-P3). Supondremos que la resistencia del aire y la fricción son despreciables.

En el caso que se deja caer, su velocidad se incrementa más rápidamente que en el plano inclinado, es decir, su aceleración es mayor. ¿Cómo se explica esto si en los dos casos la fuerza de gravedad sobre el cuerpo y su masa son iguales?

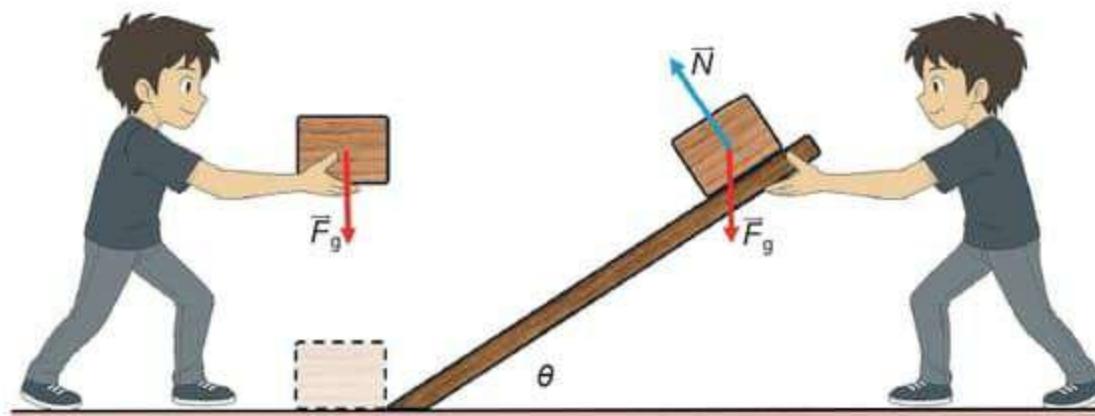


Fig. 13-P3. La aceleración del cuerpo al dejarlo caer es mayor que si desliza por el plano, a pesar de que la fuerza de gravedad es la misma en los dos casos.

Cuando el cuerpo se deja caer, sobre él solo actúa la fuerza de gravedad. Sin embargo, durante su descenso por el plano inclinado, también actúa la fuerza \vec{F} ejercida por el plano (Fig. 13-P3). Analicemos estas fuerzas.

La fuerza de gravedad \vec{F}_g sobre el cuerpo en el plano inclinado (Fig. 14-P3) puede descomponerse en dos direcciones perpendiculares entre sí, una según el plano, \vec{F}_{gx} y otra perpendicular a él, \vec{F}_{gy} . Esta última hace que el cuerpo presione sobre el plano con cierta fuerza. Pero según la tercera ley de Newton, el plano actúa con una fuerza de reacción, \vec{N} , sobre el cuerpo, de igual magnitud y sentido contrario que \vec{F}_{gy} . De modo que $\vec{F}_{gy} + \vec{N} = 0$. La fuerza neta sobre el cuerpo es, por tanto, igual a la componente de la fuerza de gravedad en la dirección del plano, \vec{F}_{gx} . Esta es, obviamente, menor que la fuerza de gravedad, lo que explica que la aceleración del cuerpo al descender por el plano sea menor.

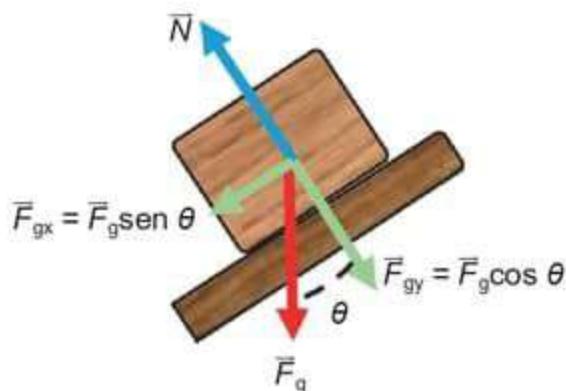


Fig. 14-P3. Fuerzas que actúan sobre un cuerpo que desciende por un plano sin fricción y componentes de la fuerza de gravedad.

3.3.5. Segunda ley de Newton y movimiento de proyectiles

Veamos cómo se aplica la segunda ley de Newton para explicar el movimiento de un proyectil, es decir, un cuerpo que se ha lanzado al aire.

Para simplificar, consideraremos una pelota lanzada horizontalmente y que la resistencia del aire es despreciable (Fig. 15-P3). La velocidad de la pelota es un vector, que gráficamente se representa por una flecha tangente a la trayectoria. En este caso el cambio de velocidad provocado por la fuerza implica dos aspectos: cambia su magnitud y también su dirección, la trayectoria se curva hacia abajo, tiene forma parabólica.

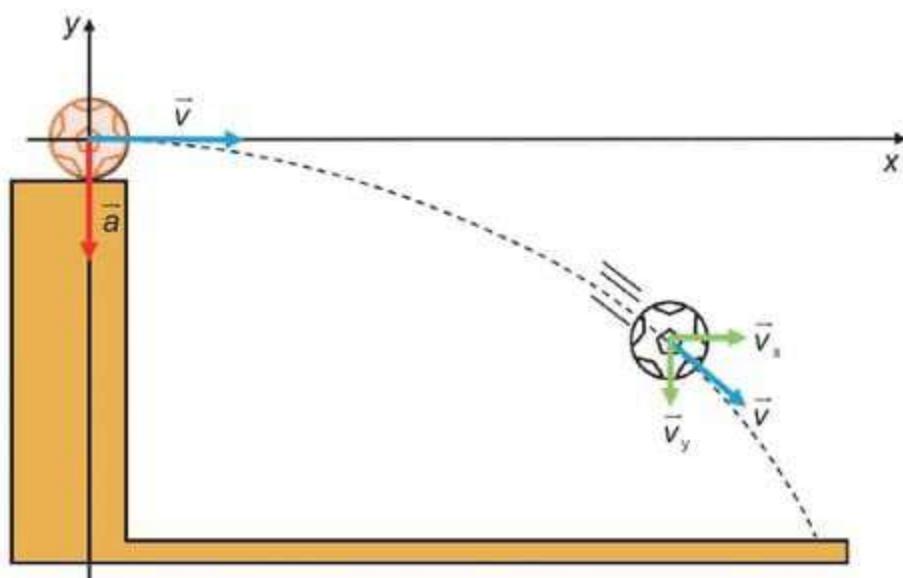


Fig. 15-P3. Representación de la velocidad de una pelota lanzada horizontalmente. La fuerza de gravedad solo afecta a la componente vertical de la velocidad.

Como cualquier vector, la velocidad puede descomponerse en dos direcciones perpendiculares entre sí. Para facilitar el análisis, escogimos las direcciones horizontal y vertical (Fig. 15-P3).

La fuerza de gravedad está dirigida verticalmente hacia abajo. De ahí que el cambio que origina en la velocidad de la pelota solo afecta a su componente vertical, y no a su componente horizontal. De este modo, el movimiento de la pelota puede interpretarse como una combinación de dos movimientos: uno horizontal con velocidad constante y otro vertical cuya velocidad aumenta constantemente. En la Tabla 1-P3 se muestran las ecuaciones que describen su velocidad y posición en las direcciones horizontal y vertical.

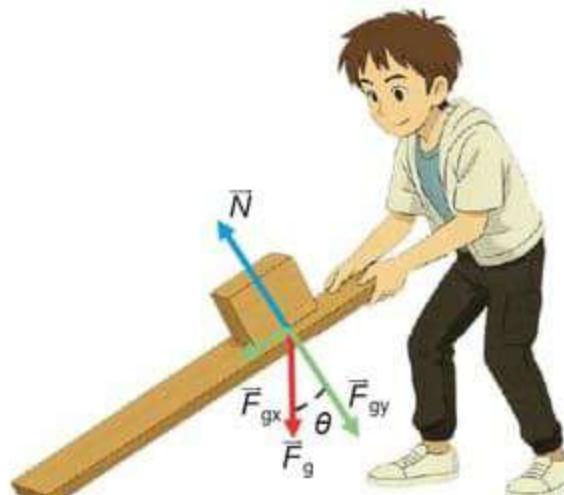
Tabla 1-P3. Movimiento horizontal (MRU) y movimiento vertical (MRUA)

Horizontal	Vertical
$v_x = v_0$	$V_y = V_{0y} + gt$
$x = x_0 + v_0 t$	$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} g t^2$

3.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase pondremos a prueba su comprensión de la segunda ley de Newton en forma vectorial y utilizaremos dicha ley para analizar situaciones concretas y desarrollar habilidades en la resolución de problemas.

Ejercicio 1. Un bloque de 5.0 kg descansa sobre un plano inclinado 30° respecto a la horizontal. Considera la fricción es despreciable y la aceleración de la gravedad 9.8 m/s^2 . a) Calcula la componente de la fuerza de gravedad que actúa a lo largo del plano. b) Calcula la componente de la fuerza de gravedad perpendicular al plano. c) ¿Qué ocurriría con estas componentes si el ángulo se incrementara?



Solución

1. Análisis del proceso:

Como todo vector, la fuerza de gravedad puede descomponerse en dos direcciones perpendiculares entre sí. Escojamos como esas direcciones, una a lo largo del plano y la otra perpendicular a él. La forma geométrica del plano es la de un triángulo. Este triángulo y el formado por el vector fuerza de gravedad y sus componentes son semejantes. Teniendo en cuenta esto, es fácil hallar los valores de las componentes de la fuerza de gravedad paralela al plano y perpendicular a él.

2. Identificación de los datos del problema:

$$m = 5.0 \text{ kg} \text{ y } \theta = 30^\circ$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

El valor de la fuerza de gravedad es $F_g = mg$

a) $F_{gx} = mg \sin \theta = (5.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \sin 30^\circ = 25 \text{ N}$

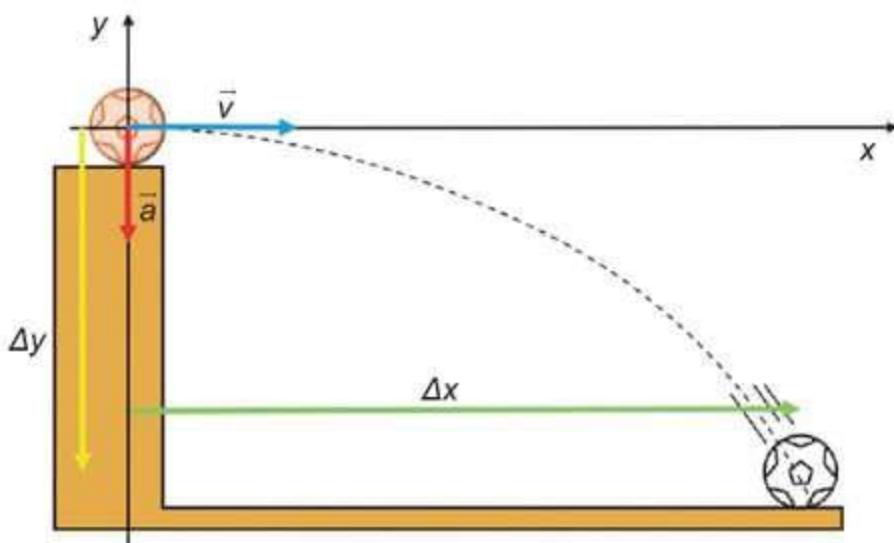
b) $F_{gy} = mg \cos \theta = (5.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \cos 30^\circ = 42 \text{ N}$

c) Del esquema se ve que al incrementar el ángulo aumenta la componente de la fuerza de gravedad a lo largo del plano y disminuye la componente en dirección perpendicular a él.

4. Conclusión:

La componente de la fuerza de gravedad en la dirección del plano es menor que la componente perpendicular a ella. A medida que el ángulo del plano aumenta, el valor de la componente horizontal disminuye y el de la componente vertical aumenta. Cuando el ángulo es de 45° , los valores de ambas componentes son iguales.

Ejercicio 2. Se lanza una pelota horizontalmente con una velocidad de 30 m/s desde una altura de 8.0 m. Desprecia la resistencia del aire y determina: a) El tiempo que tarda la pelota en tocar el suelo, b) la distancia horizontal que ha recorrido y c) el valor de la velocidad con que impacta. Considera $g = 9.80 \text{ m/s}^2$.



Solución

1. Análisis del proceso:

El movimiento de la pelota puede considerarse como una combinación de dos movimientos: uno hacia abajo con la aceleración de la gravedad y velocidad inicial nula, y otro horizontal con velocidad constante. La velocidad al impactar será la combinación de sus componentes horizontal y vertical en el instante del impacto.

2. Identificación de los datos del problema:

$$v_{0y} = 0 \text{ m/s}, h = 8.0 \text{ m}, g = 9.8 \text{ m/s}^2 \text{ y } v_{0x} = 30 \text{ m/s.}$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Tiempo que la pelota tarda en impactar

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

Si se elige el origen de coordenadas en el punto de lanzamiento y el sentido positivo hacia abajo, $y_0 = 0$, ya que $v_{0y} = 0$, queda $y = gt^2$.

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} = \sqrt{\frac{(2)(8.0 \text{ m})}{9.8 \text{ m/s}^2}} = 1.3 \text{ s}$$

b) Distancia horizontal recorrida.

Como el movimiento horizontal es con velocidad constante:

$$y = v_{0y}t = (30.0 \text{ m/s})(1.3 \text{ s}) = 39 \text{ m}$$

c) Valor de la velocidad con que impacta el suelo

El vector velocidad de la pelota todo el tiempo es tangente a la trayectoria y tiene dos componentes, una horizontal y otra vertical. Al llegar al suelo la componente horizontal es $v_{0x} = 30.0 \text{ m/s}$ y la componente vertical: $v_y = gt = (9.8 \text{ m/s}^2)(1.3 \text{ s}) = 13 \text{ m/s}$.

Utilizando el teorema de Pitágoras:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(30.0 \text{ m/s})^2 + (1.3 \text{ s})^2} = 33 \text{ m/s}$$

Otra opción para calcular esta velocidad es utilizar la ley de conservación de la energía mecánica. Así, la disminución de la energía potencial gravitatoria de la pelota es igual al aumento de su energía cinética: $mgh + \frac{1}{2}mv_i^2 = mv$. De ahí que $v = \sqrt{2gh + v_i^2} = 33$ m/s.

4. Conclusión:

El tiempo que tarda la pelota en impactar el suelo es 1.3 s, la distancia horizontal que recorre antes de impactar el suelo, 39 m y la velocidad con que impacta, 13 m/s. Utilizar la ley de conservación de la energía para hallar esta velocidad simplifica mucho el análisis.

3.5. Evaluate (Evaluación)

En esta fase final, a través de preguntas de reflexión, pondremos a prueba su comprensión del concepto de vector y de la segunda ley de Newton en forma vectorial, así como su habilidad para explicar diversas situaciones.

3.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. ¿Cuál de las siguientes es una magnitud vectorial?

 - A) Temperatura
 - B) Tiempo
 - C) Fuerza
 - D) Masa

2. ¿Qué indica la longitud de una flecha que representa un vector?

 - A) Su dirección
 - B) Su sentido
 - C) Su magnitud
 - D) Su masa

3. Dos fuerzas de 3 N y 4 N actúan sobre un objeto formando un ángulo de 90° entre ellas. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza resultante?

 - A) 5 N
 - B) 7 N
 - C) 12 N
 - D) 1 N

4. ¿Por qué un cuerpo que cae verticalmente acelera más que uno que baja por un plano inclinado?

 - A) Porque el plano reduce el peso del objeto.
 - B) Porque la gravedad no actúa en un plano inclinado.
 - C) Porque una componente de la fuerza de gravedad actúa en otra dirección.
 - D) Porque la velocidad inicial en el plano es cero.

5. En el movimiento de una pelota lanzada en dirección que forma cierto ángulo con la dirección horizontal, ¿qué sucede con la componente horizontal de la velocidad mientras asciende y después desciende?

 - A) Aumenta mientras desciende
 - B) Disminuye mientras asciende
 - C) Permanece constante
 - D) Cambia de dirección cuando la pelota comienza a descender

3.5.2. Problemas cualitativos

1. Sobre un cuerpo actúan dos fuerzas, una de 5 N y otra de 12 N, perpendiculares entre sí, ¿cuál es la magnitud de la fuerza resultante? ¿Por qué no es simplemente 17 N?
2. Si un objeto está en reposo a pesar de tener múltiples fuerzas actuando sobre él, ¿qué condición deben cumplir estas fuerzas? Explica con un ejemplo.
3. ¿Por qué es útil descomponer un vector en componentes perpendiculares? Ilustra con el caso de un cuerpo en un plano inclinado.
4. Si aplicas una fuerza constante a un cuerpo en dirección perpendicular a su velocidad inicial, ¿cómo será su trayectoria?
5. En la construcción de puentes colgantes, como el puente Baluarte en Durango, se utilizan cables de suspensión. ¿Cómo ayudan estos cables a distribuir el peso del puente y mantenerlo en equilibrio?

3.5.3. Problemas cuantitativos

1. Una lámpara de 5.0 kg cuelga de dos cuerdas que forman ángulos de 60° con la horizontal. a) Dibujen un diagrama con las fuerzas que actúan sobre la lámpara y b) calculen la tensión en cada cuerda.
Respuesta: 28 N
2. Sobre un objeto de masa 0.50 kg actúan dos fuerzas, una de 4.0 N hacia el este y otra de 3.0 N hacia el norte. Calculen a) su aceleración y b) su velocidad a los 2.0 segundos, si partió del reposo.
Respuesta: 10 m/s^2 a 37° al noreste, 20 m/s
3. Un cuerpo de 4.0 kg colgado de una cuerda es acelerado hacia arriba a 1.5 m/s^2 , por medio de una polea. Calculen a) la fuerza ejercida por la cuerda durante el ascenso y b) qué valor tendría la fuerza si el objeto descendiera con esa misma aceleración.
Respuesta: 45 N, 33 N
4. Un cuerpo se deja caer desde 10 m de altura. Otro desliza sin fricción por un plano inclinado a 45° desde la misma altura. Calculen el tiempo que demora cada uno en llegar al suelo.
Respuesta: El primero en 1.4 s y el segundo 2.0 s
5. Un proyectil se lanza a 25 m/s en una dirección que forma 30° con la horizontal. Calculen a) su altura máxima y b) su alcance horizontal.
Respuestas: 8.0 m, 55 m

3.5.4. Autoevaluación y reflexión

En esta etapa final reflexionarán sobre su aprendizaje acerca de los vectores y la segunda ley de Newton en forma vectorial. Estas preguntas les ayudarán a consolidar sus conocimientos y a pensar en cómo aplicarlos más allá del aula.

1. ¿Qué aspectos de la segunda ley de Newton y sus aplicaciones te resultó más contraintuitivo e interesante?
2. ¿Puedes identificar algunas aplicaciones de los conceptos estudiados a situaciones cotidianas?
3. Considerando tus futuros estudios, ¿cómo crees que lo aprendido podría resultarte útil?

Cápsula

4

Progresión de aprendizaje 4: Analizar la conservación del momento lineal en sistemas físicos aislados a través de ejemplos de interacciones entre cuerpos durante colisiones.

Metas de aprendizaje

CC. Comprender la conservación del momento lineal como principio fundamental que gobierna las interacciones entre objetos en sistemas aislados, relacionando esta ley con fenómenos cotidianos y aplicaciones tecnológicas.

CT1. Identificar patrones de comportamiento en colisiones elásticas e inelásticas, reconociendo regularidades en la transferencia de momento lineal que permitan predecir resultados en diferentes tipos de interacciones.

CT2. Establecer relaciones causa-efecto entre la aplicación de impulsos y los cambios en el momento lineal de los objetos, analizando cómo las fuerzas durante intervalos de tiempo específicos modifican el estado de movimiento.

CT3. Aplicar técnicas de medición vectorial para calcular el momento lineal total en sistemas bidimensionales, utilizando componentes y suma vectorial para resolver problemas de colisiones no frontales.

CT4. Construir modelos matemáticos que describan la conservación del momento lineal en diferentes tipos de sistemas, incluyendo colisiones perfectamente inelásticas, elásticas y fenómenos de propulsión reactiva.

CT5. Analizar los flujos de energía cinética durante las colisiones, distinguiendo entre procesos donde se conserva completamente y aquellos donde se transforma en otras formas de energía.

CT6. Relacionar la estructura de los sistemas físicos con su función en la conservación del momento, examinando cómo las características de masa y velocidad determinan el comportamiento durante las interacciones.

CT7. Evaluar la estabilidad de sistemas antes y después de las colisiones, interpretando cómo los cambios en el momento lineal afectan el equilibrio y la dinámica de los objetos involucrados.

Concepto central

CC. La energía en los procesos de la vida diaria

Conceptos transversales

CT1. Patrones

CT2. Causa y efecto

CT3. Medición

CT4. Sistemas

CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía

CT6. Estructura y función

CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 4: Ley de conservación del momento lineal

En esta cápsula examinarán el momento lineal como magnitud fundamental que caracteriza el movimiento de los objetos y su conservación en sistemas aislados. A través del estudio del teorema del impulso y el momento lineal, la clasificación de colisiones y el estudio de interacciones bidimensionales, desarrollarán habilidades para resolver problemas. Esto les permitirá explicar fenómenos cotidianos como el retroceso de armas de fuego, el funcionamiento de cohetes y la dinámica de accidentes vehiculares, desarrollando su pensamiento científico y capacidad de análisis crítico.

4.1. Engage (Empezamos)

En esta fase inicial, reflexionaremos sobre situaciones cotidianas donde el concepto de momento lineal está presente, aunque quizás no lo hayamos notado antes.

1. ¿Por qué creen que en las ligas profesionales de béisbol se exige usar bates de madera, mientras que en las ligas juveniles o escolares se permiten bates de aluminio?
2. En un juego de billar, cuando la bola blanca golpea a otra que está en reposo, ¿por qué en ocasiones la bola blanca se detiene y la otra sale disparada aproximadamente con la velocidad que tenía la bola blanca?
3. En un juego de boliche, ¿por qué los pinos salen despedidos en diferentes direcciones después del impacto con la bola?
4. ¿Por qué al disparar un rifle se siente un retroceso en el hombro?
5. Cuando un cohete de los utilizados para poner satélites en órbita despegue los gases salen hacia abajo, mientras el cohete asciende. ¿Cómo se explicaría esto?

4.2. Explore (Exploramos)

Ya conocen que la energía es una magnitud utilizada para caracterizar los cambios que tienen lugar en los sistemas y que ella se conserva. Ahora se relacionarán con otra magnitud que caracteriza los cambios en el movimiento y explorarán su conservación o no.

Actividad práctica 1. Choques entre canicas.

Objetivo:

Explorar choques entre dos canicas y analizar si la cantidad de movimiento total de ellas se conserva.

Introducción:

Un fenómeno muy común en la vida diaria es el choque entre cuerpos, como ocurre con canicas, bolas de billar o vehículos. El resultado de un choque depende de las masas y velocidades de los cuerpos involucrados, concretamente del producto mv de cada uno, llamado momento lineal o cantidad de movimiento.

En esta actividad explorarán si esta magnitud se conserva en el choque entre canicas.

Materiales:

Dos canicas iguales, un canal o riel.

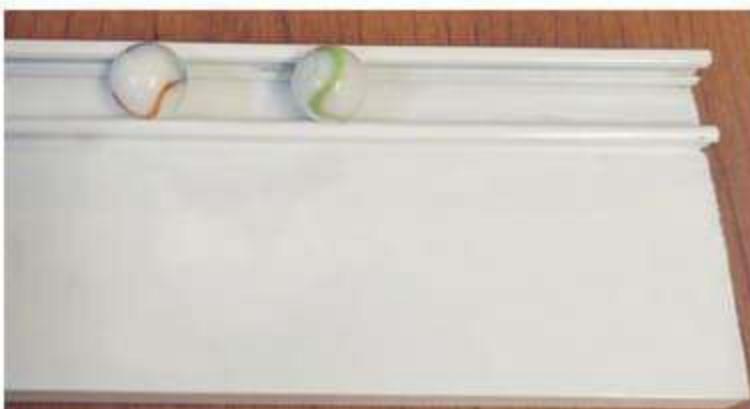


Fig. 1-P4. Materiales para estudiar choques unidimensionales entre dos canicas.

Procedimiento:

Sujeten el canal o riel sobre la superficie horizontal y coloquen una canica en reposo en su parte central.

Lancen la otra canica desde un extremo del riel de modo que choque con la que está en reposo. ¿Cómo cambian las velocidades de las canicas después del choque? ¿Será igual o diferente la suma de los momentos lineales de las canicas antes y después del choque?

Ahora sitúen las canicas directamente sobre la superficie horizontal, esta vez muy próximas entre sí y, además, una desplazada lateralmente respecto a la otra, es decir, no en una misma línea.

Con un dedo índice, imprímanle un fuerte impulso a una de las canicas de modo que choque con la otra. ¿Cómo cambian las magnitudes y direcciones de las velocidades de las canicas?

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. Identifiquen todas las fuerzas presentes en estas experiencias. ¿Cuáles son externas al sistema de las dos bolas y cuáles internas?
2. ¿Podrá considerarse como si estuviera aislado el sistema formado por las dos bolas que chocan? Expliquen.
3. ¿Será igual el momento lineal total del sistema formado por las dos canicas antes del choque y después de él? Tengan en cuenta que en el caso del choque no frontal, la suma de los momentos lineales no es una simple suma aritmética, sino vectorial.

Actividad práctica 2. Colisiones y conservación del momento lineal.

Objetivo:

Explorar choques entre dos bolas utilizando un simulador y analizar si la cantidad de movimiento total de ellas se conserva.

Introducción:

Un fenómeno muy común en la vida diaria es el choque entre cuerpos, como ocurre con canicas, bolas de billar o vehículos. El resultado de un choque depende de las masas y velocidades de los cuerpos involucrados, concretamente del producto mv de cada uno, llamado momento lineal o cantidad de movimiento. El simulador hace posible la visualización de los vectores velocidad y momento lineal antes y después de la colisión, lo que facilita la comprensión y análisis de las situaciones consideradas.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/collision-lab>

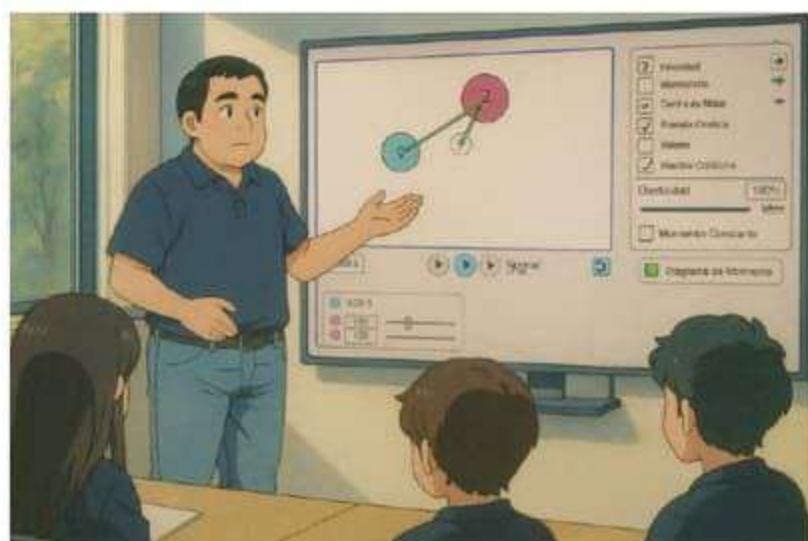


Fig. 2-P4. Docente explica la conservación del momento lineal en choques de dos cuerpos.

Procedimiento:

Accedan al simulador y seleccionen la pestaña "Explora 2D". La imagen representa dos bolas como si estuvieran en una mesa de billar. Asignen a cada bola una masa de 1 kg y hagan clic en la casilla "Valores". Sitúen las bolas de modo que sus centros queden en una misma línea horizontal. Hagan clic en la punta de la flecha de la bola 2 y reduzcan su longitud a cero. Seguidamente orienten el vector velocidad de la bola 1 según la línea que une los centros de las bolas. Anoten los valores de m , \bar{v} , y \bar{p} .

Pongan en marcha la simulación y observen el choque. ¿Qué sucede con las velocidades de las bolas? ¿Será igual o diferente la suma de los momentos lineales de las bolas antes y después del choque?

Reinician la simulación y desplacen la bola 2 hacia abajo para que quede en el centro de la "mesa". A continuación, muevan la bola 1 también hacia abajo, pero ahora de modo que quede desplazada lateralmente respecto a la bola 2. Pongan en marcha la simulación y deténganla inmediatamente. Anoten los valores de m , \bar{v} , y \bar{p} . ¿Será igual o diferente la suma de los momentos lineales de las bolas antes y después del choque? Tengan en cuenta que en este caso la suma de los momentos lineales no es una simple suma aritmética, sino vectorial.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. Identifiquen todas las fuerzas presentes en estas experiencias. ¿Cuáles pueden ser externas al sistema de las dos bolas y cuáles internas?
2. ¿Podrá considerarse como si estuviera aislado el sistema formado por las dos bolas que chocan? Expliquen.
3. Analicen los datos recopilados. ¿Será igual el momento lineal total del sistema formado por las dos bolas antes del choque y después de él? Tengan en cuenta que en el caso del choque no frontal, la suma de los momentos lineales no es una simple suma aritmética, sino vectorial.

4.3. Explain (Explicación)

En esta fase abordaremos el concepto de momento lineal y su conservación. Exploraremos cómo este concepto ayuda a entender y predecir el movimiento de los objetos en diversas situaciones.

4.3.1. Impulso y momento lineal

En la progresión 1 vimos que el efecto de aplicar una fuerza constante a un cuerpo a lo largo de cierto desplazamiento es la variación de su energía cinética. Ahora consideraremos el efecto de aplicar la fuerza durante cierto intervalo de tiempo. Para medir dicho efecto se utiliza una magnitud denominada impulso:

$$J = \bar{F}\Delta t$$

Donde J es el impulso, \bar{F} es la fuerza aplicada y Δt es el intervalo de tiempo durante el cual actúa la fuerza.

Para un cuerpo de masa m , a partir de la segunda ley de Newton se tiene:

$$J = \bar{F}\Delta t = m\bar{a}\Delta t = m \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} \Delta t$$

De modo que $\bar{F}\Delta t = m(\bar{v} - \bar{v}_0)$

Donde \bar{v} es la velocidad al cabo del intervalo de tiempo Δt y \bar{v}_0 es la velocidad inicial del cuerpo.

La ecuación anterior puede escribirse:

$$\bar{F}\Delta t = m\bar{v} - m\bar{v}_0$$

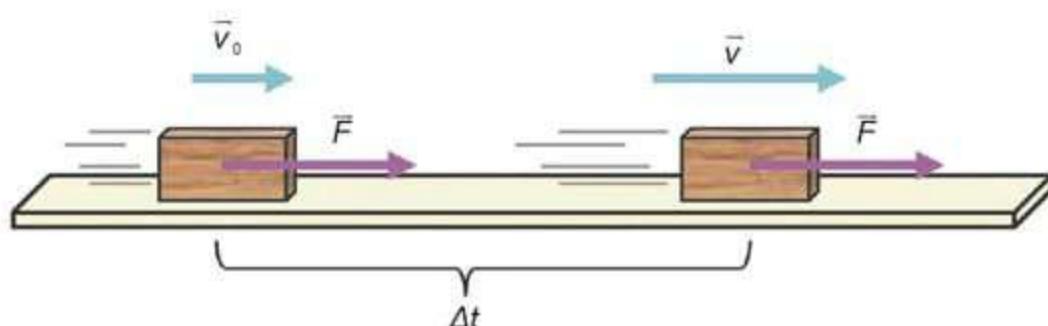


Fig. 3-P4. Impulso y cambio del momento lineal.

La magnitud $m\bar{v}$ se denomina momento lineal o cantidad de movimiento y comúnmente se representa por la letra \bar{p} . De modo que expresado con palabras el resultado anterior es el siguiente:

El impulso de la fuerza neta ejercida sobre un cuerpo es igual a la variación de su momento lineal. Este resultado se conoce como teorema del impulso y el momento lineal.

Consideremos el ejemplo de un bateador golpeando una pelota de béisbol. La fuerza ejercida por el bate sobre la pelota es muy grande, pero actúa durante un tiempo muy corto, del orden de milisegundos. El impulso $F\Delta t$ impartido a la pelota es lo que causa el cambio en su momento lineal, enviándola a gran velocidad en la dirección opuesta.



Fig. 4-P4. El tiempo de choque de una pelota de béisbol con un bate de madera puede ser de 1 a 2 milisegundos.

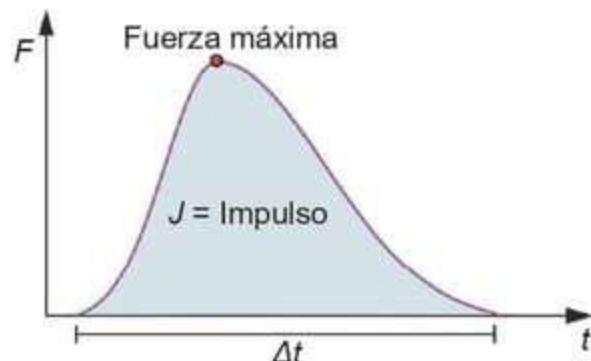


Fig. 5-P4. Representación gráfica de la magnitud del impulso durante un impacto breve entre un bate y una pelota. Para este caso la fuerza no es constante.

El concepto de momento lineal fue introducido por René Descartes en el siglo XVII, aunque fue Isaac Newton quien lo formalizó matemáticamente en sus leyes del movimiento. La importancia de este concepto radica en su conservación en sistemas aislados o en los cuales la suma de las fuerzas externas es cero.

El momento lineal se define siempre en relación con un marco de referencia específico. Por ejemplo, un pasajero sentado en un tren en movimiento tiene un momento lineal nulo respecto al tren, pero un momento lineal considerable respecto a un observador en tierra firme. La ley de conservación del momento lineal es una de las leyes fundamentales de la física. En cualquier sistema donde la suma de las fuerzas externas sea cero, el momento lineal total se mantiene constante.



Fig. 6-P4. Para la persona en la locomotora las personas en el tren no se mueven y, por tanto, no tienen momento lineal, mientras que para la que está en la estación sí.

La importancia del concepto de momento lineal radica, ante todo, en la ley de su conservación: El momento lineal total de un sistema se conserva si el sistema está aislado. Esta ley, junto a la de conservación de la energía permite explicar numerosos fenómenos, tanto del mundo macroscópico como del microscópico, así como abordar la solución de diversos problemas.

4.3.2. Análisis de colisiones utilizando la ley de conservación del momento lineal

La ley de conservación del momento lineal resulta de utilidad en el análisis de las colisiones. Estas son interacciones entre objetos durante las cuales no se realizan mediciones ni observaciones. Por lo general, no se conoce, o no interesa, lo que sucede durante ellas. La interacción suele durar un tiempo muy pequeño comparado con el fenómeno que se analiza. En general, las colisiones se pueden clasificar en tres tipos principales:

1. *Colisiones elásticas:* se conservan tanto el momento lineal como la energía cinética. Un ejemplo clásico es la colisión entre bolas de billar sobre una mesa sin fricción.

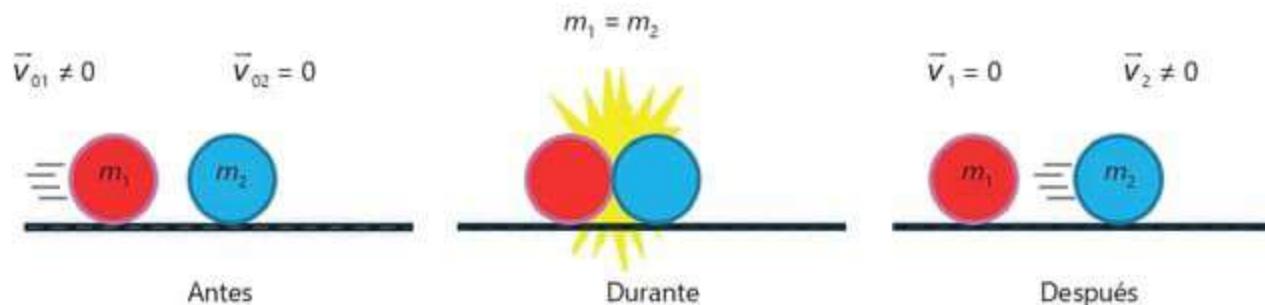


Fig. 7-P4. Choque elástico entre dos esferas de igual masa: se conservan \vec{p} y E_c ; la bola en movimiento se detiene y transfiere su velocidad a la otra.

2. **Colisiones inelásticas:** se conserva el momento lineal, pero parte de la energía cinética se transforma en otras formas de energía, como energía térmica o energía asociada a deformaciones permanentes. Un ejemplo común es la colisión de un auto, en la que ocurren deformaciones.

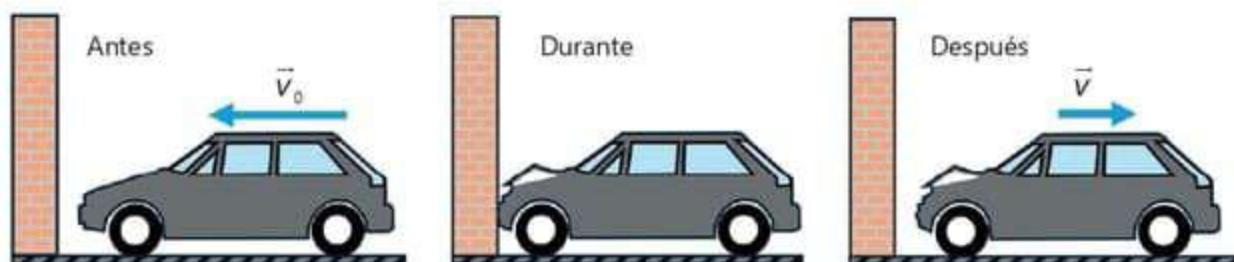


Fig. 8-P4. Colisiones inelásticas contra un muro: parte de la E_c se transforma en deformación y energía térmica.

3. **Colisiones perfectamente inelásticas:** después de la colisión los objetos tienen las mismas velocidades, lo cual suele ocurrir cuando permanecen unidos. Se conserva el momento lineal, pero la pérdida de energía cinética es máxima. Un ejemplo es el choque de dos automóviles cuando después de la colisión permanecen unidos.

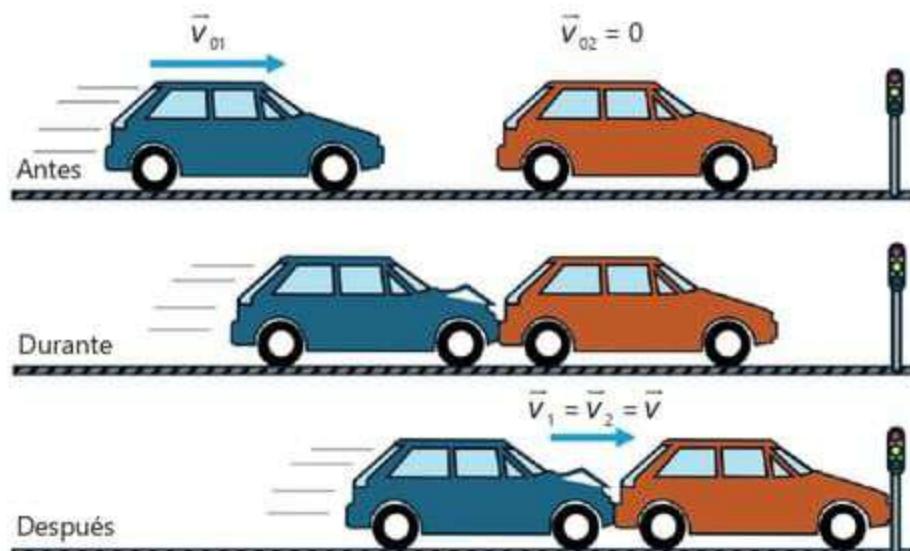


Fig. 9-P4. Colisión perfectamente inelástica: los autos quedan unidos y comparten una velocidad común; \vec{p} total se conserva y la pérdida de E_c es máxima.

Tabla 1-P4. Comparación de tipos de colisiones.

Tipo de colisión	Conservación de momento lineal	Conservación de energía cinética	Ejemplos cotidianos
Elástica	✓ Sí se conserva.	✓ Sí se conserva.	Bolas de billar, moléculas de gas, colisiones entre canicas.
Inelástica	✓ Sí se conserva.	X No se conserva (se transforma en energía térmica, sonido, deformación).	Colisión de automóviles, choque de una pelota con el suelo al caer, contacto entre el bate y la pelota.
Perfectamente inelástica	✓ Sí se conserva.	X No se conserva (pérdida máxima).	Dardo con ventosa en pared, vagones que se enganchan, bala incrustada en blanco.

El análisis de colisiones utilizando la ley de conservación del momento lineal nos permite predecir el resultado de estos eventos sin necesidad de conocer los detalles exactos de las fuerzas involucradas durante el tiempo de la interacción.

Por ejemplo, consideremos dos carritos de juguete de masas $m_1 = 0.50 \text{ kg}$ y $m_2 = 0.30 \text{ kg}$ que se mueven en la misma dirección con velocidades $v_1 = 2.0 \text{ m/s}$ y $v_2 = 1.0 \text{ m/s}$ respectivamente. Si colisionan de forma perfectamente inelástica, podemos calcular su velocidad final común usando la conservación del momento lineal:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$$

$$(0.5 \text{ kg})(2 \text{ m/s}) + (0.3 \text{ kg})(1 \text{ m/s}) = (0.5 \text{ kg} + 0.3 \text{ kg})v$$

$$v = 1.6 \text{ m/s}$$

4.3.3. Interacciones sin contacto

En la vida cotidiana los choques o colisiones se identifican con interacciones en las que los cuerpos entran en contacto directo. Sin embargo, si prestamos atención a la definición de choque que hemos dado en el apartado 3.4.2, advertiremos que otros tipos de interacciones comúnmente no consideradas como tales en realidad también pueden pensarse como choques. Entre ellas están las interacciones sin contacto directo.

Ejemplo típico de colisión sin contacto es la desviación de la trayectoria seguida por una partícula alfa debido a la fuerza de repulsión ejercida sobre ella por un núcleo atómico, como en el famoso experimento de Rutherford, que dio lugar a la idea de que los átomos están compuestos por un núcleo positivo de dimensiones muy pequeñas, rodeado de electrones que ocupan la mayor parte del átomo.

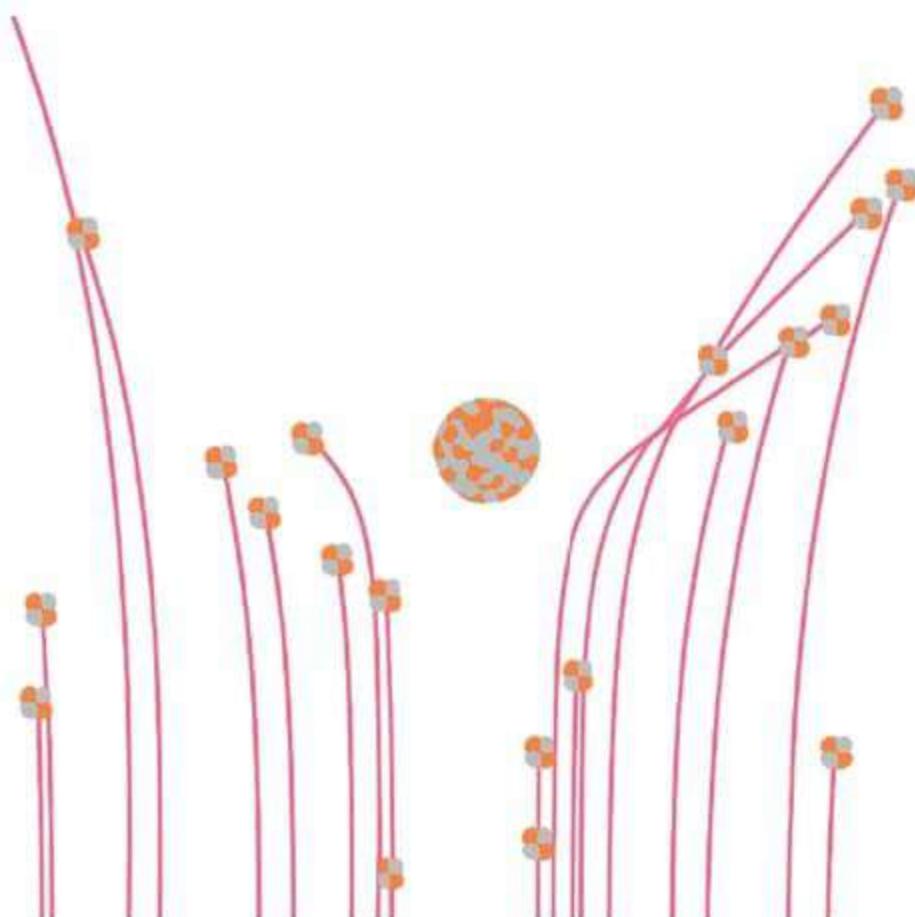


Fig. 10-P4. Desviación de partículas alfa debido a choque sin contacto en el experimento de Rutherford.

Otro ejemplo de colisión sin contacto que tiene especial interés es el denominado "encuentro cercano", empleado en los vuelos cósmicos hacia lugares del sistema solar muy distantes de la Tierra. Estos vuelos se diseñan de tal modo que la nave realiza un encuentro transitorio con algún planeta más cercano, entrando en órbita alrededor de él temporalmente (Fig. 11-P4). Como resultado de este "choque" o encuentro entre el planeta y la nave, cuando ésta deja al planeta su velocidad ha aumentado. Ocurre como si la nave se impulsara, con el consiguiente ahorro de energía, debido a lo cual se dice que estos vuelos son asistidos, o propulsados, por gravedad.

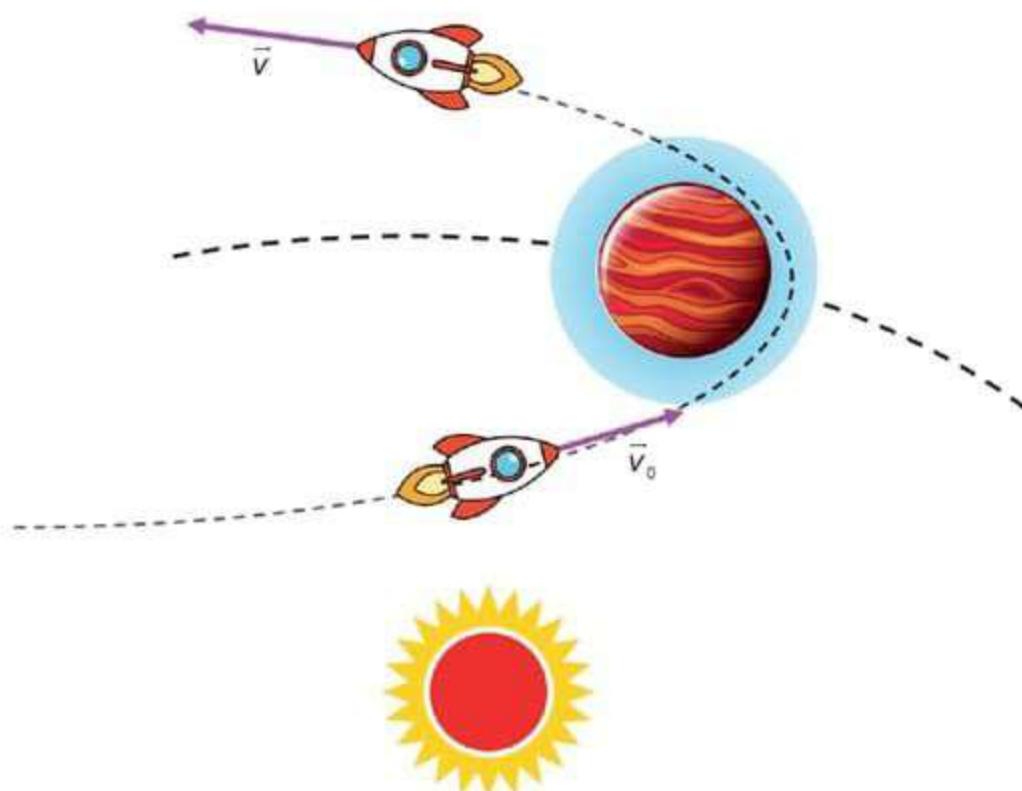


Fig. 11-P4. Colisión sin contacto entre una nave espacial y un planeta.

4.3.4. Choques bidimensionales

Los choques considerados hasta ahora tienen lugar en una dimensión, tanto antes como después del choque los cuerpos se mueven en una única dirección, pero en infinidad de casos no ocurre así. Por ejemplo, en los choques entre canicas y bolas de billar, lo más frecuente es que las direcciones del movimiento de los cuerpos después del choque no coincidan con las direcciones antes de él. Sin embargo, en tales casos, si el sistema de cuerpos puede considerarse aislado, también se conserva el momento lineal total, solo que las sumas de los momentos lineales antes del choque y después de él, son sumas vectoriales.

En la figura 12-P4 se ha representado el choque de dos bolas de igual masa, por ejemplo, de billar o canicas. El sistema de las dos bolas no está estrictamente aislado, ya que sobre cada bola actúan la fuerza de gravedad y la de reacción del apoyo. No obstante, esas fuerzas se compensan, por lo que puede considerarse como si lo estuviera. La bola 1 choca con la 2 que está en reposo. Después del choque, las bolas se mueven en direcciones distintas a la inicial.

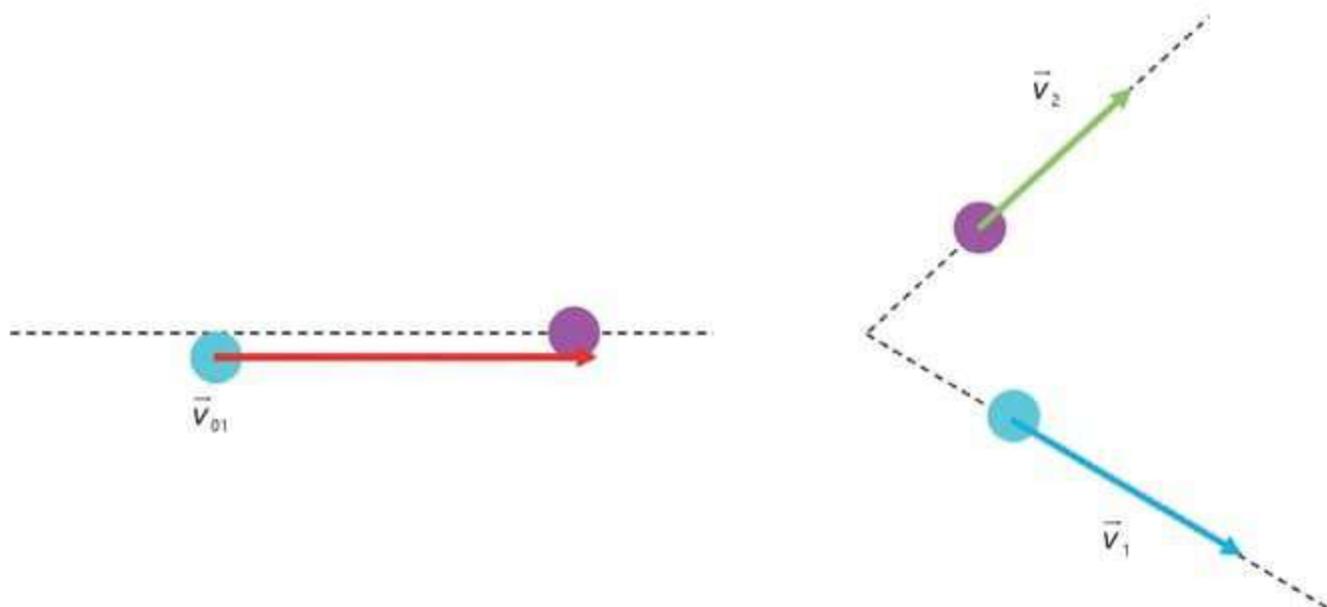


Fig. 12-P4. Choque bidimensional: La bola 1 se mueve con velocidad \vec{v}_{01} hacia la bola 2, que está en reposo, y choca con ella. Después del choque, se mueven en direcciones diferentes a la inicial.

El momento lineal de la bola 1 antes del choque es $m\vec{v}_{01}$ y el de la bola 2 cero, ya que estaba en reposo. Después del choque, el momento lineal de las bolas son, respectivamente, $m\vec{v}_1$ y $m\vec{v}_2$.

La ecuación de conservación del momento lineal del sistema de las dos bolas es:
 $m\vec{v}_{01} = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2$.

La figura 13-P4 muestra los vectores momento lineal antes del choque ($m\vec{v}_{01}$) y después de él ($m\vec{v}_1$ y $m\vec{v}_2$). La suma de $m\vec{v}_1$ y $m\vec{v}_2$ usando la regla del triángulo para la suma de vectores, coincide con el momento lineal inicial $m\vec{v}_{01}$, que es la de la bola 1. O sea, el momento lineal total después del choque es igual al momento lineal total antes de él.

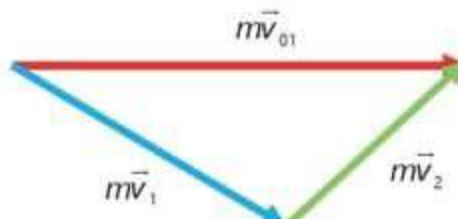


Fig. 13-P4. La suma vectorial de los momentos lineales de dos bolas que chocan es igual antes que después del choque si el sistema puede considerarse como aislado.

4.3.5. Fuerza reactiva

El término “fuerza reactiva” deriva directamente de la tercera ley de Newton. Seguramente has observado un globo inflado cuando se suelta sin atarle su boca. El aire comprimido en el globo escapa a gran velocidad, lo que significa que el globo actúa sobre el aire con fuerza. A su vez, según la tercera ley de Newton, el aire que sale del globo ejerce sobre este una fuerza en sentido contrario que lo impulsa hacia atrás. Esa fuerza sobre el globo se denomina fuerza reactiva.

Ese es el origen de la fuerza ejercida hacia atrás por una manguera cuando el agua sale de ella a gran presión, como en las mangueras de los bomberos y es también lo que explica el retroceso de una pistola o un rifle al disparar.

En muchos jardines se instalan aspersores rotatorios para el riego. El agua sale a presión por las boquillas laterales y al hacerlo, actúa sobre las boquillas con una fuerza reactiva. Estas fuerzas provocan un torque que hace girar el aspersor.

Un caso de particular interés es el lanzamiento de un cohete. La fuerza reactiva debida al chorro de los gases que son expulsados a gran velocidad impulsa el cohete, de modo análogo que el aire al escapar de un globo.

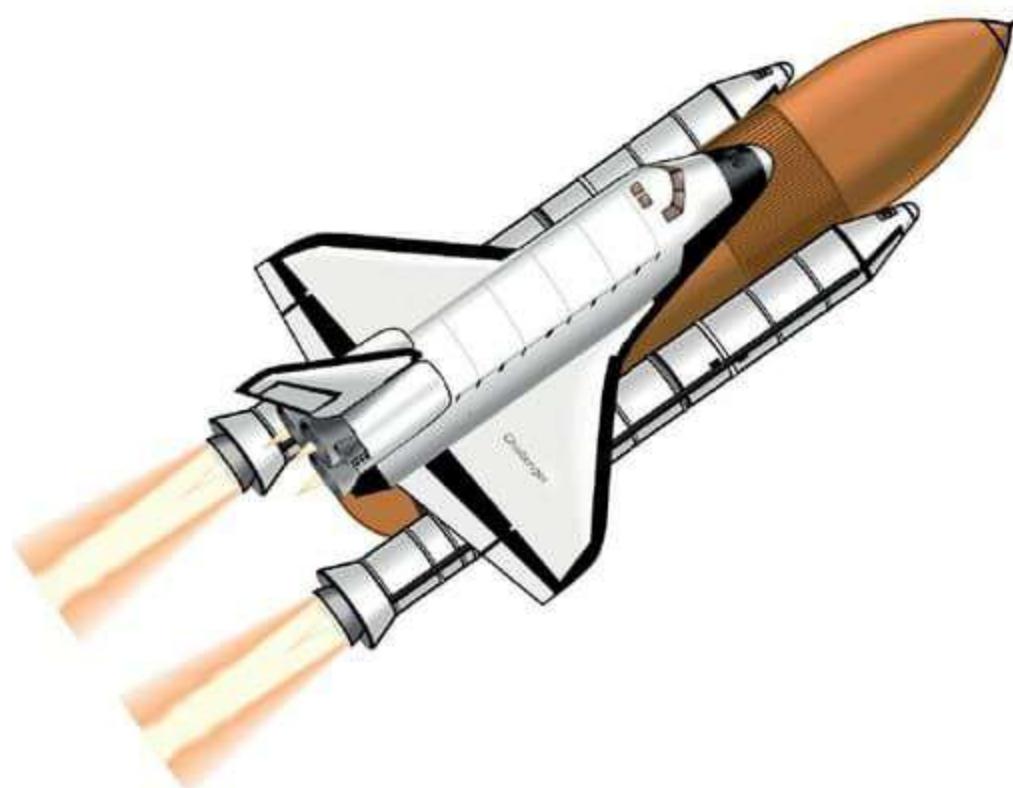


Fig. 14-P4. El chorro de gases que escapa a gran velocidad del cohete ejerce sobre este una fuerza reactiva.

Si la velocidad relativa al cohete con que salen los gases es \bar{v}_e y la rapidez de expulsión de masa del cohete, $\frac{\Delta m}{\Delta t}$, es constante, la fórmula para calcular la fuerza reactiva es:

$$\bar{F}_r = \bar{v}_e \left(\frac{\Delta m}{\Delta t} \right)$$

Esta ecuación, conocida como ecuación del cohete, permite calcular la fuerza reactiva o de empuje \bar{F}_r sobre él.

4.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase, pondremos a prueba nuestra comprensión del momento lineal y su conservación mediante la resolución de problemas. Aplicaremos los conceptos aprendidos a situaciones del mundo real, desarrollando habilidades para analizarlas.

Ejercicio 1. En un juego de béisbol, un bateador golpea una pelota de 145 g que se aproximaba a 40.0 m/s. El bate ejerce una fuerza promedio de 1.46×10^4 N sobre la pelota durante 1.00×10^{-3} s. a) Calcula el impulso aplicado a la pelota. b) Determina el valor de la velocidad de la pelota inmediatamente después del impacto.



Solución

1. Análisis del proceso:

Este problema analiza el cambio de momento lineal en una pelota de béisbol al ser golpeada por un bate, con énfasis en el impulso generado. Para calcular la velocidad final de la pelota inmediatamente después del impacto, usaremos la relación entre impulso y la variación del momento lineal.

2. Identificación de los datos del problema:

$m = 145 \text{ g} = 0.145 \text{ kg}$, $v_0 = 40.0 \text{ m/s}$ en dirección opuesta al bateador, $F = 1.46 \times 10^4 \text{ N}$ y $\Delta t = 1.00 \times 10^{-3} \text{ s}$.

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo del impulso aplicado a la pelota

$$J = F\Delta t = (1.46 \times 10^4 \text{ N})(1.00 \times 10^{-3} \text{ s}) = 14.6 \text{ N}\cdot\text{s}$$

b) Cálculo de la velocidad de la pelota inmediatamente después del impacto

$$F\Delta t = mv - mv_0$$

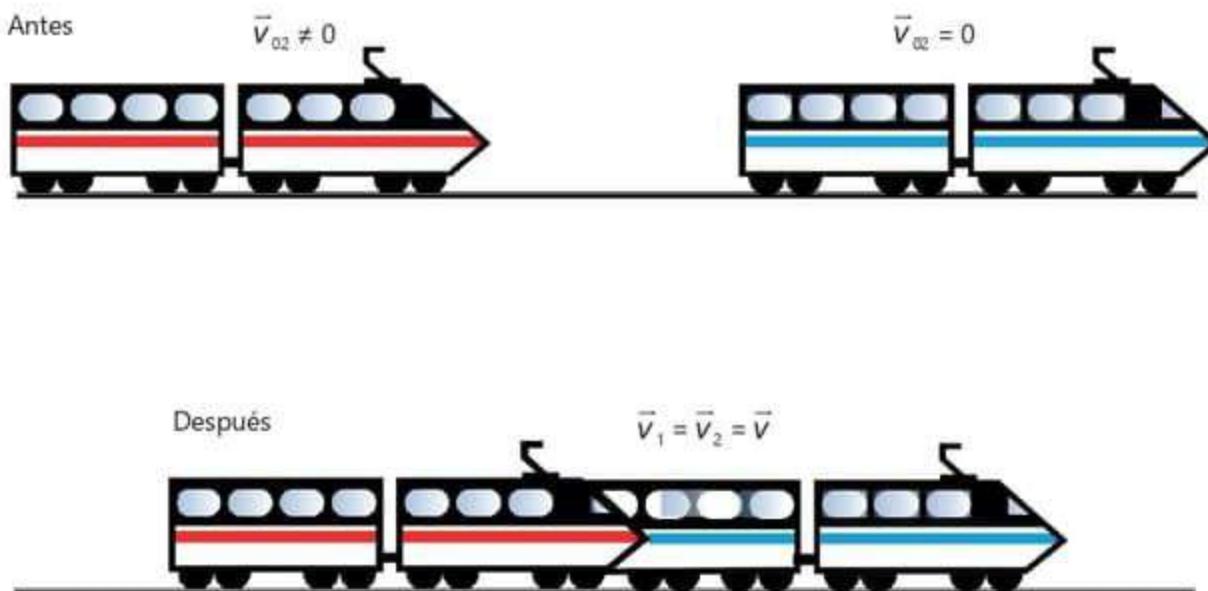
$$F\Delta t + mv_0 = mv$$

$$v = \frac{F\Delta t + mv_0}{m} = \frac{14.6 \text{ N}\cdot\text{s} + (0.145 \text{ kg})(-40.0 \text{ m/s})}{0.145 \text{ kg}} = \frac{8.8 \text{ N}\cdot\text{s}}{0.145 \text{ kg}} = 60.7 \text{ m/s}$$

4. Conclusión:

El impulso aplicado a la pelota durante el impacto es de 14.6 N·s y la velocidad de la pelota inmediatamente después del impacto es de 60.7 m/s.

Ejercicio 2. Un vagón del metro con una masa de 4.0×10^4 kg, se mueve a una velocidad de 15 m/s. Debido a una falla en el sistema de frenos, choca con otro vagón de 3.5×10^4 kg que está detenido en la estación. Después de la colisión, ambos vagones quedan unidos y se mueven juntos. a) Calcula la velocidad final de los vagones unidos después de la colisión. b) Determina la pérdida de energía cinética durante la colisión y clasifica esta colisión como elástica o inelástica, justifiquen su respuesta.



Solución

1. Análisis del proceso:

Este ejercicio describe una colisión entre dos vagones que posteriormente se desplazan como un solo objeto. Para determinar la velocidad final del sistema después de la colisión, aplicamos la ley de conservación del momento lineal. Luego, compararemos la energía cinética antes y después del impacto para calcular la pérdida de energía cinética y clasificar el tipo de colisión.

2. Identificación de los datos del problema:

$$m_1 = 4.0 \times 10^4 \text{ kg}, v_1 = 15 \text{ m/s} \text{ y } m_2 = 3.5 \times 10^4 \text{ kg.}$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo de la velocidad final de los vagones unidos

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v$$

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{(4.0 \times 10^4 \text{ kg})(15 \text{ m/s}) + (3.5 \times 10^4 \text{ kg})(0 \text{ m/s})}{4.0 \times 10^4 \text{ kg} + 3.5 \times 10^4 \text{ kg}}$$

$$v = 8.0 \text{ m/s}$$

b) Cálculo de la pérdida de energía cinética.

Energía cinética antes de la colisión:

$$E_{c0} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} (4.0 \times 10^4 \text{ kg})(15 \text{ m/s})^2 = 4.5 \times 10^6 \text{ J}$$

Ahora calculamos la energía cinética final de los dos vagones unidos:

$$E_c = \frac{1}{2} (m_1 + m_2)v^2 = \frac{1}{2} (4.0 \times 10^4 \text{ kg} + 3.5 \times 10^4 \text{ kg})(8.0 \text{ m/s})^2 = 2.4 \times 10^6 \text{ J}$$

La pérdida de energía cinética es la diferencia entre la energía cinética inicial y la energía cinética final:

$$\Delta E = E_{c0} - E_c = 4.5 \times 10^6 \text{ J} - 2.4 \times 10^6 \text{ J} = 2.1 \times 10^6 \text{ J}$$

Dado que hay una pérdida de energía cinética, esta se clasifica como una colisión inelástica, ya que en una colisión elástica la energía cinética se conservaría completamente.

4. Conclusión:

Después de la colisión, ambos vagones se mueven juntos a una velocidad de 8.0 m/s. La pérdida de energía cinética en la colisión es de 2.1×10^6 J. Por lo tanto, la colisión es inelástica.

4.5. Evaluate (Evaluación)

En esta fase final, pondremos a prueba nuestro entendimiento sobre el momento lineal y su conservación. Es momento de aplicar lo aprendido, analizar situaciones diversas y demostrar nuestro dominio de la ley de conservación del momento lineal.

4.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. ¿Qué se conserva en una colisión perfectamente inelástica?

- A) El momento lineal total
- B) La energía cinética
- C) La velocidad de los objetos
- D) La aceleración de los objetos

2. En un sistema aislado, el momento lineal total es...

- A) variable
- B) constante
- C) directamente proporcional a la velocidad
- D) inversamente proporcional a la masa

3. Si una fuerza constante se aplica a un objeto inicialmente en reposo durante un intervalo de tiempo, ¿qué ocurre con su momento lineal?

- A) No cambia
- B) Aumenta
- C) Disminuye
- D) Se mantiene constante

4. ¿Qué tipo de colisión conserva tanto el momento lineal como la energía cinética?

- A) Perfectamente inelástica
- B) Elástica
- C) Inelástica
- D) Plástica

5. En el retroceso de un rifle, ¿por qué la velocidad de retroceso es mucho menor que la velocidad de la bala?

- A) La masa del rifle es mayor que la de la bala
- B) La colisión no es elástica
- C) No se conserva el momento lineal
- D) La gravedad afecta más al rifle

4.5.2. Problemas cualitativos

1. En un juego de billar, una bola blanca golpea frontalmente a otra en reposo. Después del impacto, la bola blanca se detiene completamente y la otra bala se mueve. ¿Cómo explicarías este fenómeno en términos de conservación del momento lineal y transferencia de energía?

2. Durante un partido de fútbol americano, un receptor corre a toda velocidad para atrapar un pase largo. Justo cuando atrapa el balón, es tacleado por un defensor que viene en dirección opuesta. ¿Cómo afecta la masa de cada jugador y sus velocidades al resultado de esta colisión? ¿Qué principios físicos están en juego aquí?

3. En una feria, hay un juego donde debes golpear con un martillo la base de una torre para hacer subir un marcador. ¿Cómo se relaciona esto con los conceptos de impulso y momento lineal?

4. En el lanzamiento de un cohete, se observa que inicialmente se eleva lentamente, pero luego acelera rápidamente. ¿Cómo explicarías este fenómeno en términos del cambio en la masa del cohete a medida que consume combustible?

5. Una canica A se lanza con velocidad horizontal y choca con una canica B que está inicialmente en reposo. Tras el impacto, A se desvía formando cierto ángulo con la dirección horizontal. ¿Es posible que B se mueva exactamente en la misma dirección horizontal que tenía A antes del choque? Explica.

4.5.3. Problemas cuantitativos

1. Un karateka golpeó un bloque con su mano a una velocidad de 10 m/s. Si el bloque detuvo la mano luego de 0.010 s de haber hecho contacto con él, ¿cuál fue la fuerza media ejercida por el karateka? Considera que la masa de su mano era de 520 g.

Respuesta: 5.2×10^2 N

2. En una competencia, una canica de 10 g que se mueve a 2.0 m/s choca frontalmente con otra canica de 15 g en reposo. Después de la colisión, la primera canica rebota a 0.50 m/s en dirección opuesta. Calcúlen a) la velocidad de la segunda canica después de la colisión y b) si la colisión duró 1.0×10^{-2} s, ¿cuál fue la fuerza promedio ejercida entre las canicas?

Respuesta: 1.7 m/s, 2.5 N

3. Un cohete de 1×10^3 kg se lanza verticalmente desde una base. El motor expulsa gases a 2.5×10^3 m/s y consume 50 kg de combustible por segundo. Calcúlen el empuje del cohete.

Respuesta: 1.3×10^5 N

4. Un cañón de agua en un parque acuático dispara 5.0 kg de agua por segundo a una velocidad de 30 m/s. Un niño de 40 kg sostiene la manguera del cañón. Determinen a) la fuerza de retroceso que experimenta el niño y b) si el niño no puede sostener una fuerza mayor a 100 N, ¿podrá mantener el cañón en su posición?

Respuesta: 1.5×10^2 N, No podrá mantenerlo en posición

5. En un experimento de física, dos carritos chocan en una pista de aire. El carrito A de 0.50 kg se mueve a 3.0 m/s hacia la derecha y choca con el carrito B de 0.70 kg que se mueve a 2.0 m/s hacia la izquierda. Encuentren a) la velocidad del sistema si los carritos se adhieren después de la colisión y b) ¿Cuánta energía cinética se pierde en la colisión?

Respuesta: 0.083 m/s hacia la izquierda, 3.6 J

4.5.4. Autoevaluación y reflexión

En esta etapa final, los invito a reflexionar sobre su aprendizaje acerca del momento lineal y su conservación. Estas preguntas les ayudarán a consolidar sus conocimientos y a pensar en cómo aplicarlos más allá del aula. Tómense el tiempo necesario para considerar cada pregunta cuidadosamente.

1. ¿Qué aspecto de la conservación del momento lineal te resultó más sorprendente o contraintuitivo?
2. ¿De qué manera el concepto de momento lineal y su conservación se conecta con otros temas de física que hayas estudiado anteriormente, como las leyes de Newton o la energía?
3. Considerando tu futura carrera o tus intereses personales, ¿cómo crees que un conocimiento profundo del momento lineal y su conservación podría ser útil?

Cápsula

5

Progresión de aprendizaje 5: Analizar la dualidad onda-partícula de la radiación electromagnética mediante el estudio de sus características ondulatorias y corpusculares, para comprender las interacciones entre radiación y materia en fenómenos cotidianos y aplicaciones tecnológicas.

Metas de aprendizaje:

CC. Comprender que la radiación electromagnética manifiesta una naturaleza dual como onda de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y como flujo de partículas llamadas fotones, explicando así las diversas interacciones con la materia en procesos cotidianos y aplicaciones tecnológicas.

CT1. Identificar patrones en el espectro electromagnético mediante el análisis de las relaciones matemáticas entre frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación de diferentes tipos de radiación electromagnética.

CT2. Establecer relaciones causa-efecto en el efecto fotoeléctrico y las interacciones radiación-materia, determinando cómo la energía de los fotones produce emisión de electrones y otros fenómenos de absorción, reflexión y transmisión.

CT3. Aplicar técnicas de medición para calcular la energía de fotones, frecuencias y longitudes de onda de la radiación electromagnética utilizando las constantes físicas fundamentales y ecuaciones apropiadas.

CT4. Analizar sistemas de comunicación y aplicaciones tecnológicas que emplean diferentes regiones del espectro electromagnético, desde ondas de radio hasta rayos gamma, en medicina, astronomía e industria.

CT5. Examinar los procesos de transferencia de energía mediante radiación electromagnética, identificando cómo se conserva la energía en las interacciones entre fotones y materia en sistemas cerrados.

CT6. Relacionar la estructura ondulatoria de la radiación electromagnética con su función en diversos fenómenos, analizando cómo los campos eléctricos y magnéticos perpendiculares determinan las propiedades de propagación.

CT7. Evaluar los cambios paradigmáticos en la comprensión histórica de la luz y analizar cómo las transiciones energéticas en átomos y moléculas determinan la estabilidad de sistemas materiales.

Concepto central

CC. La energía en los procesos de la vida diaria

Conceptos transversales

CT1. Patrones

CT2. Causa y efecto

CT3. Medición

CT4. Sistemas

CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía

CT6. Estructura y función

CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 5: Comportamientos ondulatorio y corpuscular de la radiación electromagnética

En esta cápsula examinarán la dualidad de la radiación electromagnética, descubriendo cómo un mismo fenómeno puede comportarse tanto como onda que se propaga en el espacio como partícula que transfiere energía en porciones discretas. A través del análisis de conceptos fundamentales como el efecto fotoeléctrico y las interacciones radiación-materia, desarrollarán habilidades para interpretar fenómenos cotidianos desde el funcionamiento de las celdas solares hasta el color del cielo.

5.1. Engage (Empezamos)

En esta fase inicial, reflexionaremos sobre fenómenos cotidianos relacionados con la radiación electromagnética y su interacción con los objetos que nos rodean.

1. ¿Por qué los lentes oscuros nos protegen del Sol pero aun así podemos ver a través de ellos?
2. ¿Cómo es posible que el control remoto de la televisión funcione sin estar conectado directamente?
3. ¿Cómo puede una lámpara pública "saber" que ya oscureció y encenderse sola, si nadie la controla directamente?
4. ¿De qué manera las celdas solares convierten la luz del sol en electricidad?
5. ¿Por qué el cielo se ve azul durante el día y rojizo durante el atardecer?

5.2. Explore (Exploramos)

En esta fase, realizaremos dos actividades complementarias: una con materiales cotidianos y otra mediante un simulador virtual. Ambas te darán un primer acercamiento a la naturaleza de la luz.

Actividad práctica 1. Descomposición de la luz en distintos colores.

Objetivo:

Demostrar la composición de colores de la luz al reflejarse en un CD o DVD.

Introducción:

La luz que recibimos del Sol parece blanca, pero en realidad está formada por una mezcla de colores. En la naturaleza, este hecho se hace visible en los arcoiris, cuando la luz solar atraviesa gotas de lluvia. En esta actividad explorarán la separación de colores de la luz de manera similar, al reflejarse en la superficie de un CD o un DVD.

Materiales:

CDs o DVDs en desuso (enteros, o trozos).



Fig. 1-P5. CD o DVD para visualizar la composición de la luz.

Procedimiento:

Sitúen el CD o DVD frente a una ventana o puerta de manera que la luz incida sobre su parte brillante y observen los haces de colores. ¿Cuáles distinguen con mayor claridad?

Orienten el CD o DVD con diferentes ángulos y anoten cómo cambia el patrón de colores.

Si es posible, oscurezcan el aula y repitan la observación iluminando solo con la luz de las lámparas o del teléfono celular. ¿Aprecian diferencias en los colores observados en comparación con la luz exterior?

Evaluación:

Elabora un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué colores observaron y en qué orden aparecen?
2. ¿De dónde provienen los colores? ¿Será que el CD o DVD los crean?
3. Indaguen cómo se origina la formación del arcoíris en la naturaleza.

Actividad práctica 2. Explorando las ondas electromagnéticas.**Objetivo:**

Visualizar los componentes de una onda electromagnética en un simulador, para entender cómo se propagan los campos eléctricos y magnéticos en el espacio.

Introducción:

Las ondas electromagnéticas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan sin necesidad de un medio material, viajando a la velocidad de la luz. Este simulador permite analizar la interacción de estos campos, algo que no es invisible al ojo humano.

Enlace Web:

<https://www.educapplus.org/game/onda-electromagnetica>

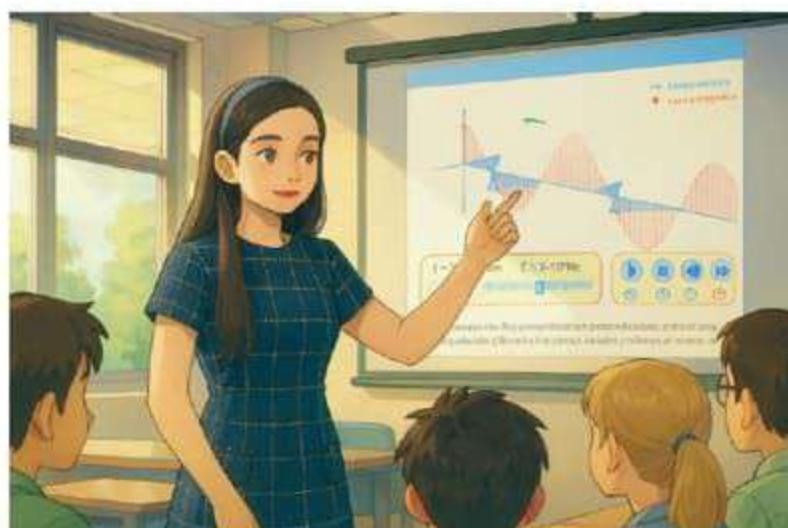


Fig. 2-P5. Docente explica las características de las ondas electromagnéticas.

Procedimiento:

Accedan al simulador usando el enlace proporcionado.

Identifiquen los controles de inicio/pausa y los deslizadores de frecuencia y velocidad de animación.

Comiencen con los valores predeterminados y observa la propagación de los campos.

Modifiquen la frecuencia usando el deslizador correspondiente y analicen los cambios en la onda simulada.

Ajusten la velocidad de animación para ver el efecto en la visualización.

Evaluación:

Elabora un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Cómo se modifica la onda al variar la frecuencia?
2. ¿Cómo se relacionan los colores del espectro visible con la frecuencia?
3. ¿Crees que se modificará la velocidad de propagación de la radiación al variar la frecuencia? Explica.

5.3. Explain (Explicación)

En esta fase, examinaremos el comportamiento de la radiación electromagnética como onda y como partícula.

5.3.1. Naturaleza de la radiación electromagnética

En el siglo XVII se desarrollaron dos modelos para explicar el comportamiento de la luz. Mientras que Newton propuso que la luz estaba compuesta por pequeñísimos corpúsculos, su contemporáneo, Huygens argumentó que era una onda. Ambos modelos proporcionaban explicaciones parciales del comportamiento de la luz. Pero la explicación mediante el modelo ondulatorio de los fenómenos de interferencia y difracción de la luz a principios del siglo XIX y con posterioridad el desarrollo de la teoría electromagnética en las décadas de 1860 y 1870, llevaron al predominio del modelo ondulatorio. Se concluyó que la luz era una onda de naturaleza electromagnética.

Sin embargo, al estudiar experimentalmente la radiación térmica emitida por los cuerpos a diferentes temperaturas, se encontró que los resultados no podían ser explicados por la teoría ondulatoria. Motivado por encontrar una solución a esa situación, en 1900 Planck propuso una ecuación que se ajustaba a los datos experimentales. Aunque esa ecuación era útil, no estaba basada en la teoría y por eso en los meses siguientes continuó trabajando para hallarle sentido físico. Y en el propio año 1900 formuló la idea de que la energía de la radiación es emitida y absorbida por las sustancias no de forma continua, sino en porciones, en cuantos. Ese año se asocia con el nacimiento de la física cuántica.

En 1905 Einstein fue todavía más allá y expuso la idea de que la cuestión no es solo que la energía de la radiación esté cuantificada, sino que la propia radiación está constituida por corpúsculos que pueden ser emitidos o absorbidos. Posteriormente esos corpúsculos se denominaron fotones.

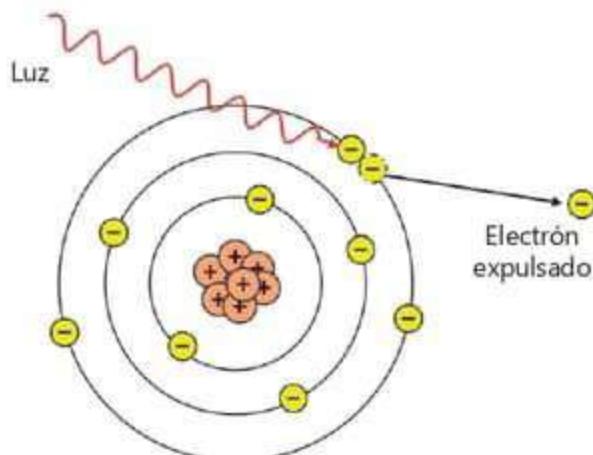


Fig. 3-P5. Efecto fotoeléctrico: un fotón incidente comunica su energía a un electrón provocando su expulsión del átomo.

El desarrollo de la mecánica cuántica a partir de la década de 1920 mostró que no solo la radiación, sino todos los objetos a escala atómica y subatómica pueden manifestarse como ondas y partículas, en dependencia del fenómeno de que se trate.

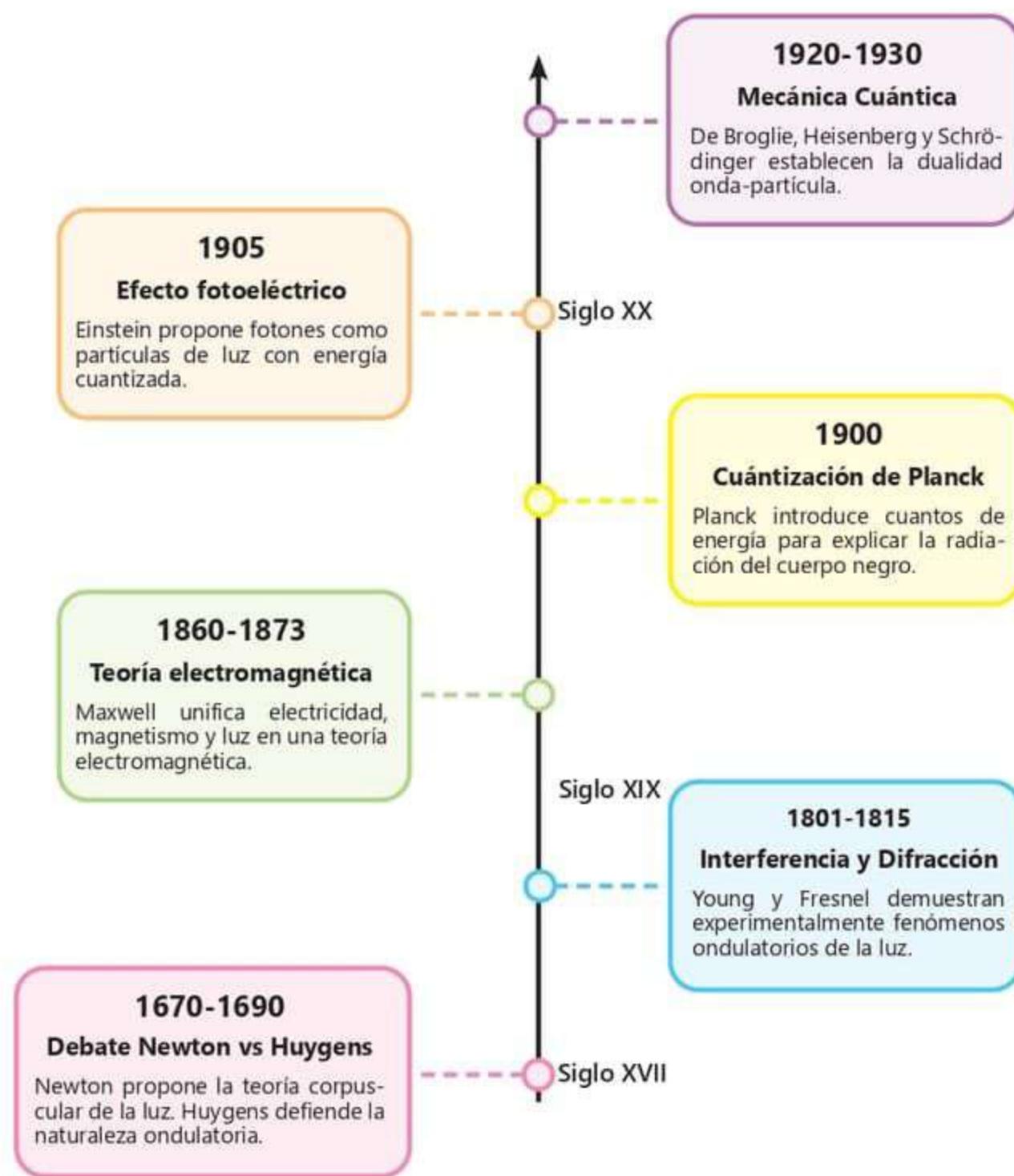


Fig. 4-P5. Desarrollo de la teoría de la luz.

5.3.2. Características básicas de las ondas electromagnéticas

La radiación electromagnética se puede describir como una onda. Una onda es una perturbación que se propaga en el espacio transportando energía sin que exista un desplazamiento neto de materia.

La onda electromagnética está compuesta por campos eléctricos y magnéticos oscilantes que son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación de la onda. La velocidad de propagación de estas ondas en el vacío es la de la luz, aproximadamente 3×10^8 m/s.

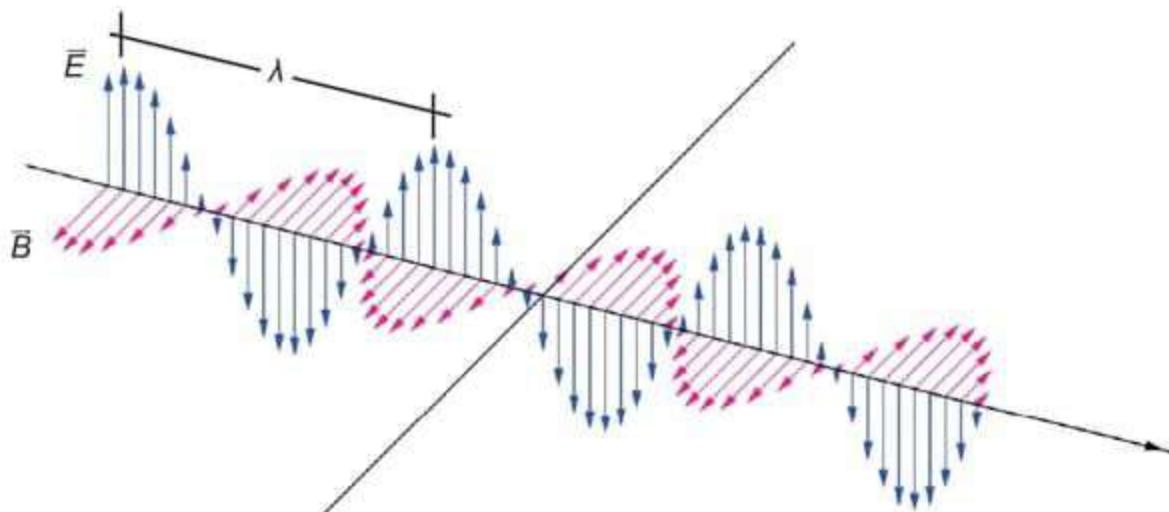


Fig. 5-P5. Visualización de campos eléctrico y magnético en una onda electromagnética.

Estas ondas se caracterizan por dos magnitudes fundamentales, su longitud de onda y su frecuencia. La longitud de onda se puede visualizar como la distancia entre dos crestas consecutivas de la onda, mientras que la frecuencia es el número de oscilaciones por segundo.

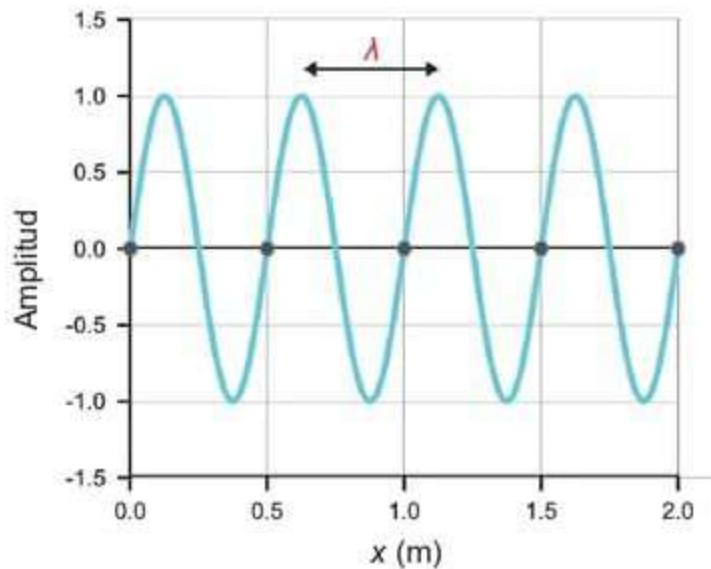


Fig. 6-P5. Longitud de onda λ en una onda electromagnética.

Estas dos magnitudes están relacionadas por la ecuación:

$$c = \lambda f$$

Donde c es la velocidad de la luz, λ es la longitud de onda y f es la frecuencia.

El espectro electromagnético abarca ondas de una amplia gama de longitudes de onda, desde las ondas de radio con longitudes de onda de kilómetros, pasando por la luz visible con longitudes de onda de cientos de nanómetros, hasta los rayos gamma con longitudes de onda inferiores a los picómetros.

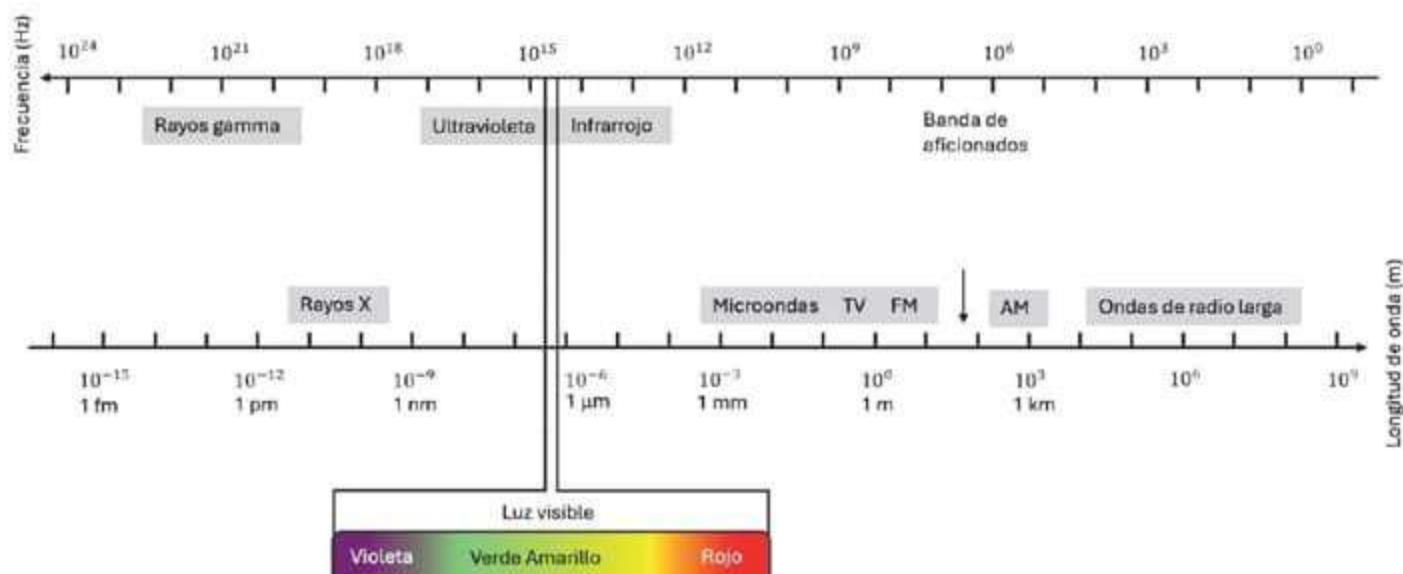


Fig. 7-P5. Espectro electromagnético desde ondas de radio hasta rayos gamma.

Tabla 1-P5. Tabla comparativa del espectro electromagnético.

Tipo de radiación	Longitud de onda (λ)	Frecuencia (f)	Aplicaciones principales
Ondas de radio	> 1 m	< 300 MHz	Comunicaciones, radio, TV
Microondas	1 mm - 1 m	300 MHz - 300 GHz	Wi-Fi, hornos, radar
Infrarrojo	700 nm - 1 mm	300 GHz - 430 THz	Control remoto, visión térmica
Luz visible	380 - 700 nm	430 - 790 THz	Visión, fotosíntesis
Ultravioleta	10 - 380 nm	790 THz - 30 PHz	Esterilización, análisis forense
Rayos X	0.01 - 10 nm	30 PHz - 30 EHz	Radiografías, cristalografía
Rayos gamma	< 0.01 nm	> 30 EHz	Oncología, astronomía

5.3.3. Fotones y su comportamiento

Como ya hemos mencionado, la radiación electromagnética puede ser interpretada como un flujo de partículas, denominados fotones. Estos no tienen masa y siempre viajan a la velocidad de la luz. La energía de un fotón está relacionada con la frecuencia de la onda electromagnética correspondiente mediante la ecuación de Planck:

$$E = hf$$

Donde E es la energía del fotón, h es la constante de Planck (aproximadamente $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$) y f es la frecuencia.

Un fenómeno importante que demuestra el comportamiento de los fotones es el efecto fotoeléctrico, descubierto por Hertz en 1887 y explicado por Einstein en 1905. Este efecto ocurre cuando los fotones inciden sobre un material y provocan la emisión de electrones.

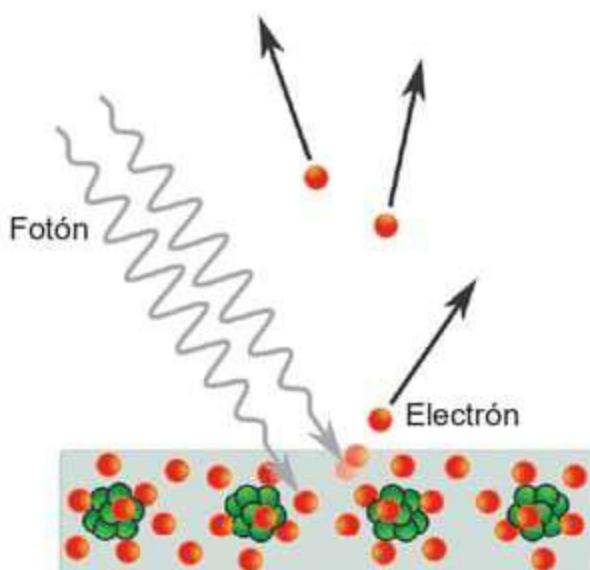


Fig. 8-P5. Efecto fotoeléctrico externo.

La explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico fue crucial para establecer la naturaleza cuántica de la luz y le valió el premio nobel de física en 1921. La ecuación que describe el efecto fotoeléctrico es:

$$hf = W + E_c$$

Donde hf es la energía del fotón incidente, W se denomina trabajo de salida y representa el trabajo que se realiza al extraer un electrón del material y, por tanto, la energía mínima que debe tener el fotón y E_c es la energía cinética máxima de los electrones emitidos.

5.3.4. Interacciones de la radiación con la materia

Cuando la radiación incide sobre un material, puede ser absorbida, reflejada, transmitida o dispersada, dependiendo de la naturaleza del material y de las características de la radiación.

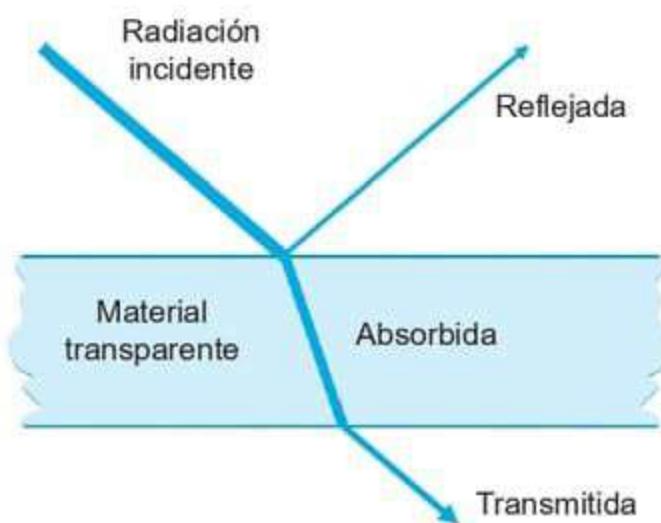


Fig. 9-P5. Interacción de la radiación incidente con el material transparente.

La absorción ocurre cuando la energía de los fotones es transferida a los átomos o moléculas del material. Este proceso puede resultar en un aumento de la temperatura del material o en la excitación de los electrones a niveles de energía más altos. Un ejemplo cotidiano de absorción es cuando nuestra piel absorbe la radiación ultravioleta del sol, lo que puede provocar bronceado o quemaduras solares.

La reflexión se produce cuando parte de la radiación es devuelta por la superficie del material sin penetrar significativamente en él. La reflexión es responsable de nuestra capacidad para ver objetos que no emiten luz propia. Las superficies muy lisas, como los espejos, reflejan la mayor parte de la luz que llega a ellos de un modo regular en una dirección determinada por las denominadas leyes de la reflexión, mientras que las superficies rugosas producen reflexión difusa, irregular.

La transmisión de la radiación ocurre cuando pasa a través del material con poca o ninguna absorción. Los materiales transparentes, como el vidrio, permiten la transmisión de la luz visible, mientras que suelen ser opacos a otras frecuencias de radiación electromagnética. Una cuestión de interés es cómo reflejan la luz las hojas de las plantas, las hojas sanas reflejan gran parte de la radiación infrarroja cercana mientras que las hojas enfermas reflejan menos (Fig. 10-P5).

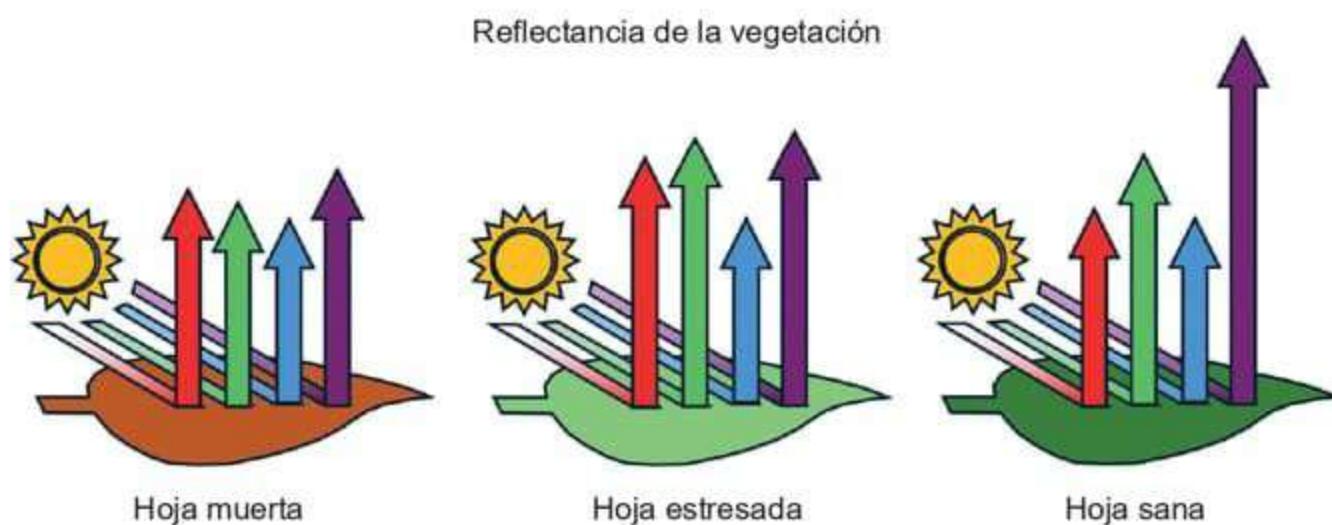


Fig. 10-P5. Una hoja sana refleja mucha luz del infrarrojo cercano y poca del color rojo; cuando está estresada refleja menos en el infrarrojo y más en rojo; una hoja muerta refleja poca luz en general.

La dispersión se produce cuando la radiación interactúa con partículas o estructuras dentro del material, cambiando su dirección de propagación, por ejemplo, la dispersión de la luz azul por las moléculas en la atmósfera es responsable del color azul del cielo durante el día.



Fig. 11-P5. Dispersión de la radiación azul en la atmósfera.

Otro fenómeno importante es el efecto Compton, descubierto por Arthur Compton en 1923. Este fenómeno ocurre cuando un fotón de alta energía colisiona con un electrón, transfiriéndole parte de su energía y momento lineal, y cambiando su longitud de onda. El efecto Compton proporcionó una evidencia contundente de la naturaleza corpuscular de la luz y fue crucial para el desarrollo de la física cuántica.

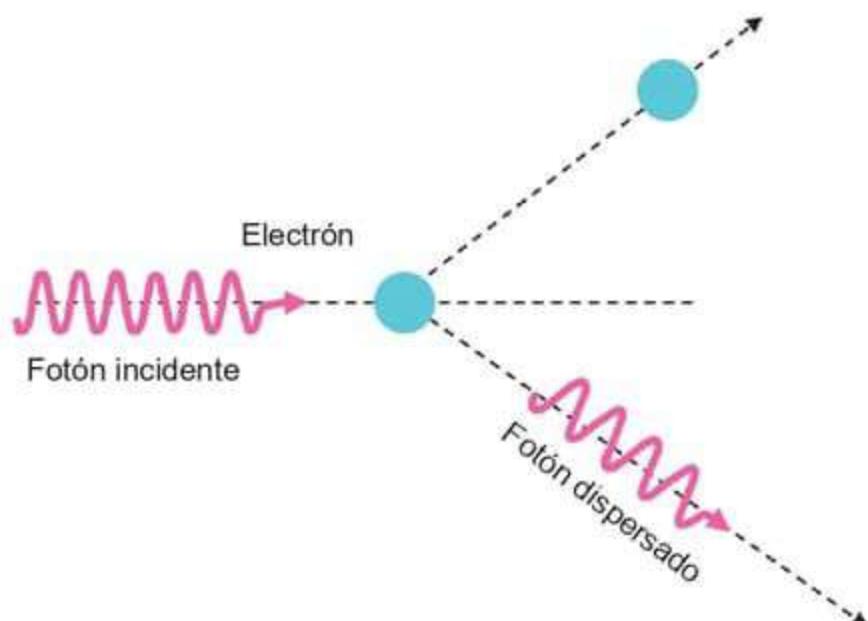


Fig. 12-P5. Efecto Compton: el fotón dispersado sale con mayor λ , lo que evidencia la disminución de su energía.

5.3.5. Aplicaciones y efectos de la radiación electromagnética

La radiación electromagnética es fundamental en muchos aspectos de nuestra vida diaria y en diversas aplicaciones tecnológicas. Por ejemplo, las ondas de radio y microondas se utilizan en las comunicaciones, desde la transmisión de radio y televisión hasta las redes celulares y Wi-Fi. La luz visible es esencial para la visión y la fotosíntesis en las plantas. Los rayos X se emplean en medicina para diagnóstico por imágenes, mientras que la radiación gamma se utiliza en tratamientos contra el cáncer.

En el campo de la astronomía, el estudio de la radiación electromagnética proveniente de objetos celestes ha revolucionado nuestra comprensión del universo.

Los telescopios que operan en diferentes partes del espectro electromagnético nos permiten observar fenómenos que no son visibles a simple vista, desde los remanentes del Big Bang en forma de radiación de fondo de microondas hasta la emisión de rayos X de agujeros negros supermasivos en el centro de las galaxias.



Fig. 13-P5. Observatorio astronómico de la UAS en Cosalá, Sinaloa.

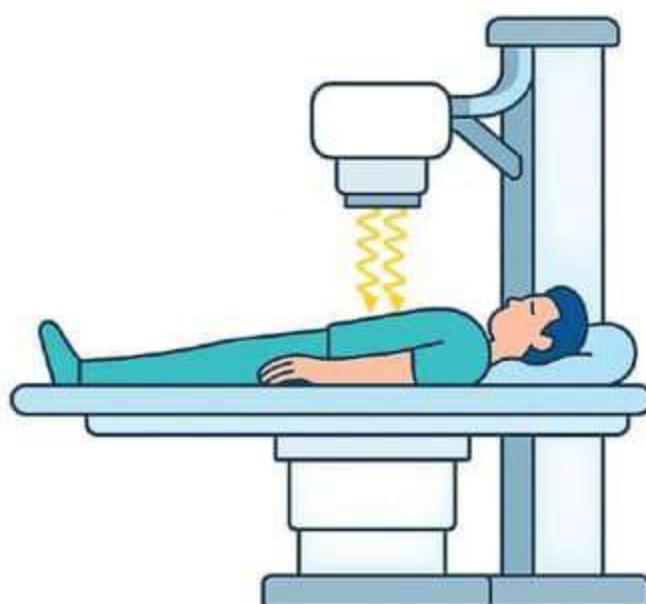
La comprensión de la dualidad onda-partícula de la radiación electromagnética también ha llevado al desarrollo de tecnologías como el láser, que tiene aplicaciones en medicina, industria, investigación científica y entretenimiento. Los láseres funcionan mediante la emisión estimulada de fotones, un proceso que combina aspectos tanto ondulatorios como corpusculares de la luz.

La dualidad onda-partícula de la radiación electromagnética sigue siendo un área activa de investigación en física fundamental.

5.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase, aplicaremos nuestro conocimiento sobre la radiación electromagnética a situaciones prácticas mediante la resolución de ejercicios contextualizados.

Ejercicio 1. En un hospital utilizan un equipo de rayos X para radiografías que emite radiación con una longitud de onda de 0.10 nm. ¿Cuál es la energía de cada fotón de rayos X emitido?



Solución

1. Análisis del proceso:

Para calcular la energía de un fotón de rayos X emitido por el equipo, utilizamos la relación entre la energía y la longitud de onda de la radiación electromagnética.

2. Identificación de los datos del problema:

$$\lambda = 0.10 \text{ nm}, h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \text{ y } c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

Conversión de la longitud de onda a metros:

$$\lambda = 0.10 \text{ nm} = (0.10 \text{ nm}) \left(\frac{1 \times 10^{-9} \text{ m}}{1 \text{ nm}} \right) = 1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$$

Partiendo de la relación entre frecuencia y longitud de onda:

$$c = f\lambda$$

$$f = c/\lambda$$

Sustituyendo lo anterior en la ecuación de energía de un fotón.

$$c = hf$$

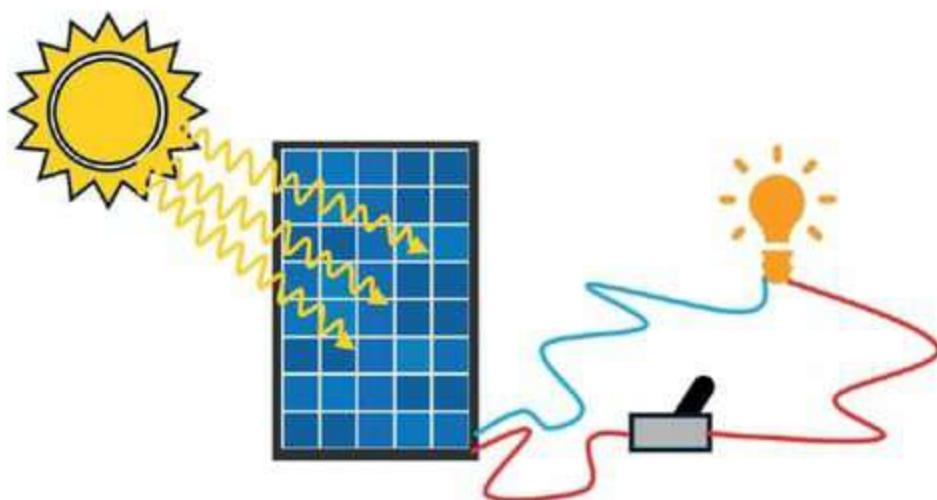
$$E = \frac{hf}{\lambda}$$

$$E = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})}{1.0 \times 10^{-10} \text{ m}} = 2.0 \times 10^{-15} \text{ J}$$

4. Conclusión:

La energía de cada fotón de rayos X emitido por el equipo del hospital es aproximadamente $2.0 \times 10^{-15} \text{ J}$.

Ejercicio 2. Un estudiante está haciendo un proyecto sobre celdas solares para su casa. La luz solar que incide sobre la celda tiene una frecuencia de $6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$. ¿Será suficiente la energía de los fotones para generar el efecto fotoeléctrico en una celda de silicio, cuyo trabajo de salida es de $2.88 \times 10^{-19} \text{ J}$?



Solución

1. Análisis del proceso:

Para determinar si el efecto fotoeléctrico ocurre, debemos calcular la energía de un fotón a partir de la frecuencia de la luz. Si la energía del fotón es igual o superior a la del trabajo de salida, el efecto fotoeléctrico será posible.

2. Identificación de los datos del problema:

$$f = 6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}, W_s = 2.88 \times 10^{-19} \text{ J} \text{ y } h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}.$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

Cálculo de la energía del fotón:

$$E = hf$$

$$E = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}) = 4.0 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Al comparar el valor calculado con el del trabajo de salida del silicio se encuentra que es mayor la energía de los fotones, por lo que efecto fotoeléctrico tiene lugar.

4. Conclusión:

La energía de los fotones incidentes es de aproximadamente $4.0 \times 10^{-19} \text{ J}$, que es mayor que la del trabajo de salida del silicio, $2.88 \times 10^{-19} \text{ J}$. Por lo tanto, los fotones tienen suficiente energía para liberar electrones de la superficie del silicio.

5.5. Evaluate (Evaluación)

En esta fase final, evaluaremos el aprendizaje sobre la radiación electromagnética mediante diferentes tipos de ejercicios y reflexiones que nos ayudarán a consolidar el conocimiento.

5.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe correctamente la dualidad onda-partícula de la luz?
 - A) La luz se comporta únicamente como onda.
 - B) La luz se comporta únicamente como partícula.
 - C) La luz se comporta como onda o como partícula, dependiendo del experimento.
 - D) La luz nunca muestra características de onda ni de partícula.

2. ¿Qué característica de la radiación electromagnética determina la energía de un fotón?
 - A) La amplitud de la onda
 - B) La frecuencia de la onda
 - C) La velocidad de propagación
 - D) La dirección del campo eléctrico

3. En el efecto fotoeléctrico, ¿qué sucede cuando la energía del fotón es menor que el trabajo de salida del material?
 - A) Se emiten electrones con mayor energía cinética
 - B) Se emiten electrones con menor energía cinética
 - C) No se emiten electrones
 - D) Se emiten dos electrones simultáneamente

4. ¿Cuál es la principal aplicación de las ondas electromagnéticas en los hornos de microondas?
 - A) Ionizar las moléculas de los alimentos
 - B) Hacer vibrar las moléculas de agua
 - C) Cambiar el color de los alimentos
 - D) Producir radiación ultravioleta

5. En las comunicaciones por celular, ¿qué tipo de ondas electromagnéticas se utilizan principalmente?
 - A) Rayos gamma
 - B) Luz visible
 - C) Ondas de radio
 - D) Rayos X

5.5.2. Problemas cualitativos

1. María nota que su celular pierde señal cuando entra al elevador del centro comercial. ¿Por qué las paredes metálicas del elevador afectan la recepción de las ondas electromagnéticas?
2. En un día nublado, aunque no vemos directamente el Sol, todavía hay luz suficiente para ver. ¿Cómo se explica este fenómeno?
3. Los doctores y técnicos de rayos X se protegen con delantales de plomo mientras toman radiografías. ¿Por qué se utiliza específicamente el plomo para esta protección?
4. En las pantallas de los celulares modernos, ¿por qué se utilizan filtros de luz azul?
5. Durante un día soleado, la ropa oscura se calienta más rápido que la ropa clara. ¿Cómo se relaciona esto con la absorción y reflexión de la radiación electromagnética?

5.5.3. Problemas cuantitativos

1. El faro de un puerto emite luz con una longitud de onda de 500 nanómetros. a) ¿Cuál es la frecuencia de esta luz? y b) ¿cuál es la energía de cada fotón emitido?
Respuesta: 6.0×10^{14} Hz, 4.0×10^{-19} J
2. Un láser verde de un escáner emite radiación con una longitud de onda de 532 nm. Calculen a) la frecuencia de la radiación emitida y b) energía de cada fotón de este láser.
Respuesta: 5.64×10^{14} Hz, 3.74×10^{-19} J
3. Un equipo de radiografía dental emite rayos X con una frecuencia de 3×10^{18} Hz. a) ¿Cuál es la longitud de onda de estos rayos X? y b) ¿cuál es la energía de cada fotón?
Respuesta: 1×10^{-10} m, 2×10^{-15} J
4. Una antena de radio FM transmite a 98.5 MHz. a) ¿Cuál es la longitud de onda de esta señal? y b) ¿qué energía tiene cada fotón de esta radiación?
Respuesta: 3.05 m, 6.53×10^{-26} J
5. Un horno de microondas opera a una frecuencia de 2.45 GHz. Determinen a) la longitud de onda de las microondas y b) ¿cuál es la energía de cada fotón?
Respuesta: 0.122 m, 1.62×10^{-24} J

5.5.4. Autoevaluación y reflexión

Reflexiona sobre tu aprendizaje de la radiación electromagnética y responde las siguientes preguntas con honestidad y profundidad.

1. ¿Qué aspecto de la radiación electromagnética te pareció más sorprendente y cómo cambió tu manera de entender los fenómenos relacionados con la luz y las ondas?
2. ¿Cómo se conecta el tema de la radiación electromagnética con otros temas que has estudiado en física, como la energía o el movimiento ondulatorio?
3. ¿De qué manera crees que el conocimiento sobre la radiación electromagnética podría ser útil en tu vida diaria o en tu futura carrera profesional?

Cápsula

6

Progresión de aprendizaje 3: Analizar la naturaleza vectorial de la fuerza y la aceleración mediante la aplicación de la segunda ley de Newton en situaciones que involucran múltiples fuerzas actuando simultáneamente sobre objetos macroscópicos.

Metas de aprendizaje:

CC. Fuerzas e interacciones en el movimiento de objetos macroscópicos

CT1. Identificar patrones regulares en el comportamiento de magnitudes vectoriales durante procesos de suma vectorial y descomposición en componentes perpendiculares.

CT2. Establecer relaciones de causa y efecto entre la aplicación de fuerzas vectoriales y los cambios resultantes en el estado de movimiento o reposo de los objetos.

CT3. Aplicar técnicas de medición para determinar módulo, dirección y sentido de fuerzas, así como calcular sus componentes en sistemas de coordenadas perpendiculares.

CT4. Modelar sistemas físicos donde múltiples fuerzas interactúan simultáneamente, incluyendo cuerpos en equilibrio, objetos en planos inclinados y proyectiles.

CT5. Analizar el flujo de energía cinética y potencial en movimientos de proyectiles y objetos que descienden por planos inclinados bajo acción gravitatoria.

CT6. Relacionar la estructura vectorial de fuerzas y aceleraciones con su función predictiva en el análisis del movimiento bidimensional.

CT7. Evaluar condiciones de estabilidad y cambio en sistemas mecánicos mediante el análisis del equilibrio de fuerzas y la aplicación de la segunda ley de Newton vectorial.

Concepto central

CC. Fuerzas e interacciones en el movimiento de objetos macroscópicos

Conceptos transversales

CT1. Patrones

CT2. Causa y efecto

CT3. Medición

CT4. Sistemas

CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía

CT6. Estructura y función

CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 6: Fuerzas a distancia: de gravitación y electrostática

En esta cápsula examinarán las fuerzas gravitatorias y electrostáticas como interacciones fundamentales que moldean nuestro universo. Mediante experimentos prácticos, simulaciones virtuales, comprenderán las leyes de Newton y Coulomb. Explorarán cómo la masa y la carga eléctrica generan campos invisibles capaces de transmitir energía a través del espacio vacío, explicando fenómenos cotidianos como la caída de objetos y la electricidad estática. Este conocimiento les permitirá conectar los conceptos con aplicaciones tecnológicas y procesos naturales observables en su entorno inmediato.

6.1. Engage (Empezamos)

Mediante preguntas de reflexión, comenzarán a familiarizarse con el concepto de fuerzas a distancia, es decir, que actúan sin que los cuerpos entren en contacto directo.

1. ¿Por qué caen los objetos que sueltan a cierta altura?
2. ¿Cómo es posible que la Luna se mantenga como "flotando" alrededor de la Tierra sin caerse?
3. ¿Por qué al frotar un globo contra el cabello, este puede atraer pequeños pedazos de papel?
4. ¿Por qué el polvo se pega a las pantallas de los celulares?
5. ¿Por qué al bajar de un automóvil en día seco a veces recibimos una pequeña descarga eléctrica?

6.2. Explore (Exploramos)

En esta fase, se realizarán actividades prácticas y simulaciones que permitirán experimentar directamente con las fuerzas gravitatorias y electrostáticas, facilitando la comprensión de sus características fundamentales.

Actividad práctica 1. Fuerzas electrostáticas en acción: un péndulo electrostático casero.

Objetivo:

Construir un péndulo electrostático para observar y analizar las fuerzas de atracción y repulsión electrostática.

Introducción:

Las fuerzas electrostáticas son aquellas que se producen entre objetos con carga eléctrica. Cuando frotamos ciertos materiales, estos pueden adquirir carga eléctrica. Este fenómeno, conocido como electrización por frotamiento, permite observar las fuerzas de atracción y repulsión entre objetos cargados sin necesidad de contacto directo, es decir, a distancia.

Materiales:

Hilo de coser de unos 30 cm, pequeño rectángulo de papel aluminio, regla de plástico de 30 cm, un trozo de tela o papel china.

Procedimiento:

Aten el pequeño rectángulo de papel de aluminio al extremo del hilo para crear una especie de péndulo.

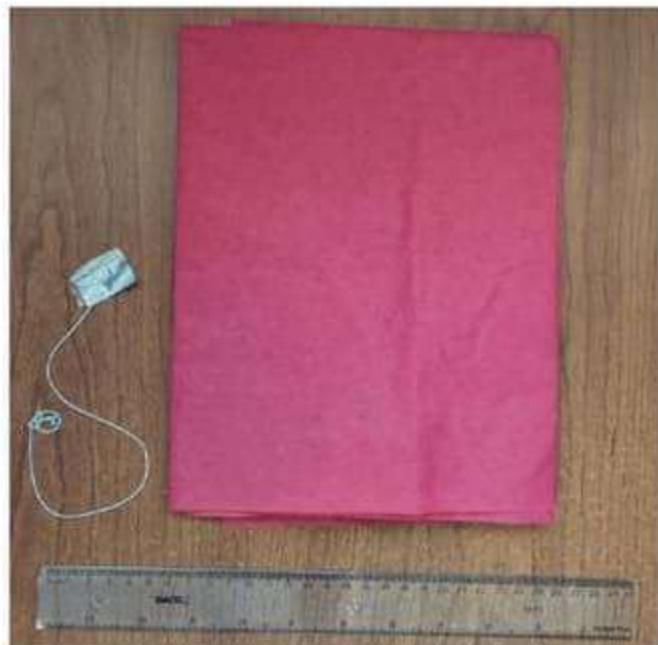


Fig. 1-P6. Materiales para realizar el péndulo electrostático casero.

Froten la regla de plástico con el trozo de tela o el papel china durante varios segundos y acérquenla lentamente al rectángulo de aluminio, pero sin tocarlo.

Observen que el papel de aluminio se mueve hacia la regla y en cuanto la toca es repelido por ella.

Evaluación:

Elabora un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué sucede cuando acercamos la regla cargada al papel aluminio?
2. ¿Por qué el papel aluminio se mueve sin que exista contacto directo?
3. ¿Cómo influye la distancia entre la regla y el papel aluminio en la magnitud de la fuerza?

Actividad práctica 2. Explorando la gravedad: interacción entre cuerpos.

Objetivo:

Analizar la relación entre masa, distancia y fuerza gravitacional mediante un experimento virtual.

Introducción:

La fuerza gravitacional es una de las interacciones fundamentales de la naturaleza, es la responsable de mantener unidos los sistemas planetarios y estructurar el universo. Ella depende de las masas de los objetos que interactúan y de la distancia que los separa, según una relación matemática descubierta por Newton: la fuerza entre dos objetos que puedan considerarse puntuales es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Newton también demostró que si los objetos tienen distribución esférica de masa entonces se comportan como puntuales.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/gravity-force-lab-basics>

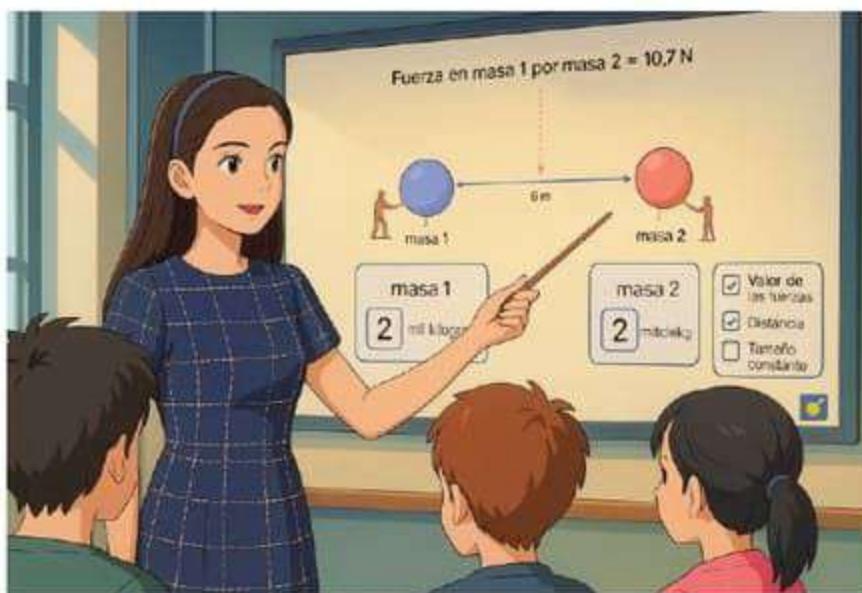


Fig. 2-P6. Docente explica la fuerza gravitacional entre dos cuerpos.

Procedimiento:

Abran el simulador y familiaríicense con los controles básicos, identificando las esferas que interactúan y las opciones para modificar los valores de sus masas.

Coloquen las esferas a una distancia inicial de 4 km entre sí desplazando alguna de las esferas.

Ajusten las masas de ambas esferas a 2 mil millones de kg y registren la fuerza gravitacional indicada por el simulador.

A continuación, mantén la misma distancia, pero dupliquen la masa de una de las esferas, y anoten el nuevo valor de la fuerza gravitacional.

Finalmente, regresen a las masas iniciales, reduzcan la distancia a 2 km, observen y anoten cómo cambia la fuerza gravitacional.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué sucede con la fuerza gravitacional cuando se duplica la masa de una de las esferas?
2. ¿Cómo cambia la fuerza gravitacional cuando se modifica la distancia entre las esferas?
3. ¿Cómo depende la fuerza gravitacional entre las esferas de la distancia entre ellas?

6.3. Explain (Explicación)

En esta fase, profundizaremos en las fuerzas gravitatorias y electrostáticas, y en la influencia de ellas en nuestro universo.

6.3.1. Concepto de fuerzas a distancia

Las fuerzas que actúan a distancia, también conocidas como fuerzas de campo, son aquellas ejercidas entre objetos separados en el espacio sin un medio de transmisión visible. Estas fuerzas se caracterizan porque pueden actuar sin que haya sustancia alguna entre ellos, mediante campos, y por disminuir en intensidad a medida que aumenta la distancia entre los objetos.

Históricamente, el concepto de fuerzas a distancia fue controvertido. En el siglo XVII, muchos científicos, incluyendo René Descartes, argumentaban que todas las interacciones debían ocurrir por contacto directo. Sin embargo, las observaciones de fenómenos como la gravedad y el magnetismo desafiaron esta visión, llevando al desarrollo de teorías más sofisticadas sobre la naturaleza de las fuerzas.



Fig. 3-P6. Retrato de René Descartes en el siglo XVII.

Las fuerzas a distancia se describen mediante campos de fuerza. Estos son regiones del espacio donde un objeto experimenta una fuerza debido a la presencia de otro objeto o sistema. Los campos de fuerza contienen energía y pueden transmitirla de un objeto a otro a través del espacio.

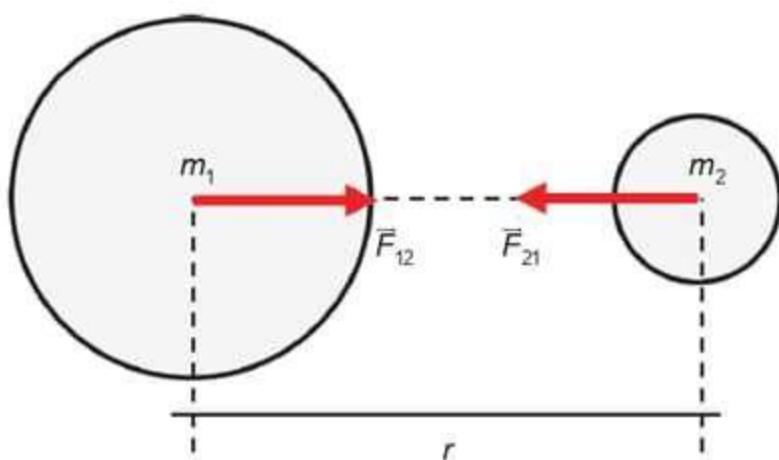


Fig. 4-P6. Esquema de interacción gravitatoria entre dos cuerpos.

6.3.2. Ley de gravitación universal

La ley de gravitación universal, propuesta por Isaac Newton en 1687, es uno de los pilares fundamentales de la física clásica. Esta ley describe la fuerza de atracción gravitatoria entre dos partículas debida a sus masas. Los cuerpos con distribución esférica de masa se comportan a los efectos de la gravedad como si sus masas estuvieran concentradas en el centro.

Según esta ley, la magnitud de la fuerza gravitatoria entre dos objetos que puedan considerarse como puntos es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos y se expresa como:

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Donde F_G es la fuerza gravitatoria entre los objetos, G es la constante gravitacional universal (aproximadamente $6.68 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$), m_1 y m_2 son las masas de los dos objetos y r es la distancia entre los centros de los objetos.

La ley de gravitación universal explica fenómenos tan diversos como la caída de los objetos en la Tierra, las órbitas de los planetas alrededor del Sol y la estructura de las galaxias. Por ejemplo, la fuerza gravitatoria es la que mantiene a la Luna en órbita alrededor de la Tierra y a esta orbitando alrededor del Sol.

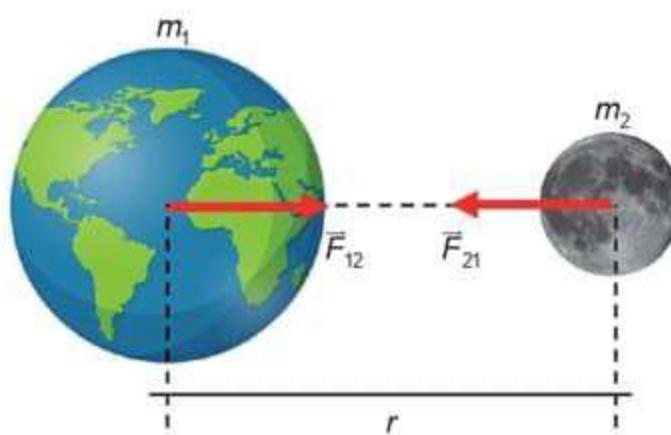


Fig. 5-P6. Representación de la atracción gravitatoria entre la Tierra y la Luna.

Un aspecto importante de la ley de gravedad es su universalidad: se aplica a todos los objetos en el universo, desde las partículas subatómicas hasta las estrellas y galaxias.

6.3.3. Ley de Coulomb y fuerzas electrostáticas

Así como la fuerza de gravedad es consecuencia de la masa de los cuerpos, la fuerza electrostática lo es de sus cargas eléctricas. La ley fundamental que describe esta interacción es la ley de Coulomb, formulada por Charles-Augustin Coulomb en 1785.

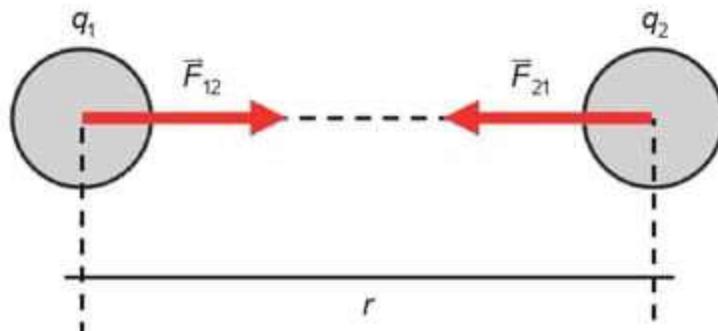


Fig. 6-P6. Fuerzas eléctricas entre dos cuerpos cargados.

Esta ley establece que la magnitud de fuerza electrostática entre dos cuerpos que pueden considerarse puntuales y están cargados eléctricamente es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. Al igual que en la ley de gravedad universal, los cuerpos con distribución esférica de carga se comportan a los efectos de la fuerza eléctrica entre ellos como si toda la carga estuviera concentrada en sus centros (Fig. 6-P6). La ley de Coulomb se expresa como:

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

Donde F_e es la fuerza electrostática entre los cuerpos, k es la constante de Coulomb ($9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$), q_1 y q_2 son las magnitudes de las cargas eléctricas que se miden en Coulomb (C) y r es la distancia entre los cuerpos. Coulomb de la unidad fundamental de carga eléctrica, por ejemplo, en experimentos cotidianos como al frotar una regla, un bolígrafo o un globo, la carga que estos adquieren puede ser del orden de los micro coulomb (10^{-6}) o nano coulomb (10^{-9}).

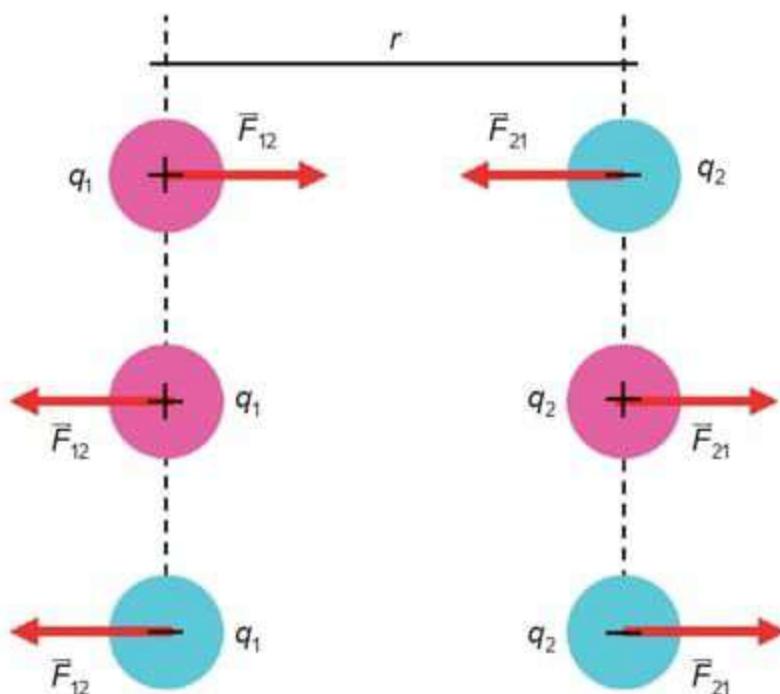


Fig. 7-P6. Ejemplo de atracción y repulsión electrostática. Cargas opuestas se atraen, mientras que cargas iguales se repelen.

A diferencia de la fuerza gravitatoria, que siempre es atractiva, la fuerza electrostática puede ser atractiva o repulsiva. Cuerpos con cargas de signos opuestos se atraen, mientras que con cargas del mismo signo se repelen (Fig. 7-P6).

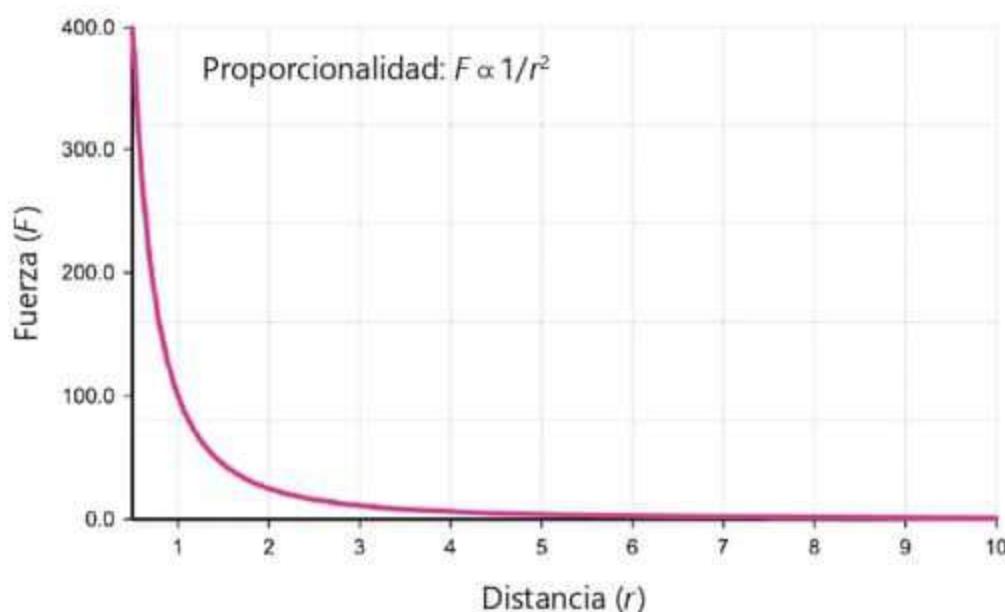


Fig. 8-P6. Dependencia de la fuerza gravitatoria o electrostática entre dos cuerpos con la separación entre ellos.

La ley de Coulomb es fundamental para entender la estructura de los átomos, las interacciones moleculares y muchos fenómenos eléctricos cotidianos. Por ejemplo, la atracción electrostática entre los electrones y el núcleo atómico es lo que los mantiene unidos.

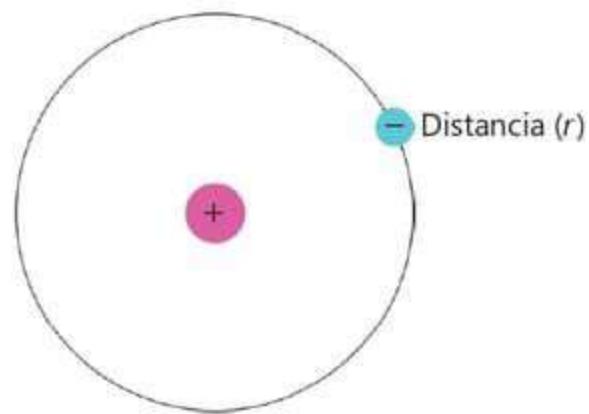


Fig. 9-P6. Esquema simplificado del núcleo y el electrón del átomo de hidrógeno.

Tabla 1-P6. Comparación entre la interacción gravitacional y electrostática.

Característica	Interacción gravitacional	Interacción electrostática
Ecuación para partículas	$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	$F_e = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
Variables	m_1, m_2 : masas de los objetos r : distancia entre los centros F_G : fuerza gravitacional	q_1, q_2 : cargas eléctricas r : distancia entre los centros F_e : fuerza electrostática
Constantes	$G = 6.68 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ (constante gravitacional universal)	$k = 9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ (constante de Coulomb)

Naturaleza de la fuerza	Siempre atractiva	Atractiva (cargas opuestas) Repulsiva (cargas del mismo signo)
Dependencia con la distancia	Inversamente proporcional al cuadrado de la distancia: $F \propto \frac{1}{r^2}$	Inversamente proporcional al cuadrado de la distancia: $F \propto \frac{1}{r^2}$
Objetos sobre los que actúa	Todos los objetos.	Objetos con carga eléctrica.

6.3.4. Aplicaciones y efectos de las fuerzas gravitatorias y electrostáticas

Las leyes de gravitación universal y Coulomb tienen numerosas aplicaciones prácticas y teóricas. En la astronomía, la ley de gravitación universal junto a la segunda ley de Newton permite predecir las órbitas de los planetas, satélites y cometas. También es fundamental para entender la formación y evolución de las estrellas y galaxias.

En la Tierra, la gravedad es responsable de fenómenos como las mareas oceánicas, causadas principalmente por la atracción gravitatoria de la Luna. La comprensión precisa de la gravedad también es decisiva para las misiones espaciales y la colocación de satélites en órbita.

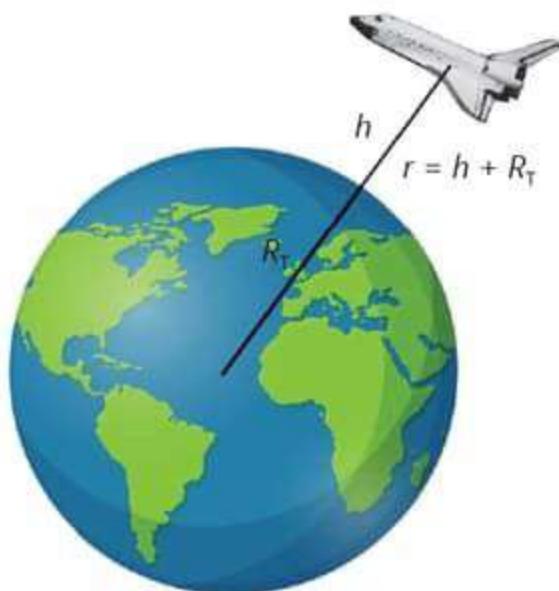


Fig. 10-P6. Distancia desde el centro de la Tierra hasta la nave espacial.

Las fuerzas electrostáticas, por otro lado, son fundamentales en la química y la biología. Las interacciones electrostáticas entre átomos y moléculas determinan propiedades como la solubilidad, la tensión superficial y la estructura de las proteínas. En la tecnología se utilizan en aplicaciones tan diversas como las fotocopiadoras, los precipitadores electrostáticos para el control de la contaminación, y los microscopios de fuerza atómica.

La comprensión de estas fuerzas fundamentales también ha llevado a preguntas profundas sobre la naturaleza del universo. Por ejemplo, la debilidad de la fuerza de gravedad en comparación con la fuerza electrostática (la fuerza electrostática entre dos protones es aproximadamente 10^{36} veces mayor que la fuerza gravitatoria entre ellos) es uno de los misterios no resueltos de la física.

6.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase, aplicaremos nuestro conocimiento sobre las fuerzas gravitatorias y electrostáticas mediante ejercicios prácticos contextualizados. Resolveremos problemas que nos ayudarán a comprender mejor cómo estas fuerzas actúan en situaciones cotidianas.

Ejercicio 1. Un satélite meteorológico que monitorea los huracanes en el Pacífico mexicano tiene una masa de 1.0×10^3 kg y orbita a 3.6×10^4 km sobre la superficie terrestre. Calcule la fuerza de gravedad entre el satélite y la Tierra.



Solución

1. Análisis del proceso:

Utilizamos la ley de gravitación universal para calcular la fuerza gravitacional que la Tierra ejerce sobre el satélite.

2. Identificación de los datos del problema:

$m = 1.0 \times 10^3$ kg, $h = 3.6 \times 10^4$ km sobre la superficie terrestre, $M = 6.0 \times 10^{24}$ kg, $R_T = 6.4 \times 10^6$ m y $G = 6.7 \times 10^{-11}$ N·m²/kg²

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

Cálculo de la fuerza gravitacional que experimenta el satélite

$$F = G \frac{Mm}{r^2} = G \frac{Mm}{(R_T+h)^2}$$

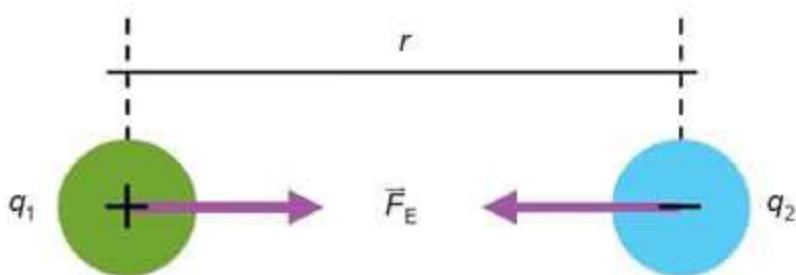
$$R_T + h = 6.4 \times 10^6 \text{ m} + 3.6 \times 10^7 \text{ m} = 4.2 \times 10^7 \text{ m}$$

$$F = \left(6.7 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) = \frac{(6.0 \times 10^{24} \text{ kg})(1.0 \times 10^3 \text{ kg})}{(4.2 \times 10^7 \text{ m})^2} = 2.3 \times 10^2 \text{ N}$$

4. Conclusión:

La fuerza gravitacional que experimenta el satélite, debida a la Tierra, es aproximadamente 2.3×10^2 N.

Ejercicio 2. En un laboratorio de física se estudia la interacción entre dos esferas metálicas con cargas de 3.0×10^{-6} C y -2.0×10^{-6} C, respectivamente, separadas por una distancia de 0.15 m. Calculen la fuerza electrostática entre ambas.



Solución

1. Análisis del proceso:

Este problema requiere aplicar la ley de Coulomb para calcular la fuerza de atracción entre dos cargas puntuales.

2. Identificación de los datos del problema:

$$q_1 = 3.0 \times 10^{-6} \text{ C}, q_2 = -2.0 \times 10^{-6} \text{ C}, r = 0.15 \text{ m} \text{ y } k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

Cálculo de la fuerza electrostática inicial entre las esferas

$$\begin{aligned} F_e &= k \frac{q_1 q_2}{r^2} \\ F &= (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(3.0 \times 10^{-6} \text{ C})(-2.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.15 \text{ m})^2} = -2.4 \text{ N} \end{aligned}$$

4. Conclusión:

La magnitud de la fuerza electrostática entre las esferas es de 2.4 N, el signo menos indica que es fuerza de atracción.

6.5. Evaluate (Evaluación)

En esta fase final, evaluaremos nuestro aprendizaje sobre las fuerzas gravitatorias y electrostáticas mediante diferentes tipos de ejercicios. Esto nos permitirá identificar los conceptos que hemos comprendido bien y aquellos que necesitamos reforzar.

6.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. ¿Cuál es la relación correcta entre la fuerza gravitacional y la distancia entre dos objetos?
 - A) La fuerza gravitacional aumenta con el cuadrado de la distancia.
 - B) La fuerza gravitacional disminuye linealmente con la distancia.
 - C) La fuerza gravitacional es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
 - D) La fuerza gravitacional es independiente de la distancia.
2. En la ley de Coulomb, si se duplica la carga eléctrica de ambos objetos, la fuerza electrostática:
 - A) Se duplica
 - B) Se cuadriplica
 - C) Se mantiene igual
 - D) Se reduce a la mitad
3. ¿Qué característica diferencia a las fuerzas electrostáticas de las gravitacionales?
 - A) Solo las fuerzas electrostáticas dependen de la distancia.
 - B) Las fuerzas electrostáticas pueden ser atractivas o repulsivas.
 - C) Las fuerzas gravitacionales solo actúan en el espacio exterior.
 - D) Las fuerzas electrostáticas solo actúan sobre metales.
4. ¿Qué condición debe cumplirse para que un objeto experimente "ingravidez" o sensación de ausencia de peso?
 - A) Estar muy lejos de la Tierra
 - B) Estar quieto en el espacio
 - C) Estar cayendo sin resistencia
 - D) Tener una masa pequeña
5. Al frotar un globo contra el cabello, este se "eriza" debido a:
 - A) El aumento de temperatura del cabello
 - B) La transferencia de cargas eléctricas
 - C) La fuerza gravitacional
 - D) El movimiento del aire

6.5.2. Problemas cualitativos

1. Indaga por qué la Luna no cae sobre la Tierra a pesar de la fuerza gravitacional.
2. En una actividad práctica de aula, al acercar un bolígrafo frotado a pequeños trozos de papel, estos saltan hacia el bolígrafo y luego se alejan. ¿Por qué ocurre este comportamiento?
3. Si representáramos a la Tierra como una esfera de 1 metro de radio, la estación espacial internacional estaría a unos 6 centímetros, por consiguiente, no pueden considerarse partículas, ¿cómo es entonces posible aplicar la ley de gravitación universal?
4. Investiga donde se aplica la ley de Coulomb en la biología.
5. ¿Por qué en la Tierra al referirse a la fuerza de la gravedad utilizamos el término mg en lugar de $G \frac{m_1 m_2}{r^2}$?

6.5.3. Problemas cuantitativos

1. Dos esferas metálicas de 2.0 kg cada una están separadas por una distancia de 0.50 m. Encuentren a) la fuerza gravitacional entre ambas esferas y b) si a cada esfera se le proporciona una carga de 3.0×10^{-6} C, determinen la fuerza electrostática entre ellas.
Respuesta: 1.1×10^{-9} N, 0.32 N
2. Se tiene una partícula con una carga de 4.0×10^{-6} C y otra con una carga de -2.0×10^{-6} C separadas 0.15 m. Calculen a) la fuerza electrostática entre las partículas y b) la fuerza si la distancia entre ellas se reduce a la mitad.
Respuesta: 3.20 N, 12.8 N
3. Hallen la fuerza de gravedad entre la Tierra y la Luna. La masa de la Tierra es de 6.0×10^{24} kg y la de la Luna es de 7.3×10^{22} kg. La distancia promedio entre ambos cuerpos es de 3.8×10^8 m.
Respuesta: 2.0×10^{20} N
4. En un estudio de la interacción de dos esferas idénticas de masas 5.0×10^{-2} kg y cargas de 5.0×10^{-7} C y -5.0×10^{-7} C, respectivamente, sus centros están separados 0.10 m. Comparen la fuerza de gravedad con la fuerza eléctrica de las esferas.
Respuesta: 1.3×10^{10}
5. Dos cuerpos de masa 100 kg "flotan" en el espacio y están separados por una distancia de 10 km. Calculen a) la fuerza gravitacional entre ellos y b) ¿qué valor de carga eléctrica positiva idéntica deberían tener para que la fuerza electrostática repulsiva sea igual en magnitud a la fuerza gravitacional?
Respuesta: 6.67×10^{-15} N, 8.62×10^{-9} C

6.5.4. Autoevaluación y reflexión

Las siguientes preguntas te ayudarán a reflexionar sobre tu aprendizaje de las fuerzas a distancia y su impacto en tu comprensión del mundo físico:

1. ¿Qué aspectos de las fuerzas gravitatorias y electrostáticas te han resultado más sorprendentes?
2. ¿De qué manera se relacionan las fuerzas a distancia con otros temas que has estudiado en física, como el movimiento, la energía o el trabajo?
3. ¿Cómo crees que el conocimiento de las fuerzas gravitatorias y electrostáticas podría ser útil en tu futura carrera?

Cápsula

7

Progresión de aprendizaje 7: Examinar la representación de los campos electrostático y magnético mediante líneas de campo y analizar las transformaciones y conservación de la energía en sistemas y aplicaciones que involucran a dichos campos y al campo gravitatorio.

Metas de aprendizaje

CC. Comprender que la energía se conserva en las transformaciones que ocurren en campos gravitatorios y eléctricos, reconociendo que estos campos almacenan energía potencial y pueden transmitirla entre objetos mediante procesos de inducción electromagnética e interacciones gravitacionales presentes en fenómenos naturales y aplicaciones tecnológicas.

CT1. Interpretar las representaciones gráficas de los campos eléctricos y magnéticos mediante líneas de campo, relacionando su densidad con la intensidad del campo en diferentes regiones del espacio.

CT2. Establecer las relaciones de causa y efecto entre las variaciones de campos magnéticos y la generación de campos eléctricos, así como entre las corrientes eléctricas y los campos magnéticos producidos.

CT3. Aplicar las ecuaciones de energía potencial gravitatoria y eléctrica para calcular transformaciones energéticas en sistemas de partículas y cuerpos celestes.

CT4. Modelar matemáticamente los sistemas de conservación de energía en campos de fuerza, utilizando las expresiones generales para energías potenciales y sus aplicaciones en tecnologías modernas.

CT5. Analizar los ciclos de transformación entre energía potencial y cinética en sistemas orbitales, procesos de inducción electromagnética y transmisión de ondas electromagnéticas.

CT6. Relacionar la estructura de dispositivos tecnológicos con su función energética, desde aceleradores de partículas hasta sistemas de comunicación inalámbrica.

CT7. Evaluar los cambios de estabilidad en sistemas físicos cuando se modifican las condiciones de los campos de fuerza, particularmente en órbitas satelitales y configuraciones electromagnéticas.

Concepto central

CC. La energía en los procesos de la vida diaria

Conceptos transversales

CT1. Patrones

CT2. Causa y efecto

CT3. Medición

CT4. Sistemas

CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía

CT6. Estructura y función

CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 7: Campos gravitatorio, eléctrico y magnético. Conservación de la energía

Durante esta cápsula de aprendizaje profundizarán en los fundamentos de las transformaciones energéticas en campos gravitatorios y electromagnéticos. Desarrollarán habilidades para interpretar representaciones gráficas de campos de fuerza, aplicar ecuaciones y comprender las conexiones entre electricidad y magnetismo descubiertas por Oersted y Faraday. A través de aplicaciones tecnológicas como la asistencia gravitatoria espacial, y los sistemas de comunicación inalámbrica, fortalecerán su pensamiento crítico sobre los procesos energéticos que sustentan tanto fenómenos naturales como innovaciones que transforman nuestra sociedad.

7.1. Engage (Empezamos)

En esta fase inicial, observaremos situaciones cotidianas que nos ayudarán a reflexionar sobre cómo la energía se transforma y se conserva en diferentes procesos.

1. Luego de frotar un globo contra su cabello, este puede atraer pequeños pedazos de papel. ¿Cómo explicarían este fenómeno desde el punto de vista de la energía?
2. Cuando una nave pasa de una órbita más lejana a otra más cercana su velocidad aumenta. ¿Cómo se explica esto desde el punto de vista de la energía?
3. ¿Qué hace apuntar siempre hacia el norte a la aguja de una brújula?
4. ¿En qué principio se basa la generación de corriente eléctrica en los generadores de centrales térmicas, hidroeléctricas y eólicas?
5. Un teléfono celular puede recibir mensajes y llamadas sin estar conectado por cables con el celular que emite el mensaje o sonido. ¿Cómo se explica esto?

7.2. Explore (Exploramos)

En esta fase, realizaremos actividades prácticas que nos permitan observar y comprender cómo la energía se transforma y se conserva en diferentes situaciones.

Actividad práctica 1. Transformación de energía potencial eléctrica en energía potencial gravitatoria.

Objetivo:

Analizar un ejemplo simple de transformación entre energía potencial eléctrica y energía potencial gravitatoria.

Introducción:

La ley de transformación y conservación de la energía es universal y se cumple en todo tipo de fenómenos, tanto naturales como originados por el ser humano. En el semestre anterior estudiamos distintos casos de conversión de energía, como el intercambio entre energía potencial gravitatoria y cinética en un péndulo, o entre energía elástica y gravitatoria en un cuerpo suspendido de un resorte. En esta actividad práctica exploraremos, por primera vez, un ejemplo en el que intervienen fenómenos electrostáticos.

Materiales:

Dos tiras de acetato de unos 25 cm de largo y 1-2 cm de ancho.



Fig. 1-P7. Materiales para la actividad de transformación de energía potencial eléctrica en energía potencial gravitatoria.

Procedimiento:

Dos estudiantes suspenden las tiras de acetato por un extremo, una cada uno y, presionándolas entre dos dedos de la otra mano, los deslizan a lo largo de ellas de arriba hacia abajo.

Seguidamente, uno de los estudiantes agarra ambas tiras juntas por uno de sus extremos. Observen y describan lo que sucede.

Ahora, manteniendo las tiras unidas por un extremo, acerquen sus extremos inferiores hasta juntarlos y luego los sueltan. Observen de nuevo qué sucede y explíquenlo desde el punto de vista de la energía.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué tipo de carga eléctrica habrán adquirido las tiras de acetato al frotarlas deslizando los dedos a lo largo de ellas?
2. ¿Qué transformaciones de energía ocurren cuando, luego de juntar los extremos inferiores de las tiras y soltarlos, se separan por sí solos?
3. Describan las transformaciones de energía que tienen lugar en la siguiente secuencia: extremos inferiores separados —aproximación de dichos extremos— liberación de los extremos inferiores.

Actividad práctica 2. Transformación de energía potencial eléctrica en energía potencial gravitatoria.

Objetivo: Analizar un ejemplo simple de transformación entre energía potencial eléctrica y energía potencial gravitatoria mediante una simulación.

Introducción:

La ley de transformación y conservación de la energía es universal y se cumple en todo tipo de fenómenos, tanto naturales como originados por el ser humano. En el semestre anterior estudiamos distintos casos de conversión de energía, como el intercambio entre energía potencial gravitatoria y cinética en un péndulo, o entre energía elástica y gravitatoria en un cuerpo suspendido de un resorte. En esta actividad exploraremos un ejemplo simple en el que intervienen fenómenos electrostáticos.

Enlace Web:

<https://lab.concord.org/embeddable-production.html#interactives/itsi/electrostatics/electrostatics-3-pithball.json>

Procedimiento:

Accedan a la simulación y describan lo que representa el esquema.

Hagan clic en "Charge" y expliquen lo que sucede desde el punto de vista de la energía. Para repetir la observación hagan clic en "Reset".

Ahora hagan clic en "More charges" y después en "Charge". Comparen lo que sucedía en el caso anterior y en este. ¿Cómo se explica la diferencia entre ambos casos?



Fig. 2-P7. Docente explica la transformación entre energía potencial eléctrica y gravitatoria con el simulador virtual.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué transformaciones de energía ocurren cuando, al cargar las esferitas suspendidas, estas se separan?

2. ¿Cómo dependen las variaciones de energía del sistema de los dos péndulos de la magnitud de las cargas?
3. Si en lugar de estar suspendidas de hilos, las esferitas estuvieran apoyadas sobre una superficie horizontal sin fricción, ¿qué diferencias esperarías en las transformaciones de energía? Explica.

7.3. Explain (Explicación)

En esta fase examinaremos la representación de los campos eléctrico y magnético y la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo. También profundizaremos en la ley de conservación de la energía a través del análisis de situaciones que involucran campos gravitatorios y eléctricos.

7.3.1. Campos eléctrico y magnético y su representación gráfica

El concepto de campo en física fue introducido por Michael Faraday en la década de 1840. Faraday planteó la idea de que los cuerpos con carga eléctrica no actúan directamente sobre otros, sino mediante un campo eléctrico que se extiende por el espacio. Los campos pueden representarse gráficamente mediante líneas.

En la figura 3-P7 se muestran las líneas de campo eléctrico y magnético en diferentes casos. La separación entre las líneas da idea de la intensidad de los campos: donde están más unidas, el campo es más intenso y donde están más separadas, menos intenso.

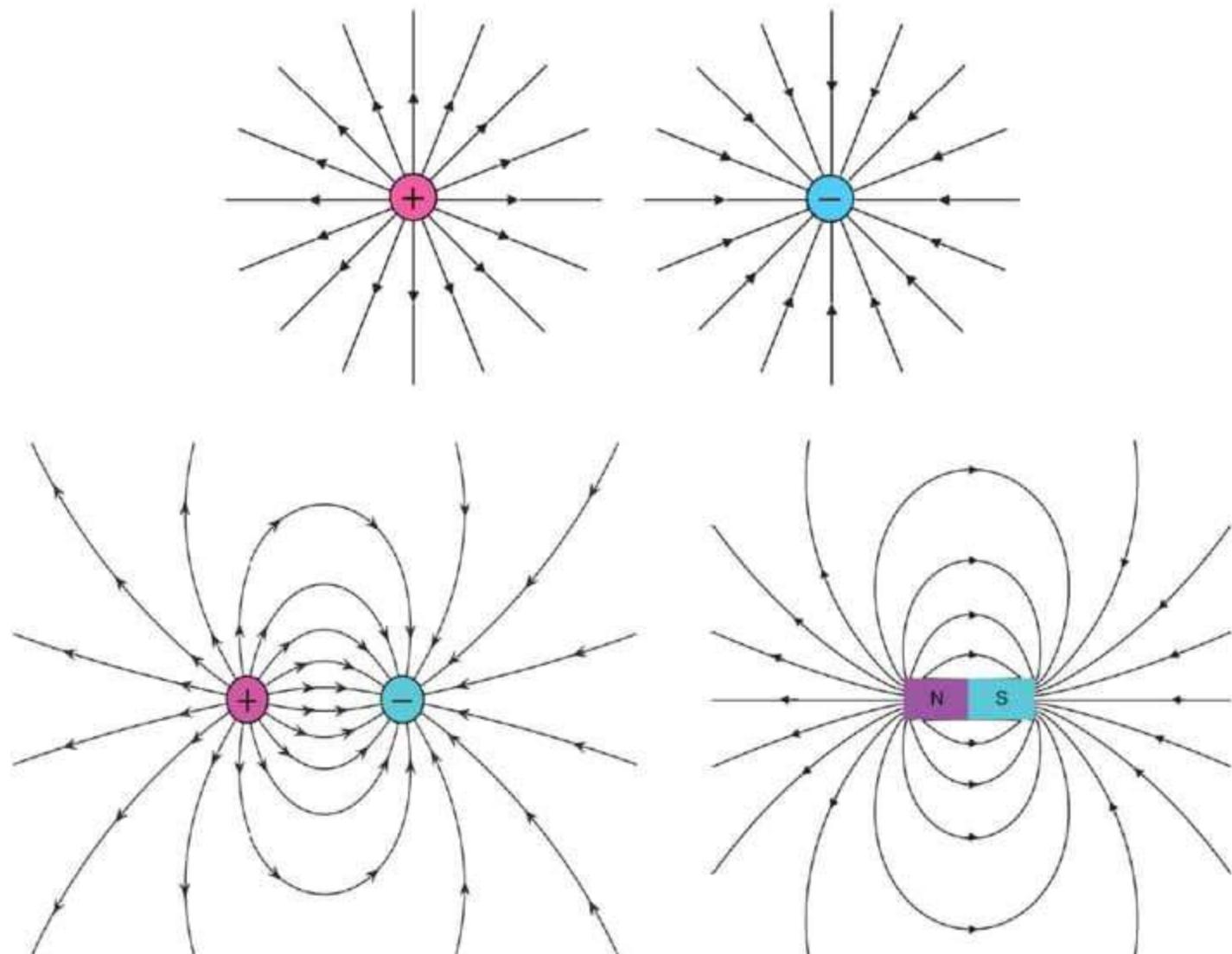


Fig. 3-P7. Líneas de campo eléctrico y magnético.

7.3.2. Energías potenciales gravitatoria y eléctrica y transformaciones de energía

La energía potencial, gravitatoria, eléctrica o magnética de un sistema de cuerpos se almacena en el campo creado por ellos. Como conoces, para cuerpos cerca de la superficie de la Tierra la energía potencial gravitatoria se calcula mediante la ecuación $E_{pg} = mgy$. Sin embargo, esta es una ecuación particular, válida solo para regiones tan próximas a la Tierra que el campo gravitatorio pueda considerarse constante. Esa ecuación se obtiene al considerar que la fuerza gravitatoria es $F_g = mg$, es decir, constante, mientras que realmente la expresión general de la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos que puedan considerarse como partículas es

$$F_g = -G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

El signo menos indica que la fuerza está dirigida de una partícula hacia la otra. De esa ecuación es que se obtiene la expresión general de la energía potencial gravitatoria

$$E_{pg} = -G \frac{m_1 m_2}{r}$$

Esta ecuación puede ser aplicada lo mismo en el caso de cuerpos cercanos a la Tierra que alejados de ella, como por ejemplo, planetas, satélites y naves espaciales. Es importante notar que, en el caso general, el cero de energía potencial gravitatoria correspondiente a dos cuerpos se elige a una distancia muy grande uno del otro, para la cual la fuerza entre ellos es nula y, por tanto, también la energía potencial.



Fig. 4-P7. Al aumentar la distancia del satélite al centro de la Tierra aumenta la energía potencial gravitatoria del sistema Tierra-satélite.

A fin de ilustrar cómo cambia la energía potencial gravitatoria, consideremos un satélite que se pone en órbita alrededor de la Tierra (Fig. 4-P7). A medida que el satélite se aleja de la Tierra, su energía potencial gravitatoria aumenta (se vuelve menos negativa). Este aumento de energía potencial en parte tiene lugar a expensas de la energía cinética del satélite, lo que explica por qué en órbitas más alejadas se mueven con menor velocidad.

De modo similar, para un sistema de dos cuerpos cargados que puedan considerarse como partículas, la fuerza eléctrica entre ellos es

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

en consecuencia, la ecuación de la energía potencial es:

$$E_{PE} = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

Las ecuaciones anteriores evidencian que las energías potenciales gravitatoria y eléctrica de dos cuerpos dependen de la distancia r entre ellos. Pero a diferencia de la energía potencial gravitatoria, la potencial eléctrica puede ser positiva o negativa, en dependencia de los signos de las cargas. Para cargas de signo opuesto es negativa y para cargas de igual signo positiva.

7.3.3 Conexión entre los campos eléctrico y magnético

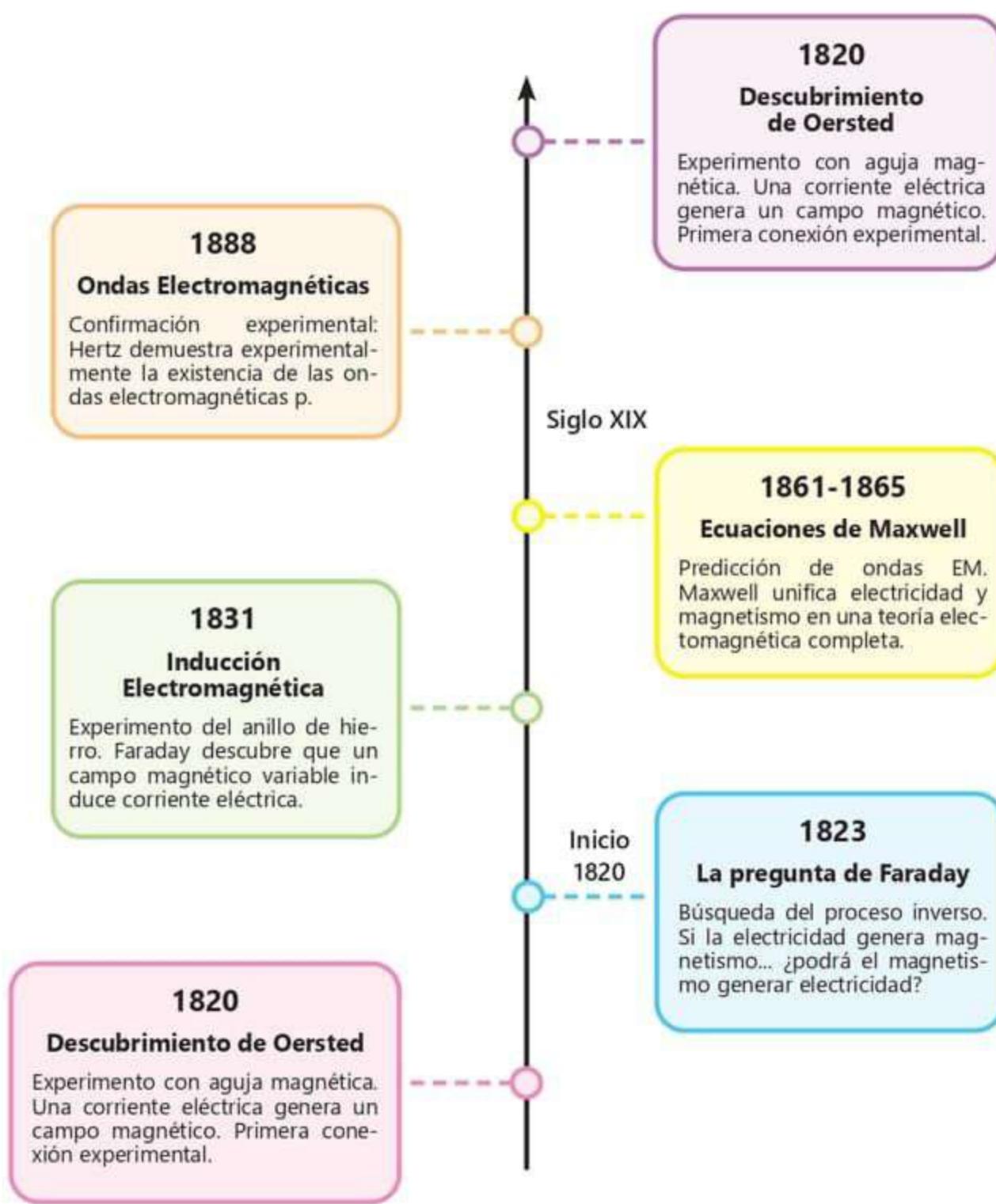


Fig. 5-P7. Principales hitos en el desarrollo de la teoría electromagnética.

Hasta 1820 la electricidad y el magnetismo se consideraban fenómenos independientes uno del otro. Fue en ese año que Christian Oersted encontró, al parecer casualmente, la primera conexión entre ambos: si sobre una aguja magnética orientada en el campo magnético de la Tierra (brújula), se coloca, paralelamente a ella, un conductor con corriente eléctrica (Fig. 6-P7), la aguja se desvía. Este experimento pone de manifiesto que la corriente eléctrica provoca sobre la aguja un efecto similar al de un imán. ¿Qué transformación de energía se evidencia en el experimento de Oersted?

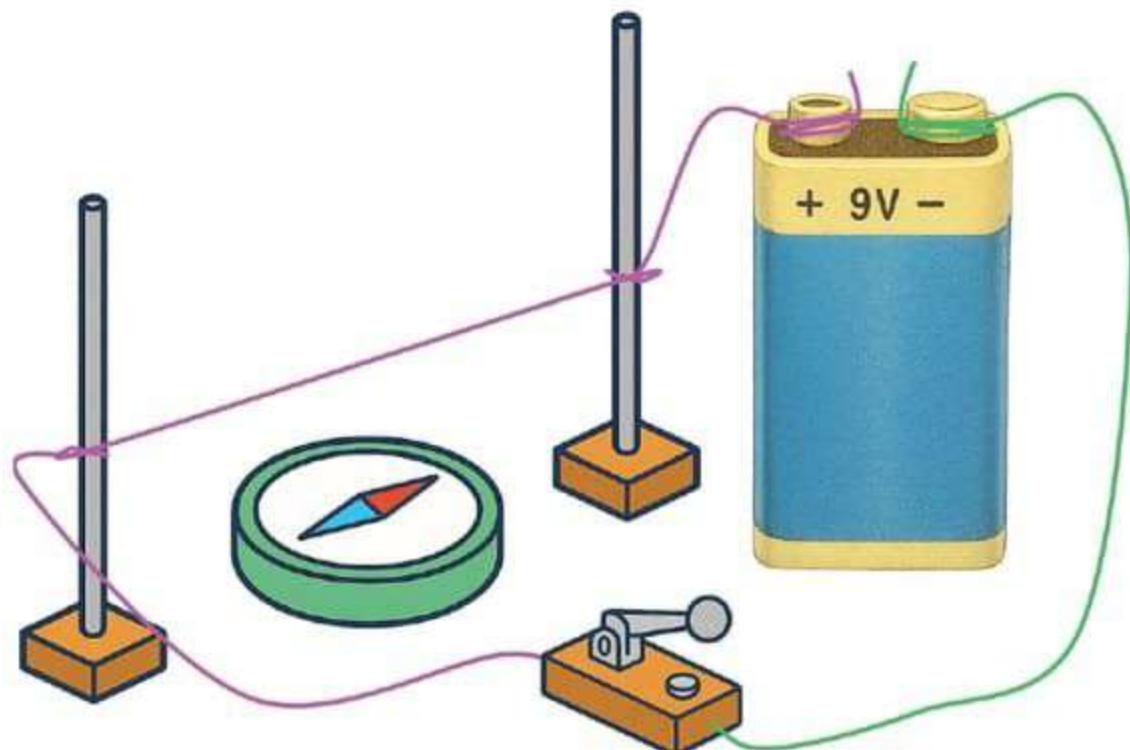


Fig. 6-P7. El experimento de Oersted mostró por primera vez la conexión de la electricidad y el magnetismo.

Cuando el conductor con corriente se enrolla alrededor de un cuerpo ferroso (electroimán), entonces se refuerza el efecto magnético (Fig. 7-P7).



Fig. 7-P7. Electroimán casero. Al enrollar un conductor con corriente sobre un clavo de hierro, el campo magnético se refuerza.

Hemos visto que una corriente eléctrica genera un campo magnético. ¿El recíproco será cierto? ¿Un campo magnético podrá generar corriente eléctrica? Como se vio en el semestre anterior, la respuesta a esta pregunta es positiva. En 1823 Michael Faraday se formuló una pregunta similar y luego de muchos intentos, en 1831 encontró la solución. Cuando cambia el flujo de campo magnético o "cantidad de campo magnético" (el número de líneas del campo) que atraviesa el área limitada por una o varias espiras, aparece en ellas una corriente eléctrica. La figura 8-P7 representa una variante moderna de uno de los experimentos realizados por Faraday.

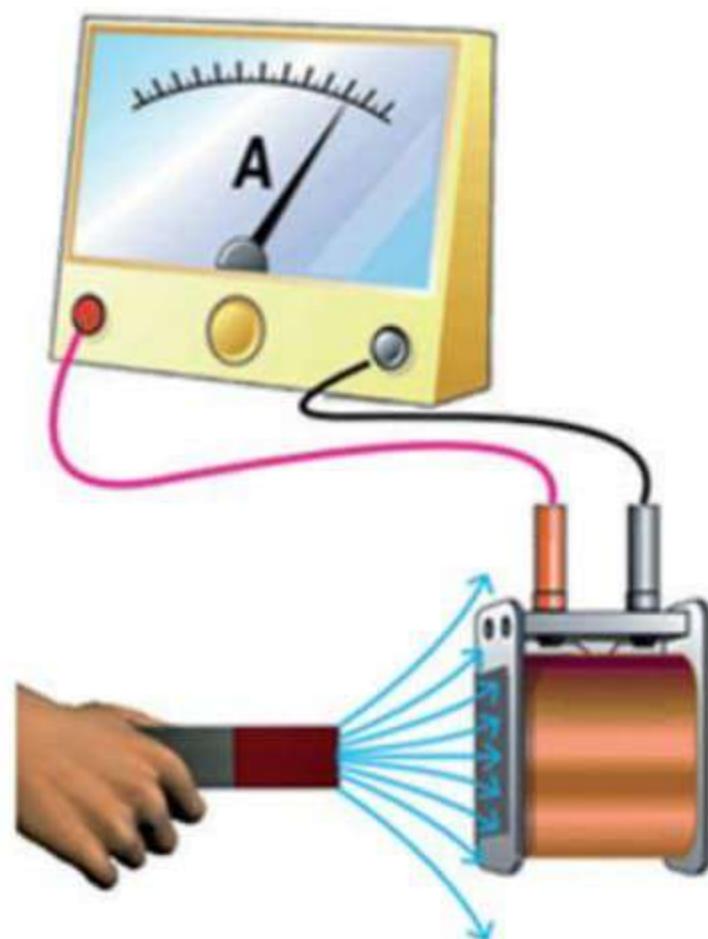


Fig. 8-P7. Al acercar o alejar entre sí un imán y una bobina, varía la cantidad de líneas de campo que la atraviesa y la aguja indica una corriente momentánea.

Mientras mayor sea la rapidez con que varía el flujo del campo magnético que atraviesa la bobina (en la situación de la figura, la rapidez con que se mueve el imán), mayor será la corriente inducida. Y puesto que para generar corriente eléctrica se requiere un campo eléctrico que actúe sobre partículas cargadas, se concluye que la corriente en el conductor se produce debido a un campo eléctrico y que este es originado por las variaciones del campo magnético. ¿Qué transformación de energía tiene lugar en este experimento?

Hoy se sabe que un campo magnético variable origina un campo eléctrico a su alrededor aun si no existe una espira o bobina en dicho campo. Este fenómeno es la base de la generación de ondas electromagnéticas, fundamento de las transmisiones modernas.

En una antena transmisora, las rápidas variaciones de corriente eléctrica producen un campo magnético variable, el cual induce un campo eléctrico también variable. Este, a su vez, genera un campo magnético variable, y así sucesivamente. De este modo, el proceso se propaga en el espacio en forma de onda electromagnética hasta llegar a la antena receptora. Allí, el campo eléctrico variable de la onda electromagnética induce una pequeña corriente eléctrica, que es luego amplificada mediante un circuito apropiado, haciendo posible la transmisión de la señal.

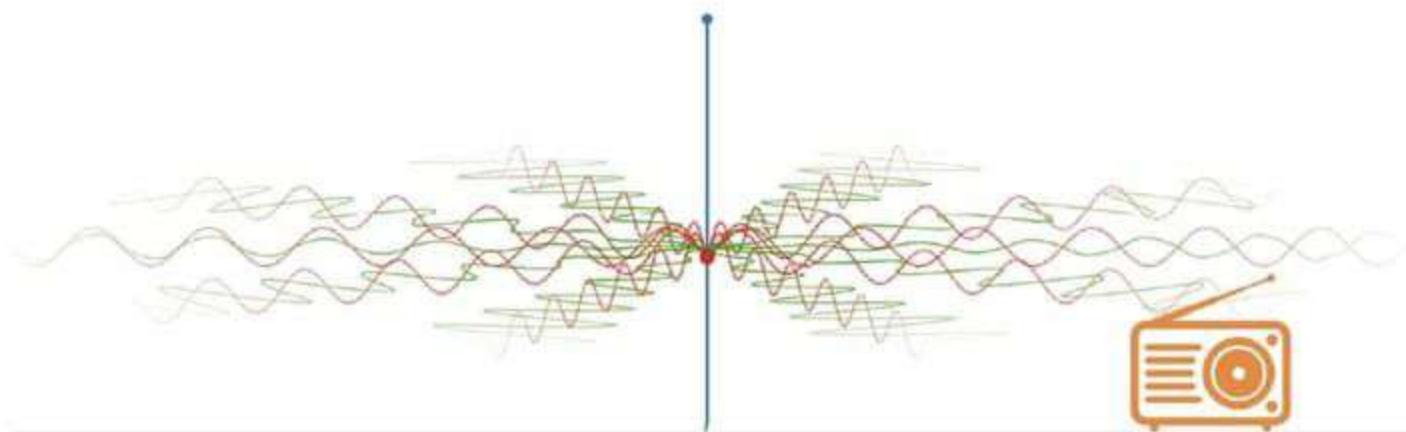


Fig. 9-P7. Una corriente variable en una antena emisora da lugar a onda electromagnética, que es recibida en la antena receptora de un radio.

7.3.4. Aplicaciones de la conservación de la energía en campos gravitatorios y eléctricos

En las misiones espaciales, las sondas y naves aprovechan la gravedad de los planetas para ganar velocidad en las maniobras conocidas como asistencia gravitatoria, reduciendo el uso de combustible y optimizando trayectorias en viajes interplanetarios. Este fenómeno se basa en el intercambio de energía entre la nave y el campo gravitacional del planeta, donde la energía total del sistema se conserva, aunque se redistribuya entre la nave y el planeta.

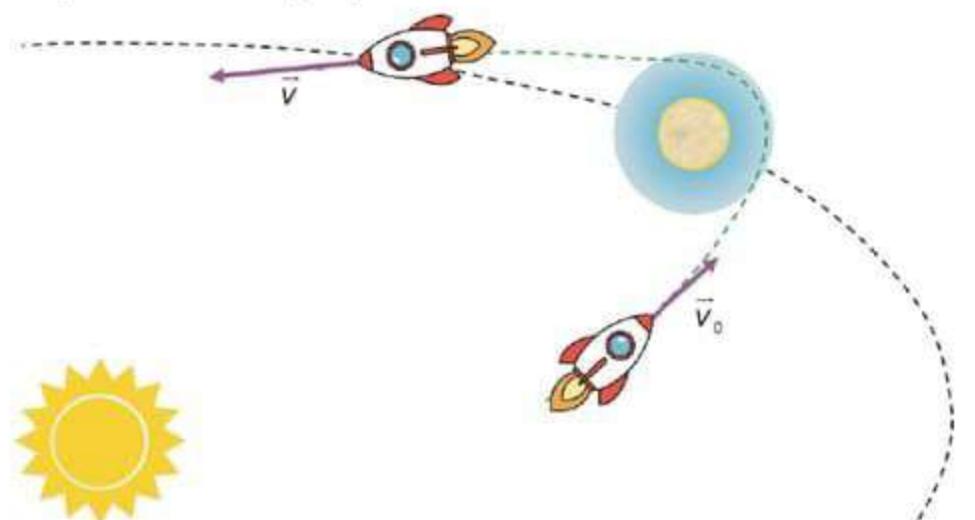


Fig. 10-P7. La nave incrementa su energía cinética y, por tanto su velocidad, a cuenta de energía del planeta.

Un principio similar se observa en los aceleradores de partículas, donde partículas cargadas son aceleradas mediante campos eléctricos que convierten la energía potencial eléctrica en cinética, de modo que alcanzan velocidades cercanas a la de la luz.



Fig. 11-P7. El Dr. Lemus durante su visita al CERN en Ginebra, Suiza, a 100 metros de profundidad, en mayo de 2014.

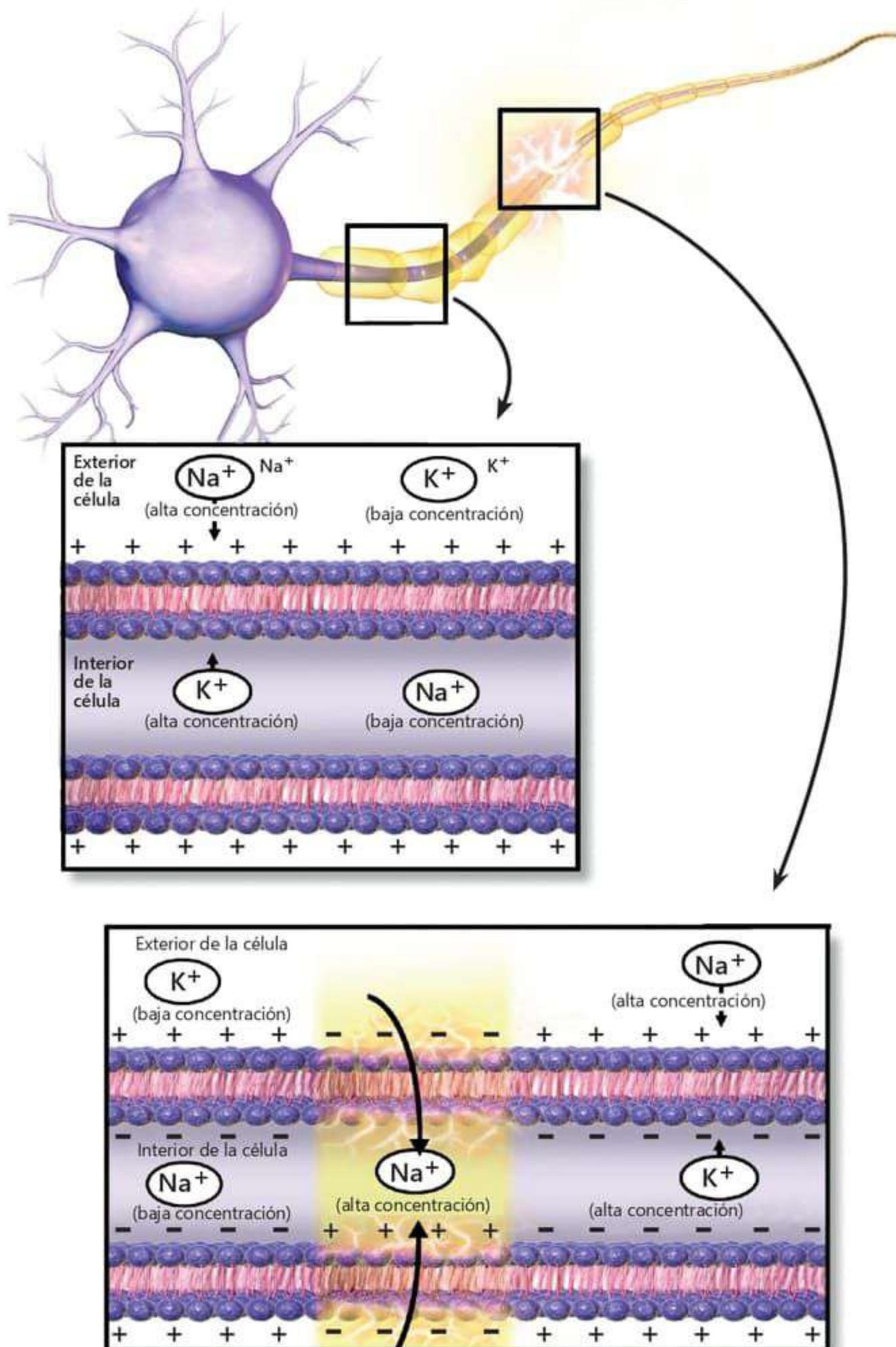


Fig. 12-P7. Representación de concentración de Na^+ y K^+ que da lugar a impulsos nerviosos en una neurona.

Las neuronas funcionan como pequeños sistemas eléctricos biológicos. En su interior predominan iones K^+ y proteínas cargadas negativamente, y en el exterior abundan iones Na^+ y Cl^- . Esta diferencia de concentración y carga genera energía potencial eléctrica en la membrana que da lugar a los impulsos nerviosos (Fig. 12-P7).

Los auriculares inalámbricos funcionan gracias a la transmisión de señales electromagnéticas. El dispositivo emisor envía la información del sonido en forma de ondas electromagnéticas que viajan por el aire. El auricular capta estas ondas y las convierte en una corriente eléctrica que alimenta directamente el mecanismo de reproducción del sonido.

El auricular está compuesto por un circuito receptor de señal, una bobina y un imán permanente. Cuando la corriente eléctrica circula por la bobina, se genera un campo magnético variable que interactúa con el imán, produciendo fuerzas de atracción y repulsión. Este movimiento se transmite a un diafragma flexible, el cual vibra a distintas frecuencias de acuerdo con la señal recibida. Las vibraciones del diafragma desplazan el aire y originan ondas sonoras que llegan al oído del usuario.

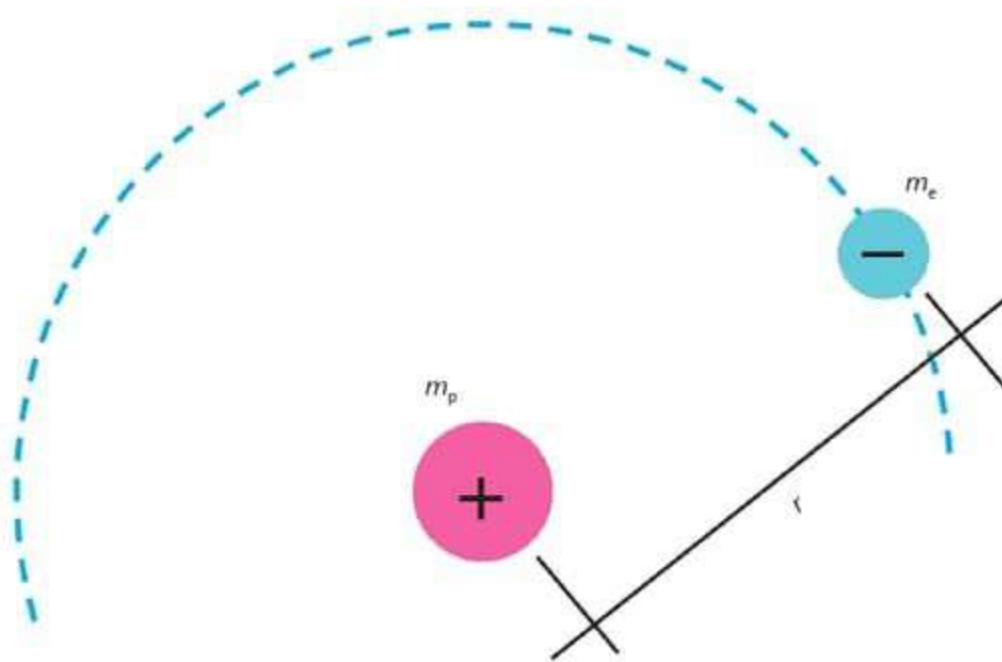
Tabla 1-P7. Aplicaciones tecnológicas de la ley de la conservación de energía en campos gravitatorios y electromagnéticos.

Aplicación tecnológica	Principio físico aplicado	Transformación energética principal
Asistencia gravitatoria espacial	Conservación de la energía en campos gravitatorios. Intercambio de energía entre la nave y el campo gravitacional del planeta	Energía potencial gravitatoria → Energía cinética (la nave gana velocidad al acercarse al planeta y se redistribuye la energía del sistema)
Aceleradores de partículas	Campos eléctricos intensos que ejercen fuerzas sobre partículas cargadas, acelerándolas mediante diferencias de potencial	Energía potencial eléctrica → Energía cinética (las partículas cargadas alcanzan velocidades cercanas a la luz)
Transmisión neuronal	Diferencia de concentración iónica y carga eléctrica a través de la membrana celular genera energía potencial eléctrica	Energía potencial eléctrica → Energía cinética (movimiento de iones) → Señal eléctrica (impulso nervioso)
Auriculares inalámbricos	Transmisión de ondas electromagnéticas. Interacción de campos eléctricos y magnéticos variables que se regeneran mutuamente. Inducción electromagnética en la bobina receptora	Energía electromagnética (ondas) → Energía eléctrica (corriente en la bobina) → Energía mecánica (vibración del diafragma) → Energía sonora
Generadores eléctricos	Inducción electromagnética de Faraday. El cambio del flujo de campo magnético a través de una bobina induce corriente eléctrica	Energía mecánica (rotación de la bobina o del imán) → Energía eléctrica (corriente inducida en el circuito)
Motores eléctricos	Corriente eléctrica en un conductor genera campo magnético.	Energía eléctrica (corriente en la bobina) → Energía magnética (campo magnético) → Energía mecánica (movimiento rotatorio)

7.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase, aplicaremos nuestro conocimiento sobre la conservación de la energía para resolver problemas lo que nos ayudará a entender mejor lo estudiado.

Ejercicio 1. En un modelo simplificado del átomo del hidrógeno, el electrón se encuentra a una distancia promedio $r = 5.3 \times 10^{-10}$ m de un protón. a) Calcular la energía potencial gravitatoria entre el electrón y el protón. b) Calcular la energía potencial eléctrica entre el electrón y el protón.



Solución

1. Análisis del proceso:

Este ejercicio involucra el cálculo de dos tipos de energía potencial entre un electrón y un protón, separados por una distancia determinada: la energía potencial gravitatoria y la energía potencial eléctrica. La energía potencial gravitatoria depende de las masas del electrón y del protón, así como de la distancia que los separa, y se calcula utilizando la ley de gravitación universal. Por otro lado, la energía potencial eléctrica depende de las cargas de las partículas y de la distancia entre ellas, y se calcula utilizando la ley de Coulomb.

2. Identificación de los datos del problema:

$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, $q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ C, $r = 5.3 \times 10^{-10}$ m, $m_p = 1.7 \times 10^{-27}$ kg, $q_p = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $r = 5.3 \times 10^{-10}$ m, $G = 6.7 \times 10^{-11}$ N·m²/kg² y $k = 9.0 \times 10^9$ N·m²/C².

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo de la energía potencial gravitatoria entre el electrón y el protón

$$E_{pg} = -G = \frac{m_e m_p}{r}$$

$$E_{pg} = -(6.7 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2) \frac{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.7 \times 10^{-27} \text{ kg})}{5.3 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$E_{pg} = -2.0 \times 10^{-58} \text{ J}$$

b) Cálculo de la energía potencial eléctrica entre el electrón y el protón

$$E_{pe} = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

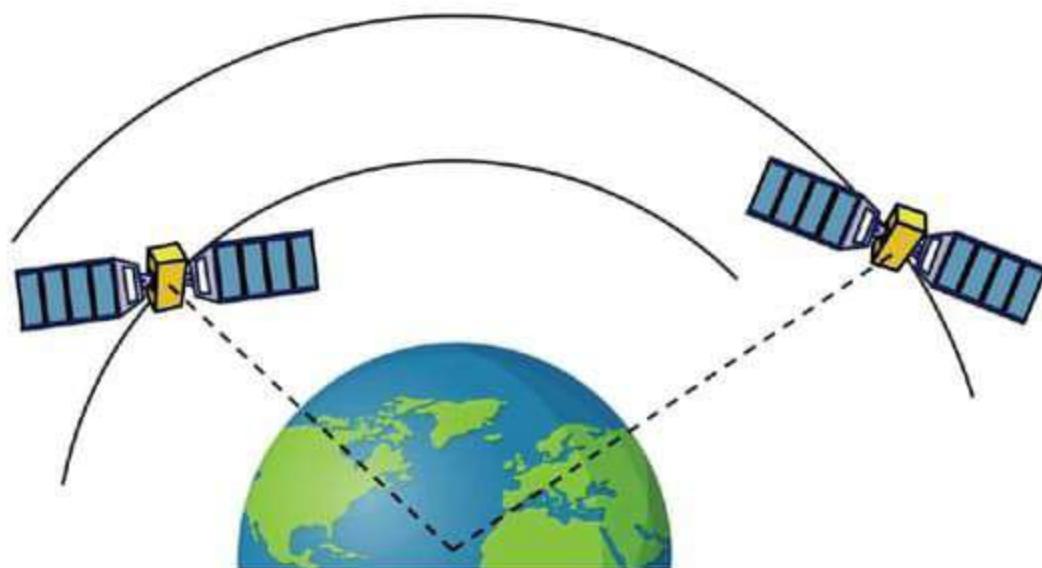
$$E_{pe} = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{5.3 \times 10^{-16} \text{ m}}$$

$$E_{pe} = -4.4 \times 10^{-19} \text{ J}$$

4. Conclusión:

La energía potencial gravitatoria del sistema formado por el electrón y el protón es insignificante, $-2.0 \times 10^{-58} \text{ J}$, comparada con la energía potencial eléctrica, $-4.4 \times 10^{-19} \text{ J}$. Esto demuestra que en partículas subatómicas, las interacciones eléctricas dominan completamente sobre las gravitatorias.

Ejercicio 2. Un satélite de 500 kg se mueve en una órbita circular de radio $7.0 \times 10^6 \text{ m}$ con velocidad de 7.6 km/s. Para pasar a una órbita más alejada enciende sus motores llegando a una órbita de $1.0 \times 10^7 \text{ m}$, lo que aporta una energía mecánica de $4.3 \times 10^9 \text{ J}$. a) Calcula la energía potencial gravitatoria del satélite en cada órbita y su energía cinética en la órbita inicial. b) Usa la ley de conservación de la energía para calcular su energía cinética en la órbita más alejada. c) Al encender sus motores el satélite recibe energía, ¿cómo es posible entonces que su energía cinética disminuya al pasar a la órbita más alejada?



Solución

1. Análisis del proceso:

La energía potencial gravitatoria del satélite en cada órbita puede calcularse empleando la expresión

$$E_{pg} = -G \frac{m_1 m_2}{r}$$

A partir de su energía mecánica total después de haber accionado sus motores y de su energía potencial en la órbita alejada se calcula la energía cinética en dicha órbita y de esta se obtiene su velocidad.

2. Identificación de los datos del problema:

$m = 500 \text{ kg}$, $M = 6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$, $R_1 = 7.0 \times 10^6 \text{ m}$, $R_2 = 1.0 \times 10^7 \text{ m}$, $v_1 = 7.6 \text{ km/s} = 7.6 \times 10^3 \text{ m/s}$, energía aportada por los motores, $E_{mot} = 4.3 \times 10^9 \text{ J}$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Energía potencial en la órbita inicial:

$$E_{pg1} = -G \frac{Mm}{R_1} = -\frac{\left(6.7 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) (6.0 \times 10^{24} \text{ kg})(500 \text{ kg})}{7.0 \times 10^6 \text{ m}} = -2.9 \times 10^{10} \text{ J}$$

Energía potencial en la órbita más alejada:

$$E_{pg2} = -G \frac{Mm}{R_2} = -\frac{\left(6.7 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) (6.0 \times 10^{24} \text{ kg})(500 \text{ kg})}{1.0 \times 10^7 \text{ m}} = -2.0 \times 10^{10} \text{ J}$$

La energía cinética en la órbita inicial es:

$$E_{c1} = \frac{1}{2} mv_1^2 = (0.5)(500 \text{ kg})(7.55 \times 10^3 \text{ m/s})^2 = 1.4 \times 10^{10} \text{ J}$$

b) La energía mecánica total del satélite luego de la aportación de energía de los motores es:

$$E = E_{pg1} + E_{c1} + E_{mot}$$

Puesto que la energía se conserva, esa energía es igual a la que tiene el satélite en la órbita más alejada. De modo que:

$$E_{pg1} + E_{c1} + E_{mot} = E_{pg2} + E_{c2}$$

De ahí que:

$$E_{c2} = E_{pg1} + E_{c1} + E_{mot} - E_{pg2} = -2.9 \times 10^{10} \text{ J} + 1.4 \times 10^{10} \text{ J} + 4.27 \times 10^9 \text{ J} - (-2.0 \times 10^{10} \text{ J}) = 9.3 \times 10^9 \text{ J}$$

c) Al pasar a la órbita más alejada la energía potencial gravitatoria del satélite aumenta. Ese aumento se realiza no solo a cuenta de la energía comunicada al encender los motores, sino también de la disminución de su energía cinética.

4. Conclusión:

La energía potencial del satélite en la órbita inicial es $-2.9 \times 10^{10} \text{ J}$ y en la más alejada $-2.0 \times 10^{10} \text{ J}$. Esta última es menor en valor absoluto, pero puesto que se trata de valores negativos, realmente es mayor en $0.9 \times 10^{10} \text{ J}$. Ese aumento se debe a $0.43 \times 10^{10} \text{ J}$ que aportan los motores y a una disminución en $0.47 \times 10^{10} \text{ J}$ de la energía cinética del satélite.

7.5. Evaluate (Evaluación)

En esta fase final, evaluaremos la comprensión de la ley de conservación de la energía. Esto nos ayudará a identificar los conceptos que hemos dominado y aquellos que necesitamos reforzar.

7.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. Tanto la energía potencial gravitatoria como la eléctrica:

- A) Solo dependen de la velocidad del objeto.
- B) Corresponden a fuerzas conservativas.
- C) Se conservan únicamente si actúan varias fuerzas.
- D) Siempre son positivas.

2. Si una partícula cargada se mueve espontáneamente en un campo eléctrico, su energía potencial:

- A) Aumenta
- B) Disminuye
- C) Permanece constante.
- D) Se transforma en energía magnética

3. El experimento de Oersted mostró que:

- A) Una corriente eléctrica puede ser desviada por un imán.
- B) Un campo eléctrico genera siempre un campo magnético.
- C) Una corriente eléctrica produce un campo magnético alrededor del conductor.
- D) La electricidad y el magnetismo son fenómenos independientes.

4. Al introducir un imán en una bobina conectada a un circuito cerrado, se genera corriente eléctrica. ¿Qué transformación de energía explica la aparición de esta corriente?

- A) Energía térmica → Energía eléctrica
- B) Energía química → Energía magnética
- C) Energía cinética → Energía eléctrica
- D) Energía potencial → Energía eléctrica

5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre una onda electromagnética es correcta:

- A) Necesita un medio para propagarse.
- B) Consiste en campos eléctrico y magnético variables que se regeneran mutuamente.
- C) Está formada solo por un campo eléctrico variable que se propaga.
- D) Está formada solo por un campo magnético variable que se propaga.

7.5.2. Problemas cualitativos

1. Los auriculares inalámbricos pueden funcionar a varios metros de distancia del teléfono celular sin necesidad de cables. Explica cómo es posible.

2. Las misiones espaciales como la Voyager aprovechan la gravedad de planetas como Júpiter para ganar velocidad y seguir hacia los límites del sistema solar sin usar más combustible. ¿De dónde proviene la energía extra de la nave?

3. Los cargadores inalámbricos permiten cargar teléfonos celulares simplemente colocándolos sobre una base, sin conectar cables. Explica el principio físico que hace posible esto.

4. Durante una tormenta eléctrica, los rayos pueden alcanzar temperaturas superiores a las del Sol. Describe las transformaciones de energía que ocurren desde que se acumulan las cargas eléctricas en las nubes hasta que se produce el rayo.

5. Una brújula siempre apunta hacia el sur magnético de la Tierra, pero si acercas un imán, la aguja cambia de dirección, y si enciendes un secador de cabello cerca la aguja también se mueve. Explica por qué.

7.5.3. Problemas cuantitativos

1. Un satélite de 750 kg se encuentra en una órbita circular de radio 7.0×10^6 m. Encuentren a) su energía potencial gravitatoria y b) si se traslada a otra órbita de radio 1.0×10^7 m, ¿cuál será su nueva energía potencial?

Respuesta: -4.3×10^{10} J, -3.0×10^{10} J

2. Un satélite de 600 kg se mueve inicialmente con velocidad 7.55 km/s en una órbita de radio 7.0×10^6 m. Al encender sus motores, recibe un aporte de energía mecánica de 4.27×10^9 J. Calculen a) su energía mecánica total inicial, b) la energía total en la nueva órbita y c) expliquen si la energía total en la nueva órbita es mayor o menor que la inicial.

Respuesta: -1.7×10^{10} , -1.3×10^{10} J

3. Dos partículas con cargas $3.0 \mu\text{C}$ y $-2.0 \mu\text{C}$, están separadas por una distancia de 0.20 m. Determinen a) la energía potencial eléctrica del sistema de las dos partículas y b) ¿qué significado físico tiene que una energía potencial sea positiva y la otra negativa?

Respuesta: -0.27 J

4. Dos partículas con cargas $5.0 \mu\text{C}$ y $3.0 \mu\text{C}$ están inicialmente separadas 0.50 m. Un agente externo las mueve lentamente hasta que están separadas solo 0.10 m. Hallen la variación de energía potencial eléctrica y el trabajo que realizó el agente externo.

Respuesta: 1.1 J y 1.1 J

5. En un dispositivo de manipulación molecular, un ion de calcio ($q_1 = 3.2 \times 10^{-19}$ C) y un ion de cloro ($q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ C) están inicialmente separados por una distancia de 1.0×10^{-8} m en el vacío. Calculen a) la energía potencial inicial del sistema de los dos iones y b) si un dispositivo externo reduce la separación a 2.0×10^{-9} m, ¿cuál es la nueva energía potencial?

Respuesta: -4.6×10^{-20} J, -2.3×10^{-19} J

7.5.4. Autoevaluación y reflexión

En esta sección final, reflexionaremos sobre el aprendizaje logrado. Tus respuestas te ayudarán a consolidar tu comprensión y a identificar áreas de mejora.

1. ¿Qué aspectos de este tema te resultaron más sorprendentes y de qué modo cambió tu comprensión de situaciones como el cambio de órbita de los satélites o la conexión entre los campos eléctrico y magnético?
2. La ley de conservación de la energía ayuda a explicar infinidad de cambios o transformaciones que tienen lugar en el mundo en que vivimos. Menciona ejemplos de ello.
3. En un mundo que enfrenta desafíos energéticos y ambientales, ¿cómo crees que la comprensión de la conservación de la energía puede ayudar a tomar mejores decisiones?

Cápsula

8

Progresión de aprendizaje 8: Analizar los procesos de generación, transmisión y transformación de la energía eléctrica mediante el estudio de la corriente eléctrica, los sistemas de producción energética y las aplicaciones tecnológicas que convierten la electricidad en diferentes formas de energía útiles para la sociedad.

Metas de aprendizaje:

CC. Comprender que la energía eléctrica constituye un elemento fundamental en los procesos cotidianos, reconociendo cómo se genera, transmite y transforma en diferentes formas útiles, así como evaluando los costos, beneficios y impactos ambientales asociados a su producción y consumo responsable.

CT1. Identificar patrones en el comportamiento de la corriente eléctrica y las relaciones matemáticas que describen los fenómenos electromagnéticos en circuitos y sistemas de generación.

CT2. Establecer relaciones de causa y efecto entre las variables eléctricas como voltaje, corriente y resistencia, así como entre los métodos de generación y sus impactos ambientales y sociales.

CT3. Aplicar técnicas de medición y cálculo para determinar consumos energéticos, eficiencias de transformación y costos asociados al uso de la energía eléctrica.

CT4. Comprender los sistemas eléctricos como redes interconectadas donde la generación, transmisión y distribución funcionan de manera integrada para satisfacer las demandas energéticas.

CT5. Analizar los flujos de energía desde su generación hasta su consumo, reconociendo las transformaciones que ocurren y los principios de conservación que las rigen.

CT6. Relacionar la estructura de dispositivos eléctricos como transformadores, motores y generadores con sus funciones específicas en el sistema energético.

CT7. Evaluar la estabilidad de los sistemas eléctricos y los cambios necesarios para transitar hacia fuentes de energía más sustentables y eficientes.

Concepto central

CC. La energía en los procesos de la vida diaria

Conceptos transversales

CT1. Patrones

CT2. Causa y efecto

CT3. Medición

CT4. Sistemas

CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía

CT6. Estructura y función

CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 8: Energía eléctrica: de su generación a sus aplicaciones

En esta cápsula desarrollarán una comprensión de la energía eléctrica como fenómeno físico fundamental en la sociedad. Mediante el estudio de la ley de Ohm y la exploración de sistemas de generación como centrales hidroeléctricas, térmicas y renovables, construirán conocimientos sobre los procesos electromagnéticos. Calcularán potencias, consumos energéticos y eficiencia, desarrollando habilidades que les permitirán evaluar críticamente decisiones tecnológicas y ambientales relacionadas con el uso responsable de la energía en su entorno cotidiano.

8.1. Engage (Empezamos)

En esta fase inicial, exploraremos nuestras ideas sobre la energía eléctrica a través de situaciones cotidianas. Reflexionaremos sobre cómo llega a nuestros hogares y se utiliza en nuestra vida diaria.

1. ¿Por qué el recibo de luz de sus casas muestra el consumo en kilowatt·hora (kWh)?
2. ¿Qué diferencias existen entre la corriente eléctrica que proporciona una pila y la que llega por los cables?
3. ¿Cómo es posible que un cargador de celular convierta la electricidad de 120V del enchufe de casa a los 5V que necesitan sus teléfonos?
4. ¿Por qué la energía disponible en las baterías de los celulares disminuye a medida que aumenta el número de cargas y recargas?
5. ¿Cómo llega a nuestras casas la energía eléctrica y cuál es el impacto ambiental de su generación?

8.2. Explore (Exploramos)

Ahora realizaremos actividades con materiales reales y con un simulador, para comenzar a relacionarnos con importantes hechos y conceptos del electromagnetismo.

Actividad práctica 1. Construyendo un circuito eléctrico simple.

Objetivo:

Construir y analizar el funcionamiento de un circuito eléctrico básico mediante el uso de materiales cotidianos.

Introducción:

Los circuitos eléctricos son el camino que sigue la corriente eléctrica para convertirse en otras formas de energía en una gran variedad de dispositivos. En un circuito básico, la energía se transmite desde una fuente (como una batería) a través de conductores (cables) hasta un dispositivo que la utiliza (como un foco).

Materiales:

Dos pilas AA o AAA nuevas, un LED rojo, resistor de 100 ohm, cable delgado o alambre de cobre, cinta adhesiva, y tijeras.



Fig. 1-P8. Materiales para la construcción de un circuito eléctrico simple.

Procedimiento:

Pelen cuidadosamente los extremos del cable, dejando expuesto aproximadamente 1 centímetro de cobre en cada punta. Asegúrense de que el cobre esté limpio y brillante.

Usando la cinta adhesiva junten una pila a continuación de la otra de modo que el extremo positivo de una (su parte con el pequeño botón) quede tocando el extremo negativo de la otra (su parte plana). Den varias vueltas a un trozo de cinta adhesiva alrededor de la unión de las pilas, garantizando que hagan buen contacto entre ellas.

Tuerzan un extremo del cable alrededor del terminal más corto del LED y su otro extremo alrededor de uno de los terminales del resistor.

Pongan en contacto el terminal más largo del LED con el polo positivo del conjunto de las dos pilas y el terminal libre del resistor con el polo negativo. Observen lo que sucede.

Intercambien entre sí las terminales conectadas a los polos positivo y negativo de las pilas. ¿Qué sucede ahora?

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué sucedió al conectar la terminal larga del LED al polo positivo?
2. ¿Qué sucedió al invertir la conexión? ¿Cómo explicarían esto?
3. Indaguen donde se observa un circuito con estas características en la vida cotidiana.

Actividad práctica 2. Construcción de un circuito eléctrico simple.**Objetivo:**

Construir un circuito eléctrico simple mediante un simulador.

Introducción:

Los circuitos más simples suelen denominarse "en serie" y en "paralelo". En un circuito en serie, los componentes están conectados uno después de otro. En cambio, en uno en paralelo, ambos terminales de los componentes están conectados entre sí. Esta diferencia es fundamental en el diseño de circuitos eléctricos como los de nuestros hogares.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab>



Fig. 2-P8. Docente explica circuitos en serie y en paralelo con el simulador virtual.

Procedimiento:

Abran el simulador y familiaríicense con la interfaz. En el panel izquierdo, encontrarán los componentes disponibles: batería, resistencias, focos, cables y un interruptor.

Construyan un circuito en serie conectando una batería de 9V, un interruptor y dos focos. Para realizar las conexiones de los componentes utilicen el cable. Usen el interruptor para cerrar el circuito y activar los focos. Observen la luz emitida por los focos. Desconecten uno de los focos y cierren el interruptor. ¿Qué sucede con el funcionamiento del circuito? Expliquen.

Modifiquen el circuito para crear una configuración en paralelo. Desconecten los focos y reconéctenlos para que cada uno tenga su propio par de cables conectados directamente a la batería. Mantengan el interruptor en una posición donde controle ambas ramas de la conexión en paralelo. Comparen la luz de los focos en ambas conexiones.

Desconecten uno de los focos y cierren el interruptor. ¿Qué sucede con el funcionamiento del circuito? Explica.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué diferencias observaron en el brillo de los focos cuando estaban conectados en serie y en paralelo?
2. Antiguamente, los foquitos navideños se conectaban en serie. Actualmente, la mayoría de los fabricantes emplean conexiones combinando serie y paralelo. ¿Cuál será la razón de este cambio?
3. Basándose en sus observaciones, ¿qué tipo de conexión (serie o paralelo) creen que se utiliza para los aparatos eléctricos en sus casas?

8.3. Explain (Explicación)

En esta fase abordaremos conceptos fundamentales relativos a la energía eléctrica, exploraremos su generación, cómo se transmite a largas distancias y su versatilidad para convertirse en otras formas como cinética, térmica, sonora y luminosa, dando lugar a numerosas aplicaciones en la vida cotidiana.

8.3.1. Corriente eléctrica

En la cápsula anterior ya hemos examinado la energía eléctrica en los casos de sistemas de cuerpos en reposo con carga eléctrica. Pero la energía eléctrica también se refiere a la que transporta la corriente eléctrica. Por consiguiente, cabe preguntarse qué es la corriente eléctrica.

Cuando se aplica un voltaje a los terminales de un conductor, en su interior se establece casi instantáneamente un campo a todo su largo, propagándose a una velocidad cercana a la de la luz. Este campo ejerce fuerza sobre las partículas con carga (electrones, iones u otras partículas cargadas) y les transfiere energía cinética, dando lugar a un movimiento neto orientado que constituye la corriente eléctrica.

La intensidad I de la corriente eléctrica es la cantidad neta de carga que pasa a través de la sección transversal de un conductor en un segundo.

La velocidad promedio del movimiento desordenado de los electrones en un conductor metálico es del orden de 10^3 km/s. Cuando se aplica un voltaje a sus terminales y la intensidad de corriente es por ejemplo de 1 A, la velocidad del movimiento neto de ellos en determinada dirección es tan solo fracciones de milímetro por segundo. No obstante, como el número de electrones en el conductor es enorme, la cantidad que atraviesa su sección transversal cada segundo es alrededor de 6×10^{18} electrones.

Una característica de los conductores que influye en la intensidad de la corriente es su resistencia al paso de esta, o dicho de otra manera, la menor o mayor facilidad con que la conducen. En diversos

casos, como en los metales, depende del material (Tabla 1-P8) y es directamente proporcional a su longitud e inversamente proporcional al área de su sección transversal. Esto se cumple, por ejemplo, en los cables de cobre empleados en las instalaciones habituales.

Tabla 1-P8. Materiales ordenados de mayor a menor facilidad para conducir corriente eléctrica.

Materiales	Aplicación típica
Plata	Contactos eléctricos de alta precisión, componentes electrónicos especializados y equipos de laboratorio
Cobre	Cables de instalaciones eléctricas residenciales e industriales, devanados de motores y transformadores
Oro	Conectores de dispositivos electrónicos, circuitos integrados y equipos que requieren alta resistencia a la corrosión
Aluminio	Líneas de transmisión de alta tensión, conductores aéreos de distribución eléctrica por su ligereza
Wolframio	Filamentos de lámparas incandescentes y electrodos de soldadura por su alto punto de fusión

La ley de Ohm, formulada por Georg Ohm en 1827 para los conductores metálicos, establece que la intensidad de corriente es directamente proporcional al voltaje entre sus terminales e inversamente proporcional a su resistencia.

$$I = V/R$$

La resistencia eléctrica se mide en ohm (Ω). Este es igual a un voltio entre un amperio. Con el propósito de regular la intensidad de corriente y el voltaje en diferentes partes de los circuitos, se emplean conductores especialmente diseñados para ello, denominados resistores (Fig. 3-P8). En estos también se cumple la ley de Ohm.

La elección del material conductor en una instalación eléctrica depende no solamente de su mayor o menor facilidad para conducir la corriente eléctrica (Tabla 1-P8), sino también de factores como el costo, la disponibilidad, la densidad, la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas requeridas. El cobre, aunque tiene menor facilidad para conducir corriente que la plata, se prefiere en la mayoría de las aplicaciones por su menor costo. Por su parte, el aluminio se utiliza en líneas de transmisión de larga distancia debido a su menor densidad, resultando en conductores más ligeros que reducen la carga sobre las torres de soporte.

8.3.2. Energía que transporta la corriente eléctrica

Hemos visto qué es la corriente eléctrica, pero su verdadera importancia radica en que mediante ella se transporta energía de un lugar a otro y se emplea en equipos y dispositivos que la convierten en otras formas. A continuación exploramos esta cuestión.

La potencia P que, como conoces, es la rapidez con que se transfiere o transforma la energía, se calcula mediante la ecuación

$$P = VI$$

La expresión anterior es válida para cualquier dispositivo o elemento eléctrico, ya sean aquellos en que se cumple la ley de Ohm u otros, como motores, diodos o lámparas LED, en los que no se cumple dicha ley. Por su parte, la energía transmitida o consumida en un tiempo t es

$$E = Pt = VIt$$

En los conductores metálicos y resistores la energía eléctrica transportada por la corriente se transforma en energía térmica, lo cual se percibe como calentamiento, fenómeno denominado efecto Joule.

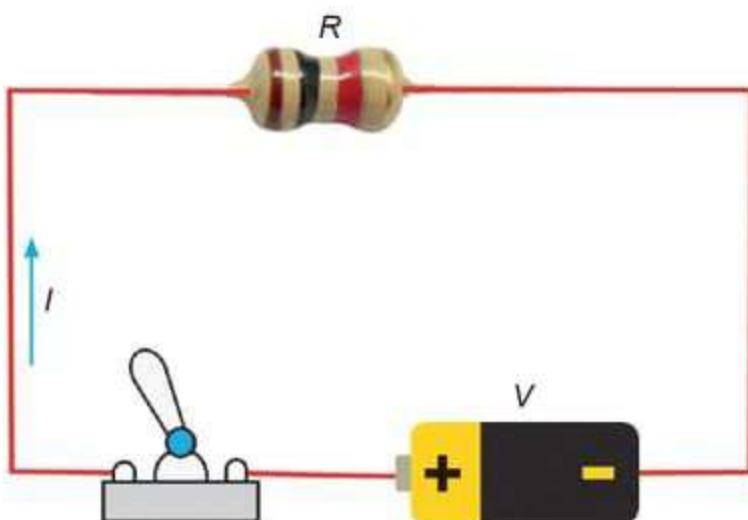


Fig. 3-P8. Circuito eléctrico simple en el que se cumple la ley de Ohm formado por una fuente de voltaje, un interruptor y un resistor.

Como en estos casos se cumple la ley de Ohm, si en la expresión de ella se despeja el voltaje V y el resultado se sustituye en la ecuación de la potencia se obtiene

$$P = RI^2$$

Y para la energía transformada en energía térmica al cabo del tiempo t

$$E = RI^2t$$

En algunos casos el efecto Joule representa una pérdida indeseada de energía (en cables y resistores de circuitos), mientras que en otros es aprovechado con diferentes fines (hornillas, hornos, etc.).

Aunque la unidad de medida de la energía en el Sistema Internacional es el joule, J, en la vida diaria para medir el consumo de energía eléctrica en casas, industrias y otras instalaciones se emplea el kilowatt·hora (kWh), que resulta más práctico.

8.3.3. Generación de energía eléctrica

Existen diversas formas de generar energía eléctrica. Entre las más comunes están las baterías y las basadas en el fenómeno de la inducción electromagnética.

Las baterías no recargables son aquellas que producen electricidad gracias a reacciones químicas que no pueden ser regeneradas, de modo que cuando se agotan los reactivos dejan de funcionar. En cambio, en las recargables, la reacción puede ser regenerada al aplicarles corriente eléctrica mediante un cargador, lo que restablece en buena medida la composición química inicial y permite la reutilización de ellas. No obstante, con cada recarga se pierde eficiencia y después de muchos ciclos su duración se reduce.

La capacidad de una batería se mide en amperio·hora (Ah), que indica la corriente que puede suministrar durante un tiempo determinado. Por ejemplo, una batería de 2000 mAh podría suministrar teóricamente una corriente de 2000 mA durante una hora o 1000 mA durante dos horas.

La generación de energía eléctrica a gran escala se basa en la inducción electromagnética. Se hacen girar bobinas de alambre dentro de un campo magnético, lo que induce corriente en ellas. Este principio se emplea en centrales térmicas, hidroeléctricas, nucleares y en aerogeneradores.



Fig. 4-P8. Pila doméstica como fuente portátil de energía.

En las centrales térmicas generalmente se utiliza petróleo, gas o carbón para generar vapor. Son económicas, pero tienen un alto impacto ambiental por las emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes.

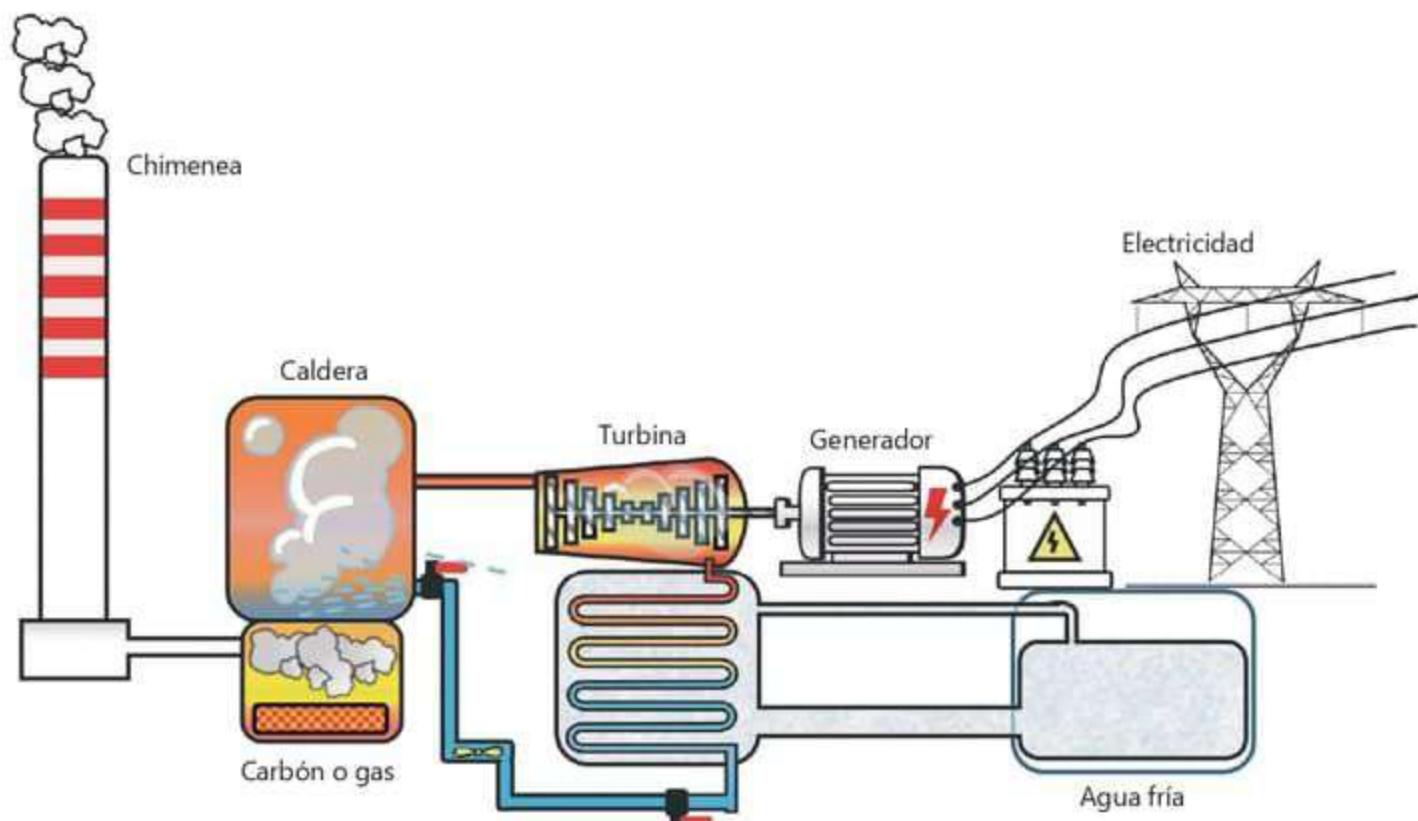


Fig. 5-P8. Esquema de los componentes principales de una central termoeléctrica. La combustión calienta agua, el vapor impulsa la turbina y el generador produce electricidad.

Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía potencial del agua almacenada en presas. Son altamente eficientes, pero pueden alterar los ecosistemas.

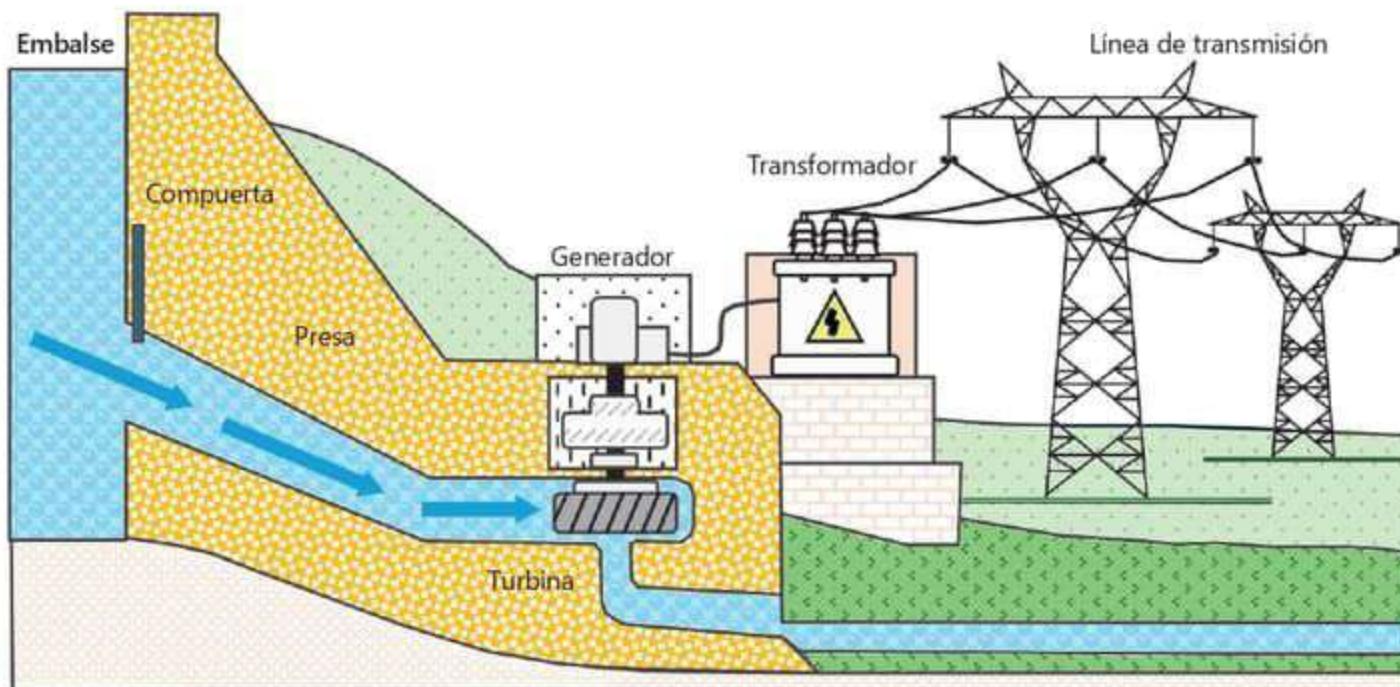


Fig. 6-P8. Esquema de los elementos principales de una central hidroeléctrica. El agua del embalse acciona la turbina y el generador mediante caída controlada.

Las centrales nucleares usan la fisión nuclear para generar energía térmica y vapor. Producen mucha energía con bajas emisiones directas, pero plantean grandes desafíos con los desechos radiactivos.

Los aerogeneradores también basan su funcionamiento en la inducción electromagnética, convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica. Ellos constituyen una fuente de energía renovable y no contaminante, pero la principal limitación de ellos es la intermitencia de los vientos. La potencia disponible en el viento depende de la densidad del aire, el área barrida en las aspas y el cubo de la velocidad del viento.

Otra importante fuente de energía renovable es la solar, sobre todo mediante la instalación de parques de paneles fotovoltaicos, cuyo funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico interno. Como viste en la cápsula cinco, este efecto consiste en la liberación de electrones dentro de un material cuando es impactado por fotones de la luz. En los paneles fotovoltaicos, esta interacción genera una corriente eléctrica continua que, mediante inversores, se convierte en corriente alterna apta para el consumo doméstico o industrial.

Tabla 2-P8. Comparación de tecnologías de generación eléctrica

Tipo de central y su eficiencia	Ventajas	Impacto ambiental
Térmica (33-45 %)	Alta disponibilidad y confiabilidad, tecnología madura, capacidad de operación continua, respuesta rápida a demanda variable	Alto: Emisiones significativas de CO ₂ , óxidos de nitrógeno y azufre, contribución al cambio climático, contaminación atmosférica local
Hidroeléctrica (85-95%)	Muy alta eficiencia, energía renovable, larga vida útil de las instalaciones, posibilidad de almacenamiento energético, generación sin emisiones directas	Medio: Alteración de ecosistemas fluviales, modificación del ciclo hidrológico, emisiones de metano por descomposición de materia orgánica en embalses, fragmentación de hábitats
Nuclear (30-35%)	Alta densidad energética, operación continua por largos períodos, bajas emisiones de CO ₂ durante operación, producción masiva de electricidad	Bajo durante operación normal pero potencialmente catastrófico: Generación de residuos radiactivos que requieren almacenamiento seguro por miles de años, riesgo de contaminación en caso de accidente
Eólica (35-45%)	Energía renovable y limpia, bajo costo operativo después de instalación, tecnología escalable, no consume agua	Muy bajo: Sin emisiones de gases de efecto invernadero durante operación, mínimo uso de recursos hídricos, ocupación reversible del territorio
Fotovoltaica (15-22%)	Energía renovable e inagotable, instalación modular y flexible, bajo mantenimiento, generación distribuida posible, reducción de costos tecnológicos acelerada	Muy bajo: Sin emisiones durante operación, impacto ambiental en fabricación de paneles por uso de materiales y energía, necesidad de reciclaje de componentes al final de vida útil

La comparación entre diferentes tecnologías de generación eléctrica revela que no existe una solución única y perfecta para satisfacer las necesidades energéticas globales. Cada tecnología presenta ventajas y limitaciones específicas que deben evaluarse considerando el contexto geográfico, económico y social de cada región. La transición hacia sistemas energéticos más sustentables requiere combinar fuentes renovables intermitentes, como la solar y eólica, con sistemas de almacenamiento energético y fuentes de respaldo que garanticen la estabilidad del suministro eléctrico.

8.3.4. Transmisión y distribución de la energía eléctrica

Una vez generada, la energía eléctrica debe transmitirse a los centros de consumo con mínimas pérdidas. Este proceso experimentó un hito histórico y tecnológico con la invención del transformador en la década de 1880. La corriente alterna se impuso frente a la continua porque los transformadores permitieron cambiar fácilmente su voltaje y, como veremos, esta es la clave para una transmisión eficiente de la energía eléctrica.

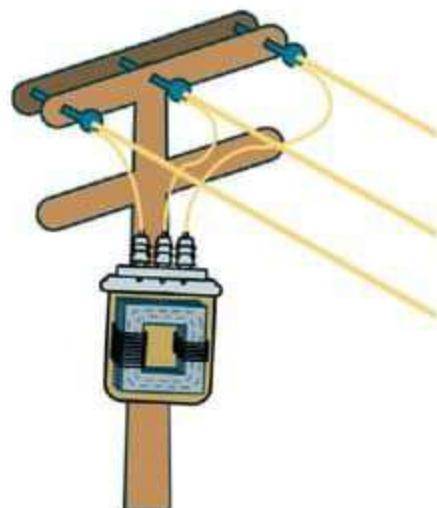


Fig. 7-P8. Transformador en poste para distribución de la energía eléctrica.

Un transformador simple consiste en dos bobinas, de diferente número de espiras, enrolladas alrededor de un núcleo de hierro. En la figura 8-P8 se muestra un esquema de él. Cuando el voltaje alterno que se pretende elevar, o reducir, se conecta a una de las bobinas del transformador (llamada primario), en su núcleo se origina un flujo de campo magnético variable que atraviesa la otra bobina (llamada secundario), debido a lo cual se induce en ella un voltaje. Si el primario tiene menor número de espiras que el secundario, el transformador induce un voltaje más elevado en el secundario y si, a la inversa, tiene mayor número de espiras, entonces induce un voltaje menor.

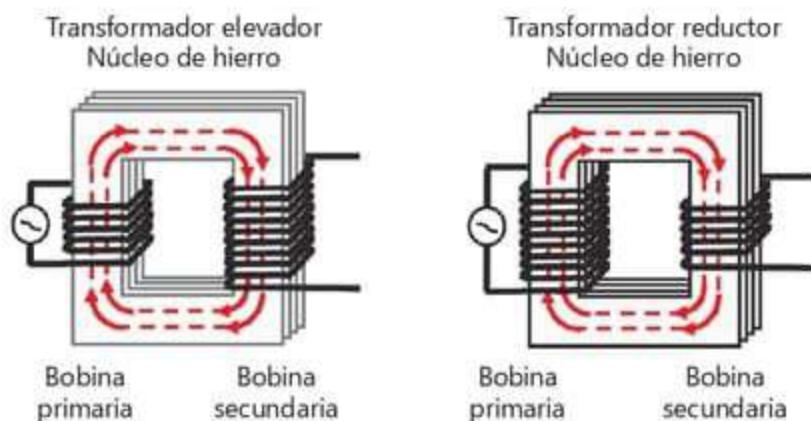


Fig. 8-P8. Esquemas del principio de funcionamiento de transformadores elevadores y reductores de voltaje.

Por supuesto, el proceso descrito no es ideal y ocurre con dissipación de energía, por ejemplo, mediante calentamiento de los enrollados y el núcleo de hierro. Sin embargo, la eficiencia de los transformadores de gran potencia, usados en la transmisión de energía eléctrica en líneas de alto voltaje puede llegar

a 99%. Los pequeños, usados en cargadores suelen tener eficiencias más bajas de 85% - 95%. En el caso ideal, la cantidad de energía que llega al primario por unidad de tiempo y la que sale del secundario son iguales, o sea, que la potencia en el primario es igual que en el secundario.

En ecuaciones

$$P_p = P_s, \text{ es decir, } V_p I_p = V_s I_s,$$

o lo que es equivalente:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Según la ecuación $P = RI^2$, las pérdidas de energía en las líneas de transmisión eléctrica debidas al calentamiento de los conductores son proporcionales al cuadrado de la intensidad de la corriente. Esto significa, por ejemplo, que si para transmitir la misma potencia previamente se eleva el voltaje diez veces, la intensidad de corriente se reduce ese mismo número de veces, por lo que las pérdidas por calentamiento en los conductores disminuyen cien veces.

Simplificadamente el proceso de transmisión a larga distancia y distribución de energía eléctrica se reduce a lo siguiente. La electricidad sale de la central a muy alto voltaje (cientos de kilovoltios) por líneas de alta tensión que la transmiten hasta subestaciones. En estas, hay transformadores que reducen el voltaje para su distribución en hogares, industrias y otras instalaciones.

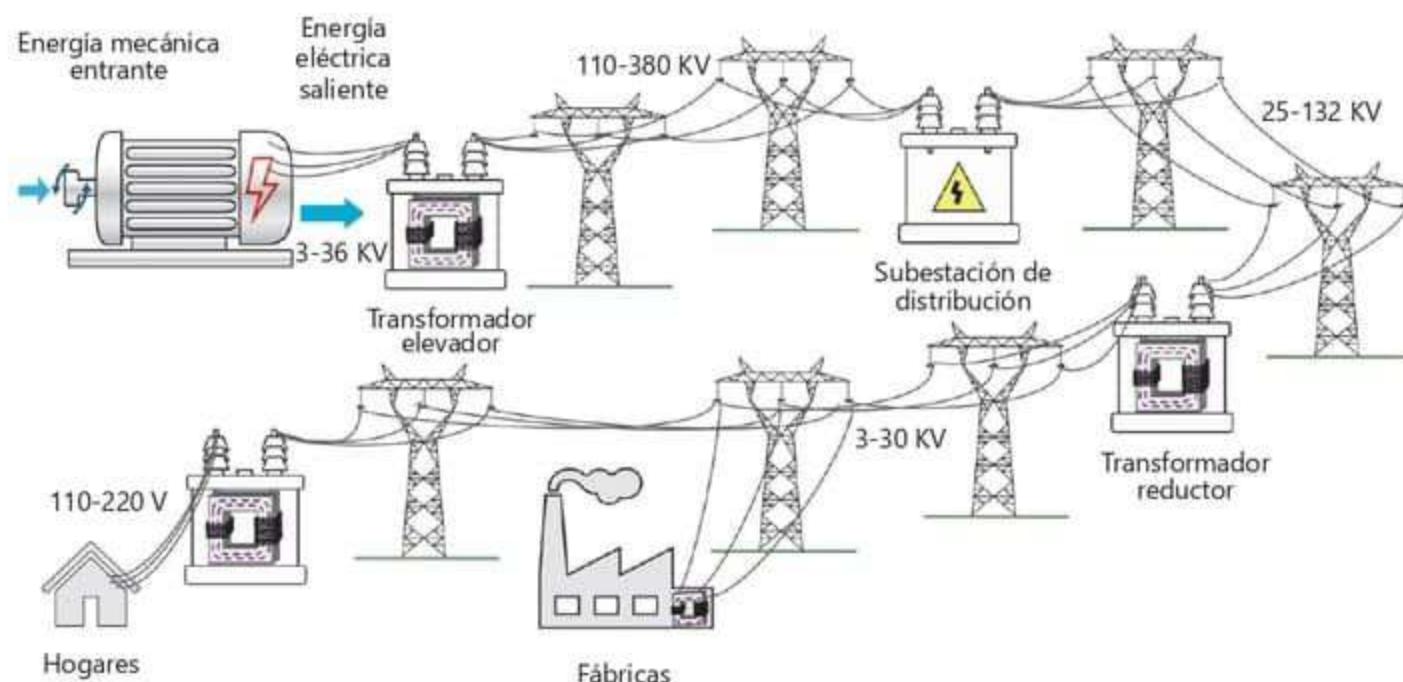


Fig. 9-P8. Esquema simplificado el proceso de transmisión y distribución de energía eléctrica.

8.3.5. Transformación de la energía eléctrica en otras formas y algunas de sus aplicaciones

La versatilidad de la energía eléctrica radica en su capacidad para convertirse eficientemente en otras formas de energía. Examinemos brevemente algunos ejemplos.

Como ya conoces del apartado anterior, en los resistores de hornillas, calentadores y hornos se transforma energía eléctrica en térmica a través del efecto Joule.

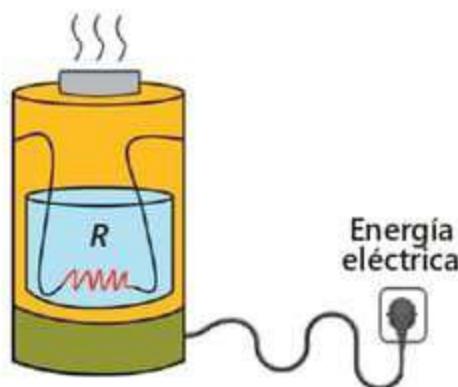


Fig. 10-P8. La corriente a través del resistor convierte energía eléctrica en térmica.

Los motores eléctricos transforman energía eléctrica en mecánica. Su funcionamiento se fundamenta en la interacción entre conductores con corriente y un campo magnético. El campo magnético puede ser producido por imanes permanentes o electroimanes.

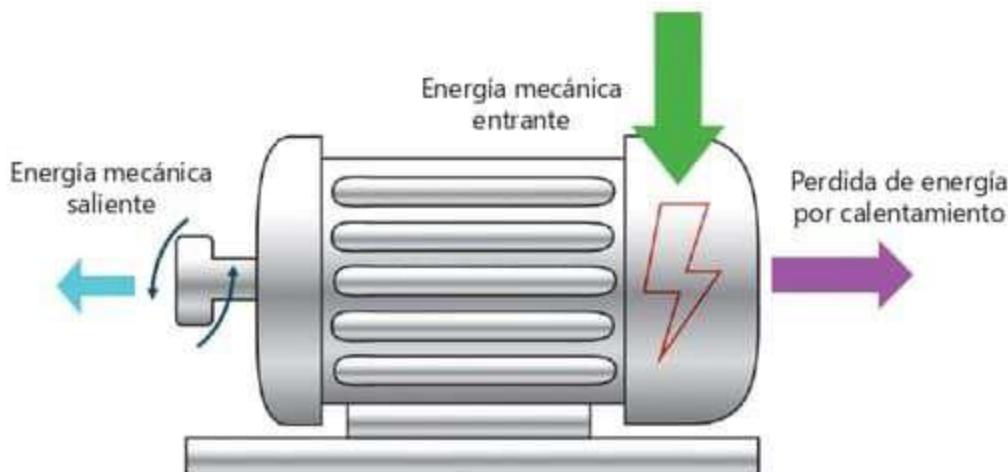


Fig. 11-P8. Mediante la interacción entre conductores con corrientes y campo magnético se transforma electricidad en movimiento mecánico.

Para reproducir el sonido pueden utilizarse diversos procedimientos, uno de ellos es el empleado en la bocina electrodinámica. Esta consta de una bobina cilíndrica ligera, vinculada a un diafragma y colocada muy cerca de un imán, también cilíndrico (Fig. 12-P8). Si por la bobina se hace pasar, por ejemplo, la corriente (amplificada) procedente de un micrófono, entonces es atraída y repelida por el imán de acuerdo con las oscilaciones de la corriente, lo que hace vibrar al diafragma y reproduce las señales sonoras enviadas desde el micrófono.

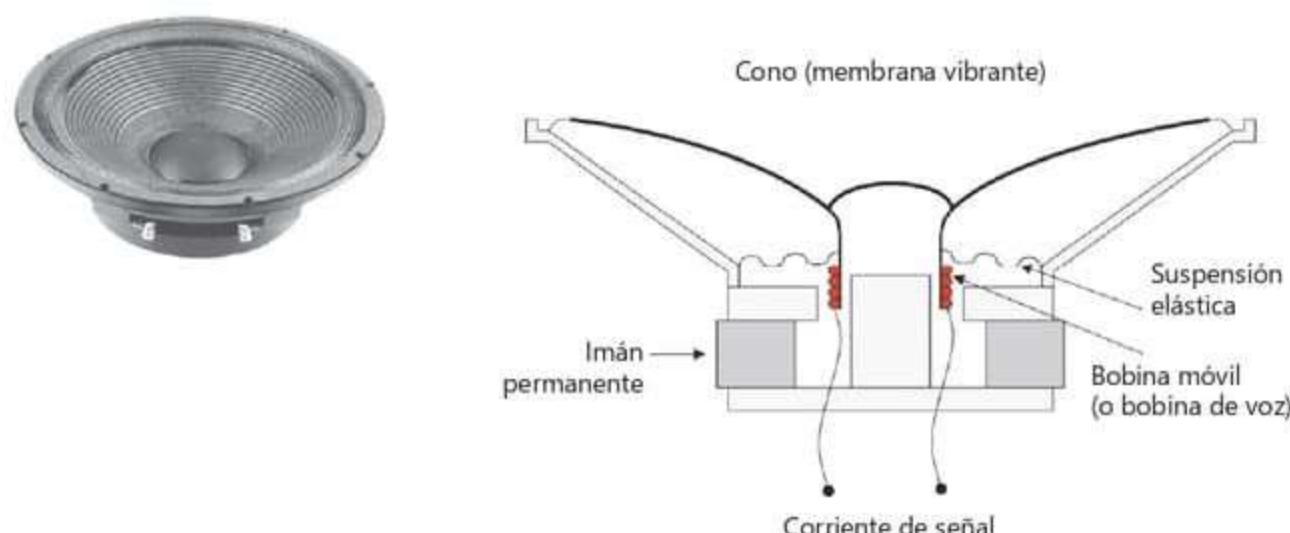


Fig. 12-P8. En una bocina electrodinámica la interacción entre la bobina con corriente y el imán pone en movimiento la membrana que produce el sonido.

El principio de funcionamiento del audífono es similar al de la bocina electrodinámica. En los audífonos inalámbricos, la señal se transmite del equipo que reproduce el sonido al audífono mediante ondas electromagnéticas, pero al llegar al audífono el proceso de su reproducción es similar al de la bocina o audífono común.

Las lámparas convierten energía eléctrica en luz. Como sabes, la eficiencia de esta conversión ha mejorado significativamente con el desarrollo de la tecnología LED. La eficacia luminosa, medida en lúmenes por watt (lm/W), cuantifica esta eficiencia. Las lámparas LED modernas pueden alcanzar eficacias de hasta 150 lm/W, lo cual es muchas veces mayor que los 15 lm/W de las lámparas incandescentes tradicionales.

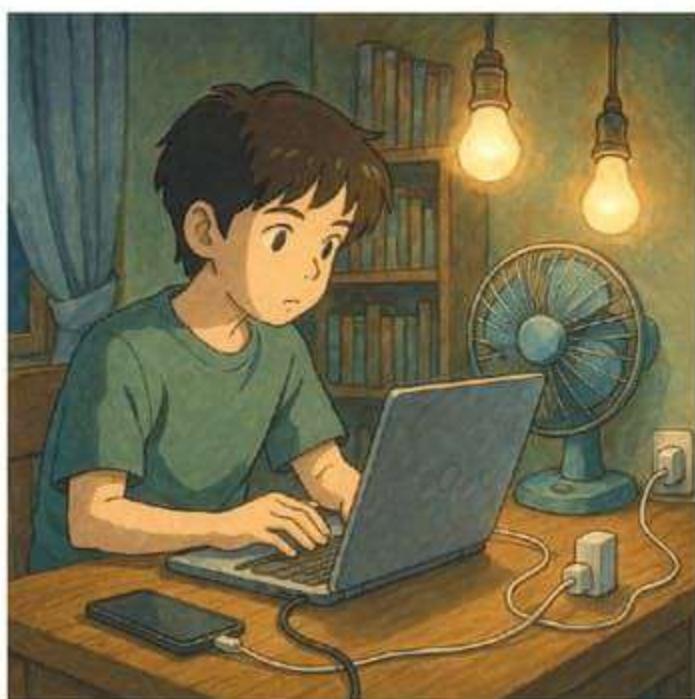


Fig. 13-P8. Tecnologías de iluminación. De izquierda a derecha: incandescente, flourescente compacta y LED.

8.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase, aplicaremos lo aprendido sobre energía eléctrica para resolver problemas. Analizaremos situaciones reales y aprenderemos a calcular costos y consumos eléctricos.

Ejercicio 1. Un estudiante utiliza en su cuarto los siguientes dispositivos: una laptop de 65 W, dos focos LED de 9 W cada uno, un ventilador de 45 W y un cargador de celular de 15 W, todos funcionando 6 horas diarias. Calcula: a) la potencia total del sistema y b) el consumo diario en kWh.



Solución

1. Análisis del proceso:

Para resolver este problema, primero sumamos la potencia de todos los dispositivos para obtener la potencia total del sistema. Luego, calculamos el consumo diario de energía multiplicando la potencia total por el tiempo de funcionamiento en horas y convirtiendo el resultado a kWh.

2. Identificación de los datos del problema:

$$P_L = 65 \text{ W}, P_{\text{LED}} = 9.0 \text{ W} \text{ cada uno}, P_v = 45 \text{ W}, P_c = 15 \text{ W}, t = 6 \text{ h}.$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo de la potencia total del sistema

$$P_T = 65 \text{ W} + (2 \times 9.0 \text{ W}) + 45 \text{ W} + 15 \text{ W} = 0.14 \text{ kW}$$

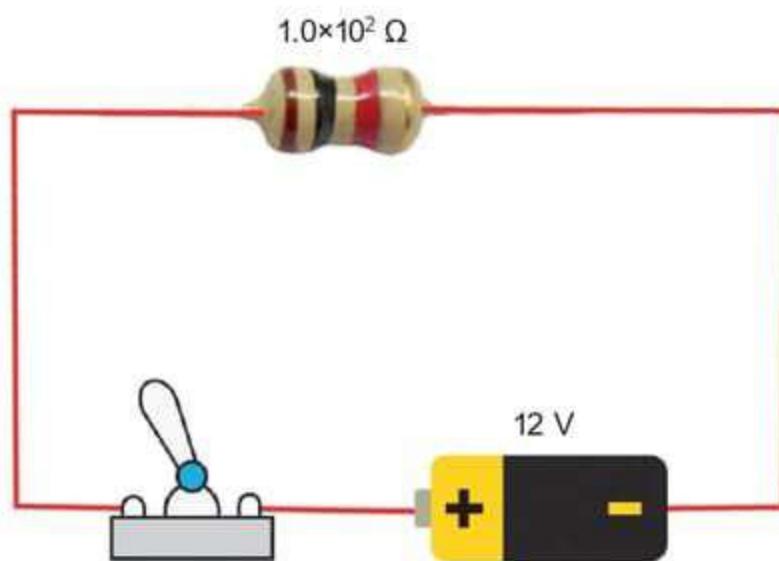
b) Cálculo del consumo diario en kWh

$$\text{Consumo diario} = (0.14 \text{ kW})(6 \text{ h}) = 0.86 \text{ kWh}$$

4. Conclusión:

La potencia total del sistema es de 0.14 kW. Con un uso de 6 horas diarias, el consumo diario es de 0.86 kWh.

Ejercicio 2. Se conecta una fuente de 12 V a un circuito con una resistencia de $1.0 \times 10^2 \Omega$. Calculen: a) la intensidad de corriente en el circuito, b) la potencia consumida en watts y c) la energía consumida en 3 horas.



Solución

1. Análisis del proceso:

Para resolver este problema, primero aplicamos la ley de Ohm para calcular la intensidad de corriente en el circuito. Determinamos la potencia consumida y posteriormente, la energía consumida en 3 horas.

2. Identificación de los datos del problema:

$$V = 12 \text{ V}, R = 1.0 \times 10^2 \Omega, t = 3 \text{ h}.$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) Cálculo de la intensidad de corriente

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12 \text{ V}}{1.0 \times 10^2 \Omega} = 0.12 \text{ A}$$

b) Cálculo de la potencia consumida en watts

$$P = VI$$

$$P = (12 \text{ V})(0.12 \text{ A}) = 1.44 \text{ W}$$

c) Cálculo de la energía consumida en 3 horas

$$E = Pt$$

$$E = (1.44 \text{ W})(3 \text{ h}) = 4.32 \text{ Wh}$$

4. Conclusión:

Con el voltaje de 12 V, la corriente en el circuito es de 0.12 A y la potencia consumida es de 1.44 W. En 3 horas, el circuito consume 4.32 Wh. El consumo calculado es el de lámparas LED o ventiladores USB en la vida cotidiana.

8.5. Evaluate (Evaluación)

En esta fase final, evaluaremos su comprensión sobre la energía eléctrica mediante diferentes tipos de ejercicios que nos permitirán identificar áreas de mejora y reforzar nuestro aprendizaje.

8.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. Un foco LED de 9W que se usa 5 horas diarias consume al mes aproximadamente:

- A) 0.45 kWh
- B) 1.35 kWh
- C) 13.5 kWh
- D) 45 kWh

2. Para ahorrar energía eléctrica en casa, es más eficiente:

- A) Usar focos incandescentes
- B) Dejar los aparatos en modo espera
- C) Usar focos LED
- D) Mantener el refrigerador medio vacío

3. La potencia eléctrica consumida por un dispositivo se calcula multiplicando:

- A) Resistencia por corriente
- B) Voltaje por tiempo
- C) Voltaje por corriente
- D) Corriente por tiempo

4. En una central hidroeléctrica, la energía se transforma en el siguiente orden:

- A) Mecánica → Térmica → Eléctrica
- B) Química → Mecánica → Eléctrica
- C) Potencial → Mecánica → Eléctrica
- D) Solar → Térmica → Eléctrica

5. La razón por la que se usan altos voltajes en la transmisión de energía es:

- A) Aumentar la rapidez en la transmisión de la electricidad
- B) Reducir pérdidas por calentamiento
- C) Mejorar la calidad de la energía
- D) Incrementar la potencia total

8.5.2. Problemas cualitativos

1. Cuando conectas muchos aparatos a una misma extensión eléctrica, el cable puede calentarse. Explica porqué.
2. ¿Por qué se considera que ninguna tecnología de generación eléctrica es completamente "limpia" o perfecta?
3. ¿Qué principios físicos permiten que una bocina o audífono transforme electricidad en sonido?
4. Indaga porqué los minisplit tipo inverter son más eficientes que los tradicionales.
5. Al comprar electrodomésticos se recomienda revisar su etiqueta de eficiencia energética. ¿Qué información proporciona esta etiqueta y cómo nos ayuda a tomar decisiones?

8.5.3. Problemas cuantitativos

1. Un resistor de $10\ \Omega$ se conecta a una fuente de 12 V. Calculen a) la intensidad de corriente, b) la potencia disipada y c) la energía térmica generada en 5.0 min.
Respuesta: 1.2 A, 14 W, 4.3 kJ
2. Se aplica 12.0 V a los terminales de un resistor de $100\ \Omega$. Determinen a) la intensidad de corriente en el resistor, b) la potencia disipada en él y c) ¿cuánta energía en kWh se consume en una semana si la fuente opera 4 horas al día?
Respuesta: 0.12 A, 1.4 W, 0.040 kWh
3. Una central envía una potencia de 5.0 MW por líneas con resistencia total de $10\ \Omega$. Calculen a) las pérdidas por efecto Joule si se transmite a 10 kV y b) repitan el cálculo si se eleva el voltaje a 100 kV.
Respuesta: 50%, 0.5%
4. Una batería de celular tiene una capacidad de almacenamiento de 18.5 Wh con una eficiencia de carga del 85%. Determinen a) la energía total transmitida por el cargador, considerando la eficiencia de carga y b) el tiempo de carga usando un cargador de 15.0 W.
Respuesta: 21.8 Wh, 1.45 h
5. Un transformador eléctrico reduce el voltaje de 1.30×10^4 V a 120 V. Si la corriente en el secundario es 10.0 A y la eficiencia real es del 95.0%, determinen a) la corriente en el primario, b) la potencia transmitida y c) la energía térmica disipada por hora de operación.
Respuesta: 97.2 mA, 1.26 kW, 6.30×10^{-2} kWh

8.5.4. Autoevaluación y reflexión

En esta etapa final, reflexionaremos sobre la importancia de la energía eléctrica en nuestra vida y cómo podemos usarla de manera más eficiente.

1. ¿Qué aspectos del funcionamiento de la energía eléctrica te han resultado más interesantes?
2. ¿Cómo se relaciona lo que has aprendido sobre energía eléctrica con otros temas de física como la energía mecánica o térmica?
3. Considerando el creciente problema del cambio climático y la necesidad de energías limpias, ¿cómo podrías aplicar tus conocimientos sobre energía eléctrica para contribuir a un futuro más sustentable en México?

Cápsula

9

Progresión de aprendizaje 9:

Analizar cómo la transferencia de energía desde el interior de la Tierra hacia su superficie impulsa la dinámica geológica que da origen a sismos, volcanes y formación de montañas, y la idea en que se basa la localización del epicentro y el epicentro de un sismo.

Metas de aprendizaje

CC. Comprender que la energía térmica interna de la Tierra impulsa procesos geológicos fundamentales. Identificar cómo la convección en el manto transfiere energía desde el núcleo hacia la superficie, generando el movimiento de las placas tectónicas. Reconocer que los procesos de subducción y expansión oceánica son manifestaciones de la conservación y transformación de energía en el sistema terrestre.

CT1. Identificar patrones regulares en el movimiento de las placas tectónicas y utilizar estos patrones para predecir la ubicación de zonas sísmicas y volcánicas. Analizar la periodicidad de los fenómenos sísmicos en diferentes regiones tectónicas.

CT2. Examinar las relaciones causa-efecto entre la convección del manto, el movimiento de placas y los fenómenos geológicos resultantes como terremotos, volcanes y formación de cordilleras.

CT3. Aplicar técnicas de medición para determinar la velocidad de propagación de ondas sísmicas y calcular distancias al epicentro. Utilizar instrumentos sismológicos para cuantificar la energía liberada en los sismos.

CT4. Modelar matemáticamente la localización de epicentros mediante sistemas de ecuaciones basados en diferencias de tiempo de llegada de ondas sísmicas. Aplicar modelos de resorte para calcular energía elástica acumulada en fallas transformantes.

CT5. Analizar los flujos de materia y energía en los ciclos de convección del manto, la formación de nueva corteza oceánica en dorsales y la destrucción de corteza en zonas de subducción.

CT6. Relacionar la estructura interna de la Tierra con las propiedades físicas de cada capa y su función en la dinámica tectónica. Comprender cómo las diferencias de densidad y temperatura determinan el comportamiento de los materiales terrestres.

CT7. Evaluar cómo los cambios en la estabilidad de las placas tectónicas afectan la superficie terrestre y generan riesgos geológicos. Analizar la estabilidad de diferentes tipos de límites de placas y sus implicaciones para la actividad sísmica.

Concepto central

CC. La energía en los procesos de la vida diaria

Conceptos transversales

CT1. Patrones

CT2. Causa y efecto

CT3. Medición

CT4. Sistemas

CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía

CT6. Estructura y función

CT7. Estabilidad y cambio



Cápsula 9: La Tierra: estructura, energía interna y tectónica de placas

Descubrirán cómo la estructura de nuestro planeta y la energía que fluye desde su interior da lugar a la formación de montañas, volcanes y la actividad sísmica. Comprenderán por qué México experimenta actividad sísmica intensa y desarrollarán habilidades para interpretar registros sísmicos, y calcularán distancias a epicentros. Este conocimiento les permitirán entender fenómenos desde los terremotos que sacuden su región hasta la formación de las montañas que observan.

9.1. Engage (Empezamos)

En esta fase inicial, reflexionaremos sobre eventos sismológicos en México, un país ubicado en una zona de intensa actividad tectónica.

1. ¿Cómo está formado el interior de nuestro planeta y cuáles son sus características?
2. ¿Qué papel juega la elevada temperatura del interior de la Tierra en los procesos sísmicos?
3. ¿Por qué en unas regiones de México la actividad sísmica es mayor que en otras?
4. ¿Por qué algunos sismos generan tsunamis y otros no?
5. ¿Cómo se determina el lugar donde se genera un sismo?

9.2. Explore (Exploramos)

A continuación realizarán actividades con materiales reales y video para relacionarnos con conceptos fundamentales de la tectónica de placas. Observaremos cómo las interacciones entre placas generan fenómenos geológicos.

Actividad práctica 1. Interacciones entre placas tectónicas.

Objetivo:

Simular, usando plastilina y cartón, distintos tipos de interacciones entre placas tectónicas y los efectos en la superficie terrestre.

Introducción:

El interior de nuestro planeta no es uniforme, sino formado por capas con diferentes características. La parte más externa es la corteza (oceánica y continental) y justo debajo se encuentra la parte más externa del manto. Ambas forman una capa rígida denominada litosfera, que está dividida en grandes secciones que encajan como piezas de un rompecabezas, llamadas placas tectónicas.

Estas "flotan" sobre una capa del manto más blanda y dúctil y se mueven lentamente, apenas unos centímetros por año. Dependiendo de si las placas se separan, chocan o deslizan lateralmente una respecto a otra, ocurren distintos procesos.

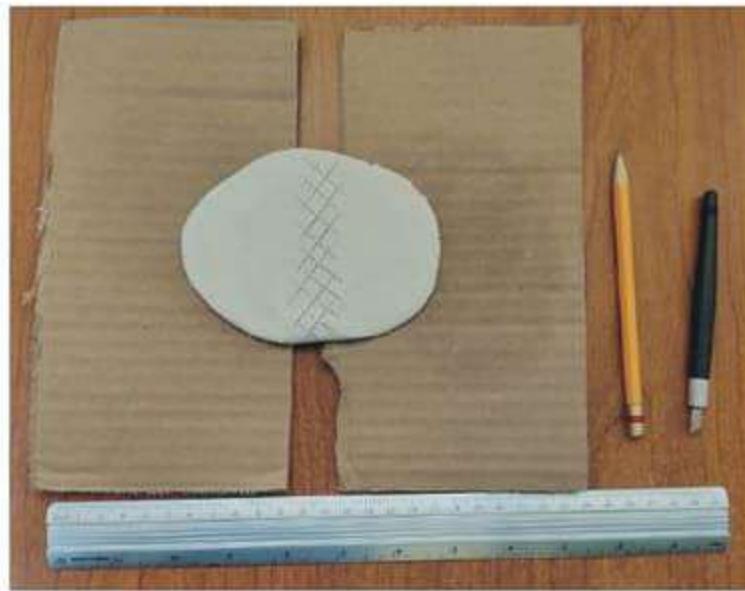


Fig. 1-P9. Materiales para la simulación de interacciones entre placas tectónicas.

Puede ascender material fundido (magma) formando nuevo relieve, hundirse una placa bajo otra, comprimirse y elevarse el terreno, o fracturarse la superficie sólida.

En esta actividad usarán plastilina sobre dos pedazos de cartón para ilustrar estos procesos.

Materiales:

Plastilina, dos piezas rectangulares de cartón o plástico flexible de 10 cm por 20 cm, dos libros.

Procedimiento:

Amasen la plastilina hasta que quede relativamente blanda. Sitúen las piezas de cartón sobre una mesa, a 3-4 cm una de otra, y encimen la plastilina en forma de "torta" (Fig. 1-P9). La plastilina representará la parte exterior de las placas tectónicas, donde se forman montañas grietas o volcanes. Las piezas de cartón simularán la base de las placas y permitirán simular sus desplazamientos.

Separación de dos placas. Poco a poco separen las piezas de cartón y observen cómo la plastilina se estira y quiebra en el centro. Esto simula la fractura de la corteza terrestre cuando dos placas se alejan. Por esa fractura es posible que ascienda magma desde el interior. Si esto ocurre en continentes o islas puede dar lugar a volcanes y si ocurre en los océanos origina nuevo fondo marino.

- **Aproximación de dos placas continentales.** Vuelvan a colocar las piezas de cartón y cubrir con la plastilina. Aproximen lentamente las piezas una hacia la otra. Observen cómo la plastilina se arruga y eleven en la zona de contacto. Esto simula la formación de montañas cuando dos placas continentales chocan.
- **Aproximación de una placa oceánica y otra continental.** Sitúen los dos libros en la mesa, separados unos 5 cm, y sobre ellos las piezas de cartón de forma que sus lados próximos sobresalgan hacia el espacio entre los libros. Cubran todo con la "torta" de plastilina. Aproximen lentamente una pieza de cartón hacia la otra y al mismo tiempo dobla hacia abajo el borde de una de ellas para que se introduzca debajo de la otra. La pieza que se hunde simula una placa oceánica, que es más delgada y densa que la continental. La que permanece arriba representa la placa continental más gruesa y menos densa. Este proceso puede provocar la elevación del borde continental, dando lugar a montañas, volcanes y terremotos.
- **Desplazamiento lateral.** Dispongan las piezas de cartón una junto a la otra, ahora con sus lados tocándose, y encimen la "torta" de plastilina. Deslicen una pieza lateralmente respecto a la otra y observen cómo se forma una grieta o desplazamiento en la plastilina. Esto simula dos placas tectónicas que deslizan rozándose entre sí. Esas placas pueden trabarse y entonces se van comprimiendo poco a poco, acumulando energía durante años.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué semejanzas y diferencias observaron entre los cuatro tipos de interacciones consideradas en la actividad?
2. ¿Por qué los movimientos de las placas tectónicas son tan importantes para los riesgos naturales (terremotos, volcanes, formación de montañas)?
3. Piensen en noticias que hayas escuchado sobre terremotos, volcanes o montañas, ¿con cuál de los modelos que hiciste en la actividad crees que se relacionan?

Actividad práctica 2. Movimiento de las placas tectónicas.

Objetivo:

Comprender, mediante un recurso audiovisual, los mecanismos que impulsan el movimiento de las placas tectónicas y los diferentes tipos de interacciones que se producen entre sus límites.

Introducción:

La teoría de la tectónica de placas revolucionó nuestra comprensión sobre la dinámica terrestre. Explica cómo los continentes que hoy conocemos estuvieron unidos en el pasado formando un supercontinente llamado Pangea, que posteriormente se fragmentó y cuyos bloques se desplazaron lentamente hasta ocupar su posición actual. El origen de este movimiento son las corrientes de convección en el manto, generadas por las diferencias de temperatura entre el núcleo caliente y la corteza más fría. En esta actividad observarán un video que explica detalladamente estos procesos y presenta ejemplos concretos de cada tipo de interacción entre placas.

Enlace Web:

<https://youtu.be/q5tTpFOMpL4>



Fig. 2-P9. Docente muestra un video sobre el movimiento de las placas tectónicas.

Procedimiento:

Observen atentamente el video completo, prestando especial atención a los siguientes aspectos:

Identifiquen las tres capas principales de la Tierra (núcleo, manto y corteza) y anoten las características de temperatura y composición de cada una. Observen cómo se explica el proceso de convección en el manto.

Enfóquense en los tres tipos de límites de placas. Para cada uno, identifiquen: a) cómo se mueven las placas entre sí, b) qué fenómenos geológicos se producen, y c) los ejemplos específicos mencionados en el video.

Evaluación:

Elaboren un informe que responda las siguientes preguntas guía:

1. ¿Qué evidencias presentó Alfred Wegener para apoyar su teoría de la deriva continental? ¿Por qué fue rechazada inicialmente y cómo la tectónica de placas resolvió esas objeciones?
2. Expliquen como se originan las corrientes de convección en el manto.
3. De los ejemplos presentados en el video (falla de San Andrés, dorsal mesoatlántica, cordillera de los Andes, Himalaya, islas Marianas), seleccionen dos y expliquen detalladamente qué tipo de interacción entre placas los originó.

9.3. Explain (Explicación)

En esta fase, profundizaremos en los procesos fundamentales de la tectónica de placas, explicando cómo estos interactúan para moldear nuestro planeta.

9.3.1. La Tierra, un planeta en capas desde la corteza hasta el núcleo

Nuestro planeta no es una esfera homogénea, sino que está formado por capas concéntricas cada una con materiales y propiedades diferentes. Desde el exterior hacia el interior, las tres capas principales son:

La corteza: La capa más externa y fina donde vivimos. Hay dos tipos: la corteza continental (más gruesa, hasta 70 km) y la corteza oceánica (más delgada, unos 5-10 km) (Fig. 3-P9).

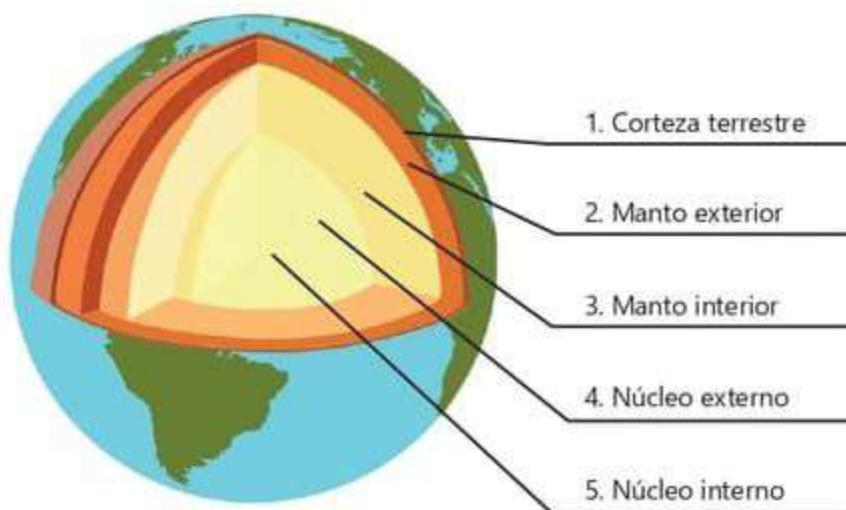


Fig. 3-P9. Estructura en capas de la Tierra.

El manto: La capa intermedia y más grande. Llega hasta unos 2900 km de profundidad y es rica en hierro y magnesio. Aunque es sólido, bajo condiciones de alta temperatura y presión se comporta de manera plástica, como la plastilina o el caramelo caliente, permitiendo un movimiento muy lento.

El núcleo: La región más interna, compuesta principalmente de hierro y níquel. Se divide en dos partes, un núcleo externo líquido y un núcleo interno sólido.

Tabla 1-P9: Características físicas de las capas terrestres.

Capa	Espesor/ Profundidad	Temperatura	Densidad	Estado físico
Corteza continental	30-70 km	0-400°C	2.7 g/cm ³	Sólido rígido
Corteza oceánica	5-10 km	0-400°C	3.0 g/cm ³	Sólido rígido
Manto superior	Hasta 660 km	400-1600°C	3.3-4.0 g/cm ³	Sólido plástico
Manto inferior	660-2900 km	1600-3700°C	4.0-5.6 g/cm ³	Sólido plástico
Núcleo externo	2900-5150 km	3700-5200°C	9.9-12.2 g/cm ³	Líquido
Núcleo interno	5150-6371 km	5200-5700°C	12.8-13.1 g/cm ³	Sólido

La corteza y la parte exterior sólida del manto forman la litosfera, que no es una capa continua, sino integrada por grandes porciones llamadas placas tectónicas. Estas placas son como piezas de un rompecabezas, encajan entre sí y se mueven lentamente. Se reconocen unas 8 placas mayores o principales, 10-12 placas menores y otras microplacas. Los continentes están sobre las placas principales, pero las placas son más extensas, ya que abarcan tanto corteza continental como corteza oceánica (Fig 4-P9). Como puedes ver en el mapa, México está sobre una zona de contacto de varias placas tectónicas.



Fig. 4-P9. Placas tectónicas mayores: la litosfera está fragmentada en piezas que encajan como un rompecabezas y se desplazan milímetros o centímetros por año.

El interior de la Tierra tiene una temperatura muy elevada. La del núcleo, por ejemplo, se estima entre 5200 °C y 5700 °C. Esta temperatura tan alta proviene de dos fuentes principales: la energía térmica residual generada durante su formación y la liberada por la desintegración de elementos radiactivos en el manto.

9.3.2. Dinámica de las placas tectónicas

La teoría que explica la interacción entre las placas se llama tectónica de placas. Propuesta en los años 60, revolucionó la geología. Establece que la litosfera está dividida en placas que "flotan" y se deslizan sobre la astenosfera, una zona del manto exterior más dúctil y plástica, y que el movimiento de las placas se debe principalmente a corrientes de convección en el manto (Fig. 5-P9).

Esas corrientes son originadas por la enorme diferencia de temperatura entre el interior de la Tierra y su superficie, similarmente que al calentar agua en un recipiente situado en una hornilla. El material caliente del manto profundo asciende, se enfriá al acercarse a la superficie y el más frío y denso descende. Sin embargo, entre la convección en el agua y en el manto hay una gran diferencia, mientras en el agua se forman corrientes rápidas, el movimiento del material en el manto es extremadamente lento (solo unos centímetros al año). Resulta que a tan elevada presión y temperatura el manto se comporta como un "sólido plástico", análogo a plastilina o caramelo caliente. Las corrientes de convección en el manto dan lugar a dos tipos de fuerza sobre las placas:

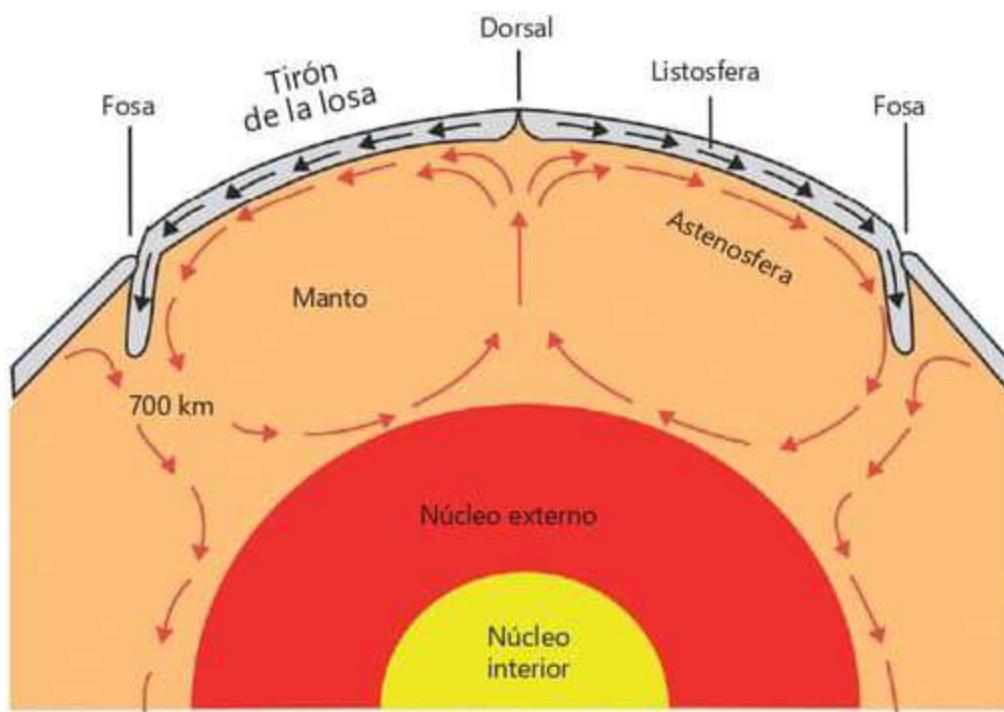


Fig. 5-P9. Convección del manto que impulsa el movimiento de las placas tectónicas.

1. **Empuje en las dorsales:** Una dorsal oceánica se forma donde dos placas tectónicas se separan, permitiendo el ascenso de material caliente del manto. Al entrar en contacto con el agua, este se enfria y solidifica, generando nueva corteza oceánica. La incorporación continua de magma empuja la corteza hacia los lados y favorece el desplazamiento de las placas. Además, el material elevado, al estar sometido a la gravedad, fluye lateralmente, reforzando aún más la separación.
2. **Arrastre por subducción:** A medida que la corteza oceánica se enfria y se aleja de la dorsal, adquiere mayor densidad que el manto sobre el que reposa. Al encontrarse con una placa continental, mucho más ligera, o con otra oceánica más joven, se hunde bajo ella en un proceso llamado subducción. El peso de la porción fría que desciende tira de la parte de la misma placa que todavía permanece en superficie, arrastrándola hacia la zona de convergencia y generando una fossa oceánica. Un ejemplo es la Fosa de las Marianas, formada donde la placa del Pacífico se subduce bajo la de Filipinas.

La combinación de estos dos procesos es lo que mantiene el movimiento constante, aunque lento, de las placas tectónicas.

9.3.3. Interacciones entre placas: sismos, volcanes y montañas

Los fenómenos geológicos más espectaculares ocurren en las zonas de contacto entre placas tectónicas (llamadas bordes o límites), donde se producen intensas interacciones. Existen tres tipos principales de estas zonas: divergentes, donde las placas se separan y surge nueva corteza; convergentes, donde se enfrentan y una puede hundirse bajo la otra; y transformantes, donde se rozan y se deslizan lateralmente entre sí. Veamos brevemente las características de cada una de estas zonas de contacto entre placas:

- **Divergentes.** Tal como vimos al describir las dorsales oceánicas, en estos límites las placas se separan y el magma asciende provocando volcanes de lava fluida y terremotos poco profundos, característicos de estas zonas de expansión.
- **Convergentes.** Las placas colisionan y lo que sucede depende de los tipos de corteza que chocan:
- **Placa oceánica con una continental:** La placa oceánica, más densa, se hunde bajo la continental por subducción. Esto forma profundas fosas oceánicas y en la placa superior, volcanes y terremotos de diferente profundidad. Así se formaron los Andes y los volcanes del Cinturón de Fuego del Pacífico.

- **Dos placas continentales:** Ninguna es lo suficientemente densa para hundirse, por lo que la colisión comprime y eleva el terreno, formando grandes cordilleras como el Himalaya.
- **Dos placas oceánicas:** La placa más densa o antigua se hunde bajo la otra, generando una fosa y un arco de islas volcánicas, como en Japón.

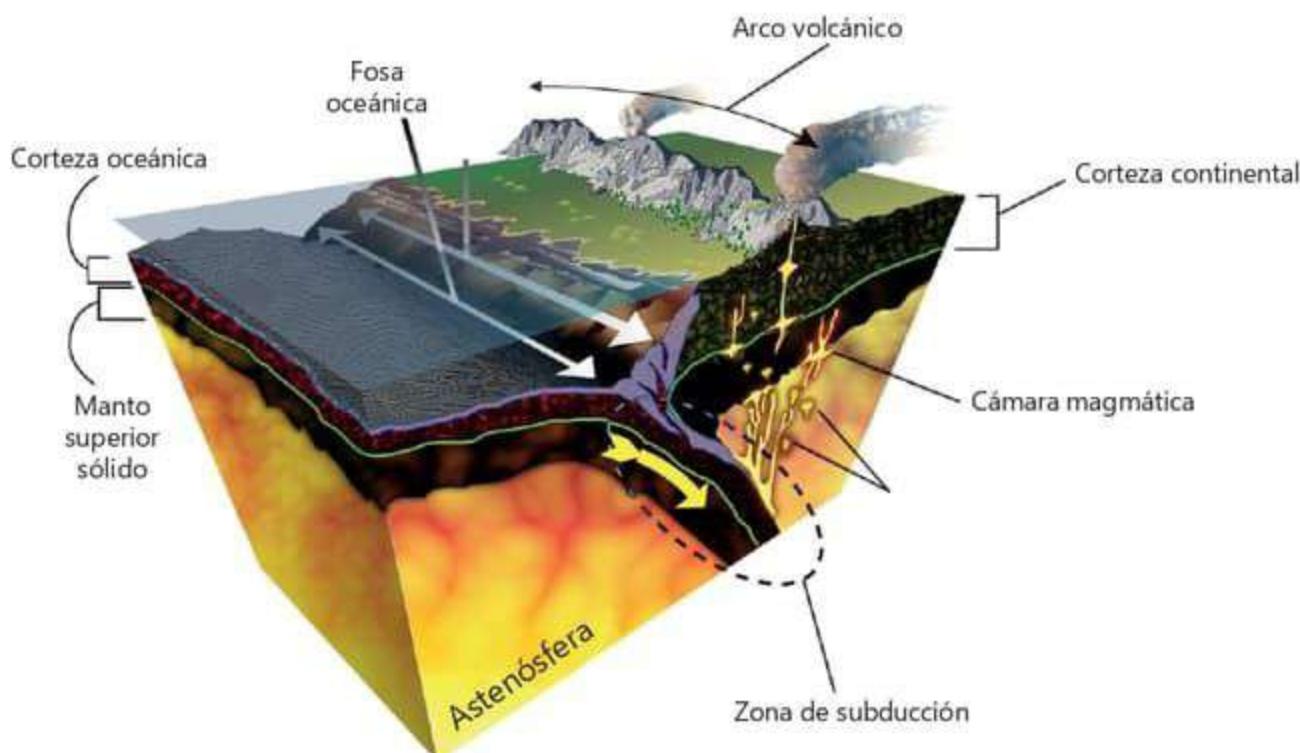


Fig. 6-P9. Esquema del proceso de subducción.

Transformantes: Las placas se deslizan lateralmente sin que se cree ni destruya corteza. El movimiento no es suave, las placas se traban y deforman, acumulando energía que, al liberarse de golpe, provoca grandes sismos. La falla de San Andrés en California es un ejemplo conocido.

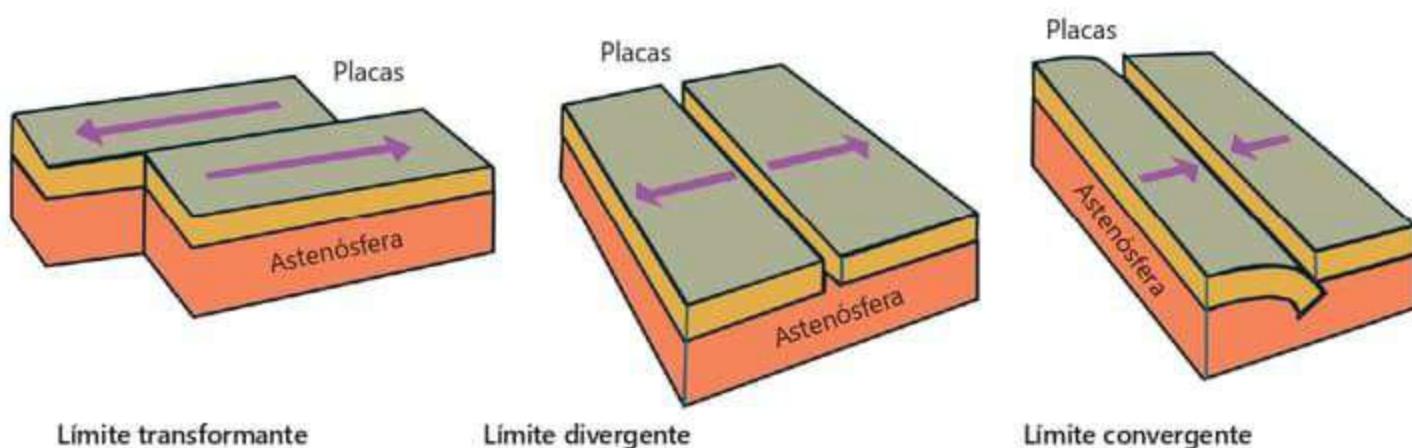


Fig. 7-P9. Tres tipos de límites de placas.

Como puedes ver en el mapa de la figura 8-P9, México se encuentra en una región donde interactúan varias placas tectónicas: de Norteamérica, Cocos, Pacífico y Caribe. Las interacciones entre ellas dan lugar a los tres tipos de límites, lo que explica la intensa actividad sísmica del país. Sinaloa está sobre la placa de Norteamérica, que hacia el oeste interactúa con la del Pacífico, provocando sismos generalmente débiles. Más al sur, frente a Guerrero, Oaxaca, Michoacán y Chiapas, la placa de Cocos se hunde bajo la de Norteamérica. Los sismos de subducción en esa zona suelen ser de gran magnitud y

aunque la Ciudad de México está más alejada, su suelo blando hace a las ondas sísmicas más lentas y de mayor amplitud, aumentando su efecto.



Fig. 8-P9. México se sitúa en la convergencia de las placas de Norteamérica, Cocos, Pacífico y Caribe.

9.3.4. Localización del hipocentro y el epicentro de los sismos

Hemos visto que las placas tectónicas están en constante movimiento y que, en sus límites, pueden separarse, rozar lateralmente o chocar, deformando la litosfera y acumulando energía, que al liberarse de golpe, provoca sismos.

El punto en el interior de la Tierra donde se inicia la liberación de energía se llama hipocentro. Desde allí se propagan ondas sísmicas en todas direcciones. El lugar de la superficie terrestre situado directamente encima del hipocentro se denomina epicentro. A menudo es la zona donde se perciben con

mayor intensidad los efectos del sismo, aunque los daños dependen también de factores como el tipo de suelo, la densidad de población y la calidad de las construcciones.

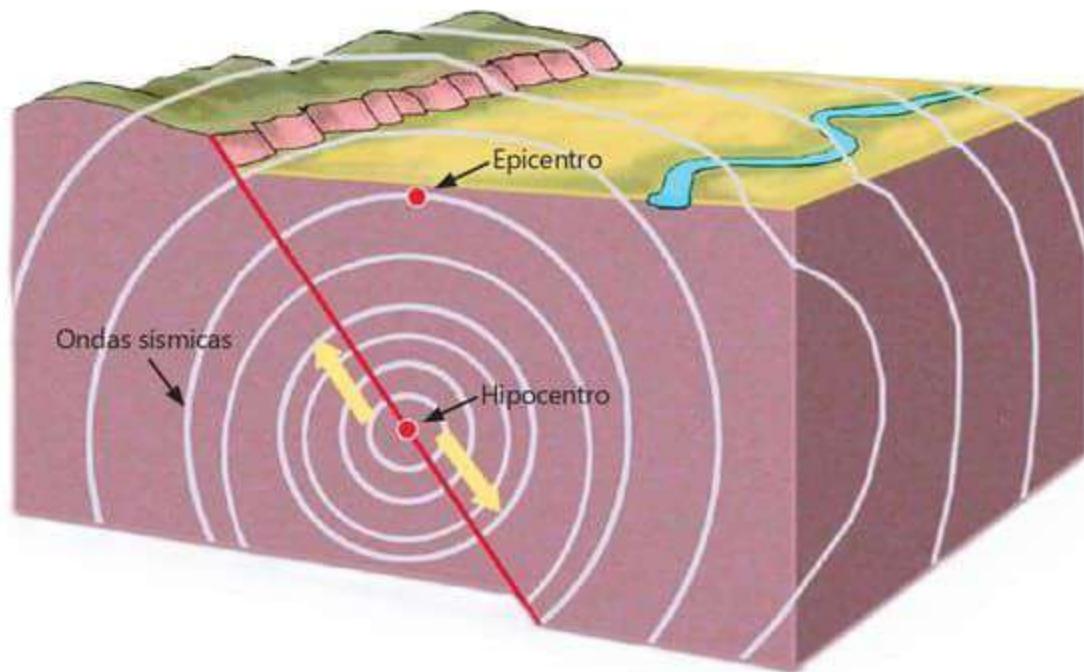


Fig. 9-P9. El hipocentro es el punto donde se generan las ondas sísmicas; el epicentro es su proyección vertical en la superficie.

La forma clásica de localizar un sismo consiste en usar registros de varios sismómetros. Cada estación mide el tiempo de llegada de las ondas P (primarias, más rápidas) y las ondas S (secundarias, más lentas) (Fig. 10-P9).

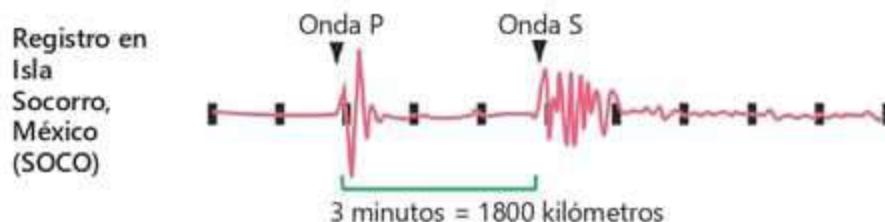


Fig. 10-P9. Esquema que muestra los registros de las ondas P y S en una estación sísmica.

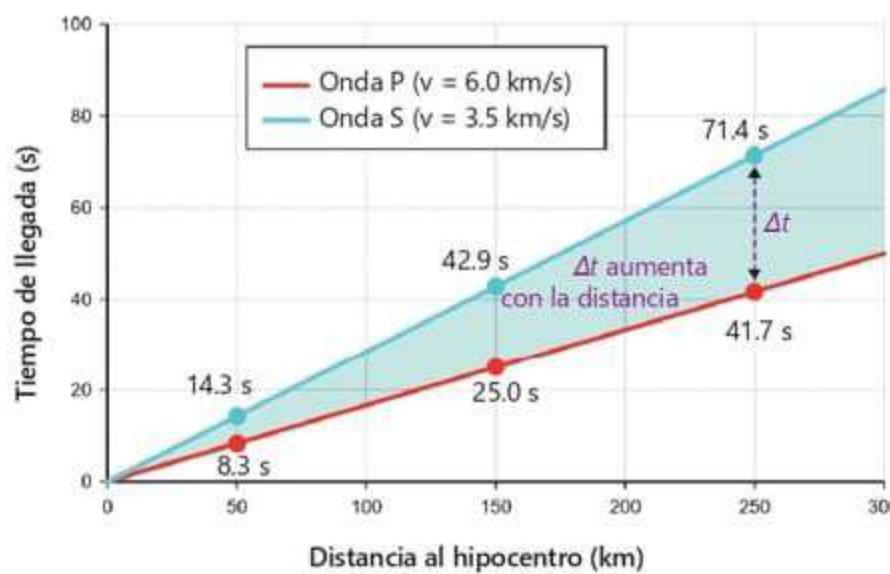


Fig. 11-P9. Gráficas de tiempo transcurrido en función de la distancia recorrida por las ondas P y S en cierta región, suponiendo que sus velocidades son constantes.

Si se conocen las velocidades de propagación de las ondas P y S en la región donde está ubicada la estación sísmica, entonces a partir de la diferencia entre los tiempos de llegada de dichas ondas puede determinarse la distancia al hipocentro. Así, supongamos que esa diferencia es 29.7 s, la cual se ha indicado en la figura 11-P9 como Δt . Nótese que ella corresponde a una distancia de 250 km. Las gráficas de la figura responden a un modelo simplificado en que las velocidades de propagación de las ondas en la región se han considerado constantes.

La distancia de una estación sísmica al hipocentro también puede calcularse mediante ecuaciones. Supongamos que esa distancia es d y que los intervalos de tiempo que demora cada onda en llegar a la estación son, respectivamente, t_p y t_s . Por tanto, $d = v_p t_p$ y $d = v_s t_s$. Los intervalos t_p y t_s son desconocidos, pero la diferencia entre ellos, $\Delta t = t_p - t_s$, sí puede hallarse. De las ecuaciones anteriores se tiene:

$$\Delta t = \frac{d}{v_s} - \frac{d}{v_p} = d \left(\frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_p} \right)$$

De modo que:

$$d = \frac{\Delta t}{\left(\frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_p} \right)}$$

Puesto que las velocidades de las ondas P y S varían con la profundidad y las características del terreno (Tabla 2-P9), las gráficas y la ecuación anterior solo permiten hacer una estimación de la distancia al hipocentro. En la práctica esas velocidades no son constantes y las gráficas no son rectas, sino curvas.

Tabla 2-P9. Velocidades de propagación de ondas sísmicas a distintas profundidades.

Tipo de material	Velocidad onda P (km/s)	Velocidad onda S (km/s)
Corteza continental	5.5-6.5	3.0-3.7
Corteza oceánica	6.5-7.0	3.7-4.0
Manto superior	7.9-8.1	4.4-4.6

Hemos visto cómo calcular la distancia de una estación al hipocentro para ubicar su posición, pero para ubicar su posición se requiere el registro de varias estaciones. Cada una determina una esfera con radio igual a su distancia al hipocentro. El hipocentro corresponde al punto donde se cortan las esferas.

Un procedimiento elemental para localizar el epicentro es el siguiente. En un mapa en dos dimensiones se trazan circunferencias con centros en las estaciones sísmicas y con radios iguales a las distancias al hipocentro desde cada estación (Fig. 12-P9). El punto donde se cruzan las circunferencias es una estimación del epicentro. Esto solo ilustra simplificadamente el procedimiento, pues los radios de las circunferencias, que son proyecciones de las esferas, resultan menores que los radios de las propias esferas, por lo que en realidad se sobreestiman las distancias al epicentro.



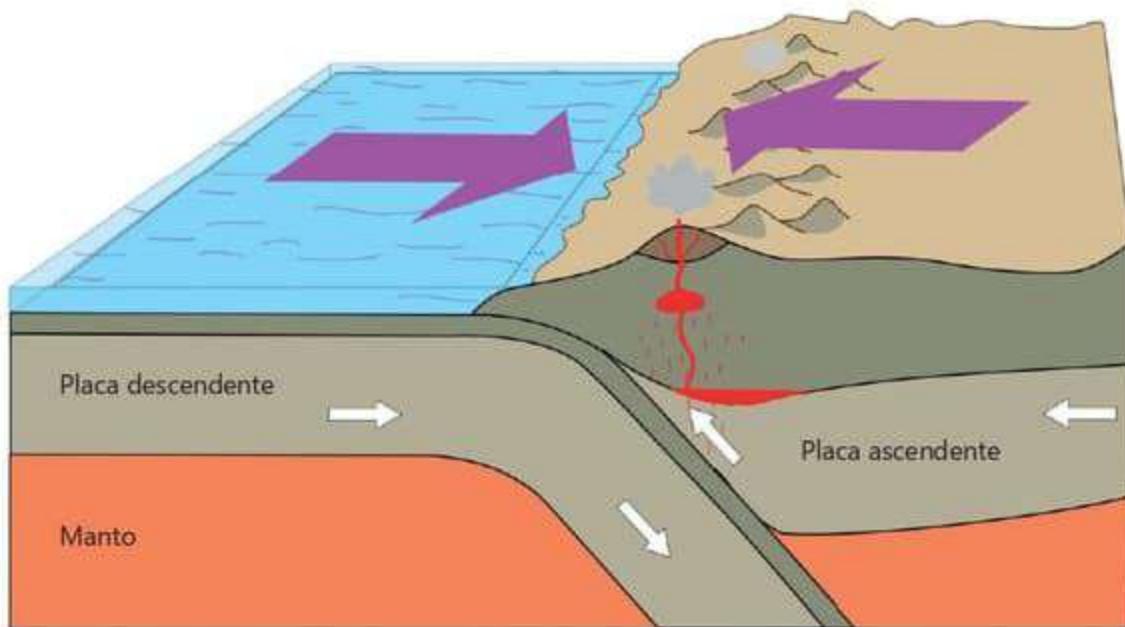
Fig. 12-P9. Cada estación define una circunferencia con radio igual a la distancia estimada por la diferencia de llegada entre ondas P y S; el cruce de ellas da una estimación del epicentro.

Actualmente se emplean otros métodos, como algoritmos computacionales que ajustan simultáneamente cientos de registros sísmicos y el análisis de la forma de las ondas. Mediante ellos se logra una localización más precisa y rápida. Saber dónde ocurrió un sismo es importante porque ayuda a priorizar el envío de auxilio a las zonas más afectadas. Además, identificar la profundidad del hipocentro y su relación con los límites de placas permite comprender mejor la dinámica interna de la Tierra y reconocer regiones donde es más probable que los sismos se repitan, aunque predecir terremotos sigue siendo el mayor desafío para los geólogos.

9.4. Elaborate (Elaboración)

En esta fase, aplicaremos los conceptos aprendidos en ejercicios que nos permitirán profundizar en la interacción entre placas tectónicas.

Ejercicio 1. Imagina un límite transformante entre dos placas tectónicas. Las placas se desplazan una respecto a la otra con una velocidad media de 3.0 cm/año. En un segmento de contacto quedan "trabadas" y van comprimiéndose elásticamente durante 50 años. En un modelo simple de la deformación que tiene lugar, la constante elástica equivalente de la roca en la zona de contacto es 2.0×10^{12} N/m. Calcula: a) el desplazamiento entre las placas al cabo de 50 años, b) la fuerza elástica entre ellas al cabo de ese tiempo y c) la energía potencial elástica acumulada.



Solución

1. Análisis del proceso:

El desplazamiento de una placa respecto a la otra puede imaginarse a velocidad constante, es decir, como si se tratara de un movimiento uniforme. En un modelo simple la deformación puede considerarse como la de un resorte gigante de enorme constante elástica y emplear las expresiones de la fuerza elástica y la energía potencial para dicho resorte.

2. Identificación de los datos del problema:

$$v = 3.0 \text{ cm/año} = 3.0 \times 10^{-2} \text{ m/año}, t = 50 \text{ años}, k = 2.0 \times 10^{12} \text{ N/m}.$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

a) El desplazamiento de una placa respecto a la otra al cabo del tiempo t es:

$$x = vt = (3.0 \times 10^{-2} \text{ cm/años})(50 \text{ años}) = 1.5 \text{ m}$$

b) Segundo la expresión de la fuerza elástica de un resorte

$$F = kx = (2.0 \times 10^{12} \text{ N/m})(1.5 \text{ m}) = 3.0 \times 10^{12} \text{ N}$$

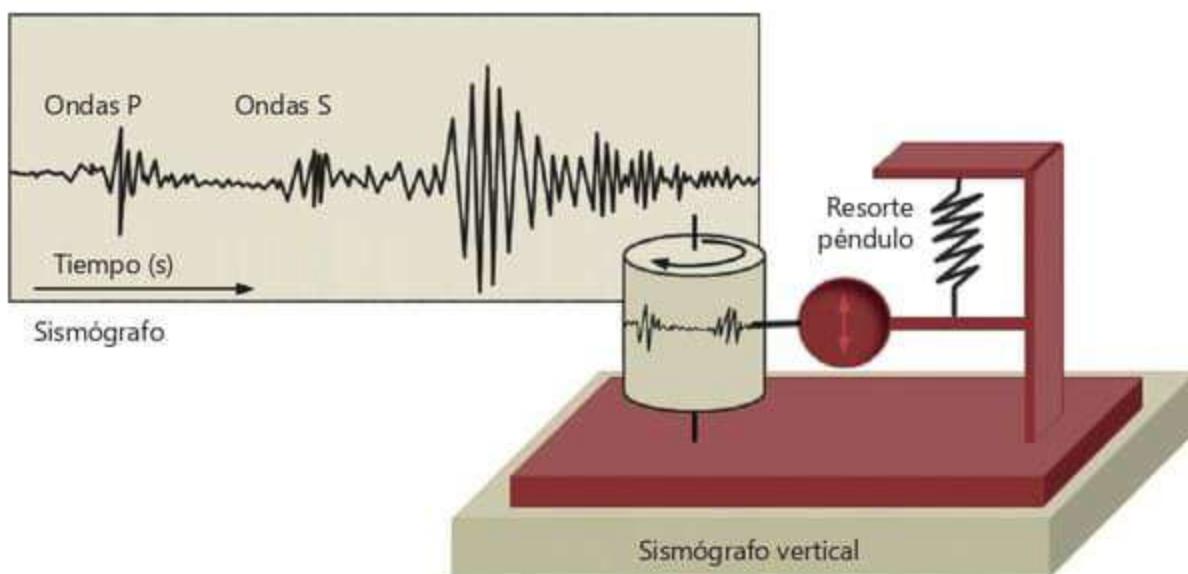
c) Usando la expresión de la energía potencial de un resorte:

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 = (0.5)(2 \times 10^{12} \text{ N/m})(1.5 \text{ m})^2 = 2.25 \times 10^{12} \text{ J}$$

4. Conclusión:

En 50 años el desplazamiento de una placa respecto a la otra sería muy pequeño, tan solo de 1.5 m. La fuerza elástica es enorme, 3.0×10^{12} N, equivalente al peso de 300 mil millones de toneladas. La energía liberada, 2.2×10^{12} J, equivale a la de un sismo de magnitud 4.5 – 5.0 en la escala de Richter.

Ejercicio 2. Considera una estación sismológica que detectó un sismo y registró que la diferencia entre los tiempos de llegada de las ondas P y S fue 5.0 s. Imagina que la velocidad promedio de la onda P en la región es 6.0 km/s y la de la onda S, 3.5 km/s. Determina a qué distancia aproximada de la estación se generó el sismo.



Solución

1. Análisis del proceso:

Conociendo la diferencia entre el tiempo de llegada de la onda P y S y las velocidades medias de cada una, puede calcularse la distancia al lugar donde se generó el sismo mediante la ecuación deducida en el apartado 9.4.

2. Identificación de los datos del problema:

$$\Delta t = 5.0 \text{ s}, v_p = 6.0 \text{ km/s}, v_s = 3.5 \text{ km/s}$$

3. Realización de las sustituciones y cálculos necesarios:

$$d = \frac{\Delta t}{\left(\frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_p}\right)} = \frac{5.0 \text{ s}}{\left(\frac{1}{3.5 \frac{\text{km}}{\text{s}}} - \frac{1}{6.0 \frac{\text{km}}{\text{s}}}\right)} = d = \frac{5.0 \text{ s}}{0.286 \frac{\text{s}}{\text{km}} - 0.167 \frac{\text{s}}{\text{km}}} = 42 \text{ km}$$

4. Conclusión:

La distancia desde la estación sismológica al epicentro, o lugar donde se generó el sismo es 42 km. El epicentro es el lugar en la superficie terrestre encima del hipocentro. Para estimar su posición se requerirían datos de al menos tres estaciones.

9.5. Evaluate (Evaluación)

En esta fase final, los estudiantes evaluarán su comprensión sobre la estructura interna de la Tierra y tectónica de placas. Las siguientes actividades les permitirán consolidar su aprendizaje y reflexionar sobre su comprensión del tema.

9.5.1. Reactivos de opción múltiple

1. ¿Cuál de las siguientes capas es la más externa de la Tierra?
 - A) Núcleo interno
 - B) Corteza
 - C) Manto inferior
 - D) Núcleo externo
2. La principal causa del movimiento de las placas tectónicas es:
 - A) La rotación terrestre
 - B) Las corrientes oceánicas
 - C) La convección en el manto
 - D) La gravedad lunar
3. El proceso de convección en el manto terrestre ocurre porque:
 - A) El material frío sube y el caliente baja
 - B) El material caliente sube y el frío baja
 - C) El material se mueve horizontalmente
 - D) El material no se mueve
4. ¿Qué proceso geológico explica la formación de una dorsal oceánica?
 - A) El hundimiento de una placa bajo otra.
 - B) El choque entre dos placas continentales.
 - C) La separación de dos placas tectónicas con ascenso de magma.
 - D) El deslizamiento lateral de dos placas.
5. ¿Cómo se determina el epicentro de un sismo con ayuda de varias estaciones sismológicas?
 - A) Con la estación más cercana al hipocentro.
 - B) Por el promedio de las magnitudes registradas.
 - C) Trazando círculos con radios iguales a la distancia al epicentro y buscando su intersección.
 - D) Midiendo la amplitud máxima de las ondas sísmicas.

9.5.2. Problemas cualitativos

1. Expliquen por qué, a pesar de ser sólido, el manto terrestre puede fluir y permitir el movimiento de las placas tectónicas. ¿Qué analogía se puede utilizar para describir este comportamiento?
2. Describan los dos principales procesos que impulsan el movimiento de las placas tectónicas: el empuje en las dorsales y el arrastre por subducción.
3. Relacionen la intensa actividad sísmica en México con la interacción de las placas tectónicas que lo rodean.
4. En Sinaloa se sienten menos sismos que en Guerrero. Expliquen la razón considerando la ubicación de las placas tectónicas y su interacción.
5. Reflexionen sobre la importancia de conocer la profundidad del hipocentro y su relación con los límites de placas. ¿Cómo puede esta información ayudar a comprender mejor el riesgo sísmico en una región?

9.5.3. Problemas cuantitativos

1. La masa de la Tierra es 6.0×10^{24} kg y su radio medio 6.4×10^6 m. Si se consideran la densidad de las rocas en su superficie y la de sus océanos, puede estimarse que la densidad media en su superficie es 1.5×10^3 kg/m³. Calculen a) la densidad media de la Tierra y b) comparen dicho valor con la densidad media en su superficie y expliquen qué indica esto sobre la composición de la Tierra.

Respuesta: 5.5×10^3 kg/m³, 3.7 veces mayor

2. La Luna tiene una masa de 7.4×10^{22} kg y un radio medio de 1.74×10^6 m. Determinen a) su densidad media, b) compárenla con la densidad media de la Tierra (5.5×10^3 kg/m³) y c) expliquen qué sugiere esta diferencia acerca de la composición interna de la Luna en comparación con la Tierra.

Respuesta: 3.3×10^3 kg/m³, 0.61 de la de la Tierra

3. En una zona de subducción, una placa oceánica se introduce bajo una continental. La velocidad media de convergencia es de 5.0 cm/año y las placas permanecen trabadas durante 100 años. El sistema se puede modelar con una constante elástica equivalente de 3.0×10^{12} N/m. Encuentren a) el desplazamiento relativo entre las placas en esos 100 años, b) la fuerza elástica entre ellas al cabo de ese tiempo y c) la energía potencial elástica almacenada.

Respuesta: 5.0 m, 1.5×10^{13} N, 3.7×10^{13} J

4. Supóngan que en la región de cierta estación sísmica la velocidad media de las ondas P es 6.0 km/s y la de las ondas S, 3.5 km/s y que la diferencia de tiempo con que llegaron a la estación fue de 29.7 s. Hallen a) la distancia al epicentro y b) si las gráficas de tiempo respecto a distancia para la propagación de las ondas P y S son las representadas en la figura 11-P9, comprueben mediante ellas el resultado anterior.

Respuesta: 2.5×10^2 km

5. Tres estaciones sísmicas —A, B y C— registraron la hora de llegada de las ondas P y S. Las horas de llegada de las ondas P y S a cada estación fueron 10:30:26 y 10:30:45; 10:30:20 y 10:30:35; 10:30:14 y 10:30:24. Consideren que las velocidades medias de las ondas sísmicas eran 6.0 km/s y 3.5 km/s. Estimen la distancia desde cada estación al epicentro.

Respuesta: 160 km, 126 km y 84 km

9.5.4. Autoevaluación y reflexión

En esta fase final, reflexionaremos sobre los aprendizajes adquiridos acerca de la estructura de la Tierra, la tectónica de placas y su relevancia para México.

1. ¿Qué aspectos de lo estudiado en este tema te han resultado más interesantes?
2. ¿De qué manera los conceptos de energía y fuerzas estudiados anteriormente se relacionan con los procesos tectónicos?
3. ¿Cómo podría utilizarse el conocimiento sobre tectónica de placas para contribuir a la seguridad y desarrollo de México?

Referencias Bibliográficas

- Alonso, A.C., y Gotwals, A.W. (Eds.). (2012). *Learning progressions in science: Current challenges and future directions*. Sense Publishers.
- Alvarado, J.A., Caro, J. de J., Varela, J.B., Y Hernández, O. (2012). *Estática y rotación del sólido: Bachillerato universitario*. Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Caro, J. de J. (2008). *Mecánica 1: Bachillerato universitario*. Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Varela, J.B. (2009). *Electromagnetismo: Bachillerato universitario*. Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Varela, J.B. (2010). *Propiedades de la materia: Bachillerato universitario*. Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Varela, J.B. (2012). *Electricidad y óptica: Bachillerato universitario*. Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Varela, J.B. (2012). *Óptica: Bachillerato universitario*. Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.
- Alvarado, J.A., y Valdés, P. (2008). *Mecánica 2: Bachillerato universitario*. Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V.
- Barbosa, J.G., Gutiérrez, C. del C., y Jiménez, J. A. (2015). *Termodinámica para ingenieros*. Patria.
- Bybee, R. W. (2015). *The BSCS 5E instructional model: Creating teachable moments*. National Science Teachers Association Press.
- Bybee, R. W. (2016). *El modelo de enseñanza 5E del BSCS: Creando momentos de enseñanza*. International Science Teaching Foundation.
- Çengel, Y. A., y Boles, M. A. (2014). *Termodinámica* (8^a ed.). McGraw-Hill.
- Serway, R.A., y Jewett, J.W. (2008). *Física para ciencias e ingeniería. Volumen 1* (7^a ed.). Cengage Learning.
- Serway, R.A., y Vuille, C. (2018). *Fundamentos de física* (10^a ed.). Cengage Learning.
- Tippens, P.E. (2020). *Física: Conceptos y aplicaciones* (8^a ed.). McGraw-Hill.
- Young, H.D., y Freedman, R.A. (2018). *Física universitaria con física moderna 1*. Pearson.

Referencias de figuras e imágenes

Portadilla de la Cápsula 1

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 1-P1. Materiales para explorar la relación entre trabajo y energía. Fotografía Jesús Alfonso Félix Madrigal.

Fig. 2-P1. Docente explica el trabajo y la energía potencial gravitatoria a través de un simulador. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 3-P1. Vías por las cuales la energía se transmite y transforma: trabajo, calor y radiación. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 4-P1. El trabajo depende de las magnitudes de la fuerza y el desplazamiento, así como de sus direcciones. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 5.P1. En un lanzamiento vertical, el trabajo de la fuerza de la gravedad es negativo durante el ascenso y positivo en el descenso. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig.6.P1. Representación de las transformaciones energéticas durante un lanzamiento vertical sin rotamiento de un objeto. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 7-P1. El trabajo de la fuerza resultante es igual a la variación de la energía cinética de la caja. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Fig. 8-P1. El torque es el producto de la fuerza aplicada por la distancia entre el punto de aplicación y el eje de rotación. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Ejercicio 1. Elaboración Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Ejercicio 2. Elaboración Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Portadilla la Cápsula 2

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 1-P2. Materiales para explorar la relación entre la fuerza, masa y cambio de velocidad. Fotografía Jesús Alfonso Félix Madrigal.

Fig. 2-P2. Docente explica la relación entre fuerza, masa y cambios de velocidad. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 3-P2. Después de golpear un disco en un tablero de aire de hockey, se mueve sin apenas variar su dirección ni el valor de su velocidad, a menos que no se golpee nuevamente. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig.4-P2. La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza ejercida sobre él e inversamente proporcional a su masa. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig.5-P2. La gráfica ilustra la proporcionalidad entre la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo y su aceleración. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig.6-P2. Choque de dos bolas. La fuerza de la bola A sobre la B, F_{AB} , es de igual magnitud y sentido opuesto que la fuerza de la bola B sobre la A, F_{BA} . Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 7-P2. Tres pares de fuerza de acción y reacción: entre la palma de la mano y la caja 1, entre esta y la caja 2 y entre las ruedas del carrito y el suelo. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 8-P2. Fuerzas de acción y reacción entre un libro y la mesa en la que yace (a) y entre la Tierra y el libro (b). Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Fig. 9-P2. Gráficas de $x(t)$ para un caminante (a) y un corredor (b) que se mueven con velocidad constante. En b) la velocidad es mayor y la recta tiene mayor inclinación o pendiente. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 10-P2. Gráfica de $y(t)$ para un cuerpo que se deja caer. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 11-P2. Pelota lanzada verticalmente hacia arriba. La ecuación $y = v_0 t - \frac{1}{2} at^2$ permite conocer su posición en cualquier instante. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Fig. 12-P2. En a) luego de cesar la fuerza, la lámina recupera su forma (deformación elástica), mientras que en b) no la recupera (deformación plástica). Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 13-P2. La fuerza aplicada a un resorte es proporcional a su deformación, siempre que no se sobrepase su límite elástico. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 14-P2. Dos posiciones de un péndulo formado por una varilla y una bola en su extremo. En ambas posiciones está en equilibrio, pero en la más baja el equilibrio es estable, mientras que en la más elevada es inestable. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Ejercicio 1. Elaboración Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Ejercicio 2. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Portadilla la Cápsula 3

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 1-P3. Materiales para explorar la aceleración de un cuerpo por acción de dos fuerzas en distintas direcciones. Fotografía de los autores.

Fig. 2-P3. Docente explica la relación de la aceleración de un cuerpo bajo la acción de dos fuerzas en direcciones distintas. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 3-P3. Tirar de un cuerpo hacia adelante no produce el mismo efecto que tirar hacia un lado. El resultado depende no solo de la magnitud de la fuerza, sino también de su dirección. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 4-P3. Un vector se representa mediante una flecha: su longitud indica la magnitud del vector, su orientación la dirección y su punta el sentido. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 5-P3. Sobre el carrito actúan dos fuerzas con la misma dirección y sentido. Su aceleración es como si actuara una única fuerza de 7 N hacia la derecha. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 6-P3. Sobre el carrito actúan dos fuerzas en la misma dirección, una de 4 N y otra de 3 N, pero sentidos opuestos. Su aceleración es como si actuara una sola fuerza de 1 N en el sentido de la mayor. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 7-P3. Sobre el carrito actúan dos fuerzas, \vec{F}_1 y \vec{F}_2 , en diferentes sentidos. Para hallar la suma de ellas se traslada una flecha a continuación de la otra y se traza la flecha que une el extremo de la primera con la punta de la segunda. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 8-P3. Regla del triángulo: el vector \vec{R} es la suma o resultante de los vectores \vec{A} y \vec{B} . Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 9-P3. A los efectos de ir de A a C es equivalente desplazarse según AB y después de BC, que desplazarse directamente según AC. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 10-P3. El efecto combinado de los vectores \vec{A}_x y \vec{A}_y es equivalente al del vector resultante \vec{A} , y a la inversa, el efecto del vector \vec{A} puede sustituirse por el efecto conjunto de \vec{A}_x y \vec{A}_y . Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 11-P3. Sobre el estante actúan cuatro fuerzas, pero la suma de todas ellas es nula, por lo que no cambia su estado de reposo. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 12-P3. Una piñata cuelga de dos cuerdas en forma de V. Se han representado las fuerzas que actúan sobre ella, \vec{F}_g , \vec{T}_1 y \vec{T}_2 y la fuerza resultante $2\vec{T}$. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 13-P3. La aceleración del cuerpo al dejarlo caer es mayor que si desliza por el plano, a pesar de que la fuerza de gravedad es la misma en los dos casos. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 14-P3. Fuerzas que actúan sobre un cuerpo que desciende por un plano sin fricción y componentes de la fuerza de gravedad. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 15-P3. Representación de la velocidad de una pelota lanzada horizontalmente. La fuerza de gravedad solo afecta a la componente vertical de la velocidad. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Ejercicio 1. Elaboración Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Ejercicio 2. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Portadilla la Cápsula 4

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 1-P4. Materiales para estudiar choques unidimensionales entre dos canicas. Fotografía de los autores.

Fig. 2-P4. Docente explica la conservación del momento lineal en choques de dos cuerpos. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 3-P4. Impulso y cambio del momento lineal. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 4-P4. El tiempo de choque de una pelota de béisbol con un bate de madera puede ser de 1 a 2 milisegundos. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 5-P4. Representación gráfica de la magnitud del impulso durante un impacto breve entre el bate y la pelota. Para este caso la fuerza no es constante. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 6-P4. Para la persona en la locomotora las personas en el tren no se mueven y, por tanto, no tienen cantidad de movimiento, mientras que para la persona en la estación sí. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 7-P4. Choque elástico entre esferas de igual masa: se conservan p y E_c ; la bola en movimiento se detiene y transfiere su velocidad a la otra. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 8-P4. Colisión inelástica contra un muro: el sistema no está aislado (no se conserva \vec{p} del auto); parte de E_c se transforma en deformación y calor. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 9-P4. Colisión perfectamente inelástica: los autos quedan unidos y comparten una velocidad común; \vec{p} total se conserva y la pérdida de E_c es máxima. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 10-P4. Desviación de partículas alfa debido a choque sin contacto en el experimento de Rutherford, evidencia de la existencia del núcleo atómico. Captura de pantalla simulador virtual (https://javalab.org/en/category/atoms_en/atomic_model_en/)

Fig. 11-P4. Colisión sin contacto entre una nave espacial y un planeta. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 12-P4. Choque bidimensional: La bola 1 se mueve con velocidad \vec{v}_{01} , hacia la bola 2, que está en reposo, y choca con ella. Después del choque, se mueven en direcciones diferentes a la inicial. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 13-P4. La suma vectorial de los momentos lineal de dos bolas que chocan es igual antes que después del choque si el sistema puede considerarse como aislado. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 14-P4. El chorro de gases que escapa a gran velocidad del cohete ejerce sobre este una fuerza reactiva. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

Ejercicio 1. Elaboración Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Ejercicio 2. Elaboración Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

Portadilla la Cápsula 5

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 1-P5. CD o DVD para visualizar la composición de la luz. Fotografía Jesús Alfonso Félix Madrigal.

Fig. 2-P5. Docente explica las características de las ondas electromagnéticas. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 3-P5. Efecto fotoeléctrico en un material. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

Fig. 4-P5. Desarrollo de la teoría de la luz. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 5-P5. Visualización de campos eléctrico y magnético en una onda electromagnética. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

Fig. 6-P5. Longitud de onda λ en una onda electromagnética. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 7-P5. Espectro electromagnético desde ondas de radio hasta rayos gamma. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 8-P5. Efecto fotoeléctrico externo. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

Fig. 9-P5. Interacción de la radiación incidente con el material transparente. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 10-P5. Una hoja sana refleja mucha luz del infrarrojo cercano y poca del color rojo; cuando está estresada refleja menos en el infrarrojo y más en rojo; una hoja muerta refleja poca luz en general. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 11-P5. Dispersión de la radiación azul en la atmósfera. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Fig. 12-P5. Efecto Compton: el fotón dispersado sale con mayor λ , lo que evidencia la disminución de su energía. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 13-P5. Observatorio astronómico de la UAS en Cosalá, Sinaloa. Descarga: (<http://debate.com.mx/sinaloa/culiacan/Una-vista-a-la-basura-espacial-desde-el-observatorio-en-Cosalá-Sinaloa-20230504-0010.html>)

Ejercicio 1. Elaboración Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Ejercicio 2. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Portadilla la Cápsula 6

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 1-P6. Materiales para realizar el péndulo electrostático casero. Fotografía Jesús Alfonso Félix Madrigal.

Fig. 2-P6. Docente explica la fuerza gravitacional entre dos cuerpos. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 3-P6. Retrato de René Descartes en el siglo XVII. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 4-P6. Esquema de interacción gravitatoria entre dos cuerpos. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

- Fig. 5-P6. Representación de la atracción gravitatoria entre la Tierra y la Luna. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)
- Fig. 6-P6. Fuerzas eléctricas entre dos cuerpos cargados. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)
- Fig. 7-P6. Ejemplo de atracción y repulsión electrostática. Cargas opuestas se atraen, mientras que cargas iguales se repelen. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)
- Fig. 8-P6. Dependencia de la fuerza gravitatoria o electrostática entre dos cuerpos con la separación entre ellos. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)
- Fig. 9-P6. Esquema simplificado del núcleo y el electrón del átomo de hidrógeno. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)
- Fig. 10-P6. Distancia desde el centro de la Tierra hasta la nave espacial. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)
- Ejercicio 1. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)
- Ejercicio 2. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Portadilla la Cápsula 7

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

- Fig. 1-P7. Materiales para la actividad de transformación de energía potencial eléctrica en energía potencial gravitatoria. Fotografía Jesús Alfonso Félix Madrigal.
- Fig. 2-P7. Docente explica la transformación entre energía potencial eléctrica y gravitatoria con el simulador virtual «electrostatics-3-pithball». Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)
- Fig. 3-P7. Líneas de campo eléctrico y magnético. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Fig. 4-P7. Al aumentar la distancia del satélite al centro de la Tierra aumenta la energía potencial gravitatoria del sistema Tierra-satélite. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)
- Fig. 5-P7. Principales hitos en el desarrollo de la teoría electromagnética. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)
- Fig. 6-P7. El experimento de Oersted mostró por primera vez la conexión de la electricidad y el magnetismo. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)
- Fig. 7-P7. Electroimán casero. Al enrollar un conductor con corriente sobre un clavo de hierro, el campo magnético se refuerza. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)
- Fig. 8-P7. Al acercar o alejar entre sí un imán y una bobina, varía la cantidad de líneas de campo que la atraviesa y la aguja indica una corriente momentánea. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)
- Fig. 9-P7. Una corriente variable en una antena emisora da lugar a onda electromagnética, que es recibida en la antena receptora de un radio. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)
- Fig. 10-P7. La nave incrementa su energía cinética y, por tanto su velocidad, a cuenta de energía del planeta. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)
- Fig. 11-P7. El Dr. Lemus durante su visita al CERN en Ginebra, Suiza, a 100 metros de profundidad, en mayo de 2014. Fotografía de José Alberto Alvarado Lemus.
- Fig. 12-P7. Representación de concentración de Na⁺ y K⁺ que da lugar a impulsos nerviosos en una neurona. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Ejercicio 1. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)
- Ejercicio 2. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Portadilla la Cápsula 8

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 1-P8. Materiales para la construcción de un circuito eléctrico simple. Fotografía Jesús Alfonso Félix Madrigal.

Fig. 2-P8. Docente explica circuitos en serie y en paralelo con el simulador virtual. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 3-P8. Circuito simple con fuente de voltaje, interruptor y lámpara. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Fig. 4-P8. Pila doméstica como fuente portátil de energía. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

Fig. 5-P8. Esquema de los componentes principales de una central termoeléctrica. La combustión calienta agua, el vapor impulsa la turbina y el generador produce electricidad. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 6-P8. Esquema de los elementos principales de una central hidroeléctrica. El agua del embalse acciona la turbina y el generador mediante caída controlada. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 7-P8. Transformador en poste para distribución de la energía eléctrica. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 8-P8. Esquemas del principio de funcionamiento de transformadores elevadores y reductores de voltaje . Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 9-P8. Esquema simplificado el proceso de transmisión y distribución de energía eléctrica. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 10-P8. La corriente a través del resistor convierte energía eléctrica en térmica. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Fig. 11-P8. Mediante la interacción entre conductores con corriente y campo magnético se transforma electricidad en movimiento mecánico útil. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

Fig. 12-P8. En una bocina electrodinámica la interacción entre la bobina con corriente y el imán pone en movimiento la membrana que produce el sonido. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

Fig. 13-P8. Tecnologías de iluminación. De izquierda a derecha: incandescente, fluorescente compacta y LED. Fotografía de Jesús Alfonso Félix Madrigal.

Ejercicio 1. Elaboración Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Ejercicio 2. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)

Portadilla la Cápsula 9

Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 1-P9. Materiales para la simulación de interacciones entre placas tectónicas. Fotografía de Jesús Alfonso Félix Madrigal.

Fig. 2-P9. Docente muestra el video sobre movimiento de las placas tectónicas. Construcción (IA ChatGPT 5°, 2025)

Fig. 3-P8. Estructura en capas de la Tierra. Elaboración Jesús Alfonso Félix Madrigal. (PowerPoint)

- Fig. 4-P9. Placas tectónicas mayores: la litosfera está fragmentada en piezas que encajan como un rompecabezas y se desplazan milímetros a centímetros por año. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Fig. 5-P9. Convección del manto que impulsa el movimiento de las placas tectónica. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Fig. 6-P9. Esquema del proceso de subducción. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Fig. 7-P9. Tres tipos de límites de placas. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)
- Fig. 8-P9. México se sitúa en la convergencia de las placas de Norteamérica, Cocos, Pacífico y Caribe. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Fig. 9-P9. El hipocentro es el punto donde se generan las ondas sísmicas; el epicentro es su proyección vertical en la superficie. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Fig. 10-P9. Esquema que muestra los registros de las ondas P y S en una estación sísmica. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)
- Fig. 11-P9. Gráficas de tiempo transcurrido en función de la distancia recorrida por las ondas P y S en cierta región, suponiendo que sus velocidades son constantes. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus. (PowerPoint)
- Fig. 12-P9. Cada estación define una circunferencia con radio igual a la distancia estimada por la diferencia de llegada entre ondas P y S; el cruce de ellas da una estimación del epicentro. Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Ejercicio 1. Elaboración Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- Ejercicio 2. Elaboración Descarga: (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

Referencias de tablas

- Tabla 1-P3. Movimiento horizontal (MRU) y movimiento vertical (MRUA). Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.
- Tabla 1-P4. Comparación de tipos de colisiones. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.
- Tabla 1-P5. Tabla comparativa del espectro electromagnético. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.
- Tabla 1-P6. Comparación entre la interacción gravitacional y electrostática. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.
- Tabla 1-P7. Aplicaciones tecnológicas de los principios de conservación de energía en campos gravitatorios y electromagnéticos. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.
- Tabla 1-P8. Materiales ordenados de mayor a menor conductividad eléctrica. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.
- Tabla 2-P8. Comparación de tecnologías de generación eléctrica. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.
- Tabla 1-P9. Características físicas de las capas terrestres. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.
- Tabla 2-P9. Velocidades de propagación de ondas sísmicas a distintas profundidades. Elaboración José Alberto Alvarado Lemus.

GLOSARIO

Construye un glosario de términos y conceptos básicos que te ayudarán en este curso.

Construye un glosario de términos y conceptos básicos que te ayudarán en este curso.

GLOSARIO

Construye un glosario de términos y conceptos básicos que te ayudarán en este curso.

Construye un glosario de términos y conceptos básicos que te ayudarán en este curso.

LA ENERGÍA EN LOS PROCESOS DE LA VIDA DIARIA
Bachillerato universitario

Se terminó de imprimir en noviembre de 2025 en los talleres gráficos
de SERVICIOS EDITORIALES ONCE Ríos, S.A. DE C.V.,
Luis González Obregón S/N, Nuevo Bachigualato, C.P. 80135,
Tel. 667 712 2950, Culiacán, Sin., México

Esta obra consta de 18,000 ejemplares.

