

III
IV

Física

FÍSICA III-IV MEDIO | TEXTO DEL ESTUDIANTE

AUTOR: JIMMY MUÑOZ RODRÍGUEZ
Licenciado en Física, Bachiller en Ciencias, Pontificia Universidad Católica de Chile.
Profesor de 1° a 4° año de Educación Media.

ASESOR PEDAGÓGICO: MAURICIO CONTRERAS
Licenciado en Ciencias con mención en Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
Doctor en Física, Universidad de Chile.

I.S.B.N.: 978-956-12-2548-0
6ª edición, noviembre de 2017
Nº de ejemplares: 121.915

© 2012 por Empresa Editora Zig-Zag, S.A.
Inscripción Nº 222.877. Santiago de Chile.
Derechos exclusivos de edición reservados por
Empresa Editora Zig-Zag, S.A.
Editado por Empresa Editora Zig-Zag, S.A.
Los Conquistadores 1700. Piso 10. Providencia.
Teléfono 228107400. Fax 8107455.
E-mail:zigzag@zigzag.cl
Santiago de Chile.

El presente libro no puede ser reproducido ni en todo ni en parte, ni archivado ni transmitido por ningún medio mecánico, ni electrónico, de grabación, CD-Rom, fotocopia, microfilmación u otra forma de reproducción, sin la autorización escrita de su editor.

Impreso por RR Donnelley.
Santa Bernardita 12017. San Bernardo.
Santiago de Chile.

FÍSICA 3° - 4° MEDIO
UN PROYECTO DE EMPRESA
EDITORA ZIG-ZAG S. A.

Gerente General
Ramón Olaciregui

Directora editorial
Mirta Jara

Autor
Jimmy Muñoz Rodríguez

Asesor pedagógico
Mauricio Contreras

Edición y revisión
Equipo de Ciencias Zig-Zag

Corrección lingüística
Alida Montero

Director de arte
Juan Manuel Neira

Director de producción
Franco Giordano

Diseñadoras
Vanessa Kusjanovic
Marta Letelier

Equipo de diseño de apoyo
Mirela Tomicic
Pamela Buben
Alfonso Díaz
Sergio Ridaura
Oscar Lastra

Ilustradores
Fernando Vergara
Javier Bermúdez
Carlos González

Fotografías
Archivo editorial
Banco fotográfico Shutterstock
– Corporación Nacional Forestal
– ESO Observatorio Europeo Austral



Autor

Jimmy Muñoz Rodríguez

Colaboran con esta publicación los siguientes especialistas:

Luis Brahim Navarrete
Profesor de Física
Universidad de Chile
Magíster en Educación y Multimedia
Universidad Autónoma de Barcelona

Mauricio Contreras González
Licenciado en Ciencias con mención en Física
Magíster en Física, mención en Física Nuclear
Doctor en Física
Universidad de Chile
Académico de la Universidad Adolfo Ibáñez

Martín Contreras Slotosch
Profesor de Estado en Química
Universidad de Chile
Doctor en Ciencias Naturales
Universidad de Karlsruhe, Alemania
Académico de la Universidad San Sebastián

Juan Francisco Espinoza Gutiérrez
Profesor de Física
Universidad de Chile
Magíster en Educación, mención Currículum
Educacional en Física Experimental y de la Astronomía
Académico de la Universidad Metropolitana de
Ciencias de la Educación

Leonor Patricia Huerta Cancino
Ingeniera en Física
Universidad de Santiago de Chile
Magíster en Ciencias, mención en Astronomía
Universidad de Chile
Académica de la Universidad de Santiago de Chile.

Héctor Mario Meneses Alcay
Profesor de Matemáticas
Universidad Católica de Valparaíso
Académico de la Universidad Católica de Valparaíso

Raúl Opazo Sepúlveda
Profesor de Química
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

Índice

Unidad 1: Fuerza y movimiento

Capítulo 1

Mecánica de los cuerpos en trayectorias curvilíneas.... 10
Actividad exploratoria.... 11
Sección 1 Movimiento circunferencial uniforme.... 12
Tema 1 Descripción del movimiento circunferencial uniforme.... 12
Tema 2 Ejemplos de aplicaciones de las relaciones entre magnitudes del movimiento circunferencial uniforme.... 22
Ejercicio resuelto N°1.... 22
Ejercicio resuelto N°2.... 23
Ejercicio resuelto N°3.... 24
Ejercicio resuelto N°4.... 25
Ejercicio resuelto N°5.... 26
Evaluación de sección.... 27
Sección 2 Dinámica de las rotaciones.... 28
Tema 1 La fuerza centrípeta.... 28
Ejercicio resuelto N°1.... 31
Ejercicio resuelto N°2.... 33
Tema 2 La inercia rotacional.... 36
Ejercicio resuelto N°3.... 42
Evaluación de sección.... 45
Sección 3 El torque y el momento angular.... 46
Tema 1 El torque y las rotaciones.... 46
Ejercicio resuelto N°1.... 48
Ejercicio resuelto N°2.... 52
Tema 2 El momento angular y su conservación.... 53
Ejercicio resuelto N°3.... 55
Ejercicio resuelto N°4.... 59
Ejercicio resuelto N°5.... 60
Ejercicio resuelto N°6.... 61
Evaluación de sección.... 61
Laboratorio: Experimentando la conservación del momento angular.... 62
Lectura científica: El momento angular como una magnitud fundamental.... 64
Cierre capítulo: Repaso ideas principales.... 66
Bibliografía recomendada.... 67
Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS?.... 68
Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo.... 72

Capítulo 2

Mecánica de fluidos.... 74
Actividad exploratoria.... 75
Sección 1 Propiedades de los fluidos.... 76
Tema 1 Descripción general de la materia.... 76
Tema 2 Propiedades de los fluidos.... 78
Ejercicio resuelto N°1.... 80
Evaluación de sección.... 83
Sección 2 Fluidos en reposo.... 84
Tema 1 Presión hidrostática.... 84
Ejercicio resuelto N°1.... 85
Ejercicio resuelto N°2.... 88
Ejercicio resuelto N°3.... 88
Ejercicio resuelto N°4.... 89
Tema 2 Ecuación fundamental de la hidrostática.... 90
Ejercicio resuelto N°5.... 92
Tema 3 Principio de Pascal.... 95
Ejercicio resuelto N°6.... 97
Tema 4 Principio de Arquímedes.... 98
Ejercicio resuelto N°7.... 100
Evaluación de sección.... 105
Sección 3 Fluidos en movimiento.... 108
Tema 1 Flujo de un fluido.... 108
Ejercicio resuelto N°8.... 113
Ejercicio resuelto N°9.... 117
Evaluación de sección.... 120
Información complementaria.... 121
Cierre capítulo: Repaso ideas principales.... 122
Bibliografía recomendada.... 123
Lectura científica: superfluidez.... 124
Actividad experimental: El vaso de Arquímedes.... 126
Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS?.... 128
Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo.... 130

Capítulo 3

Física de los cuerpos cargados.... 132
Actividad exploratoria.... 133
Sección 1 La interacción eléctrica.... 134
Tema 1 Fuerzas entre cargas en reposo, Coulomb vs. Newton.... 134
Ejercicio resuelto N°1.... 138
Ejercicio resuelto N°2.... 142
Tema 2 Cargas eléctricas.... 143
Tema 3 Intensidad del campo eléctrico.... 152
Ejercicio resuelto N°3.... 156
Tema 4 Potencial electrostático.... 158
Ejercicio resuelto N°4.... 158
Ejercicio resuelto N°5.... 161
Evaluación de sección.... 161
Sección 2 Cargas en movimiento.... 162
Tema 1 Corriente eléctrica.... 162
Ejercicio resuelto N°1.... 165
Tema 2 Circuitos y ley de Ohm.... 166
Ejercicio resuelto N°2.... 170
Ejercicio resuelto N°3.... 174
Tema 3 Energía y potencia en circuitos eléctricos.... 175
Ejercicio resuelto N°4.... 176

Tema 4 Combinación de resistencias 178
Ejercicio resuelto N°5 182
Tema 5 Circuito doméstico y combinación de resistencias 184
Evaluación de sección 187
Actividad experimental individual: consumo eléctrico en el hogar 188
Sección 3 Magnetismo y fuerzas entre cargas en movimiento 190
Tema 1 Conceptos fundamentales del campo magnético: imanes y corrientes 190
Tema 2 Fuerza magnética sobre un conductor 198
Ejercicio resuelto N°1 200
Evaluación de sección 205
Sección 4 Movimiento relativo y fuerzas electromagnéticas 206
Tema 1 Inducción electromagnética 206
Ejercicio resuelto N°1 216
Evaluación de sección 220
Cierre capítulo: Repaso ideas principales 222
Bibliografía recomendada 223
Lectura científica: Efectos fisiológicos de las corrientes 224
Taller: Construcción de un motor eléctrico 226
Laboratorio: Elementos electromagnéticos 228
Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS? 229
Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo 230

Capítulo 4

Física al interior del núcleo atómico 234
Actividad exploratoria 235
Sección 1 Física en el átomo 236
Tema 1 Estructura de la materia 236
Tema 2 Modelos atómicos 238
Ejercicio resuelto N°1 245
Evaluación de sección 245
Sección 2 Estabilidad de la materia y fuerzas nucleares 246
Tema 1 Propiedades de los núcleos atómicos 246
Ejercicio resuelto N°1 247
Tema 2 Fuerzas nucleares 252
Tema 3 Modelos nucleares 253
Tema 4 Estabilidad nuclear 255
Evaluación de sección 257
Cierre capítulo: Repaso ideas principales 258
Bibliografía recomendada 258
Lectura científica: La física nuclear y el diagnóstico por imagen 259
Información complementaria 260
Laboratorio: Un símil de espectroscopía 262
Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS? 263
Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo 264
Evaluación de unidad 266

Unidad 2: Tierra y universo

Capítulo 1

Mecanismos fisicoquímicos y la acción humana que afectan a la Tierra 270
Actividad exploratoria 271
Sección 1 Factores fisicoquímicos que afectan a la Tierra 272
Tema 1 Mecanismos fisicoquímicos en la regulación del clima terrestre 272
Tema 2 Impacto ambiental 284
Tema 3 Mecanismos físicos presentes en la dinámica de la hidrosfera 299
Tema 4 Mecanismos fisicoquímicos en los fenómenos que afectan a la litosfera 302
Evaluación de sección 307
Sección 2 Uso eficiente de los recursos energéticos 308
Tema 1 Recursos energéticos 308
Tema 2 Energías alternativas 316
Evaluación de sección 321
Cierre capítulo: Repaso ideas principales 322
Bibliografía recomendada 322
Lectura científica: Reciclaje de los plásticos 323
Trabajo de campo 324
Taller: Variaciones del clima terrestre antes del Cuaternario 326
Lectura científica: Eficiencia energética 328
Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS? 330
Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo 332

Capítulo 2

Nuestro universo 334
Actividad exploratoria 335
Sección 1 El universo 336
Tema 1 Propiedades físicas de las galaxias 336
Ejercicio resuelto N°1 345
Tema 2 Evidencias experimentales del Big Bang 346
Ejercicio resuelto N°2 348
Evaluación de sección 353
Sección 2 Formas en el cielo 354
Tema 1 Cielo diurno, cielo nocturno 354
Evaluación de sección 363
Cierre capítulo: Repaso ideas principales 364
Actividad Experimental: ¿Cómo se ve la luz visible a través de una nube de gas o polvo estelar? 365
Bibliografía recomendada 365
Lectura científica: Las estrellas de neutrones 366
Información complementaria 368
Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS? 370
Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo 372
Evaluación de unidad 374

Anexos 376

Normas de seguridad 376
Solucionario 377
Glosario 388
Técnicas y procedimientos científicos 395
Índice temático 398
Bibliografía 400

Estructura gráfica del texto



Inicio de unidad

La doble página te presenta el propósito de la unidad, un texto breve que sintetiza los grandes temas por tratar y una pregunta para que inicies el diálogo y discusión sobre los temas de cada capítulo. De fondo, una imagen alusiva al propósito.

En la parte inferior se anuncia la forma como se ha organizado la unidad y a qué curso corresponde cada capítulo.



Inicio de capítulo

Cada capítulo se inicia en doble página, con una imagen representativa y una breve explicación que orientará los objetivos de aprendizaje de la sección. Se presenta una actividad exploratoria que te ayudará a retomar aprendizajes anteriores y a articularlos con los que presenta cada sección del capítulo. Se anuncian los prerrequisitos del gran tema y la forma en que se ha organizado el capítulo.



Desarrollo de contenidos

El capítulo está dividido en secciones que desarrollan cada uno de los objetivos de aprendizaje. Al inicio de cada sección se explicita qué vas aprender, qué conocimientos necesitas recordar para facilitar tu aprendizaje y los conceptos clave. A lo largo de la sección se van presentando los contenidos articulados y apoyados con el recurso gráfico para reforzar las ideas y facilitar el aprendizaje. En los márgenes laterales podrás encontrar algunas secciones como Ciencia en acción, que te ayudará a complementar lo planteado en la página, y Ciencias en red con referencias de direcciones Web para profundizar.

• Actividades

Para el logro de tus objetivos de aprendizaje en cada sección y tema, te proponemos actividades, ejercicios resueltos y mini-laboratorios, que te ayudarán a reforzar conceptos y a desarrollar procedimientos y habilidades.



• ¿Cómo vas?

Pequeña sección que te ayudará a monitorear lo que vas aprendiendo con cada concepto nuevo y, al final, la Evaluación de sección, que te servirá para que compruebes cuánto has aprendido.



• Repaso de ideas principales

Para cada sección del capítulo hemos preparado un pequeño resumen para que revises los conceptos entregados en cada sección y, paso siguiente, te sugerimos completar un esquema conceptual usando los conceptos clave que articulan y dan sentido a lo que has aprendido.



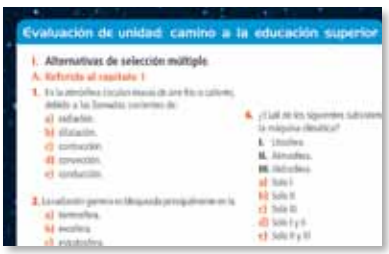
• Evaluación de capítulo: ¿Cuánto recuerdas?

Te proponemos revisar tus aprendizajes de nuevos conceptos, aplicación de procedimientos y el manejo de habilidades con diversas alternativas para que monitorees tus avances y puedas detenerte y volver atrás si no has alcanzado el nivel para pasar a otro tema.



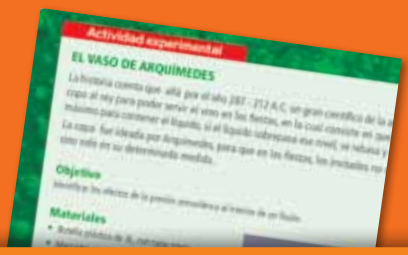
• Evaluación de unidad: camino a la educación superior

Te proponemos una serie de preguntas de alternativas sobre los conceptos centrales de los objetivos de aprendizaje presentados en el texto.

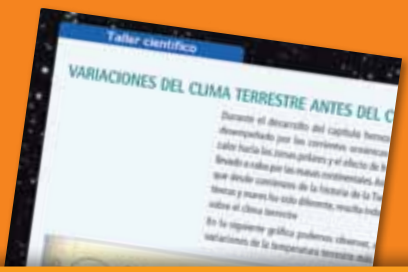


Otros recursos para...

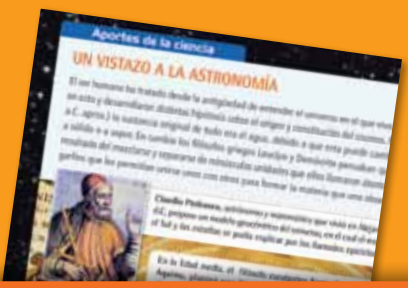
• Experimentar en Ciencias



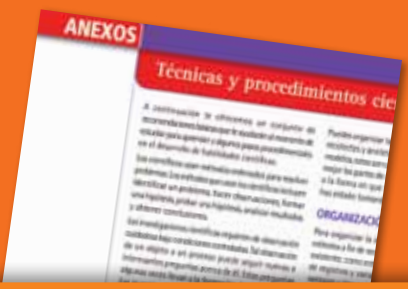
• Trabajar talleres para pensar, crear y construir



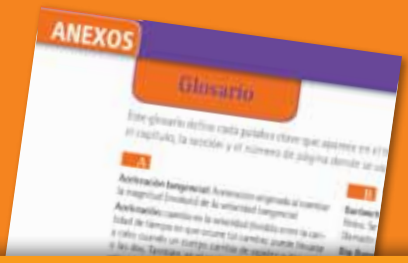
• Conocer los avances de la ciencia y quiénes contribuyen a ella



• Aprender técnicas y habilidades



• Aprender nuevas palabras



unidad 1

FUERZA Y MOVIMIENTO

¿Qué evidencias han permitido conocer las propiedades de la materia?

Mecánica de los cuerpos en trayectorias curvilíneas



Capítulo 1 3º Medio

Mecánica de fluidos



Capítulo 2 3º Medio

Una imagen, de entre varias, que viene a la mente al leer la frase fuerza y movimiento es la de una persona empujando o moviendo un objeto. Sin embargo, al buscar relaciones entre fuerza y movimiento, es posible llegar a la conclusión de que en la naturaleza todos los cuerpos están en movimiento sin importar si se encuentran en estado sólido, líquido o gaseoso y que las fuerzas que ejercen o actúan sobre ellos no solo están referidas a la interacción mediante contacto entre dos o más cuerpos.

Muchas de estas relaciones fueron estudiadas y formalizadas por Isaac Newton, y posterior a él han sido varios los investigadores que han enriquecido y complementado el estudio de las fuerzas y sus efectos sobre los cuerpos. Por otra parte, el estudio del comportamiento de los diferentes estados de la materia y las interacciones que actúan en ellos ha permitido estudiar, por ejemplo, el comportamiento de los fluidos cuando son sometidos a diversas fuerzas, establecer las leyes del movimiento de los fluidos, y fenómenos tales como un chispazo o un rayo en medio de una tormenta han despertado la curiosidad que ha llevado al estudio de la estructura de los átomos y establecer modelos que explican las propiedades de la materia y de las partículas que la constituyen.

La aplicación práctica de todos estos conocimientos han llevado al diseño y construcción de máquinas simples, como una polea, a la construcción de reactores nucleares, o, más cercano a nosotros, aparatos tecnológicos touch que facilitan las actividades diarias de nuestra vida.

Física de los cuerpos cargados



Capítulo 3 4º Medio

Física al interior del núcleo atómico



Capítulo 4 4º Medio

Capítulo 1



MECÁNICA DE LOS CUERPOS EN TRAYECTORIAS CURVILÍNEAS

¿Recuerdas cómo describir el movimiento de un cuerpo? En segundo medio abordaste los temas relativos a la descripción de movimientos rectilíneos uniformes y acelerados tanto en su formulación analítica como en su representación gráfica. Sin embargo, los movimientos de los cuerpos que observas a diario describen diferentes trayectorias, entre ellas las de tipo circunferencial.

Si tienes la experiencia de haber estado en una rueda como la de la fotografía inicial, entonces ya has experimentado lo que se llama un movimiento circunferencial uniforme. Mientras la rueda gira, siempre te encuentras a una misma distancia del centro de giro, y describes cada vuelta completa en intervalos iguales de tiempo.

En este capítulo aprenderás las herramientas necesarias para describir y analizar un movimiento como el de la rueda y otros ejemplos a partir de conceptos que ya conoces, como la velocidad, la aceleración, la fuerza y las leyes de Newton, pero ahora extendidas a situaciones en que los móviles describen trayectorias circunferenciales. El movimiento más general de los cuerpos incluye la traslación y la rotación. La sección 1 del capítulo estudia la cinemática de la rotación, es decir, la descripción de esos movimientos, y las dos secciones siguientes abordan las causas de esos movimientos, es decir, la dinámica de las rotaciones.

Lo que estudiarás

- El movimiento circunferencial uniforme y la rotación de los cuerpos rígidos a partir de las leyes y las relaciones matemáticas elementales que los describen.

Lo que debes saber

- Describir el movimiento de los cuerpos a partir de las leyes de la mecánica y de las relaciones matemáticas elementales que los describen.

Actividad exploratoria

En la siguiente actividad experimentarás qué sucede cuando ruedan cuerpos por un plano inclinado.

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel.

MATERIALES

- Tabla de un metro de longitud, aproximadamente.
- Cuerpos sólidos pequeños diversos, esféricos y cilíndricos, como un trozo de vela, bolita, anillo, rodamiento, lápiz, rollo de cinta de pegar, u otros similares.

ANTES DE COMENZAR

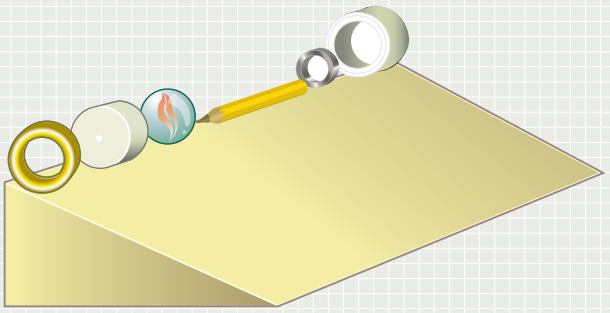
- Si al ubicar en el plano inclinado los objetos que reuniste los sueltas simultáneamente desde el punto más alto, ¿cuál llegará primero a la base del plano inclinado?, ¿o lo harán todos a la vez?

PROCEDIMIENTO

1. Forma un plano inclinado con la tabla.

2. En la parte más alta del plano inclinado, coloca dos objetos cualesquiera de los que conseguiste y déjalos rodar plano abajo. No les apliques ningún impulso inicial, y verifica que los objetos no resbalen, solo deben rodar. Repite la acción para asegurar tus observaciones.

3. Remplaza los objetos anteriores por otro par, y así hasta haber probado con todos ellos.



▲ Plano inclinado por donde ruedan los objetos

CONCLUSIONES

1. ¿Se cumplió tu predicción inicial? ¿Cuál llegó primero a la base del plano inclinado al dejar rodar por él a los diversos objetos?

2. ¿Cuál fue el objeto que demoró menos y cuál el que demoró más en recorrer el plano inclinado? Compáralos entre sí y trata de encontrar alguna diferencia respecto a la distribución de materia en ellos.

3. Busca en libros o Internet información que pueda complementar tus razonamientos y elabora una presentación. Contrasta tu conclusión con la de tus compañeros.

4. ¿Qué aprendí con esta actividad?

SECCIONES

1 MOVIMIENTO CIRCUNFERENCIAL UNIFORME

2 DINÁMICA DE LAS ROTACIONES

3 EL TORQUE Y EL MOMENTO ANGULAR

¿Has subido alguna vez a la plataforma giratoria de un parque de entretenciones como la de la **figura 1.1**? ¿Qué sientes cuando vas en un vehículo que toma una rotonda tal que el velocímetro marca un único valor, por ejemplo 50 km/h? Estas dos situaciones son ejemplos de lo que se denomina **movimiento circunferencial uniforme**. Lo de circunferencial se refiere por cierto a que la **trayectoria** que describe el móvil es circunferencial, y lo de uniforme se refiere a que la rapidez es constante.



Figura 1.1
Los puntos de una plataforma giratoria en un parque de entretención describen circunferencias cuando esta se mueve, por ello se habla de movimiento circunferencial

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer las diversas magnitudes vectoriales y escalares que describen el movimiento circunferencial uniforme y las relaciones entre ellas.

PRERREQUISITOS

- Conocer los conceptos de la cinemática unidimensional.
- Saber analizar movimientos rectilíneos.
- Operar algebraicamente con magnitudes físicas.
- Observar y experimentar.

CONCEPTOS CLAVE

- Velocidad tangencial
- Velocidad angular
- Aceleración centrípeta

TEMA 1: Descripción del movimiento circunferencial uniforme

Cuando una partícula se mueve en una circunferencia con rapidez constante, tiene un movimiento circunferencial uniforme y la dirección de su velocidad cambia. Para estudiar las características de este tipo de movimiento, introduciremos el concepto de vector. Pero ¿qué son los vectores? A continuación, recordaremos sus características principales.

Módulo, dirección y sentido

Para móviles que se mueven a lo largo de una curva se utiliza un lenguaje matemático basado en el concepto de **vector**. Un vector se representa gráficamente por medio de una flecha que se puede describir por su valor o **módulo**, su **dirección** y su **sentido**. ¿Recuerdas la distinción entre dirección y sentido? Por ejemplo, una calle define una dirección con dos sentidos: hacia el norte y hacia el sur.

Observa la **figura 1.2** El vector $\vec{a}$ de la figura tiene un origen O y un extremo B. Su módulo lo representaremos por a.

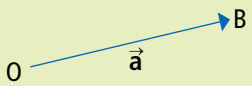


Figura 1.2 Representación geométrica de un vector

El siguiente ejemplo puede aclarar la necesidad de introducir los vectores para describir situaciones físicas. Si preguntas, por ejemplo, *¿cuál es la temperatura ambiente actual?*, la respuesta podría ser *15* ^{o}C, que incluye un número y una unidad, pero si preguntas por la rapidez del viento podría ser de 10 km/h. Con esta respuesta no sabrías hacia dónde sopla, pues falta información.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cómo se representa gráficamente un vector?

Para saber la dirección en la que sopla el viento se necesita conocer su **velocidad**. Este incluye un número, una unidad, una dirección y un sentido. Por ejemplo: 10 km/h hacia el norte. La rapidez es una magnitud escalar, pero la velocidad es una magnitud vectorial.

Al igual que con los números, con los vectores pueden efectuarse varias operaciones matemáticas, tales como la adición, la sustracción, o bien multiplicarlos por un escalar, entre otras. Las siguientes figuras, presentes en la **figura 1.3**, ilustran algunas operaciones con vectores en representación geométrica.

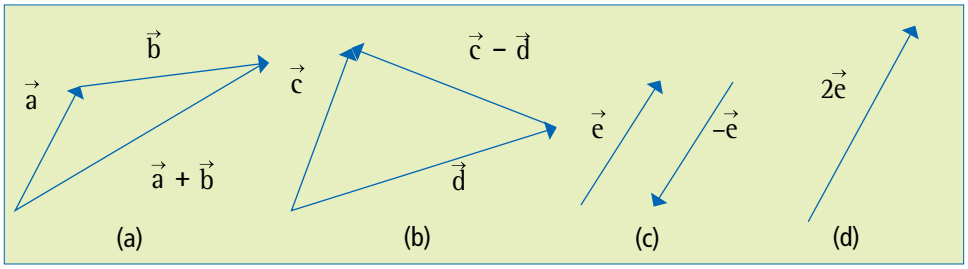


Figura 1.3
Operaciones con vectores

En (a), el vector $\vec{b}$ tiene su origen en el extremo de $\vec{a}$. El vector resultante $\vec{a} + \vec{b}$ tiene su origen en el de $\vec{a}$ y su extremo en el de $\vec{b}$. Debemos notar en este caso, que el módulo del vector $\vec{a} + \vec{b}$ no es igual a la suma de los respectivos módulos de los vectores que se suman: es menor.

En (b), el vector resultante $(\vec{c} - \vec{d})$ apunta desde el extremo de $\vec{d}$ al extremo de $\vec{c}$. Esta diferencia es un caso particular de adición, porque se cumple que $\vec{c} = \vec{d} + (\vec{c} - \vec{d})$. En efecto, si eliminas el paréntesis, queda $\vec{c} = \vec{c}$.

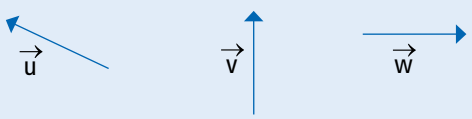
En (c), el vector $-\vec{e}$ tiene igual módulo y dirección que $\vec{e}$, pero su sentido es opuesto, debido a la ponderación por el escalar -1.

En (d), el vector $2\vec{e}$ es paralelo al vector $\vec{e}$, tiene el mismo sentido, pero su módulo es el doble que el de $\vec{e}$. Un vector también puede dividirse por un escalar; por ejemplo, $\vec{e}/2$ es un vector con la dirección y sentido de $\vec{e}$, pero con la mitad de su longitud.

Los vectores pueden trasladarse paralelamente a sí mismos para efectuar cualquier operación con ellos.

Evaluación individual

Considera los vectores $\vec{u}$, $\vec{v}$ y $\vec{w}$.



Encuentra gráficamente los siguientes vectores:

a) $2\vec{u} + \vec{v}$ **b)** $\vec{v} - \vec{w}$ **c)** $-3\vec{w}$

d) $-2\vec{u} + 3\vec{w}$ **e)** $\vec{u} + \vec{v} + \vec{w}$

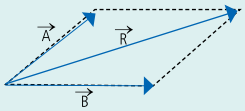
INVESTIGA Y RESPONDE

- Para que se cumpla que el módulo de la suma de los vectores $\vec{u}$ y $\vec{v}$ sea igual a la suma del módulo del vector $\vec{u}$ más el módulo del vector $\vec{v}$, ¿cómo deben estar ubicados los vectores $\vec{u}$ y $\vec{v}$?

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
- http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/unidades/unidades.htm/ Consulta agosto 2015.
- http://www.fisicanet.com.ar/matematica/vectores/ap01_vectores.php

TEN PRESENTE

- **Regla del paralelogramo**
Para sumar dos vectores gráficamente, se aplica la llamada "regla del paralelogramo", que consiste en la siguiente secuencia de operaciones: Si queremos sumar los vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$, primero, unimos los puntos de aplicación (inicio) de ambos vectores y a continuación, trazamos en los extremos de cada uno de ellos (punta de la flecha), una línea paralela al vector opuesto que se está sumando. Se formará un paralelogramo; la diagonal de este paralelogramo será el vector resultante de la suma de $\vec{A}$ y $\vec{B}$, es decir: $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$



REFLEXIONA

- ¿Para qué se usan los vectores en física?

REVISANDO LO QUE SABES

- Magnitud física: es cualquier propiedad de la materia, de la energía, o de sus transformaciones, presente en un sistema físico, y que puede ser medida utilizando un instrumento y escala adecuada.
Ejemplos:
Longitud - Temperatura - Posición
Tiempo - Rapidez - Aceleración
Masa - Velocidad - Presión

Las longitudes se miden, generalmente, en kilómetros, centímetros, decímetros, metros, etc. siendo esta última la unidad de longitud aceptada en el Sistema Internacional de Medidas (SI). En otros sistemas la unidad es otra. ¿Es el amor una magnitud física? Justifica tu respuesta.

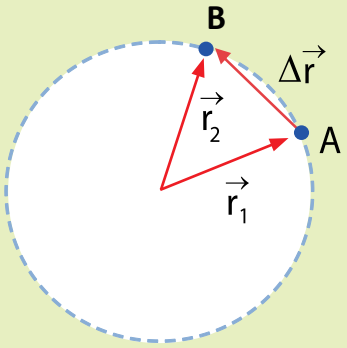


Figura 1.4
Partícula en movimiento circunferencial uniforme

REVISANDO LO QUE SABES

- ¿Cuál es la diferencia entre el vector de posición del MRU y el que se utiliza en el movimiento circunferencial uniforme?

Las magnitudes vectoriales que describen el movimiento circunferencial uniforme

La **figura 1.4** muestra una partícula que describe un movimiento circunferencial uniforme de radio r con centro en O.
En ella, $\vec{r}_1$ es el **vector posición** de la partícula cuando pasa por el punto A en el instante t_1, y $\vec{r}_2$ es el vector posición de la partícula cuando pasa por el punto B en el instante t_2. El módulo de los vectores $\vec{r}_1$ y $\vec{r}_2$ es igual a r, radio de la trayectoria circunferencial. Entonces la diferencia $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ representa el **desplazamiento** de la partícula entre los puntos A y B (el símbolo Δ, se lee "delta" y se utiliza para representar diferencias). Nota que el desplazamiento no coincide con la **trayectoria** o camino circunferencial que describe la partícula.

La velocidad media y la velocidad instántanea

La **velocidad media** de la partícula en el intervalo de tiempo $\Delta t = t_2 - t_1$ se define de la siguiente manera: $\vec{v}_m = \dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$.

El vector velocidad media tiene la dirección y el sentido del vector desplazamiento $\Delta\vec{r}$, y es válido para un intervalo de tiempo. De la velocidad media ($\vec{v}_m$) se deduce la velocidad instantánea ($\vec{v}$) al decrecer indefinidamente los intervalos de tiempo Δt.

De este modo, la velocidad instantánea se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Donde el símbolo $lim_{\Delta t \to 0}$ que aparece en la definición, significa que el lapso de tiempo que se considera entre las mediciones de las posiciones de las partículas, es cada vez más pequeño, tendiendo en su límite, a cero.

La velocidad instantánea

La velocidad instantánea, como indica su nombre, es válida para cada instante de tiempo y tiene naturaleza vectorial, es decir, posee una **dirección**, un **sentido** y un **módulo** llamado rapidez, la cual es señalada, por ejemplo, en el velocímetro de un automovil. ¿Cómo está orientado la velocidad instantánea en el movimiento circunferencial uniforme? Analicémoslo mediante la **figura 1.5**. Haciendo decrecer sucesivamente el intervalo de tiempo Δt a partir de la posición A, la partícula recorre la circunferencia en sentido antihorario cada vez en un intervalo de tiempo menor.

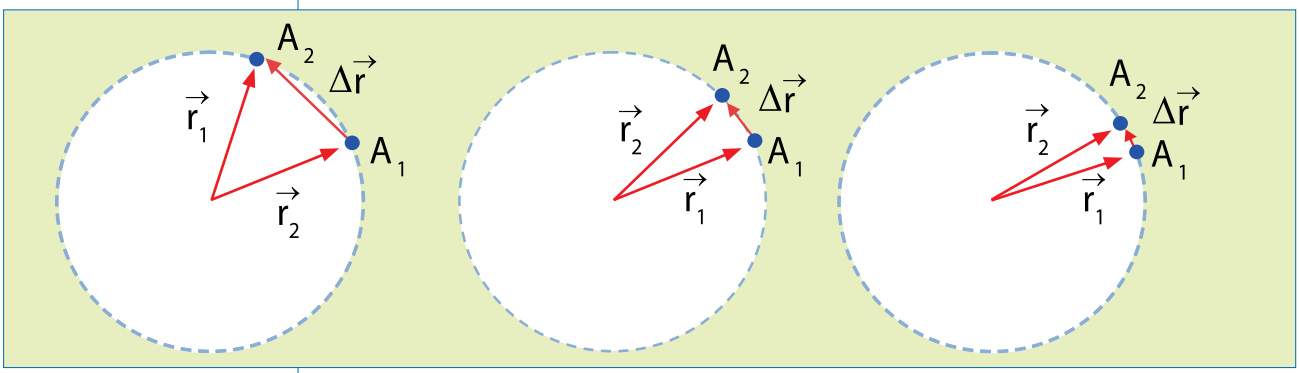
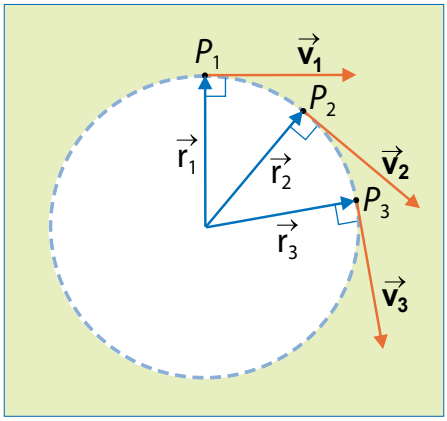


Figura 1.5
Representación de la velocidad instantánea en un movimiento circunferencial

Entonces, a partir de la representación de la secuencia gráfica de la **figura 1.5** es posible deducir que:

- Cuando el intervalo de tiempo Δt decrece, entonces el vector desplazamiento $\Delta\vec{r}$ tiende a ser perpendicular al vector posición de la partícula.
- Si $\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$, podemos afirmar que en el límite del decrecimiento del intervalo de tiempo Δt, el vector velocidad instantánea es **perpendicular al vector posición** y **tangente a la trayectoria.**

La **figura 1.6** ilustra la ubicación de los vectores posición y velocidad instantánea de la partícula que describe un movimiento circunferencial uniforme en sentido antihorario en tres instantes diferentes. En lo sucesivo, llamaremos simplemente **velocidad** a la velocidad instantánea.



$$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = |\vec{v}_3| = \text{constante}$$

Figura 1.6
Vectores posición y velocidad en un movimiento circunferencial uniforme

minirresumen

En el movimiento circunferencial uniforme se cumple que:

- El vector posición de la partícula mantiene su origen. Su extremo describe una circunferencia. Esta es la trayectoria de la partícula.
- La velocidad de la partícula es un vector tangente a su trayectoria y es además, perpendicular al vector posición. La velocidad es variable, ya que cambia de dirección, en cada punto de la trayectoria de la partícula y apunta en el sentido del movimiento de esta. Por tal razón, se le llama también, velocidad tangencial o velocidad lineal.
- La rapidez lineal de la partícula, es decir, el módulo de la velocidad lineal, se mantiene constante.

evaluación individual

1. ¿Como se representa geométricamente la velocidad?
2. ¿Cuál es la diferencia entre un círculo y una circunferencia?
3. ¿Qué diferencia hay entre un movimiento rectilíneo y un movimiento circunferencial?
4. ¿Cómo se definen rapidez y velocidad?
5. ¿Cómo se representa la velocidad en un movimiento rectilíneo?
6. ¿Cómo representarías la velocidad en un movimiento circunferencial?

REFLEXIONA

- ¿Cuál es la diferencia entre la velocidad y la rapidez de una partícula que describe una trayectoria circunferencial?

TEN PRESENTE

- Recordemos que el concepto de rapidez media (magnitud escalar) es el cociente entre la distancia recorrida por un móvil y el intervalo de tiempo empleado en recorrer esa distancia, lo que escribimos

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

y el concepto de velocidad media (magnitud vectorial) es el cociente entre el desplazamiento de un móvil y el intervalo de tiempo empleado en realizar dicho desplazamiento, y lo escribimos como,

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}.$$

REVISANDO LO QUE SABES

- Recordemos que una magnitud vectorial se representa geométricamente a través de un segmento orientado –una flecha– llamado vector. Esto significa que posee cuatro elementos:
  a) Un origen o inicio.
  b) La dirección del vector corresponde a la dirección de la recta que contiene al vector.
  c) Un sentido o hacia donde apunta el vector a lo largo de la dirección señalada.
  d) El módulo o magnitud de un vector, corresponde al valor de la magnitud vectorial, la cual se acompaña con la unidad correspondiente.

  Si cualquiera de estas características cambia, el vector varía.



Figura 1.7
Representación de la velocidad instantánea
En una curva sin declive, ¿cómo es la aceleración de un automóvil cuyo tablero indica 45 km/h constante?

La aceleración en el movimiento circunferencial uniforme

Así como la velocidad describe la variación temporal del desplazamiento de una partícula, la aceleración, a su vez, describe la **variación temporal de la velocidad**. Para deducir el vector aceleración en el movimiento circunferencial uniforme, comencemos reconociendo como cambia el vector velocidad en una situación como la siguiente:

En la **figura 1.7 a** se representa parte de la trayectoria de una partícula que describe un movimiento circunferencial uniforme en sentido anti horario. En esta figura se han representado los vectores velocidad en tres diferentes posiciones de la partícula y a iguales intervalos Δt de tiempo: $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ y $\vec{v}_3$. Observa que la velocidad es siempre tangente a la trayectoria, lo que indica la dirección y sentido del movimiento, como se vio anteriormente. Su módulo es constante por tratarse de un movimiento uniforme.

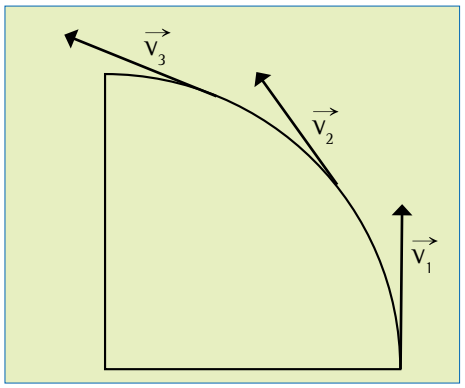


figura 1.7 a

Para determinar la variación vectorial de la velocidad desde $\vec{v}_1$ a $\vec{v}_2$ y desde $\vec{v}_2$ a $\vec{v}_3$ al transcurrir el intervalo de tiempo Δt, comenzamos dibujando los vectores velocidad con un origen común y uniendo sus extremos, como se muestra en la **figura 1.7 b.**

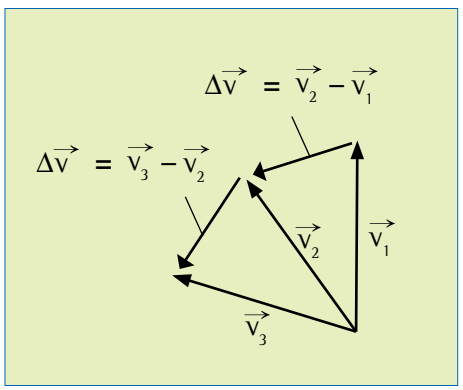


figura 1.7 b

Ahora, para determinar la variación instantánea de velocidad, los intervalos de tiempo Δt deben disminuir hasta que su valor tienda a cero.

En la **figura 1.7 c**, los intervalos Δt de tiempo son menores que en la figura **1.7 b**. ¿Qué se observa respecto a la dirección de los vectores $\Delta\vec{v}$ cuando Δt tiende a cero? La disposición de los $\Delta\vec{v}$ es prácticamente perpendicular a los vectores velocidad, por lo que se puede concluir que, en el límite, cuando las variaciones de tiempo tienden a cero, los vectores $\vec{v}$ y $\Delta\vec{v}$ son perpendiculares entre sí.

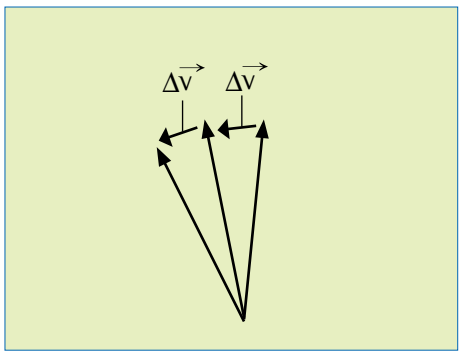


figura 1.7 c

La aceleración de un movimiento mide la **variación temporal** de la **velocidad**. Se define la aceleración instántanea, o simplemente **aceleración**, de la siguiente manera:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Capítulo 1

Según esta igualdad vectorial, la dirección y sentido del vector aceleración están determinados por la variación de velocidad $\Delta\vec{v}$ en cada instante. Por consiguiente, el vector aceleración ($\vec{a}$) es siempre perpendicular al vector velocidad ($\vec{v}$) y apunta hacia el centro de la trayectoria circunferencial, como se muestra en la **Figura 1.8** . Se le llama **aceleración centrípeta.**

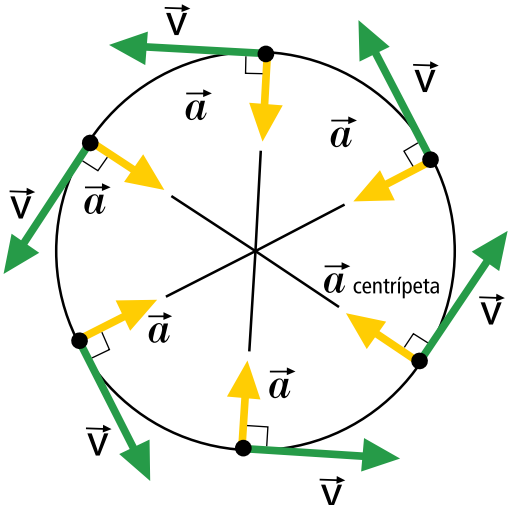


Figura 1.8

Para una partícula en movimiento circunferencial uniforme, la velocidad en cada punto es tangente al círculo y la aceleración está dirigida hacia el centro

REVISANDO LO QUE SABES

- Recordemos que el concepto de aceleración es el de cambio de velocidad en cada unidad de tiempo, esto es:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

- Al cambiar de dirección el vector velocidad tangencial, en cada instante, se origina un cambio de velocidad en un intervalo de tiempo, es decir, se genera una aceleración con dirección y sentido que tiene el vector cambio o diferencia de velocidad radial apuntando hacia el centro de la circunferencia. Se demuestra que el valor numérico de este vector se determina por la expresión

$$a_c = \frac{v_t^2}{R}$$

siendo v_t el módulo de la velocidad tangencial (rapidez lineal) y R el radio.

minirresumen

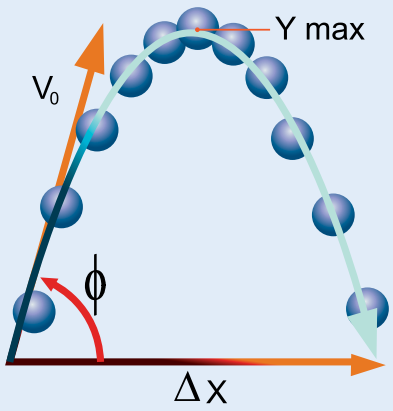
En el movimiento circunferencial uniforme se cumple que:

- La rapidez es constante, pero la velocidad cambia de dirección.
- La aceleración apunta hacia el centro de la trayectoria.

¿CÓMO VAS? actividad

1. Dibuja en una cartulina, con un compás, escuadra y lápices de colores, una trayectoria circunferencial y los vectores posición, velocidad lineal y aceleración centrípeta para tres instantes distintos.
2. En un movimiento circunferencial uniforme de una plataforma giratoria, ¿qué dirección y sentido tendrá el vector aceleración?
3. ¿Qué semejanzas y diferencias hay entre la velocidad y la aceleración de un movimiento circunferencial y el lanzamiento de un proyectil?





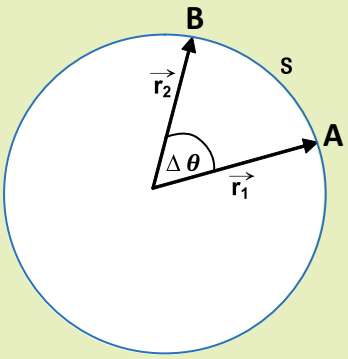


Figura 1.9
Desplazamiento angular del vector posición

REFLEXIONA

- Como en el movimiento circunferencial uniforme la velocidad lineal de la partícula es constante en módulo, se puede construir una circunferencia cuyo radio tiene un valor numérico igual al de la rapidez lineal. Entonces, demuestra que la aceleración centrípeta es perpendicular a la velocidad lineal y su módulo es

$$a_c = \frac{2 \cdot \omega \cdot v}{T}$$

TEN PRESENTE

- La definición de radián establece que si la longitud del arco de un ángulo central es congruente a la longitud del radio, entonces este ángulo mide un radián.Como la longitud del arco de un ángulo central de una circunferencia de radio R es 2πR, basta dividir este arco por R y tendremos la cantidad de radianes que equivalen a

$$360^\circ = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi\,[\text{rad}]$$

Además, por simple inspección, establecemos la relación:

$$\frac{\text{Grados sexagesimales}}{\text{Radianes}} = \frac{180}{\pi}$$

Magnitudes escalares del movimiento circunferencial uniforme

La rapidez angular

Ya hemos visto que la rapidez lineal describe el movimiento de una partícula a lo largo de la trayectoria que esta describa. Otro concepto que se utiliza para la descripción del movimiento circunferencial es la **rapidez angular**. En la **figura 1.9**, el vector posición $\vec{r}$ de la partícula ha experimentado un desplazamiento angular al girar desde la posición $\vec{r}_1$ hasta la posición r_2, barriendo el ángulo que denotaremos por Δθ.

Llamemos **s** a la **longitud del arco de curva** entre las posiciones A y B de la partícula, y **r** al radio de la trayectoria circunferencial. Entonces se cumple que el desplazamiento angular Δθ, medido en radianes, es igual a $\Delta\theta = \frac{s}{r}$, es decir, el arco "s" que subtiende el ángulo Δθ dividido por el radio de la circunferencia, de acuerdo con la definición de un ángulo medido en radianes. Por tratarse de un cociente de dos longitudes, el resultado es un número puro, pero se le asigna la unidad adimensional **radián**, símbolo **rad**.

La rapidez angular mide el cambio angular del vector posición en el intervalo de tiempo Δt. Se define la rapidez angular como $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$. La unidad que resulta de esta definición es $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

La rapidez angular se relaciona con la aceleración que experimenta un cuerpo en movimiento circunferencial.

En la **figura 1.10** se representan los vectores de la velocidad lineal en dos instantes separados por un intervalo de tiempo Δt, dibujados con un origen común. A continuación, se trabajará con los módulos de los vectores.

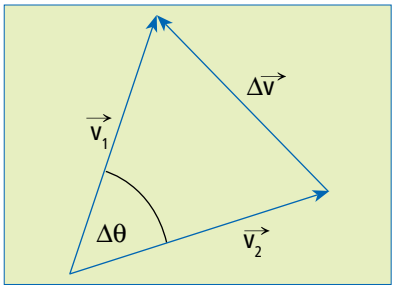


Figura 1.10
Representación del cambio de velocidad

Como la magnitud del vector velocidad es constante, consideremos que $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$. Entonces cuando el intervalo de tiempo Δt tiende a cero, el desplazamiento angular Δθ también decrece y se cumple que $|\Delta\vec{v}| = \Delta\theta \cdot V$.

Para profundizar en la demostración de la función $|\vec{a}| = \omega \cdot v$, de la **figura 1.10**, calculamos la magnitud $|\Delta\vec{V}|$ usaremos el teorema del coseno

$$|\Delta\vec{V}| = \sqrt{|\vec{V}_1|^2 + |\vec{V}_2|^2 - 2 \cdot |\vec{V}_1| \cdot |\vec{V}_1| \cdot \cos\Delta\theta}$$

Como $|\vec{V}_1| = |\vec{V}_2| = V$, tenemos que

$$|\Delta\vec{V}| = \sqrt{4 \cdot V^2 \cdot \frac{(1 - \cos\Delta\theta)}{2}} = \sqrt{4 \cdot V^2 \cdot \text{sen}^2\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right)}$$

¿CÓMO VAS? actividad

Para que un ángulo mida un radián, ¿cuánto debe medir el arco en función del radio de la circunferencia?

$|\Delta\vec{V}| = 2 \cdot V \cdot \text{sen}\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right)$ si $\Delta\theta \to 0$ entonces

$|\Delta\vec{V}| \approx 2 \cdot V \cdot \frac{\Delta\theta}{2}$, de modo que

$$|\Delta\vec{V}| \approx V \cdot \Delta\theta$$

que es lo que queríamos demostrar.

Recordemos que la magnitud de la aceleración es $|\vec{a}| = \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t}$, cuando Δt tiende a cero, podemos reemplazar $|\Delta\vec{v}|$ por $\Delta\theta \cdot V$ y se obtiene:

$$|\vec{a}| = \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} = \frac{\Delta\theta \cdot v}{\Delta t} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \cdot v$$

$$|\vec{a}| = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \cdot v$$

Como $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$, entonces podemos obtener la relación $|\vec{a}| = \omega \cdot v$

Para verificar las unidades de la expresión $|\vec{a}| = \omega \cdot v$ se puede realizar el siguiente razonamiento en esta última igualdad. En el primer miembro, la aceleración se mide en m/s^2. En el segundo miembro, la velocidad $\vec{v}$ se mide en m/s y la rapidez angular en rad/s, pero el radián es una unidad adimensional, como se especificó más arriba. Luego, el producto de estas dos últimas unidades resulta ser también m/s^2, como en el primer miembro de la igualdad.

Otras relaciones para la rapidez angular, la rapidez lineal y la aceleración centrípeta

Si se conoce el tiempo que demora la partícula en recorrer cada vuelta completa, tal intervalo de tiempo se llama período de la rotación, con símbolo T y unidad el segundo. Como una vuelta completa mide 2π radianes, entonces la rapidez angular, que por definición es constante en el movimiento circunferencial uniforme, es igual a:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

La longitud de una circunferencia de radio r es igual a $2\pi r$. Luego, la rapidez lineal de la partícula es igual a:

$$V = \frac{2\pi R}{T}$$

Combinando las dos últimas relaciones, se tiene: $V = \omega r$

Una última relación puede ser de utilidad para la resolución de problemas. Anteriormente se demostró que para la aceleración centrípeta se cumple que $a = v\,\omega$.

Como $\omega = \frac{v}{r}$, se tiene la siguiente relación para la aceleración centrípeta: $a = \frac{V^2}{r}$

INVESTIGA Y RESPONDE

- Investiga la distancia de la Luna a la Tierra y el tiempo que demora en completar la órbita en torno a la Tierra, y ahora responde. ¿Cuál es la magnitud de la aceleración centrípeta de la Luna alrededor de la Tierra? Considera que la órbita lunar es una circunferencia.

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
– http://espanol.earthsky.org/guias-astronomicas

COMPRUEBA

- Comprueba que la aceleración centrípeta se puede expresar matemáticamente como $a_c = v \cdot \omega^2$

REVISANDO LO QUE SABES

- Es necesario recordar que frecuencia f de un movimiento es el número de oscilaciones, revoluciones, vibraciones, vueltas,… en cada unidad de tiempo. Si n es la cantidad de vueltas en un intervalo de tiempo Δt, la frecuencia está dada por la ley $f = \frac{n}{\Delta t}$ cuya unidad en el SI es

$$1\ \text{hertz} = \frac{1}{s} = \frac{\text{oscilación}}{s} = \ldots = s^{-1} = 1\text{Hz}$$

El valor recíproco de la frecuencia de un movimiento es el Periodo T de este.

Esto es, $T = \frac{1}{f}$ tal que $T \cdot f = 1$

Evaluación individual Actividad

DEDUCIENDO UNA RELACIÓN ENTRE RADIANES Y GRADOS

1. Sabiendo que la longitud de una circunferencia es igual a $2\pi r$, **demuestra** que 360° corresponde a un ángulo de 2π radianes.
2. **Deduce** una relación que permita convertir un ángulo expresado en grados sexagesimales a radianes.
3. **Comenta** tus respuestas con el profesor.

REFLEXIONA

- Resuelve determinando datos, interrogantes y relaciones entre estos.

  Una partícula de 4 kg gira a lo largo de una pista circunferencial de 12 metros de diámetro dando 15 vueltas en un minuto con MCU. Calcula valores y dimensiones de:

  a) Frecuencia y período del movimiento.

  b) Rapidez lineal y angular de la partícula.

  c) La aceleración centrípeta que experimenta.

minirresumen

1. Magnitudes vectoriales que describen el movimiento circunferencial uniforme:

- Vector posición $\vec{r}$, desde el centro de la circunferencia hasta la partícula en movimiento rotatorio.
- Velocidad lineal (o tangencial) $\vec{v}$, módulo constante (rapidez lineal), tangente a la trayectoria, perpendicular al vector posición, apunta en el sentido del movimiento.
- Aceleración centrípeta $\vec{a}$, módulo constante, apunta hacia el centro de la circunferencia.

Magnitud	Radio de la circunferencia	Período	Rapidez lineal	Rapidez angular
Símbolo de la magnitud	r	T	v	ω
Símbolo de la unidad	m	s	m/s	rad/s

2. Magnitudes escalares que describen el movimiento circunferencial uniforme:

Todas las magnitudes anteriores son constantes en cada movimiento particular.

- Unidad de la rapidez angular. Según su definición, la unidad es el rad/s. Sin embargo, en la resolución de problemas, la unidad de la frecuencia revoluciones por minuto (RPM) se deben convertir a radianes por segundo. Una revolución, es decir, un giro completo de una partícula, equivale a 2π radianes, y un minuto equivale a 60 segundos.

  Por lo tanto, se cumple que: $1\ \text{RPM} = \frac{2\pi}{60}\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

  Simplificando, resulta: $1\ \text{RPM} = \frac{\pi}{30}\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

3. Relaciones entre las magnitudes escalares.

$a = v\,\omega$	$\omega = \frac{2\pi}{T}$	$V = \frac{2\pi r}{T}$
$v = \omega\ r$		$a = \frac{V^2}{r}$

Capítulo 1

¿CÓMO VAS? actividad

EXPLORANDO LA RAPIDEZ ANGULAR

Revisa en tu casa los electrodomésticos en cuyas etiquetas de datos técnicos o en sus manuales de uso se especifique el número de revoluciones por minuto, como un ventilador, una juguera u otro. **Calcular** con esa información la velocidad angular.

Comparte tus respuestas con tus compañeros y **comenta** con tu profesor.

ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD EN UN MOVIMIENTO CIRCUNFERENCIAL UNIFORME

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones, apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel

Antes de comenzar

Si haces girar un objeto atado a una cuerda, y de improviso la cuerda se corta, el objeto ¿se alejará radialmente, tangencialmente o en otra dirección? ¿Qué predicen ustedes? Hagan una breve encuesta entre sus compañeros. En esta actividad podrán comprobar la respuesta.

Antecedentes

Se ha demostrado previamente que la velocidad lineal de un objeto que describe un movimiento circunferencial uniforme es tangente a la trayectoria. Debemos recordar también la propiedad general de la velocidad: siempre apunta en el sentido del movimiento. ¿Qué debe suceder, por lo tanto, con el objeto atado a una cuerda que rota cuando la cuerda se corta? ¿Cómo se puede medir o al menos estimar experimentalmente una rapidez angular?

Materiales:

Una pelota de goma pequeña blanda, un trozo de cuerda de un metro de longitud, regla, reloj, filmadora (celular, máquina fotográfica).

Procedimiento:



Ubiquen un sector despejado de un pasillo o patio bajo el balcón de un segundo piso. Un alumno ata firmemente la pelota pequeña blanda en el extremo del cordel, y la hace rotar horizontalmente sobre su cabeza con una rapidez angular moderada, durante a lo menos medio minuto. En algún momento, suelta la cuerda. Verifiquen previamente que la pelota no golpeará a nadie ni contra un vidrio.

Simultáneamente el otro alumno graba todo el movimiento desde el segundo piso. Se sugiere repetir varias veces la acción. Comprueben que haya suficiente contraste entre el color de la pelota y el del suelo.

Análisis:

1. Revisen y seleccionen la mejor grabación del registro del movimiento. En el instante en que el alumno suelta el cordel con la pelota en movimiento, ¿en qué dirección se aleja la pelota?
2. ¿Concuerda la observación experimental con los antecedentes teóricos?
3. ¿Cómo podrían conocer la rapidez lineal inicial de la pelota al alejarse, una vez soltada la cuerda? Discutan un procedimiento.
4. Indicación: Cuenten unas diez revoluciones y midan el tiempo respectivo. Luego, usando las relaciones anteriores determinen la rapidez angular (ω) del movimiento de la pelota, antes de alejarse. Para ello cuenten el número de revoluciones expresada en radianes (recuerda que 1 revolución $= 2 \cdot \pi$ rad) en 60 segundos.
5. Luego apliquen una relación que permite determinar la rapidez lineal (v) a partir de la rapidez angular.
6. ¿Con qué rapidez lineal inicial se alejó la pelota, entonces?
7. ¿Qué sugerencias prácticas darían a otros grupos para repetir la demostración?
8. Preparen un informe de trabajo, expóngalo ante el curso y diserten sus resultados.

AL LEER APRENDERÁS

- A describir problemas de movimiento circunferencial uniforme mediante la aplicación de los conceptos aprendidos en el tema.

PRERREQUISITOS

- Conocer las magnitudes vectoriales y escalares que describen el movimiento circunferencial uniforme.
- Trabajar con operaciones algebraicas.

CONCEPTOS CLAVE

- Rapidez lineal
- Aceleración centrípeta
- Rapidez angular

TEN PRESENTE

- El primer paso en el desarrollo de todo problema consiste en **identificar la información** cuidando la coherencia de sus unidades. Luego se elige una **estrategia** para resolver el problema aplicando las relaciones pertinentes que ya se han deducido para el movimiento circunferencial uniforme. Por lo general, existen varias formas de trabajar un problema según la relación con la que se parte. Luego procede la **resolución** propiamente tal, de acuerdo con la estrategia elegida. Finalmente, se discute la **pertinencia del resultado**, es decir, se verifica que el resultado tenga sentido en su contexto.
- En una revolución se describe un ángulo de $2 \cdot \pi$ rad
- $2\,\pi$ rad = 360°

TEMA 2: Ejemplos de aplicaciones de las relaciones entre magnitudes del movimiento circunferencial uniforme

En las siguientes páginas aplicaremos las relaciones entre las magnitudes que describen el movimiento circunferencial uniforme a diferentes casos. Es útil que tengas a mano el resumen de relaciones de la página 20 y tu calculadora para que verifiques los resultados.

Ejercicio resuelto N° 1

Los astronautas son entrenados, entre otras cosas, para sentir y resistir aceleraciones mayores a $g = 9{,}8\ m/s^2$. Antiguamente se les hacía permanecer firmemente sentados en el extremo de un brazo mecánico que rotaba horizontalmente en un movimiento circunferencial uniforme.

Si el brazo mecánico medía 10 m de largo, ¿cuántas RPM, debería haber tenido el astronauta para sentir una aceleración centrípeta de cuatro veces la aceleración de gravedad g?

Identificando la información

$r = 10\ m$ $\quad a = 4 \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 39{,}2\ m/s^2$ $\quad \omega = ?$

Estrategia

Para resolver este problema, debemos encontrar una relación entre la aceleración centrípeta y la rapidez angular. Partiendo de las expresiones $a = \frac{v^2}{r}$, y $v = \omega \cdot r$, podemos reducirla: $a = \frac{(\omega r)^2}{r} = \omega^2 r$. Despejando la rapidez angular se obtiene: $\omega = \sqrt{\frac{a}{r}}$.

Resolución

Remplazando ahora los datos del problema, en la expresión $\omega = \sqrt{\frac{a}{r}}$.

resulta: $\omega = \sqrt{\frac{39{,}2\ m/s^2}{10\ m}} = 2\ \frac{rad}{s}$.

Observa que el resultado de este cálculo se ha expresado en la unidad rad/s por tratarse de una rapidez angular. Como recordarás el radián es una unidad adimensional.

Para expresar el resultado en RPM, debemos recordar que si un cuerpo tiene una frecuencia de 1 RPM, entonces su rapidez angular es equivalente a $\frac{\pi}{30}\ \frac{rad}{s}$, de este modo $1\frac{rad}{s}$ es equivalente a $\frac{30}{\pi}$ RPM.

Remplazando esto en el resultado de la rapidez angular, se obtiene finalmente:

$\omega = 2 \cdot \frac{30}{\pi}$ RPM $\mid$ 19 RPM.

Como en un minuto se realizan 19 revoluciones, entonces cada revolución demora 60s/19, equivalente a poco más de tres segundos.

Análisis del resultado

Si bien este método de entrenamiento ya no se aplica, el resultado pone en evidencia la brusquedad del movimiento.

AHORA RESUELVES TÚ

¿Cuál es la rapidez angular de un astronauta en la centrifugadora si manteniendo el brazo de giro, siente una aceleración centrípeta de seis veces la aceleración de gravedad g?

Ejercicio resuelto N°2

Un neumático de 60 cm de radio tiene una piedra incrustada en el surco de su banda de rodadura. Si el neumático gira a 150 RPM, ¿qué rapidez lineal y aceleración centrípeta tiene la piedra? Compara esta aceleración centrípeta con la aceleración de gravedad.



Identificando la información

$r = 60\ cm = 0{,}6\ m$ $\omega = 150\ RPM$

Estrategia

Para transformar las 150 RPM, debemos recordar que si un cuerpo tiene una frecuencia de 1 RPM, entonces su rapidez angular es equivalente a $\frac{\pi}{30}\frac{rad}{s}$. De este modo, 150 RPM son equivalentes a:

$$150\ RPM = 150 \cdot \frac{\pi}{30}\frac{rad}{s} = 15{,}7\frac{rad}{s}.$$

Para calcular la rapidez lineal se utiliza la relación $v = \omega \cdot r$, y este resultado se introduce en $a = \frac{v^2}{r}$.

Resolución

Como $v = \omega \cdot r$, reemplazando los datos se obtiene: $v = 15{,}7\frac{rad}{s} \cdot 0{,}6\ m = 9{,}4\frac{m}{s}$.

Y la aceleración centrípeta: $a = \frac{v^2}{r} = \frac{9{,}4\frac{m^2}{s}}{0{,}6\ m} = 147\frac{m}{s^2}$.

Para saber cuántas veces mayor es esta aceleración centrípeta respecto a la aceleración de gravedad, se calcula el cociente:

$$\frac{a}{g} = \frac{147\frac{m}{s^2}}{9{,}8\frac{m}{s^2}} = 15, \text{ de donde } a = 15 \cdot g$$

En otras palabras, la aceleración centrípeta es 15 veces el valor de la aceleraión de gravedad.

Análisis del resultado

Si bien el resultado 15 · g puede parecer grande, se justifica por el alto valor de la rapidez angular.

AHORA RESUELVES TÚ

¿Cuál es la rapidez lineal y aceleración angular de una piedra incrustada en el surco de la banda de un neumático de 70 cm de radio y que gira a 250 RPM?

TEN PRESENTE

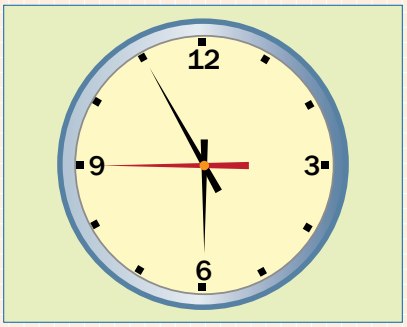
a) RPS es una revolución por segundo.
b) RPM es una revolución por minuto.
c) 1RPS = 60 RPM.

TEN PRESENTE

- 1 m = 100 cm
- 1 rad = 57,3°

Ejercicio resuelto N°3

¿Cuál es la rapidez angular del segundero de un reloj y de un punto situado a 13 cm del eje de rotación?



Identificando la información

r = 13 cm = 0,13 m

T = 60 s

Estrategia

Como se conoce el radio y el período del movimiento del segundero, se puede aplicar directamente la relación $v = \frac{2\pi r}{T}$ para la rapidez lineal. La rapidez angular se calcula con la relación $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Resolución

Para la rapidez lineal tenemos la relación $v = \frac{2\pi r}{T}$.

Entonces, remplazando los datos en ella, resulta: $v = \frac{2\pi \cdot 0,13\ m}{60\ s} = 0,0136\ \frac{m}{s}$.

Este resultado conviene convertirlo a $\frac{cm}{s}$. Entonces $v = 1,36\ \frac{cm}{s}$, y se puede aproximar a $v = 1,4\ \frac{cm}{s}$ En cada segundo, el extremo del segundero recorre 1,4 cm.

La rapidez angular se calcula a partir de:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi\ rad}{60\ s} = 0,1\ \frac{rad}{s}.$$

En cada segundo, el desplazamiento angular del segundero es de 0,1radianes.
Como 1 rad = 57,3°, entonces en un segundo el desplazamiento angular del segundero es de 5,73°.

Análisis del resultado

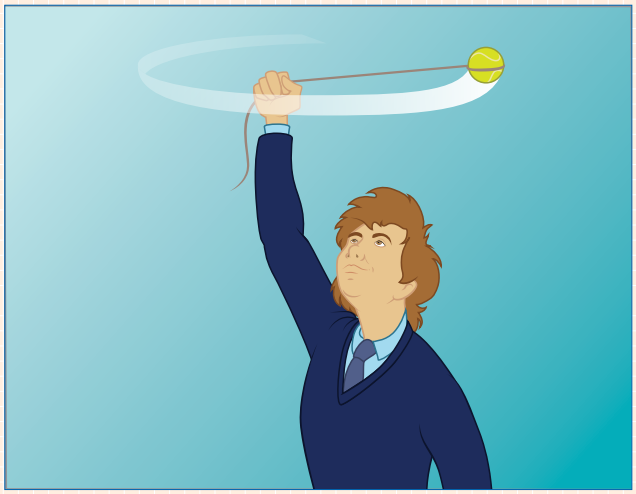
Observando un reloj de pared similar al del ejercicio, el resultado de la rapidez lineal en cuanto a que el segundero recorre 1,4 cm en cada segundo y un pequeño desplazamiento angular de menos de 6° son totalmente posibles.

AHORA RESUELVES TÚ

¿Cuál es la rapidez lineal y la rapidez angular del minutero de un reloj de 13 cm de longitud?

Ejercicio resuelto N°4

Un alumno hace girar una pelota de tenis por sobre su cabeza por medio de un cordel de medio metro de longitud. ¿Con cuántas revoluciones por minuto, la aceleración centrípeta es igual a la aceleración de gravedad?



Identificando la información

$r = 0{,}5$ m

$a = 9{,}8$ m/s^2

$\omega = ?$

Estrategia

Primero se puede calcular la rapidez lineal a partir de la relación $a = \frac{v^2}{r}$, y el resultado introducirlo en $\omega = \frac{v}{r}$.

Resolución

Despejando la rapidez lineal v de $a = \frac{v^2}{r}$, se tiene: $v = \sqrt{a \cdot r} = \sqrt{9{,}8\,\frac{m}{s^2} \cdot 0{,}5m} = 2{,}2\,\frac{m}{s}$.

Introduciendo este resultado en $\omega = \frac{v}{r}$, resulta: $\omega = \frac{2{,}2\ m/s}{0{,}5m} = 4{,}4\,\frac{rad}{s}$.

Para expresar este resultado en RPM, se aplica la igualdad $1\frac{rad}{s} = \frac{30}{\pi}$ RPM.

Entonces la rapidez angular es igual a: $\omega = 4{,}4 \cdot \frac{30}{\pi}$ RPM $= 42$ RPM.

Análisis del resultado

Ejecutar 42 revoluciones por minuto significa que cada una demora 1,4 segundos, un intervalo de tiempo posible de realizar sin mayor dificultad. (verifica el cálculo temporal).

AHORA RESUELVES TÚ

Usando la información del problema resuelto N°4, responde. ¿Cuántas revoluciones por minuto requiere la pelota de tenis para que su aceleración centrípeta sea el doble de la aceleración de gravedad? ¿Es posible realizar el experimento?

Ejercicio resuelto N°5

Un satélite artificial orbita la Tierra a una altitud de 500 kilómetros, donde la aceleración de gravedad es igual a 8,8 m/s^2. ¿Qué rapidez lineal tiene el satélite, y cuánto demora en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra?

Identificando la información

La altitud es la altura de un objeto respecto al nivel del mar. Como el radio de la Tierra es igual a 6 400 kilómetros, su distancia r al centro de la Tierra, que es el punto alrededor del que el satélite describe su órbita, es igual a:

$r = 6\,400\ km + 500\ km = 6\,900\ km = 6\,900\,000\ m$

La aceleración centrípeta del satélite corresponde a la aceleración de gravedad en el lugar donde orbita:

$a = 8{,}8\ m/s^2$

$v = ?$

$T = ?$

Estrategia

La relación $a = \frac{v^2}{r}$ puede utilizarse para determinar la rapidez lineal del satélite, y este resultado se introduce después en $T = \frac{2\pi r}{v}$.

Resolución

A partir de $a = \frac{v^2}{r}$ despejamos la rapidez lineal:

$$v = \sqrt{8{,}8\ \frac{m}{s^2}\ (6\,900\,000 m)} = 7\,792\ \frac{m}{s}.$$



Ahora calculamos el período de la rotación del satélite:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(6\,900\,000\ m)}{7\,792\ m/s} = 5\,564\ s$$

Análisis del resultado

El resultado de la rapidez lineal conviene convertirlo a kilómetros por hora aplicando la relación:

$1\frac{m}{s} = 3,6\ \frac{km}{h}$ (de la cinemática unidimensional),

por lo que $v = 7\,792 \cdot 3{,}6\ \frac{km}{h} = 28\,051\frac{km}{h}$.

Si bien este número está muy lejos de las rapideces que encontramos en los móviles cotidianos, una breve indagación en tablas de datos de satélites muestra que el resultado está dentro de los valores habituales.

Igual sucede con el período de la rotación, el que transformado a minutos arroja $T = \frac{5\,564}{60}\ min = 93\ min$, equivalentes a algo más de una hora y media.

AHORA RESUELVES TÚ

Un satélite artificial orbita a la Tierra a una altitud de 1 000 km, donde la aceleración de gravedad es de 8,04 m/s^2. ¿Qué rapidez tiene el satélite y cuánto demora en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra?



Figura 1.11
El sistema de transmisión del movimiento de una bicicleta está basado en el llamado sistema de transmisión de poleas con correa, el cual es una aplicación del movimiento circunferencial en el que los platos de engranajes giran transmitiendo el movimiento por medio de la cadena

Sistemas de transmisión de poleas con correa(*)

Este tipo de transmisión está basado en la polea, y se utiliza cuando la distancia entre los dos ejes de rotación es grande. El mecanismo consiste en dos poleas que están unidas por una misma correa o por un mismo cable, y su objetivo es transmitir el movimiento de rotación de una polea a la otra. (**figura 1.11**)

Ambas poleas giran solidarias al eje y arrastran a la correa por adherencia entre ambas. La correa, a su vez, arrastra y hace girar a la otra polea (polea conducida o de salida), transmitiéndose así el movimiento, tal como lo ilustran las **figuras 1.12** y **1.13**.

Al igual que en el caso de las ruedas de fricción, el número de revoluciones (o vueltas) de cada eje vendrá dado por el tamaño de las poleas, de modo que la polea mayor girará a una velocidad angular más baja que la polea menor.

(*) Adaptado de Blog Iesvillahervastecnologia.files.Wordpress.com

figura 1.12 La polea de salida (conducida) gira a menor velocidad angular que la polea de entrada (motriz). Este es un sistema de poleas reductor de velocidad angular.

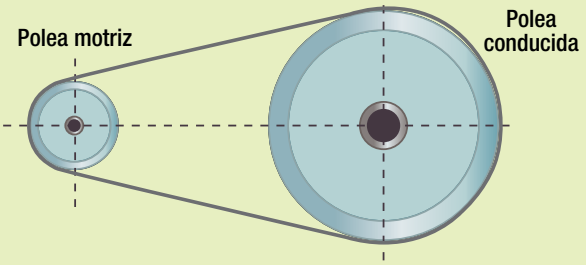
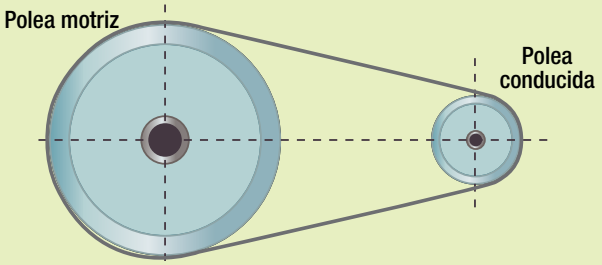


figura 1.13 La polea de salida gira a mayor velocidad angular que la polea de entrada. Este es un sistema de poleas multiplicador de velocidad angular.



Basándonos en esta idea, podemos encontrar dos casos básicos:

La relación de transmisión entre ambas poleas se define de modo similar al sistema de ruedas de fricción usando la siguiente ecuación:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

- n_2 : es la velocidad angular de la rueda conducida
- n_1 : es la velocidad angular de la rueda motriz
- D_1 : el diámetro de la rueda motriz
- D_2 : el diámetro de la rueda conducida

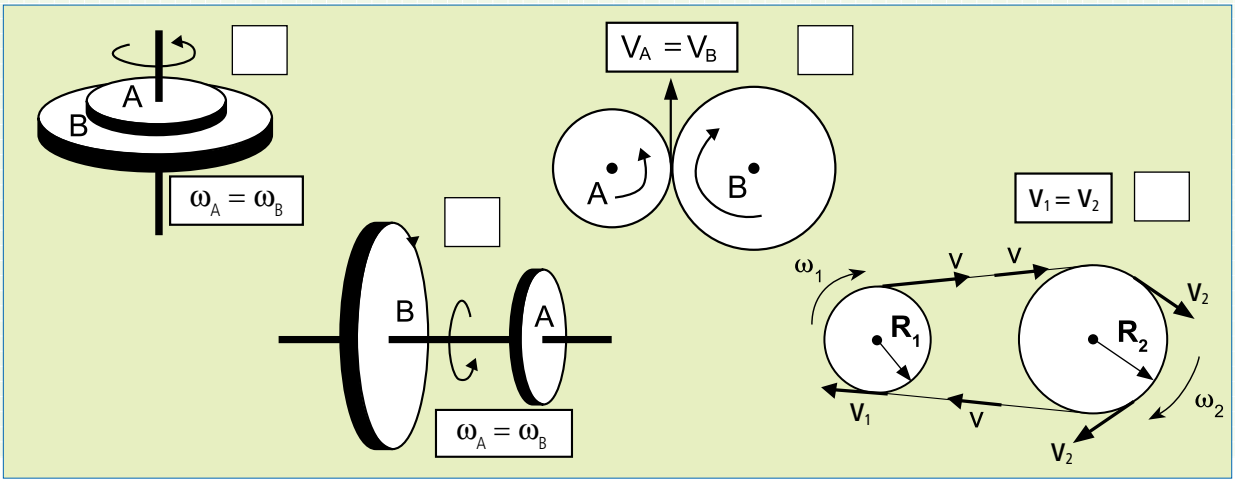
NOTA: Fíjate que si el sistema de poleas es reductor, la cifra del numerador es más pequeña que la cifra del denominador, y si el sistema es multiplicador, la cifra del numerador es mayor que la del denominador.

¿CÓMO VAS? actividad

Para las figuras **1.12** y **1.13** si la velocidad de avance de la correa es el mismo, ¿cuál es la relación de las velocidades angulares de sus poleas?

Evaluación de sección

Observa los siguientes diagramas y verifica si las relaciones de velocidades dadas en cada uno son correcta(s) o incorrecta(s). Frente a cada figura hay un recuadro en blanco. Escribe en él C si es correcta o I si es incorrecta.



DINÁMICA DE LAS ROTACIONES

En la sección anterior hemos desarrollado lo que se denomina *cinemática del movimiento circunferencial uniforme* mediante magnitudes tales como la velocidad lineal y la aceleración centrípeta para describirlo. En esta sección estudiaremos las causas del movimiento circunferencial uniforme aplicando los principios de Newton. El concepto de fuerza tendrá un rol protagónico. Una experiencia similar ya la tuviste en el curso anterior de Física, cuando estudiaste el movimiento rectilíneo.

AL LEER APRENDERÁS

- A explicar el movimiento circunferencial uniforme a partir de las leyes de Newton.
- A reconocer la fuerza centrípeta en un movimiento circunferencial.

PRERREQUISITOS

- Conocer conceptos y leyes de la dinámica unidimensional.
- Reconocer el roce estático.
- Operar algebraicamente con magnitudes vectoriales.
- Conocer la cinemática del movimiento circunferencial uniforme.

CONCEPTOS CLAVE

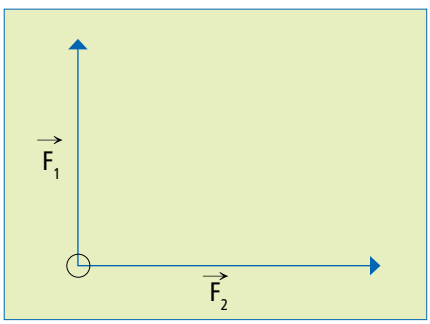
- Fuerza centrípeta

TEMA 1: La fuerza centrípeta

Fuerza resultante en dos dimensiones

Durante segundo año medio, en el estudio de la dinámica unidimensional trabajaste situaciones en las que dos o más fuerzas se ejercían sobre un objeto. **La fuerza es una magnitud vectorial, pues tiene módulo, dirección y sentido. Su unidad es el newton, y su símbolo es** N. Si las fuerzas son colineales, es decir, están en la misma dirección, algunas de ellas son positivas y otras negativas según se apuntan en uno u otro sentido. La fuerza resultante se obtiene sumando algebraicamente todas ellas. Cuando las fuerzas que se ejercen sobre un objeto tienen direcciones diferentes, hay que operar vectorialmente, con ellas para encontrar la fuerza resultante, como lo ilustran los siguientes ejemplos.

1. Sobre una partícula se aplican dos fuerzas perpendiculares (**figura 1.14**) de módulo $F_1 = 3$ N y $F_2 = 4$ N. ¿Cuál es la fuerza resultante?

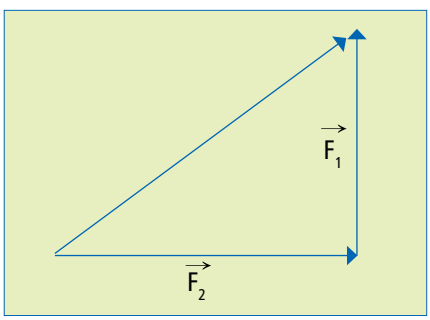


▲ **Figura 1.14**

Respuesta

Para sumar dos vectores, en primer lugar se traslada uno de ellos, de modo tal que su origen coincida con el extremo del otro, como muestra la **figura 1.15**.

Luego, se une el origen del primer vector con el extremo del segundo vector.



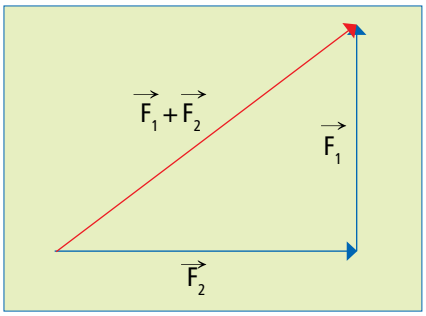
▲ **Figura 1.15**

¿CÓMO VAS? actividad

En el ejemplo desarrollado, el vector $\vec{F}_1$ se dibujó en el extremo del vector $\vec{F}_2$ para sumarlos. Verifica geométricamente que si el vector $\vec{F}_2$ se dibuja en el extremo de $\vec{F}_1$ se obtiene el mismo resultado, es decir, se cumple la igualdad $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_2 + \vec{F}_1$. Esta propiedad se llama conmutatividad de la adición de vectores.

El vector resultante $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ se dibuja uniendo el origen de $\vec{F}_2$ con el extremo de $\vec{F}_1$, como se muestra en la figura siguiente:

Figura 1.16 ▸

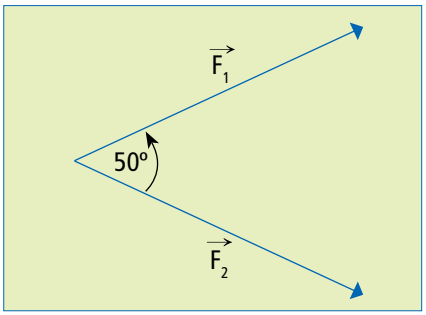


Podemos denotar por $\vec{F}_N$ a la fuerza resultante o fuerza neta. ¿Cómo podemos encontrar su módulo $\vec{F}_N$? Una forma es medirlo con una regla, suponiendo que se han dibujado con las medidas reales o a una escala conocida. Aquí sus longitudes son 3 unidades para $\vec{F}_1$ y 4 unidades para $\vec{F}_2$. El método más general se basa, sin embargo, en la aplicación del teorema de Pitágoras cuando los vectores que se suman son perpendiculares. ¿Recuerdas el teorema? Dicho teorema enuncia que en un triángulo rectángulo que tiene los catetos (a, b) y la hipotenusa (c), **se cumple que la suma de los cuadrados de los catetos es igual al cuadrado de la hipotenusa: $a^2 + b^2 = c^2$.**

Entonces, para el ejemplo anterior se puede escribir:

$|\vec{F}_N|^2 = |\vec{F}_1|^2 + |\vec{F}_2|^2 = 9 + 16 = 25$, de donde $\vec{F}_N = 5$ unidades de fuerza. La interpretación física de este resultado es el siguiente: el efecto dinámico de la aplicación de las dos fuerzas $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$ sobre la partícula **es equivalente** a la aplicación de una única fuerza $\vec{F}_N$ de módulo 5 N sobre la partícula, en la dirección y sentido indicado por el vector $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ de la **figura1.16**.

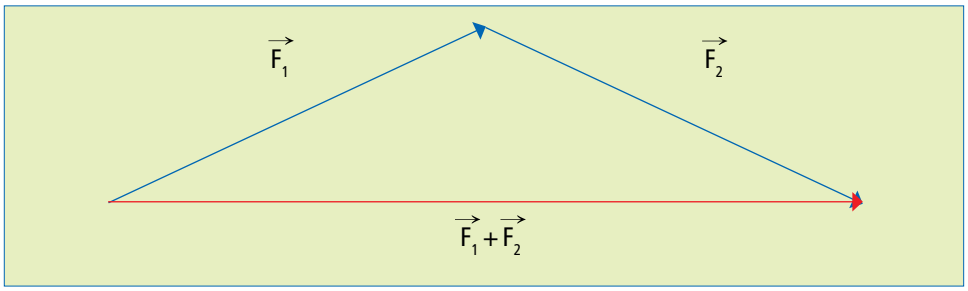
2. Supón que dos fuerzas $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$ de igual módulo (5 N) se aplican sobre una partícula formando un ángulo de 50° entre sí. Encuentra la fuerza resultante. (**Figura1.17**)



▲ **Figura 1.17**

El vector resultante $\vec{F}_N = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ se muestra en la **figura 1.18**

Como los vectores $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$ no son perpendiculares, el teorema de Pitágoras no es aplicable en este caso. En las figuras, los vectores miden 5 unidades. Verifica con una regla que el módulo de la fuerza resultante (F_N) es 9 unidades.



▲ **Figura 1.18**

REVISANDO LO QUE SABES

- Recuerda que si la fuerza neta o resultante es la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.

Generalizando, el método descrito para encontrar una fuerza resultante es válido para cualquier número de fuerzas parciales que se aplican sobre una partícula. Se suman vectorialmente todas ellas, trasladando el origen de cada vector al extremo del anterior, como se ilustra en las figuras siguientes.

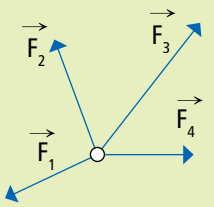


Figura 1.19

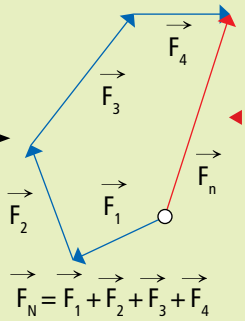


Figura 1.20
La fuerza resultante F_N se representa de esta forma.

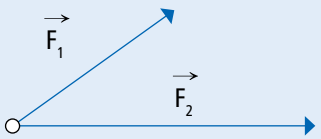
Suponiendo que cada centímetro de longitud de los vectores anteriores representa un newton de fuerza, encuentra el módulo F_N de la fuerza resultante.

Evaluación individual

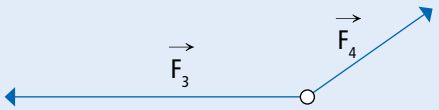
actividad

Aplica el método vectorial cuando corresponda, para encontrar la fuerza neta sobre una partícula en los siguientes ejemplos. Interpreta físicamente cada resultado. Cada centímetro en las figuras representa un newton de fuerza.

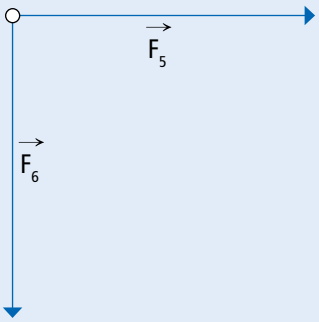
a)



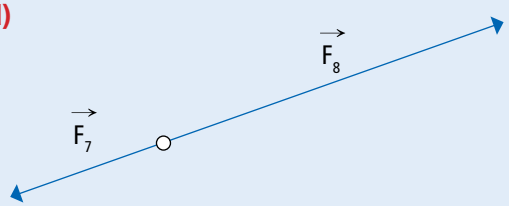
b)



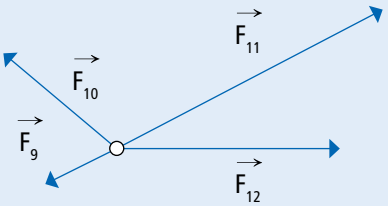
c)



d)



e)



Anota acá tus resultados

a)

b)

c)

d)

e)

La fuerza centrípeta

La segunda ley de Newton enuncia que la fuerza neta sobre una partícula es igual a la masa de la partícula multiplicada por su aceleración. En notación vectorial se expresa: $\vec{F}_N = m \cdot \vec{a}$, donde la fuerza neta $\vec{F}_N$ es la resultante de todas las fuerzas aplicadas a la partícula. La igualdad anterior muestra que la fuerza neta y la aceleración del movimiento tienen **la misma dirección y sentido**, dado que la masa m es un escalar positivo.

En la sección anterior se demostró que en el movimiento circunferencial uniforme, la aceleración apunta hacia el centro de la trayectoria descrita por el cuerpo, por lo que se le denomina aceleración centrípeta, y que su módulo es igual a v^2/r. Entonces, la fuerza radial que causa esta aceleración es, en módulo: $F = m \cdot \frac{v^2}{r}$. Se le denomina **fuerza centrípeta** y es la que causa la variación de la dirección del vector velocidad lineal, no de su rapidez lineal. Esta se mantiene constante porque no hay fuerza alguna en la dirección del movimiento. (**Figura 1.21**)

El análisis y resolución de los siguientes problemas te permitirán comprender diferentes situaciones de aplicación de la fuerza centrípeta, además de reforzar conocimientos previos de la cinemática y dinámica.



▲
Figura 1.21
El atleta aplica una fuerza a la bola metálica antes de soltarla por medio de la tensión de la cadena

Ejercicio resuelto N°1

Supón que deseas hacer rotar en un plano horizontal un objeto de 600 gramos amarrado en el extremo de una cuerda de 120 centímetros de longitud. Te propones hacerla rotar a la máxima rapidez posible, hasta justo lo que la cuerda pueda resistir antes de cortarse. Con un dinamómetro encuentras que la cuerda puede resistir una tensión máxima de 40 N (¿cómo usas el dinamómetro para hacer esta medición?).

Determina la rapidez lineal máxima que el objeto puede tener justo antes de cortarse la cuerda.

Identificando la información

$m = 0{,}60$ kg $r = 1{,}20$ m $T = 40$ N $v = ?$

Estrategia

La fuerza centrípeta que sostiene el movimiento circunferencial uniforme en este ejemplo corresponde a la tensión T de la cuerda, por lo que se debe cumplir: $T = m \cdot \frac{v^2}{r}$. Despejando la rapidez lineal, se tiene: $v = \sqrt{\frac{T \cdot r}{m}}$.

Resolución

Introduciendo los datos en la última relación, obtenemos: $v = \sqrt{\frac{(40N)\,(1{,}20m)}{0{,}60kg}} = 8{,}94\ \frac{m}{s}$.

Análisis del resultado

El resultado $v = 8{,}94$ m/s puede que no te diga demasiado en cuanto a poder estimar cuán grande o pequeña es. Sugerimos transformar la rapidez angular en la unidad RPM. Utilizando una relación de la sección anterior, tenemos:

$\omega = \frac{v}{r} = \frac{8{,}94\ m/s}{1{,}20} = 7{,}45\ \frac{rad}{s}$. Debemos recordar que si un cuerpo tiene una frecuencia de 1 RPM, entonces su rapidez angular es equivalente a $\frac{\pi}{30}\ \frac{rad}{s}$. De este modo, $\omega = 7{,}45 \cdot \frac{30}{\pi}$ RPM $= 71{,}1$ RPM. Este resultado muestra que cada rotación del objeto demora un tiempo del orden de un segundo, por lo que el movimiento es posible de ejecutar.

AHORA RESUELVES TÚ

Calcula la rapidez lineal máxima que un objeto de 1000 g puede tener justo antes de cortarse una cuerda de 100 cm sometida a tensión de 50 N.

El roce estático puede favorecer o permitir que exista movimiento circunferencial

En el curso anterior de Física tuviste la oportunidad de conocer el roce como una de las diversas fuerzas que intervienen en situaciones cotidianas. En el siguiente problema veremos una conexión conceptual entre la fuerza de roce estático y la fuerza centrípeta.

¿Qué clase de roce es la que explica el movimiento de un automóvil por un camino? Cuando el neumático rueda normalmente, cada punto del neumático hace contacto con el pavimento pero no resbala por él, por lo que el roce es de naturaleza estática y contribuye a impulsar al vehículo hacia adelante. ¿Cómo interviene este roce cuando el vehículo entra a una curva?

Suponiendo una superficie apta para el desplazamiento de un vehículo, es decir, sin ninguna sustancia que haga disminuir el roce entre los neumáticos y el suelo, sucede que la fricción entre los neumáticos y el pavimento es la causa de la fuerza centrípeta que posibilita tomar una curva.

Vamos a suponer en el siguiente problema que el camino por donde va un automóvil carece de peralte, es decir, la mayor elevación de la parte exterior de una curva respecto a la parte interior. Este diseño permite que la fuerza normal que la carretera ejerce en los neumáticos contribuya a la fuerza centrípeta necesaria para tomar una curva.

¿Cómo vas? actividad

1. ¿Recuerdas cómo se expresa la unidad newton en función de las unidades fundamentales? Verifica que, en el cálculo anterior, la unidad resultante corresponde a la de una rapidez.

2. Analiza la siguiente situación.



¿Puedes explicar por qué se desprende el lodo pegado al neumático del automóvil? ¿La fuerza centrípeta en el lodo debería ser mayor o menor a la fuerza de roce para no desprenderse?

Ejercicio resuelto N°2

Un automóvil de 1 800 kg de masa se encuentra con una curva circunferencial de 42 metros de radio. ¿Cuál es la máxima rapidez lineal con la que el vehículo puede tomar la curva, sin perder el control sobre él? Considera que el coeficiente de roce estático en esta situación es 0,400.



Identificando la información

$m = 1\,800$ kg

$r = 42$ m

$\mu = 0{,}400$

$v = ?$

Estrategia

En este problema es importante destacar que la fuerza de roce entre los neumáticos y el pavimento proporciona la fuerza centrípeta necesaria para que el vehículo tome la curva sin patinar. Otro concepto que se debe recordar es que para calcular la fuerza máxima de roce estático se aplica la relación $F = \mu \cdot N$, siendo N la fuerza normal a la carretera y que en este caso es igual al peso del vehículo. Finalmente, se aplica la relación general para la fuerza centrípeta: $F = m \cdot \frac{v^2}{r}$.

Resolución

En la última relación matemática, la fuerza F se reemplaza por $F = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g$, y se despeja la rapidez lineal v.

Se obtiene: $v = \sqrt{\frac{\mu \cdot m \cdot g \cdot r}{m}} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot r}$

Reemplazando los valores numéricos, resulta: $v = \sqrt{0{,}400 \cdot \left(9{,}8 \frac{m}{s^2}\right) \cdot (42m)} = 12{,}8 \frac{m}{s}$

Análisis del resultado

Para dimensionar el carácter realista del resultado, transformemos la unidad m/s a km/h. Se sabe que $1 \frac{m}{s} = 3{,}6 \frac{km}{h}$; entonces $12{,}8 \frac{m}{s} = 46{,}1 \frac{km}{h}$. Se trata de una rapidez razonable, aunque pudiera parecer pequeña. Un camino con peralte permite que la rapidez en la curva sea mayor.

AHORA RESUELVES TÚ

¿Cuál es la máxima rapidez lineal con la que el vehículo de 2 000 kg puede tomar una curva de 40 m, sin perder el control? Considera el coeficiente de roce igual a 0,2.

¿CÓMO VAS? actividad

Si en la situación del problema anterior comenzara a llover, ¿sigue siendo válido el cálculo realizado? ¿Por qué?

DESCRIPCIÓN DINÁMICA CUANTITATIVA DEL MOVIMIENTO CIRCUNFERENCIAL UNIFORME

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones, apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel

Tomando como ejemplo las resoluciones de los problemas anteriores, resuelvan las siguientes nuevas situaciones:

1. En el modelo atómico de Bohr, **figura 1.22**, el electrón gira alrededor del núcleo en un movimiento circunferencial uniforme. Aunque este modelo no está vigente, logró explicar en su época algunos fenómenos.

Si bien la fuerza de atracción entre el electrón y el núcleo es de naturaleza eléctrica, en la descripción cuantitativa de su movimiento se utilizan los conceptos de rapidez lineal, aceleración centrípeta, etc. La masa del electrón es $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg. Si el radio del átomo es $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m y el electrón ejecuta $6{,}6 \cdot 10^{15}$ revoluciones por segundo, determinen:

a. La rapidez lineal del electrón.

b. La fuerza centrípeta que causa el movimiento circunferencial uniforme del electrón.

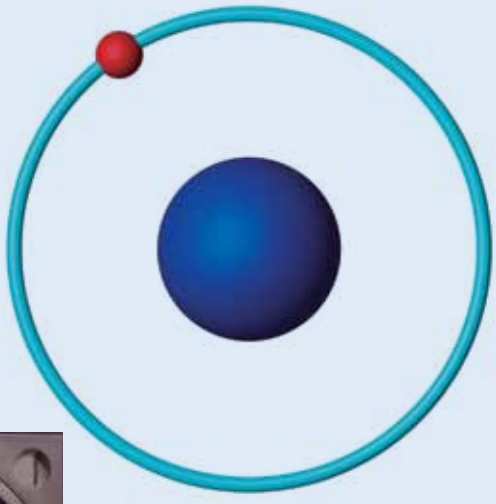


Figura 1.22
Representación del modelo atómico de Bohr. Los tamaños y distancias no están a escala.

2. Sobre una tornamesa, **figura 1,23**, que da una revolución por segundo, se deja una moneda de 10 gramos a 15 centímetros del centro de rotación. La moneda permanece en reposo respecto a la tornamesa. ¿Qué fuerza de roce actúa sobre la moneda si está a punto de resbalarse?



Figura 1.23. Tornamesa

REFLEXIONA

- Considera el ejercicio lateral de la página 20: calcula la fuerza centrípeta sobre la partícula de 4 kg.

minirresumen

- Las fuerzas son magnitudes vectoriales y la resultante de varias fuerzas aplicadas sobre un cuerpo es igual a la suma vectorial de todas ellas.
- La fuerza centrípeta es la causa del movimiento circunferencial uniforme, y para un objeto de masa m, rapidez lineal v y radio del movimiento circunferencial igual a r, se cumple que el módulo de la fuerza centrípeta es $F = m \cdot \frac{v^2}{r}$.
- La fuerza centrípeta no es un tipo nuevo de fuerza. Son las fuerzas que ya conoces, pero que producen un movimiento circunferencial uniforme. Puede ser la tensión de una cuerda, el roce estático, la fuerza de gravedad u otra que apunte hacia un centro fijo.
- El roce estático entre los neumáticos de un vehículo y el pavimento proporciona la fuerza centrípeta para tomar una curva.

La fuerza centrífuga

Aunque la expresión, fuerza centrífuga es parte del lenguaje cotidiano en situaciones de movimiento rotatorio, es legítimo preguntarse: ¿existe realmente la fuerza centrífuga? Si es así, ¿de dónde proviene? ¿Qué ocurre con la descripción de los movimientos de un cuerpo en un sistema de referencia acelerado? Un sistema así es llamado sistema no inercial. Un vehículo que toma una curva es un ejemplo de un sistema acelerado.



▲ **Figura 1.24** ¿Qué sensación experimenta el pasajero de un vehículo en las curvas del camino?

Cuando el automóvil que va con movimiento rectilíneo uniforme entra a una curva hacia la izquierda **(figura 1.24)**, el pasajero siente que es empujado hacia la derecha del vehículo, y le llama ¨fuerza centrífuga¨ a la causa que lo impulsa hacia afuera de la curva. En efecto, se podría pensar que efectivamente se trata de una fuerza física, pero ¿quién la aplica?

Desde el exterior del automóvil vemos que una fuerza centrípeta actúa sobre la estructura del vehículo y sobre los pasajeros de su interior. La fuerza de roce estático del pasajero con el asiento o la fuerza que le aplica la puerta del automóvil **hacia la izquierda, no hacia la derecha**, constituye la fuerza centrípeta que explica que el pasajero cambie la dirección de su movimiento rectilíneo original. ¿Por qué entonces el pasajero siente una fuerza hacia el sentido contrario?

Al tomar la curva, el pasajero tiende a mantener su movimiento rectilíneo original, de acuerdo con la primera ley de Newton de la inercia, ¿la recuerdas? Ninguna fuerza real se aplica al pasajero hacia su derecha cuando el vehículo dobla hacia la izquierda; el costado del vehículo tiende a chocar con el pasajero cuando el automóvil gira. Por lo tanto, la fuerza centrífuga es una fuerza ficticia.

El ejemplo del objeto atado a una cuerda que rota en un plano horizontal nos muestra que no existe tal fuerza centrífuga. Cuando el cordel se corta o se suelta, el objeto se aleja por la tangente a la trayectoria y no radialmente hacia afuera.

Por otra parte, si hubiera una fuerza adicional "hacia afuera", para equilibrar la fuerza "hacia adentro", no habría fuerza neta hacia adentro para causar el movimiento circunferencial, y el cuerpo se movería en línea recta y no en círculo.

INVESTIGA Y RESPONDE

- Has aprendido algo sobre la fuerza centrípeta. Sumerjámonos algo más.
  a) Toda fuerza que cambia la dirección de un movimiento se dice que es una "FUERZA DEFLECTORA".
  b) El peso de un cuerpo es una fuerza deflectora.
  c) Si recordamos que $\vec{F_N} = m \cdot \vec{a}$ y que el peso es una fuerza, escribimos $\vec{P_C} = m \cdot \vec{g}$, por lo cual decimos que el peso de un cuerpo es una fuerza centrípeta (debes siempre tener presente que $\vec{F_N}$ es la fuerza neta o resultante de todas las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo en estudio: jamás un cuerpo está libre de fuerzas externas. La suma de ellas puede ser cero).
  d) La fuerza centrífuga no existe: el efecto fuerza centrípeta se debe a la inercia que hace que un cuerpo en movimiento tienda a desplazarse a lo largo de una trayectoria en línea recta. El efecto fuerza centrífuga es el resultado de la rotación: es una fuerza ficticia.
  e) ¿Cuál es la fuerza centrípeta sobre una persona de 70(kg) de masa parada en el ecuador de la Tierra?
  f) ¿Cuál es la fuerza centrípeta sobre una gota de aceite de 1 g de masa ubicada en el borde de un disco de 35 cm de radio, que gira a 200 RPM?
  g) Si el tambor de la centrífuga de una lavadora gira a 1 800 RPM y su diámetro es de 40 cm, ¿Cuál es la fuerza centrípeta sobre una gota de agua de 0,1 g de masa ubicado en el borde del tambor de la centrífuga de una lavadora de 40 cm de diámetro y que gira a 300 RPM?

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
– http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_centr%C3%ADpeta

TEMA 2: La inercia rotacional

AL LEER APRENDERÁS

- A explicar la rotación de los cuerpos rígidos a partir del concepto de inercia rotacional.

PRERREQUISITOS

- Conceptos y leyes de la dinámica unidimensional.
- Conocer cinemática del movimiento circunferencial uniforme.

CONCEPTOS CLAVE

- Inercia rotacional
- Energía cinética de rotación

La inercia de los cuerpos

El concepto de inercia no es nuevo para ti. En segundo año medio estudiaste las leyes de Newton, y en estas tiene un papel importante la inercia. ¿Recuerdas a qué se refiere? Pensemos en una situación cotidiana como la siguiente. Dos vehículos van rápido por una carretera recta: un camión de gran tonelaje y un automóvil pequeño. ¿A cuál de los dos le es más difícil lograr reducir su rapidez o detenerse? O, si están detenidos, ¿cuál tiene una partida más lenta? **Figura 1.25**

El camión tiene una masa inercial mucho mayor que la del vehículo menor, entonces si está en movimiento, tenderá por supuesto a conservar su movimiento, igual que el otro vehículo, y si se intenta detenerlos, al camión se le debe aplicar una fuerza también mucho mayor. A la inversa, para tratar de moverlos desde el estado de reposo, es más fácil mover al auto pequeño que al camión. La masa inercial puede interpretarse como una especie de **resistencia** de los cuerpos a cambiar su estado de reposo o de movimiento, según sea el caso. Generalizando, la masa inercial es una medida de la **resistencia de un cuerpo a la aceleración.**



La inercia rotacional de los cuerpos

En este capítulo estamos estudiando la rotación de los cuerpos. Veremos que, al igual que en los cuerpos que se mueven rectilíneamente, sin rodar, en los cuerpos que rotan o que pueden rotar también, hay un concepto similar al de la masa inercial y que explica la diferente resistencia de los cuerpos a iniciar una rotación o, a la inversa, si se encuentran rotando, la diferente resistencia a dejar de rotar. Este nuevo concepto se denomina **inercia rotacional.**

Un primer acercamiento al nuevo concepto lo tuviste en la actividad exploratoria de la **página 11** de este capítulo. En ella se pregunta: *¿Qué cuerpos llegan primero a la base de un plano inclinado?* Ahí se advirtió que volveríamos en la Sección 2 a las conclusiones de esa actividad. Revisa tus apuntes, si no recuerdas las conclusiones. ¿Cuál fue la respuesta al título de la actividad? Tenla presente en lo que sigue.

Figura 1.25
¿Cómo se aplica el concepto de inercia a los vehículos de la carretera? ¿Cuál tiene una mayor inercia?

¿CÓMO VAS? actividad

Si aún tienes dudas respecto al concepto de masa inercial, realiza la siguiente acción en tu banco de estudio: empuja con tu dedo un libro grueso y después un lápiz. ¿Cuál objeto tiene mayor masa inercial?

Precisando el significado del concepto de inercia rotacional, podemos asegurar que:

- un cuerpo que rota alrededor de un eje tiende a seguir rotando, suponiendo que no haya una acción externa que intervenga en el movimiento.
- el cuerpo que no rota tiende a seguir sin rotar.

La **inercia rotacional**, símbolo I, representa la **propiedad de los cuerpos para resistir los cambios de su estado de movimiento rotatorio**. Más adelante veremos cómo se puede determinar la inercia rotacional de los cuerpos. En la actividad práctica individual de la página 40, podrás comparar la inercia rotacional de dos cuerpos.

¿De qué factores depende la inercia rotacional de los cuerpos?

La inercia rotacional de un cuerpo dado depende:

- de sus dimensiones geométricas.
- de su masa.
- de la forma como está distribuida la masa; la inercia aumenta en la medida que la distribución de masa se aleja del eje de rotación, como lo podrás comprobar en el minilaboratorio de la página 41 con los péndulos.
- de la posición del eje alrededor del cual rota el cuerpo.

Este nuevo concepto nos ayudará a comprender situaciones de diversa naturaleza, como las que muestran las fotografías siguientes. (**Figura 1.26**)



Cuando un atleta corre, dobla la pierna para reducir la inercia rotacional





▲ Figura. 1.26
La longitud de las piernas del atleta o del animal influye en la inercia de rotación. Un animal con patas cortas tiene un paso más rápido que uno con patas largas

Como la inercia rotacional aumenta en la medida que la masa se distribuye y aleja del centro de rotación, entonces se entiende que los seres de patas más cortas se caracterizan por ofrecer menor resistencia a la acción que consiste en doblar sus piernas y tener, por lo tanto, una mayor agilidad en su movimiento. Los corredores doblan sus piernas para movilizarlas más rápidamente. ¿Te has fijado que las personas de piernas largas tienden a caminar con pasos más lentos que las personas de piernas cortas?

INVESTIGA Y RESPONDE

- Al leer lo que está inmediatamente a tu izquierda, ¿qué te recuerda en relación con algún principio de Newton?

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
– http://fisica.ru/dfmg/teacher/archivos_lab/Lab_Mec_10_Inercia_rotacional.pdf

TEN PRESENTE

- La tendencia de un cuerpo a seguir girando se llama inercia de rotación.
- La inercia rotacional o momento de inercia depende de la distribución de la masa en torno al eje de rotación: más lejos del eje, más alto será el valor de la inercia de rotación y costará más hacerlo girar o detenerlo. Por ejemplo, cuando la masa de un objeto se concentra en un radio r del eje de rotación (como en un péndulo simple o en un anillo delgado) la inercia rotacional I es igual a la masa m multiplicada por el cuadrado de la distancia radial. Para este caso especial,

$$I = m \cdot r^2$$

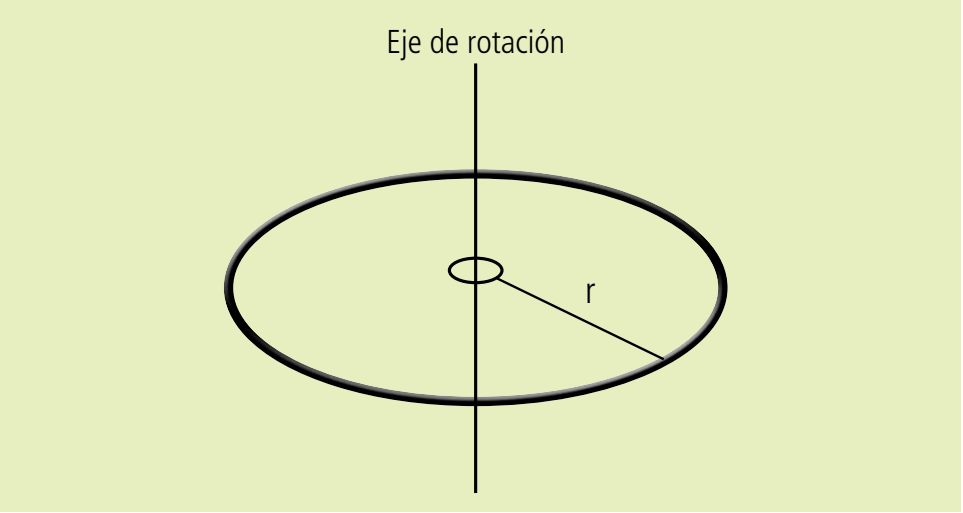
La definición matemática de la inercia rotacional

TEN PRESENTE

- Al hacer que un objeto sólido rote o se mueva en trayectoria curva, se observa una resistencia al cambio del movimiento rotacional. Esta oposición del objeto al cambio de su rotación, se conoce como inercia rotacional o momento de inercia del objeto.
- El momento de inercia depende de la distribución de las masas de un cuerpo respecto de sus radios de giro.

Para una partícula de masa m que rota a la distancia r alrededor de un eje, la inercia rotacional de la partícula se define como $I = m \cdot r^2$.

En el siguiente ejemplo, el cuerpo que rota no es una partícula, sino que una distribución uniforme de materia a lo largo de un anillo que rota alrededor del eje de la circunferencia, como muestra la **figura 1.27**. La masa del anillo es M.



▲ **Figura 1.27** El anillo rota alrededor del eje perpendicular al plano donde se encuentra el anillo

El anillo lo podemos imaginar como un conjunto de muchas partículas, en realidad infinitas, que rotan todas a una misma distancia r del eje de rotación. Entonces, la expresión matemática que se definió para una partícula la podemos extender a todas las partículas que integran el anillo de la siguiente manera:

$$I = m_1r^2 + m_2r^2 + m_3r^2 + \ldots = \sum(m_i \cdot r^2) = (\sum m_i) \cdot r^2 = M \cdot r^2$$

¿Cómo se llegó a este resultado?

Veamos:

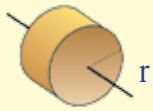
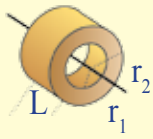
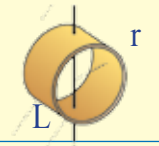
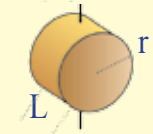
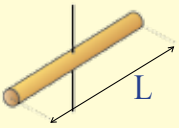
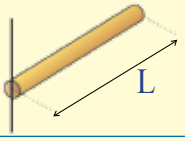
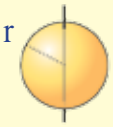
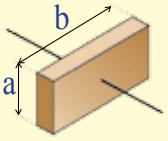
Se supuso primero que podríamos numerar todas las partículas del anillo, esto explica los subíndices de la masa m. Todas estas partículas se encuentran a una misma distancia del eje de rotación, por esto el símbolo r no tiene subíndice. Una suma larga donde se repite la estructura de cada término se puede apuntar en forma abreviada mediante el símbolo de sumatoria $\sum$, que corresponde a la letra griega sigma mayúscula.

Como la distancia r al eje de rotación es la misma en todos los términos, se factoriza y queda fuera de la sumatoria. La sumatoria de la masa de todas las partículas se extiende a infinitas partículas y se convierte en la masa total M del anillo.

Una de las propiedades de la inercia rotacional es su dependencia de la ubicación del eje de rotación. Un ejemplo es el presentado en el ejercicio resuelto de la página 42.

Relaciones matemáticas para determinar la inercia rotacional de algunos cuerpos

La siguiente tabla entrega las expresiones de la inercia rotacional de diversos cuerpos homogéneos que giran en torno a un eje específico.

Capa cilíndrica respecto a su eje		$I = Mr^2$
Cilindro sólido respecto a su eje		$I = \frac{1}{2} Mr^2$
Cilindro hueco respecto a su eje		$I = \frac{1}{2} M (r_1^2 + r_2^2)$
Capa cilíndrica respecto a un diámetro que pasa por su centro		$I = \frac{1}{2} Mr^2 + \frac{1}{12} ML^2$
Cilindro macizo respecto a un diámetro que pasa por su centro		$I = \frac{1}{4} Mr^2 + \frac{1}{12} ML^2$
Varilla delgada respecto a una recta perpendicular que pasa por su centro		$I = \frac{1}{12} ML^2$
Varilla delgada respecto a una recta perpendicular que pasa por su centro		$I = \frac{1}{3} ML^2$
Capa o corteza esférica delgada respecto a un diámetro		$I = \frac{2}{3} Mr^2$
Esfera maciza respecto a un diámetro		$I = \frac{2}{5} Mr^2$
Paralelepípedo rectangular macizo respecto a un eje que pasa por su centro y es perpendicular a una cara		$I = \frac{1}{12} M(a^2 + b^2)$

▲ **Figura 1.28** Diferentes relaciones matemáticas para determinar la inercia de algunos cuerpos.

actividad práctica individual

APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE INERCIA ROTACIONAL

Habilidades

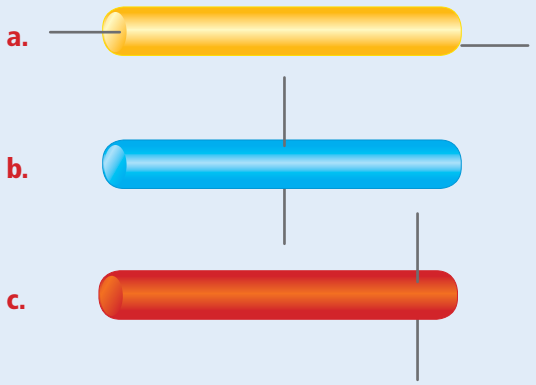
- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones, apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel

Antecedentes

Recordando que la inercia rotacional es una medida de la resistencia de un cuerpo a la rotación, esta actividad te permitirá experimentar directamente el concepto.

Procedimiento

Con tres trozos de alambre de unos 15 centímetros y tres barras de plasticina, compara la inercia de rotación en los siguientes casos. El alambre corresponderá al eje de rotación de la barra de plasticina.



Haz rotar la barra de plasticina alrededor del respectivo alambre en cada uno de los tres casos. Presta atención a la facilidad o a la dificultad para lograrlo cada vez.

Discusión de resultados

¿En cuál caso fue más fácil hacer rotar la barra de plasticina, y en cuál fue más difícil, comparativamente? Justifica tu observación con el concepto de la inercia rotacional.

TEN PRESENTE

- Los métodos de cálculo del momento de inercia son muy limitados. Para los cuerpos de las figuras 1.29 y 1.30 se utilizan métodos matemáticos más sofisticados.

¿Cómo se equilibra un acróbata en la cuerda floja a gran altura?

Nadie puede negar la increíble audacia de un equilibrista que camina por una cuerda, acompañado solo por una larga vara que sostiene en sus manos. ¿Qué importancia reviste la vara para el equilibrista?



Figura 1.29 ▸
¿Por qué el equilibrista lleva una vara en sus manos?

Si el acróbata pierde el equilibrio, instintivamente intenta hacer rotar la vara y en ese momento logra recuperar el equilibrio. La distribución de masa a lo largo de la vara, alejándose del centro de rotación, determina que su inercia rotacional sea lo suficientemente grande como para que no sea fácil hacerla rotar

Figura 1.29

Evaluación individual

actividad

a) ¿Cómo explicas la acrobacia de la **Figura 1.30**? Trata de explicarla físicamente, ¡pero no intentes hacerla!

b) Si te atrae hacer pruebas asombrosas ante tus amigos, ensaya la siguiente. Toma un martillo o cualquier otro objeto similar que tenga un peso notorio en un extremo, y prueba equilibrarlo verticalmente hacia arriba con un dedo. Antes de hacerlo, ¿crees que sería recomendable apoyar en tu dedo la cabeza del martillo o el extremo del mango? Verifica tu predicción. También resulta con una escoba. Después de realizada la demostración, explícasela a tus amigos en términos de la inercia rotacional.



▲ **Figura 1.30**

minilaboratorio

La inercia rotacional de los cuerpos

Objetivo

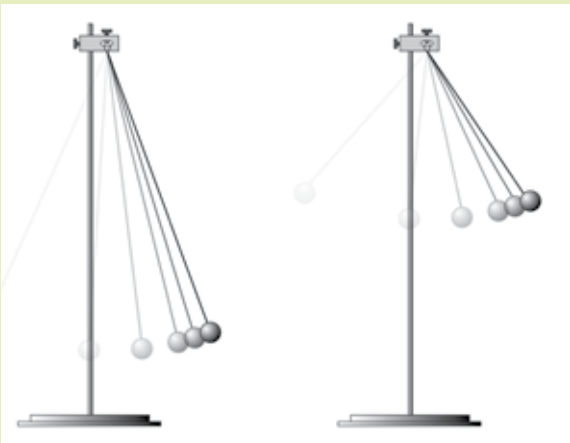
- Comparar la inercia rotacional de dos péndulos simples.

Materiales

- 1 metro de hilo.
- Bolita de acero o una piedra.
- Regla.

Procedimiento

1. Arma un péndulo de unos 30 centímetros de longitud, y busca un lugar despejado donde puedas colgarlo y hacerlo oscilar.



2. Haz oscilar el péndulo, fijándote principalmente en la rapidez del movimiento.
3. Arma otro péndulo con el resto del hilo, de a lo menos unos 60 centímetros de longitud, con la misma bolita o piedra.
4. Haz oscilar el nuevo péndulo, y también fíjate en la rapidez con la que oscila.

Análisis

1. ¿Cuál de los dos péndulos tuvo una mayor rapidez al oscilar?
2. Si bien el péndulo de esta actividad no es un cuerpo que rote totalmente, igual tiene una inercia rotacional que al determinarla resulta ser $I = m \cdot r^2$, siendo m la masa del cuerpo que oscila y r la longitud del péndulo.
3. Entonces, ¿cuál de los péndulos tenía mayor inercia rotacional? Si dispones de una balanza para medir la masa m, puedes calcularla para los dos péndulos. La unidad de la inercia rotacional es $kg \cdot m^2$.
4. El hecho de oscilar un péndulo con mayor rapidez que el otro, ¿significa que opone una menor o mayor resistencia para iniciar una rotación? Discute con tus compañeros.
5. Prepara un informe de tu trabajo y exponlo ante el curso.

INVESTIGA Y RESPONDE

- Investiga la masa y distancia de cada planeta del sistema solar al Sol, y ahora responde. ¿Cuál es la inercia de rotación de mayor magnitud? Considera que las órbitas de cada planeta son circunferencial.

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
– http://www.infolaso.com/tamano-de-los-planetas.html

En la actividad práctica anterior pudiste constatar que, en el caso del péndulo, una menor resistencia a rotar se refleja en una mayor rapidez de oscilación.

Más adelante veremos otros ejemplos prácticos. Por ahora, revisemos las relaciones matemáticas que permiten conocer la inercia rotacional de algunos cuerpos, a través del ejercicio resuelto Nº3.

¿CÓMO VAS? actividad

1. Con la información de la página 39, verifica los factores de los que depende la inercia rotacional. Por ejemplo, ¿en qué difieren y cuál tiene mayor inercia rotacional?
- En la esfera maciza y en la corteza esférica delgada respecto a un diámetro, se supone que las masas y radios de las esferas son iguales.
- Cilindro hueco respecto a su eje y cilindro sólido respecto a su eje. Se supone que las masas y radios de los cilindros son iguales.

2. En la actividad exploratoria de la página 11, ¿qué cuerpos llegan primero a la base de un plano inclinado?, ¿cuál fue tu conclusión? ¿Llegó primero el que tenía menor inercia rotacional? Explica tu respuesta.

Ejercicio resuelto Nº3

Dos cuerpos de masa 4,0 kg y 9,0 kg se encuentran cada uno en los extremos de una varilla masa despreciable de 6,0 m de longitud. Determina la inercia rotacional del sistema en los dos siguientes casos:

a) La varilla rota alrededor de un eje que pasa por su punto medio.

b) La varilla rota alrededor de un eje a 0,50 m del cuerpo de menor masa entre los dos cuerpos.

Identificando la información

$m_1 = 4{,}0$ kg

$m_2 = 9{,}0$ kg

$l = 6{,}0$ m

Caso a) $r_1 = 3{,}0$ m

$r_2 = 3{,}0$ m

Caso b) $r_1 = 0{,}50$ m

$r_2 = 5{,}50$ m

Estrategia

En los dos casos planteados, la inercia rotacional se calcula mediante la relación: $I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$. Haz un esquema de cada situación.

Resolución

De acuerdo con los datos del problema, se tiene:

$I = (4{,}0\ kg)\ (9{,}0\ m^2) + (9{,}0\ kg)\ (9{,}0\ m^2) = 117\ kg \cdot m^2$

$I = (4{,}0\ kg)\ (0{,}25\ m^2) + (9{,}0\ kg)\ (30{,}25\ m^2) = 272{,}25\ kg \cdot m^2$

Análisis del resultado

Estos resultados demuestran que efectivamente la inercia rotacional depende de la ubicación del eje de rotación. En el segundo caso, en el que uno de los cuerpos se aleja del eje de rotación, de 3,0 m a 5,50 m, repercutió significativamente en el resultado.

AHORA RESUELVES TÚ

Dos cuerpos de masa 6 kg y 10 kg se encuentran cada uno en los extremos de una varilla delgada de 12 m de longitud. Determina la inercia de rotación cuando la varilla rota alrededor de un eje a 1 m del cuerpo de mayor masa, entre los dos cuerpos.

minirresumen

- La inercia rotacional es un concepto comparable, no igual, al de la masa inercial en la dinámica de traslación.
- En ausencia de acciones externas, todo cuerpo que rota tiene tendencia a seguir con su movimiento de rotación.
- Los cuerpos con menor inercia rotacional son más fáciles de hacerlos rotar, comparativamente, que los que tienen una mayor inercia rotacional.
- Los cuerpos con menor inercia rotacional son más fáciles de hacer que dejen de rotar, comparativamente, que los que tienen una mayor inercia rotacional.
- La inercia rotacional depende, entre otros factores, de la distribución de masa alrededor del eje de rotación: aumenta al haber mayor concentración lejos del eje de rotación.
- La inercia rotacional de un objeto también depende de la ubicación que tiene el eje de rotación del cuerpo.

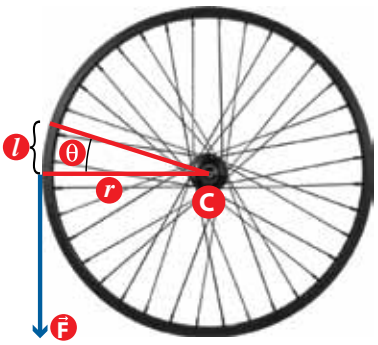


Figura 1.31
Rotación de un cuerpo en torno a un eje.

Como deducir la ecuación

$$\alpha = \frac{\omega_F^2 - \omega_I^2}{2 \cdot \theta}$$

Al recorrer la rueda **Figura 1.31** una longitud de arco ι debido a la fuerza de magnitud F, se produce un torque τ y como consecuencia una aceleración angular α.

Para calcular la magnitud de la velocidad final ($\vec{V}_F$), se puede usar la formula

$$V_F^2 = V_I^2 + 2 \cdot a \cdot \iota$$

donde

$V_I = \omega_I \cdot R$ = magnitud de velocidad inicial

$V_F = \omega_F \cdot R$ = magnitud de velocidad final

$\iota = R \cdot \theta$ = longitud de arco

$a = R \cdot \alpha$ = aceleración

Reemplazando

$$\omega_F^2 \cdot R^2 = \omega_I^2 \cdot R^2 - 2 \cdot R \cdot \alpha \cdot R \cdot \theta$$

Obtenemos

$$\omega_F^2 = \omega_I^2 - 2 \cdot \alpha \cdot \theta$$

Trabajo rotacional y energía cinética de rotación

a) Trabajo rotacional

En un movimiento rotacional **(Figura 1.31)** el trabajo rotacional efectuado por una sola fuerza F, que actúa tangencialmente a lo largo de un arco l es

$$W = F \cdot l = F \cdot r \cdot \theta = \tau \cdot \theta$$

Donde $\tau = F \cdot r$, es el torque o momento de una fuerza (ver página 49), que puede ser expresado, además como

$$\tau = F \cdot r = I \cdot \alpha$$

Donde
I = inercia de rotación.
α = aceleración angular.

De este modo el trabajo rotacional efectuado por la fuerza F es

$$W = \tau \cdot \theta$$

b) Teorema trabajo energía y energía cinética de rotación

Podemos deducir la relación entre el trabajo rotacional efectuado sobre un cuerpo **(Figura 1.31)** y el cambio de energía cinética rotacional del cuerpo, partiendo de la expresión para el trabajo rotacional

$$W = \tau \cdot \theta = I \cdot \alpha \cdot \theta$$

Como el torque aplicado sobre el cuerpo es constante, obtenemos una aceleración angular constante. Sin embargo, la aceleración angular se puede relacionar con la rapidez angular por medio de la siguiente expresión

$$\alpha = \frac{\omega_F^2 - \omega_I^2}{2 \cdot \theta}$$

Donde ω_F y ω_I son las rapideces angulares final e inicial respectivamente.
De este modo el trabajo rotacional se expresa

$$W = I \cdot \alpha \cdot \theta = I \cdot \frac{\omega_F^2 - \omega_I^2}{2 \cdot \theta} \cdot \theta = I \cdot \frac{\omega_F^2}{2} - I \cdot \frac{\omega_I^2}{2}$$

Es decir,

$$W = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega_F^2 - \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega_I^2 = K_F - K_I = \Delta K$$

Entonces, la expresión para la energía cinética rotacional (K) es

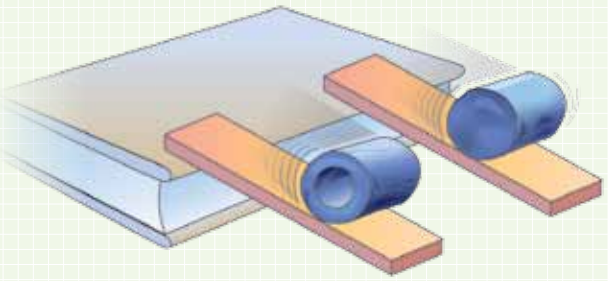
$$K = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

Finalmente, el trabajo rotacional efectuado sobre un objeto es igual al cambio de energía cinética rotacional del objeto, sin traslación de éste.
Por lo tanto, si queremos alterar la energía rotacional de un objeto, tendremos que aplicar un torque sobre él

Evaluación de sección 2

1. ¿Cómo se calcula la fuerza resultante utilizando el método vectorial?
2. ¿Cómo se llama la fuerza que actúa sobre un cuerpo que se mueve en una trayectoria circunferencial?
3. ¿Cuál es la conexión que existe entre el roce estático y la fuerza centrípeta?
4. ¿Qué es la diferencia entre la fuerza centrípeta y centrífuga?
5. ¿De qué factores depende la inercia rotacional de los cuerpos?
6. Comprueba los pasos utilizados para el cálculo de la energía de rotación.

7. Un niño tiene dos cilindros de igual radio y de igual masa y los deja rodar por una tabla lisa desde una misma altura, tal como lo ilustra la siguiente figura:
¿Cuál de los cilindros llegará primero?
¿Es importante el hueco en el cilindro? ¿Por qué?

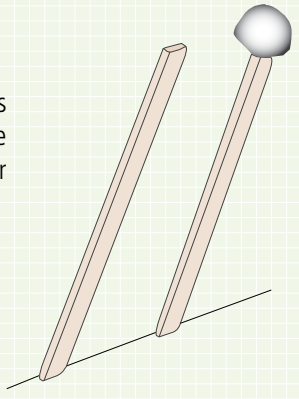


8. Si dos automóviles tienen llantas de igual masas pero de 40(cm) y 70(cm) de diámetro, respectivamente y se mueven a igual rapidez, ¿cuál tendrá mayor energía cinética de rotación?





9. Un par de reglas de un metro están recargadas casi verticalmente contra un muro. Si las sueltas girarán hasta el piso en el mismo tiempo. Pero si una tiene una esfera sólida de plasticina pegada a su extremo superior como lo ilustra la figura, ¿cuál de ellas al rotar llegará primero al piso?



EL TORQUE Y EL MOMENTO ANGULAR

La sección 2 de este capítulo la iniciamos con el estudio de la dinámica del movimiento rotatorio a partir de, específicamente, la aplicación de la segunda ley de Newton. En ella aprendiste que la fuerza centrípeta es la fuerza que explica que una partícula describa un movimiento circunferencial, no como una nueva clase de fuerza, sino que como la resultante de las fuerzas aplicadas en la dirección radial. Esta fuerza explica la variación de la velocidad lineal de la partícula. Prosiguiendo con la dinámica de la rotación, en esta sección abordaremos dos conceptos sin los cuales el estudio de las rotaciones estaría incompleto: el torque, concepto comparable al de fuerza en los movimientos de traslación, y el momento angular, concepto comparable al momento lineal en esos movimientos.

AL LEER APRENDERÁS

- A explicar algunos movimientos de rotación aplicando el concepto de torque.
- A reconocer la aceleración angular de un cuerpo.

PRERREQUISITOS

- Conceptos y leyes de la dinámica unidimensional.
- Cinemática del movimiento circunferencial uniforme.

CONCEPTOS CLAVE

- Fuerza
- Rotación
- Aceleración angular
- Torque
- Brazo de palanca

Tema 1: El torque y las rotaciones

La aceleración angular

En el movimiento de rotación, tanto de partículas aisladas como de cuerpos rígidos, las partículas describen trayectorias circunferenciales alrededor del eje de rotación, y una de las magnitudes que hemos utilizado para describir tal rotación es el ángulo que barre el vector posición de la partícula.

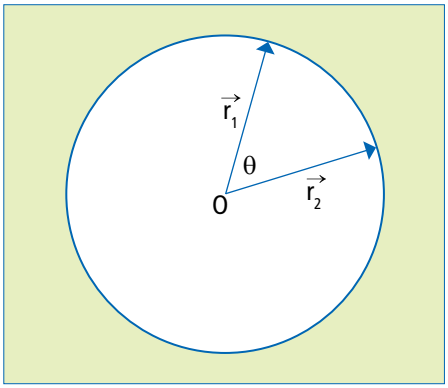


Figura 1.32
Una partícula rota alrededor del eje que pasa por el punto O.

En la **figura 1.32**, la partícula ocupa la posición $\vec{r}_1$ en un instante t_1 y la posición $\vec{r}_2$ en un instante posterior t_2. El vector posición barre el ángulo θ en el intervalo de tiempo $\Delta t = t_2 - t_1$. Cuando el movimiento es uniforme, como se ha supuesto en este capítulo, se cumple que su rapidez angular ω se mantiene constante, lo que equivale a decir que el vector posición barre ángulos iguales en intervalos de tiempo iguales. Más adelante introduciremos el concepto de **torque** para explicar, entre otras cosas, cómo se pasa del reposo a un movimiento con rotación.

Para que una partícula pase del estado de reposo al estado de movimiento de rotación, significa que experimenta una **aceleración**, el mismo concepto que conociste en la cinemática de traslación en el curso anterior. Precisemos su significado para una partícula que rota, como en la figura anterior.

Independientemente que la partícula parta del reposo, o que ya se encuentre en movimiento de rotación con rapidez angular variable, supongamos que su rapidez angular en el instante t_1 es ω_1 y que en un instante posterior t_2 es ω_2. Entonces, por analogía con el concepto de aceleración lineal en el movimiento de traslación, vamos a definir la aceleración angular media de la partícula en el intervalo de tiempo Δt como el cuociente $\frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$.

A partir de la expresión anterior, se define la **aceleración angular** instantánea, o simplemente aceleración angular, al límite del cuociente anterior cuando el intervalo de tiempo Δt tiende a cero. El símbolo que se utiliza para la aceleración angular es la letra griega alfa.

$$\alpha = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

¿CÓMO VAS? actividad

Según su definición, ¿cuál es la unidad de la aceleración angular? ¿Tienen igual aceleración angular todas las partículas que rotan en un mismo cuerpo rígido? ¿Cómo se interpreta un movimiento con aceleración angular constante?

Cuando sucede que en intervalos iguales de tiempo las variaciones de rapidez angular son también iguales, la aceleración angular es constante y se cumple que:

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Observa que, como es de esperar, cuando la rapidez angular ω es constante, como en el movimiento circunferencial uniforme, la variación de rapidez angular es cero y no hay aceleración angular.

Para completar esta descripción del movimiento de rotación acelerado, es necesario reforzar que en este tipo de movimiento hay magnitudes que miden el movimiento a lo largo de la trayectoria, como la rapidez lineal, y otras que lo hacen con respecto al ángulo que barre el vector posición de la partícula, como la rapidez angular y la aceleración angular. Pero ellas están relacionadas, como era de esperar, como en la forma que ya conocemos en este capítulo: $v = r \cdot \omega$, siendo v la rapidez lineal y ω la rapidez angular.

Analicemos conceptualmente la situación de una partícula en el borde de una rueda, por ejemplo, que parte del reposo. Aparte de su aceleración angular, también es un movimiento acelerado a lo largo de la trayectoria, aceleración que llamamos **aceleración tangencial** y que se puede relacionar con la aceleración angular según la **figura 1.33**.

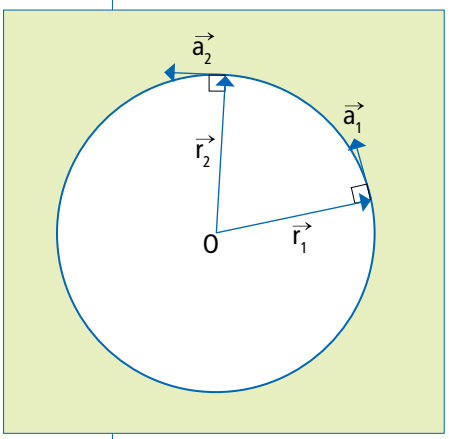


Figura 1.33
Los vectores posición y aceleración tangencial de una partícula en dos posiciones distintas de la trayectoria

SIR ISAAC NEWTON

Científico inglés (1642 - 1727). Protagonista, junto a otros, de la llamada «Revolución científica» del siglo XVII y el padre de la mecánica moderna. Su ámbito de investigación estuvo centrada en la Matemática, filosofía, pero su mayor aporte es hacia la física. Formuló una teoría sobre la naturaleza corpuscular de la luz y diseñó en 1668 el primer telescopio de reflector. También trabajó en otras áreas, como la termodinámica y la acústica. Su obra más importante fue, *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687), formuló rigurosamente las tres leyes fundamentales del movimiento: la primera ley de Newton o ley de la inercia, la segunda o principio fundamental de la dinámica, según el cual la aceleración que experimenta un cuerpo es igual a la fuerza ejercida sobre él dividida por su masa; y la tercera, que explica que por cada fuerza o acción ejercida sobre un cuerpo, existe una reacción igual de sentido contrario.



Suponemos un movimiento rotacional con aceleración angular constante. La aceleración tangencial a_t mide la variación de la rapidez lineal en el tiempo, es decir: $a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

Pero, por otra parte, también se cumple para la rapidez lineal v de la partícula: $v = r \cdot \omega$, por lo que remplazando en la relación anterior, se obtiene: $a_t = r \cdot \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$, que equivale a

$$a_t = r \cdot \alpha$$

La unidad que resulta de la relación anterior es $\frac{m}{s^2}$. La unidad rad es adimensional.

minirresumen

Para un movimiento con aceleración angular α constante, una partícula que rota a la distancia r del eje de rotación tiene una aceleración angular $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}$.

La aceleración angular se relaciona con la aceleración tangencial mediante la igualdad: $\alpha = \frac{a_t}{r}$.

Ejercicio resuelto N°1

DESCRIPCIÓN DE UN MOVIMIENTO CON ACELERACIÓN ANGULAR CONSTANTE

En la reproducción de un disco compacto, un rayo de luz láser explora el disco desde la pista de menor radio hasta la pista exterior, mientras el disco tiene un movimiento de rotación con aceleración angular constante. La rapidez lineal de los surcos es constante para todo el disco en el punto de lectura de la información e igual a 1,3 m/s. El radio del primer surco es de 2,0 cm y el del último es 6,0 cm. Supón que la duración total del disco es de 74 minutos y 33 segundos.

¿Cuál es la aceleración angular del disco?

Identificando la información

$v = 1{,}3$ m/s

$r_1 = 2{,}0$ cm $= 0{,}02$ m

$r_2 = 6{,}0$ cm $= 0{,}06$ m

$\Delta t = 4\,473$ s

Estrategia

Para determinar la aceleración angular del disco se utiliza la relación $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}$, y para la rapidez angular se tiene la expresión $\omega = \frac{v}{t}$, siendo v la rapidez constante de lectura.

Resolución

Calculemos por separado la rapidez angular ω_1 y la rapidez angular ω_2.

Se tiene: $\omega_1 = \frac{1{,}3 \text{ m/s}}{0{,}020 \text{ m}} = 65 \frac{\text{rad}}{s^2}$. Hay que notar que se ha insertado la unidad adimensional *radián* en el resultado.

Además $\omega_2 = \frac{1{,}3 \text{ m/s}}{0{,}060 \text{ m}} = 21{,}7 \frac{\text{rad}}{s^2}$.

Con estos resultados, más el dato del tiempo total de lectura del disco, resulta: $\alpha = \frac{21{,}7 \text{ rad/s} - 65 \text{ rad/s}}{4\,473 \text{ s}} = 9{,}7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{s^2}$.

Análisis del resultado

La aceleración es pequeña y negativa; la rapidez angular decrece lentamente.

¿Cómo vas? actividad

¿Qué aceleración tangencial tiene una partícula que rota con un movimiento circunferencial uniforme?

Evaluación para dos

actividad

DESCRIPCIÓN DE LA ROTACIÓN DE UN DISCO COMPACTO

1. Con los datos del problema anterior, demuestren que la longitud total de la pista del disco compacto que lee el rayo láser es de 5,8 kilómetros.
2. Al poner en funcionamiento el equipo lector, el disco compacto rota desde el reposo hasta 500 RPM en 5,0 segundos. Calcular la aceleración angular correspondiente.

El torque

En el tema de la cinemática de las rotaciones, hemos visto en este capítulo que hay relaciones análogas entre las de la cinemática de traslación y las de la cinemática de rotación. En la dinámica también hay magnitudes análogas, como la inercia rotacional respecto a la masa inercial. En la dinámica de la traslación, la causa de los cambios del movimiento de los cuerpos es la fuerza. Si están en reposo, una fuerza los puede poner en movimiento; si están en movimiento, una fuerza les puede provocar un cambio en el movimiento. La segunda ley de Newton permite explicar todas estas situaciones: $F_{neta} = m \cdot a$ relacionando la fuerza neta con la aceleración de los cuerpos.

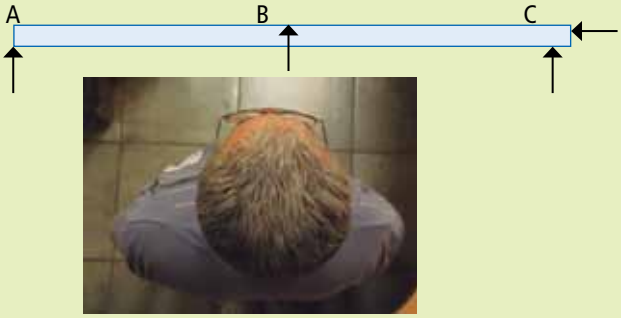
Veremos a continuación que el **torque** es el concepto análogo al de fuerza. Aunque no es igual a una fuerza, el torque es la causa que origina las rotaciones y produce aceleración angular. ¿De qué factores depende tal aceleración angular? Veremos que, a diferencia de la dinámica de traslación, depende de la fuerza aplicada y también de otros factores.

La siguiente actividad práctica te permitirá experimentar el nuevo concepto observando la aceleración angular que adquiere un cuerpo que puede rotar alrededor de un eje.

minilaboratorio

Aplicando torques a una puerta

El objeto al que aplicarás fuerzas para provocar diversas aceleraciones angulares en esta actividad será una puerta cualquiera de tu casa o establecimiento escolar. Observa el ejemplo de la fotografía.



Materiales

- 1 regla.
- 1 goma de borrar.

Procedimiento

Empuja suavemente la puerta para abrirla en los lugares que se indican a continuación aplicando fuerzas comparables entre sí cada vez, por medio de la goma de borrar, para facilitar el contacto con la puerta.

La figura muestra esquemáticamente la puerta desde arriba, y los lugares y direcciones en que aplicarás la fuerza. En A se encuentra el eje de rotación de la puerta, es decir, donde están las bisagras; B es su punto medio, y C es el extremo por donde se abre normalmente la puerta.

En los puntos A, B y C aplica además fuerzas a la puerta en otras direcciones, es decir, en ángulo.

Análisis

- ¿Fue igual el efecto en la rotación de la puerta cuando aplicaste las fuerzas?
- ¿Dónde y cómo aplicaste la fuerza cuando te fue más fácil abrir la puerta?

INVESTIGA Y RESPONDE

- ¿Por qué la manilla de abrir/cerrar una puerta está ubicada lejos del eje de rotación de esta?

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
– http://www.fis.puc.cl/~jmejia/docencia/Dir_fis101m/Dir_clases/fis101m_07.pdf

Para hacer rotar un cuerpo rígido, hay que aplicarle un torque. El torque incluye una fuerza y un punto de aplicación, como se define a continuación.

Revisemos una experiencia común: soltar una tuerca con una llave. En el extremo de la llave aplicamos una fuerza. Nos podemos preguntar lo siguiente: ¿En qué dirección se debe aplicar la fuerza para que sea más efectiva?, ¿conviene que el mango sea más largo? En la **figura 1.34** se destacan los siguientes elementos geométricos:

- El **punto de aplicación** de la fuerza (P).
- La **línea de acción** de la fuerza, formada por la prolongación del vector $\vec{F}$.
- El **brazo de palanca** (d), distancia más corta entre el eje de rotación del sistema y la línea de acción.
- La distancia (r) entre el eje de rotación del sistema y el punto de aplicación de la fuerza.

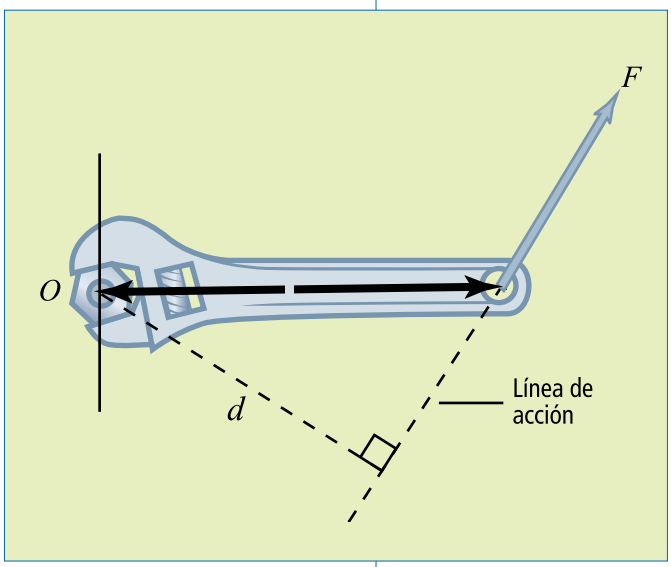


Figura 1.34
Aplicación de un torque

Se define el torque τ de la fuerza aplicada, como la proyección perpendicular de la fuerza que actúa sobre un brazo de palanca, es decir:

$$\tau = r \cdot F \cdot \text{sen}\theta$$

donde θ es el ángulo que forman entre sí, r y F.

Si la fuerza y el brazo son perpendiculares, entonces la expresión se simplifica a: $\tau = d \cdot F$.

Se define el **torque** τ de la fuerza aplicada:

$$\tau = d \cdot F$$

donde el símbolo τ corresponde a la letra griega tau minúscula.

Según la definición, se deduce que:

- el torque depende de la posición del eje de rotación del sistema.
- como el torque es el producto de una distancia por una fuerza, su unidad es m · N.

evaluación individual actividad

ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DE UN TORQUE

Lee los siguientes enunciados y justifica tus respuestas. Discútelas con tus compañeros.

1. En la situación de la figura anterior, ¿sería más efectivo que la fuerza F se aplicara en dirección perpendicular al mango de la herramienta?
2. ¿Es preferible un mango más largo para una mayor efectividad de la aplicación del torque?
3. Si se mantiene el punto de aplicación de la fuerza, ¿en qué dirección hay que aplicar la fuerza F para que el brazo de palanca sea el máximo posible? ¿Y en qué dirección hay que aplicar la fuerza F para que el brazo de palanca sea mínimo o cero?
4. Si la fuerza se aplicara a lo largo del mango, ¿hay efecto rotacional?
5. Vuelve a tus respuestas del minilaboratorio aplicando torques a una puerta y justifícalas.

Relación entre torque y aceleración angular

REFLEXIONA

- ¿Quién tendrá mayor aceleración angular al rodar bajando de un plano inclinado, un aro o un disco macizo?

En los ejemplos de aplicación de un torque, el efecto observable es un movimiento de rotación que parte del reposo, o también puede ser un movimiento que pase de la rotación al reposo, o cualquiera otra variación del movimiento rotacional de un cuerpo rígido que implique una **aceleración angular**. Deduciremos a continuación una relación general entre torque y la aceleración angular de un cuerpo.

Supongamos una partícula de masa m que rota a la distancia r del eje de rotación, y a la cual se aplica una fuerza tangencial F para que tenga un movimiento con aceleración angular.

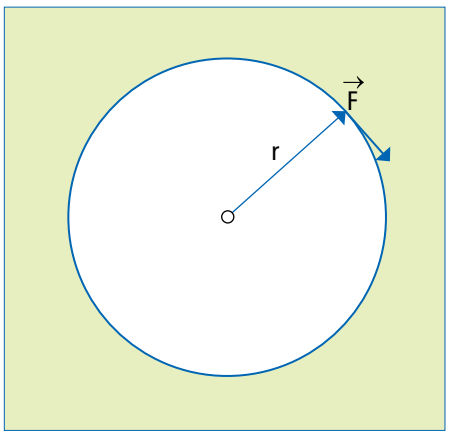


Figura 1.35
Aplicación de una fuerza tangencial a una partícula

Como la partícula tiene una aceleración angular α como consecuencia de la fuerza tangencial $\vec{F}$ aplicada a ella, se cumple: $F = m \cdot r \cdot \alpha$, ya que la aceleración tangencial, como se ha visto antes, es $a_t = r \cdot \alpha$. Luego, el torque aplicado a la partícula, según la definición de torque, es:

$$\tau = r \cdot F = m \cdot r^2 \cdot \alpha$$

Pero la situación más general sucede cuando se aplica un torque a un cuerpo rígido, el cual está constituido por infinitas partículas. Entonces, extendiendo la relación última a todas estas partículas, se puede escribir, recordando que la aceleración angular α es igual para todas las partículas de un cuerpo que rota: $\Sigma\tau = (\Sigma\, m \cdot r^2) \cdot \alpha$.

¿Recuerdas qué representa la expresión $\Sigma\,(m \cdot r^2)$? Es la **inercia rotacional** I del cuerpo que rota. Luego, suponiendo que es el torque neto externo aplicado al cuerpo en rotación, se tiene finalmente la siguiente relación entre el torque y la aceleración angular:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

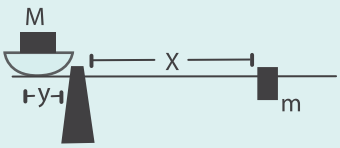
¿CÓMO VAS?

Actividad

1. En la situación de la **figura 1.35**, la fuerza representada origina una aceleración tangencial a la partícula. ¿Debería existir otra fuerza sobre la partícula, además de la representada?
2. El torque que se debe aplicar para hacer rotar con igual aceleración angular un disco, ¿depende de si toda la masa está distribuida a lo largo del borde del disco, o de si está distribuida uniformemente por todo el disco? Discute con tus compañeros.

TEN PRESENTE

- Las balanzas romanas tienen brazos desiguales. El peso se determina con un pilón m que se desliza por uno de los brazos para igualar el torque producido por la masa M.



Ejercicio resuelto N°2

APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE TORQUE

La figura muestra un cilindro macizo compuesto, de radio r_1 el exterior y r_2 el interior. Puede rotar alrededor del eje longitudinal que pasa por el centro del cilindro compuesto. Se debe suponer que se aplican dos fuerzas por medio de dos cuerdas, como se ilustra en la **figura 1.36**.

a. Determinar la expresión para el torque neto sobre el cilindro.

b. ¿En qué sentido rota el cilindro compuesto si los datos del problema son los siguientes?

$r_1 = 30$ cm, $F_1 = 4$ N, $r_2 = 60$ cm, $F_2 = 16$ N

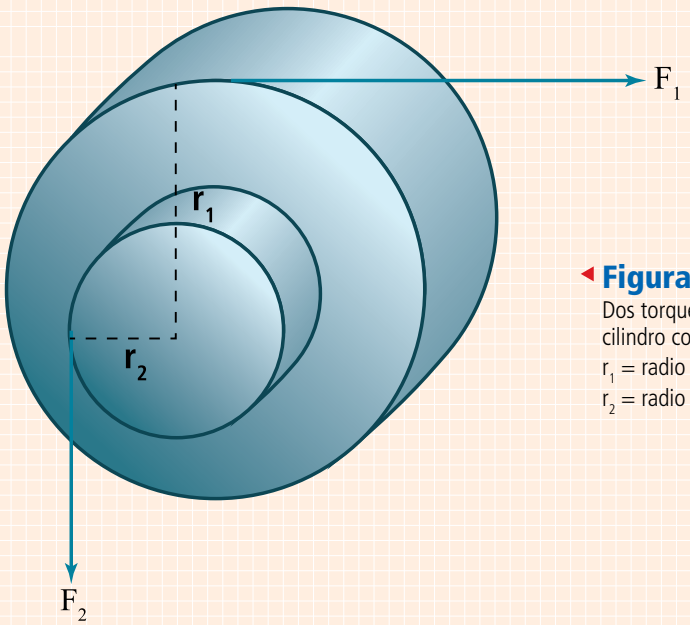


Figura 1.36
Dos torques actúan sobre el cilindro compuesto.
r_1 = radio cilindro exterior
r_2 = radio cilindro interior

a. En la situación mostrada en la figura, el torque neto se determina sumando algebraicamente los dos torques parciales. El signo del torque es positivo cuando el cuerpo tiende a rotar en sentido anti horario, y negativo en caso contrario. Entonces:

$$\tau_{neto} = r_2 \cdot F_2 - r_1 \cdot F_1$$

La relación anterior es válida cuando la fuerza aplicada es tangente al cilindro, porque en tal caso el brazo de palanca coincide con el radio respectivo del cilindro.

b. Remplazando: $\tau_{neto} = (0{,}60\ \text{m}) \cdot (16\ \text{N}) - (0{,}30\ \text{m}) \cdot (4\ \text{N}) = 8{,}4\ \text{N} \cdot \text{m}$.

Por resultar un torque neto positivo, se deduce que el cilindro macizo rota en sentido anti horario.

AHORA RESUELVES TÚ

¿En qué sentido rota el cilindro si los datos del problema son los siguientes?

$r_1 = 60$ cm, $F_1 = 4$ N, $r_2 = 30$ cm, $F_2 = 16$ N

TEMA 2: El momento angular y su conservación

El momento angular

Recordemos el concepto de momento lineal p de una partícula de masa m que se traslada con velocidad $\vec{v}$:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

La expresión general para el momento lineal tiene carácter vectorial, pero la igualdad anterior también se puede expresar en función de los módulos del momento lineal y de la velocidad, es decir, su rapidez.

Para una partícula en movimiento de rotación, se define su **momento angular** respecto al centro de rotación, de la siguiente manera:

$$L = r \cdot p$$

relación válida cuando los vectores posición $\vec{r}$ y momento lineal $\vec{p}$ son perpendiculares entre sí, como en el movimiento circunferencial uniforme.

Se debe notar que:

- La unidad del momento angular, según su definición, corresponde a $kg \cdot \frac{m^2}{s}$.
- El momento angular es una magnitud física vectorial, perpendicular a los vectores $\vec{r}$ y $\vec{v}$, a lo largo del eje de rotación (**figura 1.37a**). Pero consideraremos principalmente solo su módulo.
- Así como el momento lineal es una herramienta conceptual que ayuda al análisis de situaciones de movimiento de traslación, veremos que el momento angular será de gran utilidad para comprender los movimientos de rotación.

Apliquemos la definición del momento angular a una partícula de masa m que describe un movimiento circunferencial uniforme en sentido horario de radio r y rapidez lineal v, como muestra la **figura 1.37b**

El módulo p del momento lineal para este movimiento es constante e igual a $p = m \cdot v$. Luego, el módulo del momento angular de la partícula que describe un movimiento circunferencial uniforme es $L = r \cdot p = m \cdot v \cdot r$.

Podemos agregar que el vector $\vec{L}$, en este ejemplo, tiene su origen en O y apunta hacia adentro de la figura. Si rotara en sentido contrario, el vector $\vec{L}$ apuntaría hacia afuera de la **figura 1.37b**.

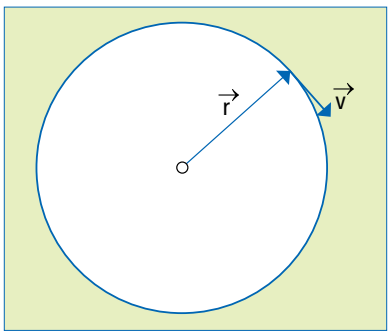


Figura 1.37b
Ilustra el radio y la velocidad tangencial

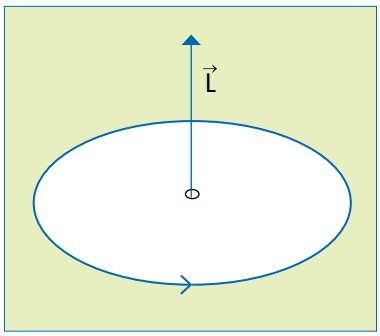


Figura 1.37a
Ilustra el vector momento angular

AL LEER APRENDERÁS

- A describir y explicar la rotación de los cuerpos rígidos mediante la aplicación cuantitativa de la ley de conservación del momento angular.
- A resolver diversos problemas de rotaciones aplicando la propiedad de conservación del momento angular.

PRERREQUISITOS

- Comprender los conceptos y leyes de la dinámica unidimensional.
- Describir la cinemática del movimiento circunferencial uniforme.
- Reconocer los conceptos de torque e inercia rotacional.

CONCEPTOS CLAVE

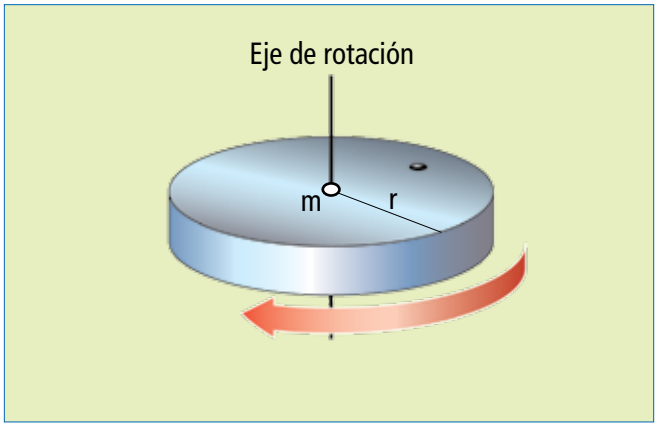
- Momento angular
- Rapidez angular

TEN PRESENTE

- La tendencia de un objeto que gira a conservar su eje de rotación se debe a una característica de los sistemas rotatorios llamado momento angular $\vec{L}$ el cual apunta en la dirección del eje de rotación, con sentido definido por la regla de la mano derecha o del tirabuzón de rosca derecha, y su módulo está dado por:

$$|\vec{L}| = I \cdot \omega \left[\frac{kg \cdot m^2}{s}\right]$$
(S.I.)

¿Cómo se determina el momento angular de un cuerpo rígido, es decir, compuesto por muchas partículas (en realidad, infinitas)? Apliquemos la definición del momento angular a un disco rígido que rota alrededor de su eje de simetría con rapidez angular ω.



Como cada partícula del disco rota con la misma rapidez angular ω, entonces el momento angular L de la partícula de vector posición r en la figura, respecto al eje de rotación, es igual a:

$$L = m \cdot v \cdot r$$

Pero la rapidez lineal v se puede expresar en función de la rapidez angular ω, se deduce para el momento angular de esa partícula:

$$L = m \cdot r^2 \cdot \omega$$

Ahora hay que sumar las contribuciones al momento angular de todas las partículas del disco, suponiendo que tienen la misma masa m y que solo difieren en su distancia r al eje de rotación. Se tiene, luego, para el momento angular de todo el cuerpo que gira:

$$L = \sum(m_1 r_1^2 \omega + m_2 r_2^2 \omega + m_3 r_3^2 \omega + \ldots)$$

y como la rapidez angular es igual para todas las partículas:

$$L = [\sum(m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots)] \cdot \omega$$

¿Recuerdas a qué corresponde la expresión contenida en el paréntesis cuadrado? En la sección anterior se vio que la inercia rotacional de un cuerpo compuesto por muchas partículas era igual a:

$I = \sum(m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots)$ por lo que podemos concluir:

$$L = I \cdot \omega$$

En esta relación, la magnitud I representa a la inercia rotacional del cuerpo que rota con rapidez angular ω.

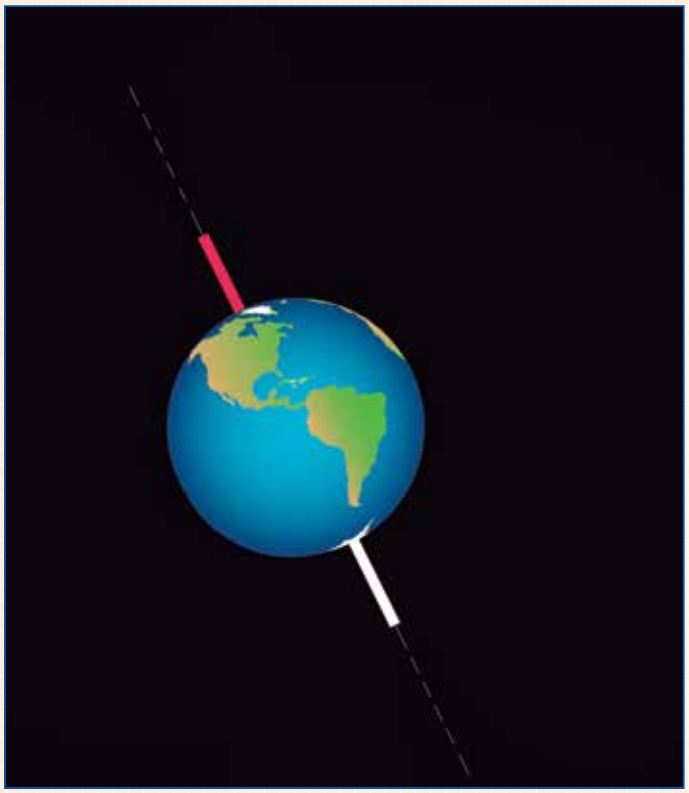
¿Cómo vas? actividad

Supón un disco macizo que rota con rapidez angular ω. Si toda la masa de este disco se redistribuye en forma de anillo con igual radio que el disco macizo, manteniéndose la misma rapidez angular ω, compara el momento angular de los dos cuerpos en rotación.

Ejercicio resuelto Nº3

APLICACIÓN CUANTITATIVA DEL MOMENTO ANGULAR

Determina el momento angular de la Tierra en su movimiento de rotación alrededor del eje de rotación norte-sur. Supón que la Tierra es una esfera uniforme.



Identificando la información.

Los datos que será necesario conocer para resolver este problema, son la masa M y el radio R de la Tierra, además de su período de rotación T en segundos. En tablas de datos de la Tierra, encontramos:

$M = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg

$R = 6{,}40 \cdot 10^{6}$ m

$T = 24\ h = 24 \cdot 60 \cdot 60\ s = 86\ 400\ s$

Estrategia

En la sección anterior se vio que la inercia rotacional de una esfera es $I = \frac{2}{5} MR^2$. Una vez calculada, se multiplica por la rapidez angular de la Tierra en función del período, es decir, $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Resolución

Con los datos conocidos, se determina la inercia rotacional de la Tierra y su rapidez angular.

Resulta: $I = \frac{2}{5} (5{,}98 \cdot 10^{24}\ kg)\ (6{,}40 \cdot 10^{6}\ m)^2 = 97 \cdot 10^{36}\ kg \cdot m^2$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi\ rad}{86\ 400\ s} = 7{,}27 \cdot 10^{-5}\ s^{-1}$$

Remplazando estos resultados parciales en $L = I \cdot \omega$, se obtiene:

$L = (97{,}0 \cdot 10^{36}\ kg \cdot m^2)\ (7{,}27 \cdot 10^{-5}\ s^{-1}) = 7{,}05 \cdot 10^{33}\ kg \cdot \frac{m^2}{s}$

Análisis del resultado

El resultado anterior por sí solo quizás no tenga mayor interpretación, aparte de su enorme valor que le adjudica el exponente 33 en la potencia de 10. Habría que compararlo con otro momento angular a nivel astronómico. El siguiente problema puede proporcionar esta comparación.

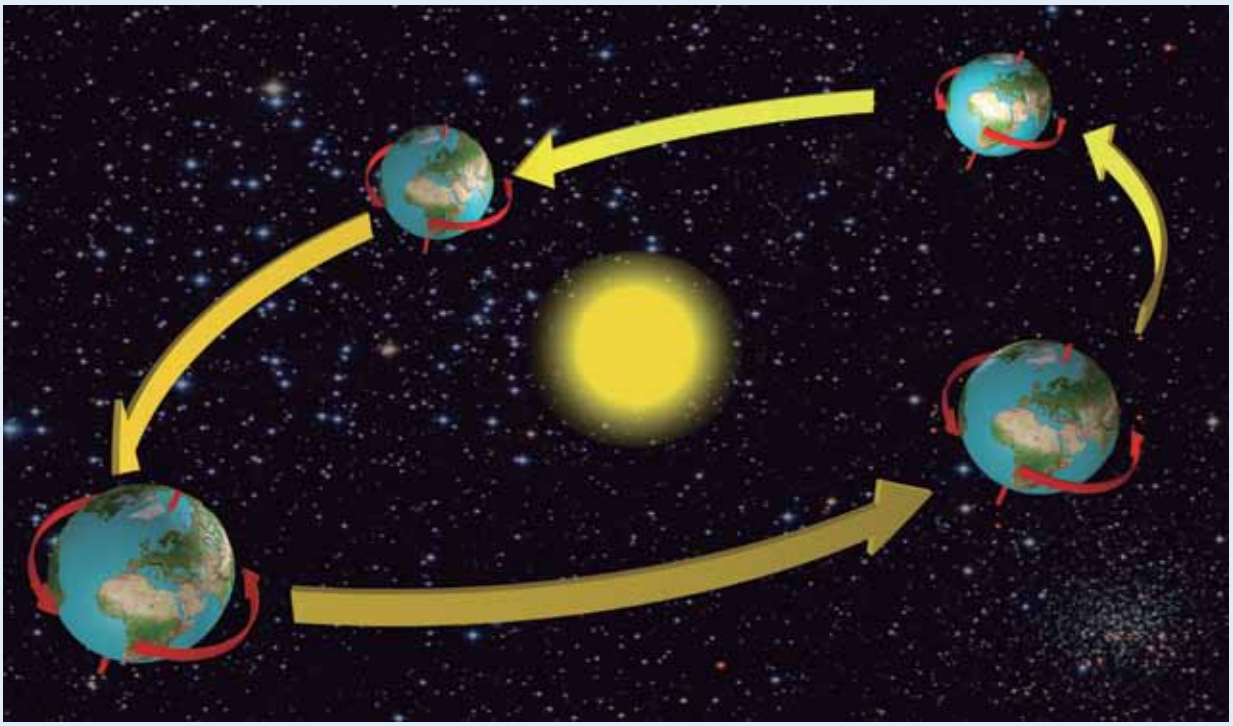
AHORA RESUELVES TÚ

¿Cuál sería el valor del momento angular de la Tierra si su radio fuera de 7 000 km?

COMPARANDO EL MOMENTO ANGULAR DE LA ROTACIÓN DE LA TIERRA, CON EL DE TRASLACIÓN DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel



1. Calculen el momento angular de la rotación de la Tierra alrededor de su eje norte-sur
2. Determinen el momento angular del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, para esto, consideren:
   a. la Tierra como una partícula
   b. que el período del movimiento es un año.
   c. la distancia de la Tierra al Sol es de 150 millones de kilómetros

Supongan que el movimiento es circunferencial (rigurosamente no lo es, la órbita de la Tierra es ligeramente elíptica)

3. Comparen los dos momentos angulares.

Discusión

1. ¿Cuál es la importancia teórica que reviste conocer el momento angular de un cuerpo?
2. En una situación hipotética consideramos que el momento angular del movimiento de traslación de la Tierra calculado no cambia. ¿Qué sucedería con el período del movimiento de traslación de la Tierra en torno al Sol si la distancia que los separa aumenta al doble?

Cabe preguntarse por la importancia práctica o teórica que reviste conocer el momento angular de un cuerpo, aparte de la ejercitación matemática. A continuación, veremos que existe una importante ley del movimiento de rotación en la que intervienen el momento angular y el torque, y que con esa ley podremos describir, explicar y predecir muchas situaciones en las que participan partículas o cuerpos en rotación, desde los minúsculos átomos hasta cuerpos astronómicos.

Ley de conservación del momento angular

En la dinámica de la traslación existe el principio de la conservación del momento lineal total de cualquier sistema cuando la fuerza externa neta es cero. Existe una ley de conservación análoga para el movimiento de rotación, que enuncia lo siguiente:

> El momento angular total de un sistema permanece constante cuando el torque externo neto aplicado al sistema es cero.

Un momento angular constante significa, en otras palabras, que si L_1 y L_2 son los momentos angulares de un sistema en dos instantes cualesquiera t_1 y t_2, entonces se cumple:

$$L_1 = L_2$$

En otros símbolos:

$$I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2$$

Antes de aplicar cuantitativamente esta ley a situaciones diversas, observemos cómo ella permite entender algunas demostraciones deportivas y artísticas.

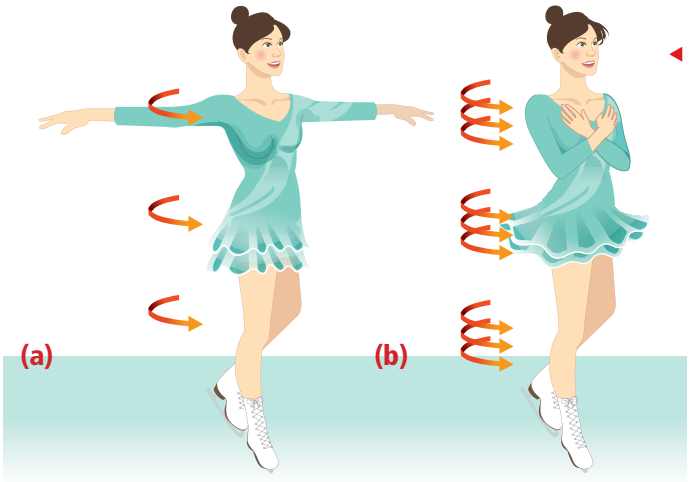


Figura 1.38
Una patinadora aplicando la conservación del momento angular para girar más rápido

En la **figura 1.38** se observa una patinadora que maniobra sus brazos. En las imágenes (a) y (b) se manifiestan la inercia rotacional y su efecto en la rapidez angular. Como todo sistema que rota, ella posee una inercia rotacional que puede controlar a voluntad, cerrando o abriendo los brazos. Pues bien, los brazos extendidos hacen aumentar su inercia rotacional, como en (a), mientras rota con cierta rapidez angular. Al juntar sus brazos, su inercia rotacional disminuye y simultáneamente su rapidez angular aumenta en la misma proporción en que disminuye su inercia rotacional.

¿Por qué sucede todo eso? Como el producto $I \cdot \omega$ debe permanecer constante, por la ausencia de un torque neto externo, las dos magnitudes de la igualdad son inversamente proporcionales entre sí. Por ejemplo, si la inercia rotacional disminuye a la mitad, la rapidez angular aumenta al doble.

Existen otras rutinas artísticas que se basan en la conservación del momento angular. Pueden suceder simultáneamente traslaciones y giros. Cada vez que una bailarina extiende o junta sus brazos, consigue variar su inercia rotacional para controlar la rapidez angular de sus giros. **Figura 1.39**



Figura 1.39
Una patinadora controla la rapidez angular de sus giros abriendo o cerrando sus brazos

INVESTIGA Y RESPONDE

- Investiga, ¿por qué cuando se sujeta un gato por sus extremidades y se deja caer, este cae parado?
- Si un patinador que gira acerca los brazos para reducir su inercia rotacional a la mitad, ¿cuánto aumentará su momento angular?, ¿cuánto aumentará la rapidez de los giros?

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
– http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/teoria/A_Franco/solido/m_angular/momento.htm

TEN PRESENTE

- La conservación del momento angular permite entender, además de otras estructuras:
  - Forma de las galaxias
  - Variación de la rapidez con que giran los planetas en torno al Sol.
- También, a través del giroscopio, permite mejorar el control de los sistemas de navegación.
- Averigua qué es un giroscopio.

Más espectaculares aún son las acrobacias que se realizan en el aire. ¿Te has fijado que la deportista rota más rápidamente cuando recoge sus piernas y brazos en la parte más alta de su trayectoria parabólica? **Figura 1.40**. También los astronautas son entrenados para controlar sus movimientos para cuando estos flotan en el espacio.



Figura 1.40 ▸
El recoger los brazos y piernas permite a esta nadadora girar más rápido al realizar el salto de sus clavados

actividad de indagación en terreno

EXPLICANDO ALGUNOS MOVIMIENTOS ACROBÁTICOS DE ROTACIÓN

La próxima vez que asistas a un espectáculo deportivo, artístico o circense, toma nota de todos los movimientos y acrobacias que incluyan variaciones de inercia rotacional y de rapidez angular. Graba las presentaciones y prepara una disertación ante el curso.

miniresumen

Para el movimiento de rotación, se han desarrollado los siguientes conceptos y propiedades:

- El momento angular $L = r \cdot p$ para una partícula, con los vectores r y p perpendiculares entre sí. También: $L = m \cdot r \cdot v$. Los símbolos L, r, v representan los módulos de vectores.
- El momento angular es una magnitud vectorial perpendicular en el eje de rotación, perpendicular a los vectores posición y momento lineal.
- Para un cuerpo rígido en rotación, se cumple que su momento angular se expresa $L = I \cdot \omega$, siendo I su inercia rotacional y ω su rapidez angular.
- Conservación del momento angular de un sistema, en ausencia de un torque neto externo. Se cumple, para dos instantes cualesquiera t_1 y t_2, la siguiente igualdad: $I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2$
- La conservación del momento angular permite describir y explicar el movimiento de rotación de los cuerpos rígidos.

Aplicación cuantitativa de la ley de conservación del momento angular

Para apreciar la importancia que tiene la ley de conservación del momento angular en el mundo físico, desarrollemos a continuación diversos problemas de aplicación:

Ejercicio resuelto N°4

UNA ESTRELLA QUE COLAPSA

Toda estrella, en algún momento de su evolución, agotará su combustible nuclear (el hidrógeno) y colapsará mediante algún proceso que depende de la masa de la estrella. Puede suceder que los átomos ya no pueden mantenerse alejados entre sí, por pérdida del equilibrio interno entre ellos, y la atracción gravitatoria los acerque y compacte formando lo que se llama una estrella de neutrones. Los astrónomos las reconocen por su enorme rapidez de rotación.

Las estrellas rotan. El Sol lo hace a razón de una revolución al mes, aproximadamente. Como las fuerzas que causan el colapso son internas, no alteran el momento angular de la estrella. Supongamos una estrella similar al Sol, de radio igual a $7 \cdot 10^5$ km y que se reduce hasta un radio de 10 km. Determinar la rapidez angular de la estrella de neutrones.

Identificando la información

Denotemos por el subíndice i el estado previo al colapso de la estrella, y por f el subíndice de la estrella de neutrones. Luego:

$\mathbf{r_i}$ = $7 \cdot 10^5$ km = $7 \cdot 10^8$ m

f_i = 1 rev/mes Nota: por la pequeñez del valor de la frecuencia, dejaremos este dato como está, es decir, referido a un mes.

$\mathbf{r_f}$ = 10 km = $10 \cdot 10^3$ m

f_f = ?

Estrategia

Para plantear la conservación del momento angular, debemos aceptar que ningún torque externo actúa sobre la estrella original, ya que las fuerzas que provocan el colapso son internas. También supondremos que en su estado final, la estrella es aún esférica y con la misma masa inicial, es decir: $M_i = M_f$. La inercia rotacional de una esfera es igual a $I = \frac{2}{5} MR^2$.

La igualdad a plantear es la siguiente:

$$I_i \cdot \omega_i = I_f \cdot \omega_f$$
$$I_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_i = I_f \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_f$$
$$I_i \cdot f_i = I_f \cdot f_f$$

Resolución

Despejando la frecuencia final a partir de la última relación, e introduciendo la expresión para la inercia rotacional, se tiene:

$$f_f = \frac{I_i f_i}{I_f} = \frac{r_i^2}{r_f^2} \cdot f_i$$

Reemplazando los datos del problema:

$$f_f = \frac{(7 \cdot 10^8 \text{ m})^2}{(10 \cdot 10^3 \text{ m})^2} \cdot \left(1 \frac{\text{rev}}{\text{mes}} \right) = 4{,}9 \cdot 10^9 \frac{\text{rev}}{\text{mes}}$$

Análisis del resultado

A diferencia de la rapidez angular inicial que era muy pequeña, el resultado de la rapidez angular final ha arrojado un valor altísimo. Conviene convertirlo a revoluciones por segundo.

Un mes tiene $30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ s = 2 592 000 s; entonces el número de revoluciones de la estrella de neutrones es de 1 890 revoluciones por segundo, una frecuencia extraordinariamente grande.

AHORA RESUELVES TÚ

Una estrella tiene un radio de $7 \cdot 10^7$ km y una rapidez angular de 2 rev/mes ¿Cuál es su rapidez angular si su radio se reduce hasta los 70 km?

Ejercicio resuelto N°5

El cometa Halley orbita al Sol siguiendo una elipse muy alargada que la recorre cada 75 años. Su menor distancia al Sol es de 90 millones de kilómetros, y su mayor distancia es de 5250 millones de kilómetros. Si la rapidez lineal del cometa en su punto más próximo al Sol es de 54 km/s, determinar su rapidez lineal en el punto más alejado del Sol.



Identificando la información

Llamemos $\mathbf{r}_1$ a la menor distancia al Sol, y $\mathbf{r}_2$ a la distancia mayor.

$\mathbf{r}_1 = 90 \cdot 10^6$ km

$\mathbf{r}_2 = 5\,250 \cdot 10^6$ km

$\mathbf{v}_1 = 54$ km/s

$\mathbf{v}_2 = ?$

Estrategia

El sistema puede asociarse a una partícula que orbita al Sol, por lo que es válida la relación $L = m \cdot v \cdot r$. Si bien el movimiento que describe el cometa no es circunferencial uniforme, en el punto más próximo y en el más lejano al Sol, los vectores posición y velocidad del cometa son perpendiculares entre sí. (**Figura 1.41**)

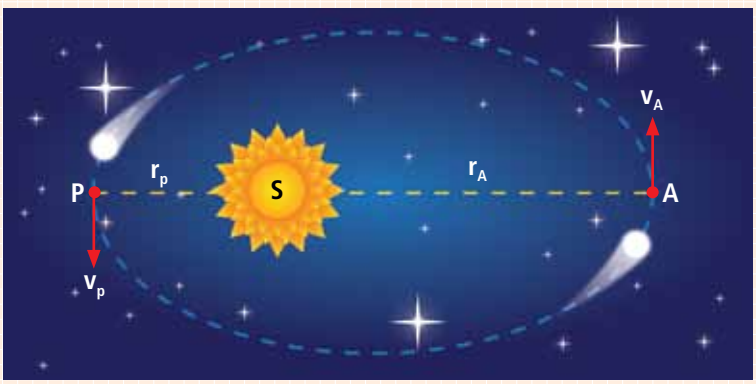


Figura 1.41 ▸
En el afelio punto más lejano al Sol (r_A), y en el perihelio , punto más cercano al Sol (r_p), los vectores posición, momentun lineal, la velocidad afelio (v_A) y la velocidad perihelio (v_p) son perpendiculares.

Supondremos que la masa del cometa no varía, lo que no es totalmente exacto. Por otra parte, sobre el cometa no actúa ningún torque externo, por lo que es válida para él la ley de conservación del momento angular, en su expresión:

$$m \cdot v_1 \cdot r_1 = m \cdot v_2 \cdot r_2$$

De aquí despejamos la incógnita v_2 y se obtiene: $v_2 = \dfrac{v_1 \cdot r_1}{r_2}$

Resolución

Remplazamos los datos en la relación última: $v_2 = \dfrac{\left(54 \dfrac{km}{s}\right)(90 \cdot 10^6 \text{ km})}{5\,250 \cdot 10^6 \text{ km}} = 0{,}926 \dfrac{km}{s} \approx 1 \dfrac{km}{s}$

Análisis del resultado

Como era de esperar, la rapidez lineal del cometa disminuye a medida que se aleja del Sol.

AHORA RESUELVES TÚ

Un cometa orbita en torno a una estrella siguiendo una elipse muy alargada que la recorre cada 80 años. Su menor distancia a la estrella es de 100 millones de kilómetros, y su mayor distancia es de 5300 millones de kilómetros. Si la rapidez lineal del cometa en su punto más próximo a la estrella es de 60 km/s, ¿cuál es su rapidez lineal en el punto más alejado de la estrella?

Ejercicio resuelto N°6



Si las capas de hielo polar de la Tierra se derritieran y el agua resultante se esparciera en los océanos, la profundidad de los océanos podría aumentar en unos 30 metros.

La fusión de los hielos, ¿afectaría al movimiento de rotación de la Tierra, y por lo tanto a la duración del día? Demostrar la respuesta.

Identificando la información

El radio de la Tierra, antes y después de la fusión de los hielos, lo denotamos por r_i y r_f, respectivamente; iguales subíndices para la rapidez angular de la Tierra. La masa total M de la Tierra no varía.

$\mathbf{r_i}$ = 6 400 km = 6 400 000 m

$\mathbf{r_f}$ = 6 400 030 m

$\mathbf{T_i}$ = 24 h = 86 400,0 s

Estrategia

Los trozos de hielo que se desprenden de los casquetes polares caen sin influencia de torques externos a la Tierra, por lo que es válida en este problema la ley de conservación del momento angular. Luego, la igualdad que corresponde plantear inicialmente es la siguiente: $I_i \cdot \omega_i = I_f \cdot \omega_f$

Hemos visto que la inercia rotacional de una esfera es igual

$$I = \frac{2}{5} M \cdot r^2$$

También habrá que expresar la rapidez angular en función del período de la rotación, por medio de la relación $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Como el producto $\frac{2}{5} \cdot M$ es constante en este desarrollo, se simplifica en la división posterior y la expresión para la rapidez angular final de la Tierra es la siguiente:

$$\omega_f = \frac{r_i^2 \cdot \omega_i}{r_f^2}$$

Resolución

Remplazando los datos en la expresión para la rapidez angular final, se tiene:

$$\omega_f = \frac{(6\,400\,000\ \text{m})^2 \cdot \left(\frac{2\,\pi\ \text{rad}}{86\,400\text{s}}\right)}{(6\,400\,030\ \text{m})^2} = 7{,}27215 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

De aquí, el período T_f es el siguiente:

$$T_f = \frac{2\,\pi\ \text{rad}}{7{,}27215 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 86\,400{,}6\ \text{s}$$

Análisis del resultado

Se ha demostrado que el período de rotación de la Tierra, es decir, la duración del día, aumentaría en seis décimas de segundo. El movimiento de rotación de la Tierra se vería afectado (Esta sería una de las consecuencias del calentamiento global, causado por el efecto de los gases invernadero que son liberados al espacio.) ¿Recuerdas qué procesos son los causantes de esta contaminación?

AHORA RESUELVES TÚ

¿Cuál sería el periodo de rotación de la Tierra si su radio fuera de 7000 km

Evaluación de sección 3

APLICACIÓN CUANTITATIVA DE LA LEY DE CONSERVACIÓN DEL MOMENTO ANGULAR

Tomando como ejemplo las resoluciones de los problemas anteriores, resuelvan la siguiente situación.

Supongamos que uno de ustedes está de pie en el centro de una plataforma que rota con una frecuencia de 1,2 rev/s. Sus brazos están extendidos y en cada mano sostiene un peso. La inercia rotacional total del sistema es 8,3 kg·m^2. Cuando recoge los brazos con las pesas que sostiene, el momento de inercia total cambia a 3,3 kg·m^2. Calculen la rapidez angular final de la plataforma.

TEN PRESENTE

- Cuando un cuerpo se encuentra girando, su momento angular permanece constante, a no mediar un torque externo que lo haga modificar su estado de rotación.

  Si aumenta el momento de inercia, la rapidez angular disminuye: no olvides que $L = I \cdot \omega$, condición matemática de proporcionalidad inversa entre dos variables.

  El Principio de Conservación del momento angular establece que

  $$L_i = L_f$$

  $$I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2 = \ldots = I_n \cdot \omega_n$$

  Si en un objeto que gira la masa se acerca al eje de rotación, disminuye su momento de inercia y gira más rápido. Pueden cambiar I y ω

  pero $I \cdot \omega$ = CONSTANTE

Laboratorio

EXPERIMENTANDO LA CONSERVACIÓN DEL MOMENTO ANGULAR

(Actividad para dos alumnos)

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos y formulación de explicaciones apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel

Objetivo

Aplicar la ley de conservación del momento angular para explicar una demostración experimental.



Materiales

- 1 piso rotatorio
- 1 rueda de bicicleta, o similar, con un eje que sobresale para tomarla.

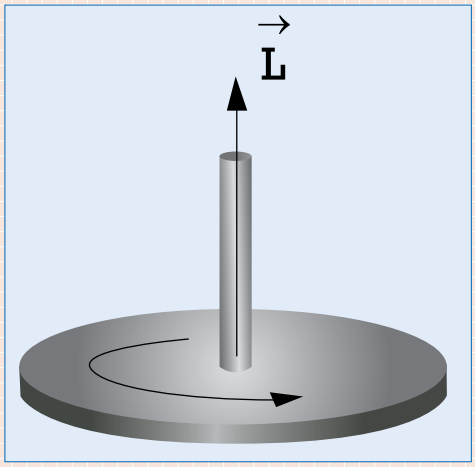
Procedimiento

1. Verifiquen previamente que la rueda y el piso puedan rotar con facilidad.
2. Inicialmente, la rueda gira en un plano horizontal mientras la alumna la sostiene con sus manos.
3. En cierto momento, la alumna invierte rápidamente la rueda, que se encuentra girando, de modo que la mano que se encontraba sobre la rueda ahora está abajo, e inversamente la otra mano.
4. ¿Ocurre algún efecto visible de la acción de inversión de la rueda en el sistema alumna – piso - rueda?

Análisis

Para explicar esta demostración experimental, hay que aplicar el carácter vectorial del momento angular y su conservación. Cuando al inicio de la demostración la rueda gira, el vector $\vec{L}$ apunta o hacia arriba o hacia abajo. Siempre es perpendicular al plano de rotación, y su orientación depende del sentido de la rotación, como ilustra la figura. El vector $\vec{L}$ apunta hacia arriba en esta situación. Si el sentido de la rotación fuese opuesto, el vector $\vec{L}$ apuntaría hacia abajo.

Para invertir la rueda, la alumna aplica un torque al sistema formado por ella, la rueda y el piso, pero no afecta al momento angular inicial $\vec{L}$ del sistema.



Cuando la alumna invierte la rueda, el vector momento angular de la rueda también invierte su sentido. Entonces, para mantener el momento angular inicial, el sistema formado por la alumna y el piso rotan en conjunto, de tal modo que, al sumar vectorialmente su momento angular al momento angular de la rueda, dé como resultado el momento angular inicial del sistema.

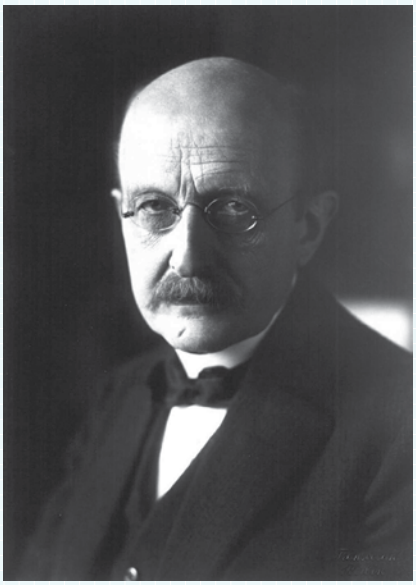
A partir del análisis anterior:

1. ¿Por qué el torque que aplicó la alumna para invertir la rueda en rotación no afectó al momento angular del sistema alumna – piso - rueda?
2. ¿El sentido de rotación del sistema alumna - piso coincide con el sentido de rotación inicial de la rueda antes de invertirla, o con su sentido de rotación después de invertirla?
3. Dibujen el vector $\vec{L}$ inicial del sistema. Utilicen una escala arbitraria para su módulo.
4. Para después de la inversión de la rueda, dibujen su vector momento angular. ¿Hacia dónde apunta? Indicación: el módulo del momento angular de la rueda invertida debe ser igual al módulo que tenía antes de la inversión, suponiendo que su rapidez angular se mantiene.
5. Dibujen el vector momento angular del sistema alumna – piso y discutan cuál debería ser su módulo para que el momento angular total del sistema se mantenga constante. Sumen vectorialmente ambos momentos angulares.
6. Para la conservación del momento angular, ¿qué módulo debería tener el vector momento angular del sistema alumna-piso comparado con el de la rueda?
7. Preparen un informe de este laboratorio. Incluyan una filmación de la demostración.

TEN PRESENTE

- El equilibrio mantenido fácilmente en una bicicleta en movimiento, es debido a que al girar las ruedas tienen momento angular, el que tiende a ser constante.

EL MOMENTO ANGULAR COMO UNA MAGNITUD FUNDAMENTAL



Max Planck, físico alemán (1858-1947), Premio Nobel de Física en 1918

Habilidades

- Análisis de la coherencia entre resultados, conclusiones, hipótesis y procedimientos en investigaciones clásicas y contemporáneas

Hemos visto que el concepto de momento angular es muy útil para describir el movimiento de sistemas macroscópicos. Sin embargo, el concepto también es válido en una escala submicroscópica y ha sido usado extensamente en el desarrollo de las teorías de la física atómica, molecular y nuclear. En estos desarrollos, se ha encontrado que el momento angular de un sistema es una magnitud fundamental. La palabra fundamental en este contexto significa que el momento angular es una propiedad intrínseca de los átomos, moléculas y sus constituyentes, una propiedad que es parte de su propia naturaleza.

Para explicar los resultados de una variedad de experimentos en sistemas atómicos y moleculares, nos basamos en el hecho que el momento angular tiene valores discretos. Estos valores discretos son múltiplos de la unidad fundamental de momento angular igual a $\frac{h}{2\pi}$, donde h es la llamada constante de Planck.

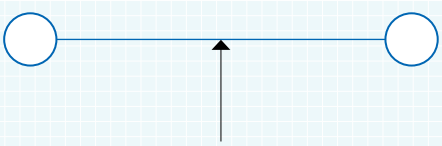
Resulta, entonces, que la unidad fundamental del momento angular es igual al siguiente valor: $1{,}054 \cdot 10^{-34}$ kg·m^2/s.

Aceptemos este postulado y mostremos cómo puede usarse para estimar la rapidez angular de una molécula diatómica. Consideremos la molécula de oxígeno como un rotor rígido, es decir, dos átomos separados por una distancia fija que rota alrededor de su centro geométrico.

Igualemos el momento angular de la molécula a la unidad fundamental del momento angular, y despejemos la rapidez angular del movimiento

Resulta:

$$\omega = \frac{1{,}054 \cdot 10^{-34}\,\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}}{I}$$



Modelo rígido de la molécula de oxígeno. La molécula rota en el plano del papel alrededor de su punto medio.

La inercia rotacional de la molécula de oxígeno en esta situación es, según se puede calcular: $I = 1{,}95 \cdot 10^{-46}$ kg · m^2. De aquí:

$$\omega = \frac{1{,}054 \cdot 10^{-34}\,\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}}{1{,}95 \cdot 10^{-46}\,\text{kg}\cdot\text{m}^2} \approx 10^{12}\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

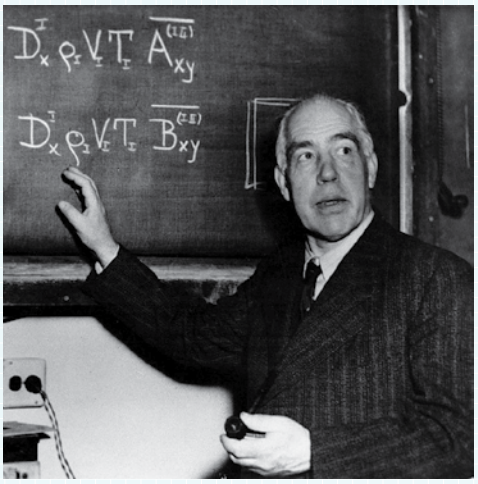
Se ha encontrado que las rapideces angulares reales son múltiplos de un número que tiene ese orden de magnitud.

Este ejemplo simple muestra que ciertos conceptos y modelos clásicos, cuando son apropiadamente modificados, son útiles para describir algunas características de los sistemas atómicos y moleculares. Una amplia variedad de fenómenos de la escala microscópica pueden explicarse solo si suponemos valores discretos del momento angular asociado con un tipo particular de movimiento.

Niels Bohr aceptó y adoptó esta idea radical de los valores discretos del momento angular en el desarrollo de su teoría del átomo de hidrógeno. Estrictamente, los modelos clásicos no tuvieron éxito para describir muchas de las propiedades del átomo de hidrógeno.

Bohr postuló que el electrón podía ocupar solo aquellas órbitas circunferenciales alrededor del protón, para las cuales el momento angular orbital fuera igual a algún múltiplo entero de la unidad fundamental del momento angular. Es decir, él proclamó que el momento angular orbital está cuantizado. Se puede utilizar este modelo simple para estimar la rapidez angular del electrón en las diversas órbitas.

Traducción y adaptación de Physics, R. Serway and J. Jewett, Jr., 6th edition, p.351-2, Thomson Brooks/Cole, USA, 2004.



Niels Bohr, físico danés (1885-1962), Realizó importantes contribuciones para la comprensión de la estructura del átomo y la mecánica cuántica. Basándose en las teorías de Rutherford, publicó su modelo atómico en 1913, introduciendo la teoría de las órbitas cuantizadas, que consiste en que, en torno al núcleo atómico, el número de electrones en cada órbita aumenta desde el interior hacia el exterior. En su modelo, además, los electrones podían caer (pasar de una órbita a otra) desde un orbital exterior a otro interior, emitiendo un fotón de energía discreta, hecho sobre el que se sustenta la mecánica cuántica.

En 1922 recibió el Premio Nobel de Física por sus trabajos sobre la estructura atómica y la radiación.

Cuestionario

1. ¿Se aplica el concepto de momento angular al mundo submicroscópico?

2. ¿Qué significa que en el mundo atómico y molecular el momento angular tenga valores discretos?

3. ¿Qué característica tienen las rapideces angulares que se han determinado para la molécula de oxígeno?

4. ¿Qué órbitas puede ocupar el electrón en el átomo de hidrógeno?

5. ¿Qué significa que el momento angular esté cuantizado?

Cierre Capítulo REPASO IDEAS PRINCIPALES

Sección 1: Movimiento circunferencial uniforme

- Una magnitud escalar, como la temperatura, se expresa con un número y una unidad. Una magnitud vectorial, como la velocidad, tiene además una dirección y un sentido.
- Con los vectores se pueden realizar operaciones algebraicas, como la adición y la multiplicación por escalar.
- Cada partícula en movimiento circunferencial uniforme se encuentra siempre a una misma distancia del centro de giro y describe cada vuelta completa en intervalos iguales de tiempo.
- Suponiendo que el vector posición de la partícula en movimiento tiene su origen en el centro de giro, se cumple que los vectores posición y velocidad lineal son perpendiculares entre sí.
- El vector aceleración centrípeta apunta hacia el centro de la trayectoria; su módulo es constante.
- La velocidad lineal es tangente a la trayectoria y apunta en el sentido del movimiento, y es perpendicular al vector aceleración centrípeta.
- La velocidad angular mide el desplazamiento angular del vector posición en un intervalo de tiempo.
- Las siguientes magnitudes escalares son constantes en cada movimiento: módulo del vector posición (r), período (T), rapidez lineal (v), rapidez angular (ω), módulo de la aceleración centrípeta (a).
- Relaciones entre magnitudes escalares: $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $v = \frac{2\pi r}{T}$, $v = \omega \cdot r$, $a = \frac{v^2}{r}$, $a = \omega^2 \cdot r$.

Sección 2: Dinámica de las rotaciones para un MCU

- Las fuerzas son magnitudes vectoriales, por lo que la resultante de varias fuerzas aplicadas sobre un cuerpo es igual a la suma vectorial de ellas.
- La fuerza centrípeta y la aceleración tienen igual dirección y sentido.
- No existe fuerza neta en la dirección del movimiento.
- La fuerza centrípeta apunta hacia el centro de la trayectoria circunferencial, y se puede calcular por medio de la relación $F = m \cdot \frac{v^2}{r}$, siendo m la masa de la partícula que rota, v su rapidez lineal y r la distancia al centro.
- La fuerza de roce estático entre los neumáticos de un vehículo y el pavimento de la carretera horizontal es la fuerza centrípeta que posibilita a un vehículo tomar una curva.
- La inercia rotacional de un cuerpo es una medida de la resistencia que opone para pasar del reposo a la rotación o para dejar de rotar.
- La inercia rotacional de un cuerpo depende, entre otros factores, de la forma como está distribuida su materia: aumenta en la medida que la distribución de materia se aleja respecto al eje de rotación.
- La energía cinética de rotación de un cuerpo que tiene una inercia rotacional I y una rapidez angular ω es igual a $E_r = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$.

Sección 3: El torque y el momento angular

- La aceleración angular α mide la variación temporal de la rapidez angular de una partícula o cuerpo en rotación. Cuando α es constante, se cumple: $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$.
- La aceleración tangencial a_t, es decir, a lo largo de la trayectoria, se relaciona con la aceleración angular α por medio de la igualdad: $a_t = r \cdot \alpha$, siendo r la distancia al centro de giro.
- El torque es la causa que produce la aceleración angular. Se define como $\tau = d \cdot F$, siendo d el brazo de palanca y F la fuerza aplicada.
- El torque se relaciona con la aceleración angular: $\tau = I \cdot \alpha$, con I la inercia rotacional del cuerpo.
- El momento angular L de una partícula en rotación se define $L = r \cdot p$, donde r es la distancia al centro de rotación y p es el módulo del momento lineal.
- Para un cuerpo de inercia rotacional I y rapidez angular ω, se cumple $L = I \cdot \omega$.
- Ley de conservación del momento angular: el momento angular total de un sistema es constante cuando el torque externo neto aplicado al sistema es cero.

Aplicaciones

Sección 1-2

1. Un satélite orbita en torno a un planeta de 6 000 km de radio, describiendo una órbita circunferencial estable de 100 000 km de altura. Si su período es de 2 años, ¿cuál será el valor de la aceleración que adquiere el satélite debido al planeta?
2. Un tocadiscos tiene un disco en posición horizontal y realiza 3 revoluciones en π s. Si se colocara una moneda pequeña en el disco, esta se deslizaría si estuviera a más de 10 cm del centro. Entonces, ¿cuál es el coeficiente de roce entre la moneda y el disco?

Sección 3

3. En lo alto de un plano inclinado se encuentran a la misma altura una esfera maciza, un cilindro macizo y un anillo, todos de la misma masa y radio. Al soltarlos simultáneamente, ¿cuál de ellos llegará primero?

Bibliografía recomendada

- *Fundamentos de Física, Vol. 1*; Resnick, Robert; Walker, Jearl Alay; Ediciones SL, 2001.
- *Fundamentos de Física conceptual*; Hewitt, Paul: Prentice Hall, Pearson Addison-Wesley, 2009.
- *Física para la ciencia y la tecnología, Mecánica*; Tipler, Paul; Mosca, Gene; Editorial Reverté.
- *Biografía de la Física; Gamow, George*; Editorial Alianza, 2001.

Sitios web (consulta junio 2014)

- http://www.fisica.uh.cu/bibvirtual/fisica_aplicada/fisica1y2/animaciones.htm
- www.educaplus.org (Física)
- www.educarchile.cl (Estudiantes)

Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS?

SECCIÓN 1

1. Supón que te subes a una rueda como la del inicio de este capítulo (página 10). La rueda, de 20 metros de diámetro, rota cinco veces cada minuto. ¿Cuál es la aceleración centrípeta que experimentan arriba de la rueda?

2. La Tierra rota alrededor de su eje norte-sur completando cada rotación en 24 horas. ¿Qué aceleración centrípeta tiene una persona que se encuentra justo en el ecuador terrestre? El radio de la Tierra es de 6 400 kilómetros.

3. ¿Qué rapidez lineal tiene la Tierra en su movimiento alrededor del Sol? La distancia de la Tierra al Sol es de 150 millones de kilómetros. Se debe suponer que la Tierra puede aproximarse a una partícula en relación con el tamaño del Sol, y que su órbita es circular (realmente es ligeramente elíptica).

Las preguntas 4 a la 8 se refieren a dos discos D_1 y D_2 en movimiento circunferencial uniforme con igual rapidez angular. El radio del disco D_1 es la mitad del radio del disco D_2.

4. El módulo de la aceleración centrípeta en el borde del disco D_1, comparado con el módulo de la aceleración centrípeta en el borde del disco D_2, es:
   - A) igual.
   - B) el doble.
   - C) la mitad.
   - D) π veces mayor.
   - E) 2π veces mayor.

5. La rapidez lineal en el borde del disco D_1, comparada con la rapidez lineal en el borde del disco D_2, es:
   - A) igual.
   - B) el doble.
   - C) la mitad.
   - D) π veces mayor.
   - E) 2π veces mayor.

6. El período de rotación del disco D_1, comparado con el período de rotación del disco D_2, es:
   - A) igual.
   - B) el doble.
   - C) la mitad.
   - D) π veces mayor.
   - E) 2π veces mayor.

7. Un punto P en el disco D_1 se encuentra a la misma distancia del centro de D_1 que un punto Q del centro de D_2. Entonces el módulo de la aceleración centrípeta de P, comparado con el de Q, es:
   - A) igual.
   - B) el doble.
   - C) la mitad.
   - D) π veces mayor.
   - E) 2π veces mayor.

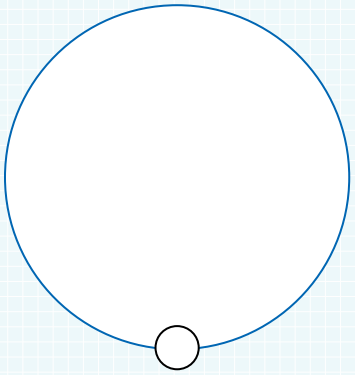
8. Un punto R en el disco D_1 se encuentra al doble de la distancia del centro de D_1 que un punto S del centro de D_2. Entonces la rapidez lineal del punto R, comparada con la de S, es:
   - A) igual.
   - B) el doble.
   - C) la mitad.
   - D) π veces mayor.
   - E) 2π veces mayor.

9. Una partícula describe un movimiento en sentido anti horario. En cierto punto de la trayectoria, su vector aceleración centrípeta es el siguiente: ← Entonces, los vectores posición y velocidad lineal de la partícula un cuarto de período después son, respectivamente:

   A) ↑ ↑
   B) ↓ ↑
   C) → ↑
   D) ← ↓
   E) ↑ ←

10. Una piedra rota al extremo de un cordel con movimiento circunferencial uniforme en sentido horario. En cierto instante se encuentra en la posición que muestra la figura.

Si justo en el instante representado la cuerda se rompe, la piedra se aleja con la siguiente velocidad:



A) →

B) ↓

C) ←

D) ↑

E) ↙

11. Para una partícula que describe un movimiento circunferencial uniforme, se cumple:

A) los vectores posición y aceleración centrípeta tienen igual sentido.

B) los vectores velocidad tangencial y aceleración centrípeta tienen sentido opuesto.

C) los vectores posición y aceleración centrípeta son perpendiculares.

D) los vectores velocidad tangencial y aceleración centrípeta son perpendiculares.

E) los vectores posición y aceleración centrípeta tienen igual módulo, pero sentido opuesto.

12. Un cuerpo que describe un movimiento circular uniforme da doce giros completos en cuatro segundos. Su rapidez angular es igual a:

A) $6\pi \frac{rad}{s}$

B) $\frac{\pi}{6} \frac{rad}{s}$

C) $\pi \frac{rad}{s}$

D) $12\pi \frac{rad}{s}$

E) $3\pi \frac{rad}{s}$

13. ¿Cuál de los siguientes movimientos de una partícula corresponde solo a un movimiento circular uniforme?

A) Recorre distancias iguales en tiempos iguales.

B) Su vector posición tiene módulo constante.

C) Su período es constante.

D) Describe una trayectoria circunferencial con rapidez angular constante.

E) Describe una trayectoria circunferencial con rapidez angular variable.

14. Un satélite se encuentra a 600 km de altitud, donde la aceleración de gravedad es 8,2 m/s^2. El radio de la Tierra es de 6400 km. Su rapidez lineal, aproximada al entero, es:

A) 8 282 m/s

B) 7 909 m/s

C) 7 576 m/s

D) 7 244 m/s

E) 2 218 m/s

15. ¿Cuál es la aceleración centrípeta de una persona que se encuentra en el ecuador terrestre, por efecto de la rotación de la Tierra, si el radio de la Tierra es igual a 6 400 km:

A) 0,184 m/s^2

B) 0,0338 m/s^2

C) 465 m/s^2

D) 421 103 m/s^2

E) 438 649 m/s^2

16. Un disco macizo rota en sentido horario alrededor de un eje que lo atraviesa por el centro. A y B son dos puntos ubicados en un mismo radio. Disco macizo en perspectiva. Marcar dos puntos en el radio dibujado: A más cerca del centro, B más lejos.

Los puntos A y B tienen:

A) igual aceleración centrípeta, igual rapidez angular.

B) distinta rapidez lineal, distinta rapidez angular.

C) igual aceleración centrípeta, igual rapidez lineal.

D) igual rapidez angular, distinta aceleración centrípeta.

E) igual rapidez lineal, igual rapidez angular.

SECCIÓN 2

17. La masa de la Luna es muy pequeña respecto a la de la Tierra. La fuerza centrípeta que mantiene a la Luna en su órbita alrededor de la Tierra:

A) es la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra sobre la Luna.

B) es mayor que la fuerza gravitatoria de la Tierra sobre la Luna.

C) es menor que la fuerza gravitatoria de la Tierra sobre la Luna.

D) es igual a la que mantiene a la Tierra alrededor del Sol.

E) depende de la fase de la Luna.

18. En el lanzamiento del martillo en un plano horizontal por medio de una cadena de 80 cm de largo y una masa de 23 kg, ¿qué fuerza, en número entero, debe aplicar el deportista si el martillo da cada giro completo en 1,2 s?

A) 4 943 N

B) 630 N

C) 504 N

D) 225 N

E) 96 N

19. La inercia rotacional de un cuerpo:

A) depende de la ubicación del eje de rotación.

B) es proporcional a su masa, independiente del eje de rotación.

C) es una propiedad intrínseca del cuerpo.

D) depende del tamaño del cuerpo.

E) depende del eje de rotación y es proporcional a su masa.

20. Una esfera maciza de masa M y radio R rueda por un plano inclinado de altura h y sin roce, partiendo del reposo. La rapidez con la que sale del plano inclinado depende, además de la aceleración de gravedad:

A) solo de la masa de la esfera.

B) solo del radio de la esfera.

C) del radio de la esfera y de la altura del plano inclinado.

D) de la masa de la esfera y de la altura del plano inclinado.

E) solo de la altura del plano inclinado.

21. Tres cuerpos que pueden rodar, sin deslizar, se sueltan en lo alto de un plano inclinado: una bolita, un cilindro macizo y un anillo, de diferente radio R y masa M.

La inercia rotacional de la bolita es $\frac{2}{5} MR^2$; la del cilindro es $\frac{1}{2} MR^2$, y la del anillo es MR^2.

¿Cuál o cuáles llegan primero a la base del plano inclinado?

A) la bolita.

B) el cilindro.

C) el anillo.

D) la bolita y el cilindro.

E) llegan todos juntos.

22. ¿Cuál es la máxima rapidez lineal con la que un automóvil puede tomar una curva de 50 metros de radio, sin perder el control sobre él, suponiendo que el coeficiente de roce estático es 0,450 y que el camino es totalmente horizontal? La masa del vehículo es de 2 000 kg.

A) 9,5 m/s
B) 12,3 m/s
C) 14,8 m/s
D) 23,9 m/s
E) 39,7 m/s

SECCIÓN 3

23. Para hacer más efectiva la acción de una llave para soltar una tuerca muy apretada, se recomienda:

A) aplicar una fuerza perpendicular al mango y muy cerca del eje de giro, es decir, donde está la tuerca.
B) aplicar una fuerza en ángulo (no perpendicular al mango) y lejos del eje de giro.
C) aplicar una fuerza en ángulo y cerca del eje de giro.
D) aplicar una fuerza perpendicular al mango y lejos del eje de giro.
E) cualquier acción.

24. Dos niños se encuentran cada uno en el extremo de un balancín de 4 m de longitud. Uno de los niños (a) tiene un peso de 200 N, el otro (b) 300 N. ¿A qué distancia del centro de giro del balancín debe sentarse el niño (a) para equilibrarlo?

A) 2,0 m
B) 2,4 m
C) 2,6 m
D) 2,8 m
E) 3,0 m

25. Un niño se sienta en un piso rotatorio mientras se encuentra con los brazos extendidos. Sostiene en cada mano un libro grueso. Su rapidez angular es constante. Después recoge sus brazos y junta los dos libros contra su pecho. Como consecuencia de esta última acción, su inercia rotacional y su rapidez angular, respectivamente:

A) sigue igual, aumenta
B) aumenta, disminuye
C) aumenta, aumenta
D) disminuye, disminuye
E) disminuye, aumenta

26. Se supone que el momento angular de un sistema permanece constante. Se deduce que:

A) Un torque neto externo cero actúa sobre el sistema.
B) Un torque externo constante actúa sobre el sistema.
C) Un torque neto cero actúa sobre cada parte del sistema.
D) Un torque constante actúa sobre cada parte del sistema.
E) Ningún torque actúa sobre ninguna parte del sistema.

27. En una demostración de patinaje artístico, la deportista rota a razón de una revolución por segundo. Su inercia rotacional es de 5 kg · m^2. Al juntar sus brazos, su inercia rotacional disminuye a la mitad. Entonces ella rota a razón de:

A) 4 rev/s
B) 2,5 rev/s
C) 2 rev/s
D) 1 rev/s
E) 0,5 rev/s

Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo

En el formulario KPSI que se presenta a continuación, se han formulado preguntas con el objetivo de indagar sobre tu nivel de aprendizaje. Dependiendo de tu desempeño podrás: reforzar conceptos, habilidades y procedimientos débiles, así como resolver nuevas situaciones problemáticas o fenomenológicas como desafío de profundización.

Categorías:

1. No lo sé
2. No lo entiendo
3. Creo que lo sé
4. Se lo podría explicar a mis compañeros

Utilizando las categorías anteriores, marca con una X en el recuadro que corresponda.

Objetivo del capítulo

Explicar el movimiento circunferencial uniforme y la rotación de los cuerpos rígidos a partir de las leyes y las relaciones matemáticas elementales que los describen

Enunciados /conceptos o temas	1	2	3	4
¿Cuál es la diferencia entre una magnitud vectorial y una escalar?				
¿Cuál es la diferencia entre velocidad angular y velocidad tangencial?				
¿Qué es la aceleración centrípeta?				
¿Cuáles son las relaciones matemáticas que describen a una partícula cuya trayectoria es una circunferencia?				
¿Cuál es la diferencia entre la fuerza centrípeta y la fuerza centrífuga?				
¿Qué es la inercia rotacional?				
¿Cuál es la relación entre la aceleración centrípeta y el torque aplicado sobre un cuerpo?				
¿Qué es el momento angular?				
Subtotal				
Procedimientos y método de trabajo				
Puedo seguir las instrucciones dadas en una actividad.				
Puedo describir cuantitativamente el movimiento circunferencial uniforme en términos de sus magnitudes características.				
Puedo aplicar cuantitativamente la ley de conservación del momento angular para describir y explicar la rotación de los cuerpos rígidos en situaciones cotidianas				
Puedo aplicar de manera elemental la relación entre torque y rotación para explicar el giro de ruedas, la apertura y el cierre de puertas, entre otros.				
Subtotal				
Actitudes				
Logré cumplir con los objetivos propuestos en cada sección o tema del capítulo.				
Logré explicar con mis palabras los diferentes temas tratados.				
Pude expresar las ideas principales en presentaciones.				
Pude compartir las ideas con mis compañeros.				
Pude cambiar mi opinión sobre algún tema a partir de la explicación de mis compañeros.				
Subtotal				
Total general				

Ahora suma los subtotales y obtén el total general.

Con ayuda de los subtotales, notarás tu avance en relación con el manejo de conceptos, el desarrollo de tus habilidades, procedimientos y actitudes referidas a tus aprendizajes del capítulo. Dependiendo de los resultados, te orientarán sobre tus logros, por lo que te sugerimos preguntarte: ¿Qué debo reforzar para superar el déficit?¿Qué puedo hacer para avanzar más? ¿Qué puedo hacer para saber más?

Utiliza la siguiente tabla para guiar tus remediales

Puntos	Acción	Algunas tareas sugeridas
0-16	Leer detenidamente los contenidos del capítulo Identificar las ideas y conceptos que no puedes explicar. Buscar información en otras fuentes bibliográficos o Internet.	• **respecto de los contenidos** Buscar situaciones cotidianas relacionadas con contenidos del texto, como la señalética de las calles para identificar vectores. • **respecto de los procedimientos** Realizar cálculos sencillos relacionados con las magnitudes que describen el movimiento circunferencial. • **respecto de las actitudes** Interés por entender los conceptos, fijándote metas.
17- 32	Leer los contenidos del capítulo que no has logrado entender. Reconocer los conceptos aprendidos y los que no has entendido. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Conocer la aplicación de los conceptos adquiridos en situaciones cotidianas relacionadas con contenidos del texto, como cuando giras una lata amarrada con una cuerda. • **respecto de los procedimientos** Ejercita cálculos matemáticos en la elaboración e interpretación de magnitudes físicas relacionadas con el capítulo. • **respecto a las actitudes** Interés por trabajar en equipo.
33 – 48	Ejercitar los problemas propuestos en el texto Elaborar explicaciones sobre los conceptos deficitarios. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Elaborar esquemas conceptuales utilizando los conceptos adquiridos. • **respecto de los procedimientos** Ejercitar la competencia matemática a través del repaso de los cálculos realizados en el texto. • **respecto de las actitudes** Interés por saber para qué se necesita comprender los conceptos del capítulo.
49 – 64	Ejercitar los desafíos propuestos en el texto. Elaborar explicaciones sobre los conceptos desarrollados a lo largo del texto. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Comprender conceptos y entender fórmulas. Aplicar competencias matemáticas a nuevas situaciones problemáticas. • **respecto de los procedimientos** Construir mecanismos, como un autito con tracción o uno de potencia. • **respecto de las actitudes** Curiosidad por conocer nuevos conceptos, siendo consciente de la importancia de comprenderlos en profundidad para poder explicarlos. Puedo explicar a mi compañero o grupo y logran entender.

Capítulo 2

Al lanzar humo sobre el vehículo, este se ve obligado a pasar sobre su superficie alterando su trayectoria. ¿Esto hace que el aire se frene, acelere o ninguna de las dos cosas?



MECÁNICA DE FLUIDOS

Hasta este capítulo, en el estudio de los objetos sólidos se ha considerado que estos conservan su forma, excepto por pequeñas deformaciones elásticas. En ocasiones se los abordó como partículas puntuales.

Ahora, centraremos en este capítulo la atención en los fluidos, para lo cual debemos tener claros los conceptos de:

Estados de la materia

Principios de Newton

Leyes de conservación de la energía y momentum lineal

Los fluidos desempeñan un papel crucial en muchos aspectos de la vida cotidiana: los bebemos, respiramos y nadamos en ellos; circulan por nuestro organismo y son parte importante en el control del clima de las diversas zonas del planeta. Un fluido es cualquier sustancia capaz de fluir, término usado tanto para gases como para líquidos. Comenzaremos nuestro estudio de las interacciones que ocurren entre sólidos y fluidos, se utilizarán en esta sección conceptos clave como el primer y tercer principio de Newton. Luego, en la segunda sección estudiaremos los fluidos en reposo o en equilibrio, para terminar con los fluidos en movimiento, siendo una de las ramas de la mecánica más diversas.

SECCIONES

1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

2 FLUIDOS EN REPOSO

3 FLUIDOS EN MOVIMIENTO

Actividad exploratoria

Fluidos y presión atmosférica

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones, apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel

MATERIALES

Embudo - Botella - Plasticina o silicona - Agua - Bombilla de bebida

PROCEDIMIENTO

1. Toma el embudo y móntalo sobre la botella (**figura 1**).
2. Sella la unión del embudo con la botella usando plasticina o bien silicona, de forma tal que no queden espacios disponibles entre la botella y el embudo. Asegúrate de que quede bien sellado todo (**figura 1c**).



▲ **Figura 1**

Antes de seguir:
¿Qué sucederá si agregas agua al embudo?
¿Qué esperas que ocurra espontáneamente?

3. Vierte el agua en el embudo hasta el máximo de su capacidad sin derramar líquido.

Antes de seguir:
¿Qué ocurre ahora? ¿Qué factor altera el flujo?

4. Toma la bombilla e introdúcela por el vástago del embudo como muestra la **figura 1a**, de tal modo que ambos extremos no toquen la superficie del agua, tanto en el embudo como en la botella.

Antes de seguir:
¿Se puede impedir el paso del agua teniendo la bombilla dentro del vástago?

5. Ahora, apoya contra el fondo de la botella la bombilla y procede a agregar más agua.

1a)



1b)



1c)



ANÁLISIS

a. ¿Qué permite o impide el ingreso del líquido al interior de la botella?
b. ¿Qué efecto provoca el introducir la bombilla sin tocar las superficies del agua?
c. ¿Qué efecto provoca el introducir la bombilla tocando el fondo de la botella, pero no la superficie del agua en el embudo?

INVESTIGAR

¿Qué posibles aplicaciones puede tener el fundamento teórico de este experimento?

CONCLUSIONES

1. Comparte los resultados con tus compañeros.
2. ¿Qué elementos nuevos aportó esta actividad a tu aprendizaje?

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Un ala delta tiene una densidad mayor a la del aire. La lógica indicaría que un objeto de mayor densidad que la del aire sería imposible que flotara. Sin embargo, si observas en tu entorno, a diario es posible ver aviones, aeroplanos, pájaros y otros objetos surcar el aire volando. ¿Qué principios explican esto?



FIGURA 2.1
Si un ala delta tiene mayor densidad que la del aire ¿cómo se explica que este pueda flotar en ella?

TEMA 1: Descripción general de la materia

AL LEER APRENDERÁS

- A distinguir entre esfuerzo y esfuerzo de deformación
- A usar los módulos de elasticidad

CONCEPTOS CLAVE

- Estados de la materia.

Seguramente, habrás notado que la naturaleza presenta componentes como rocas, piedras, polvo, gravillas, agua, hielo, nubes y diversas formas de mezclas en las cuales interactúan sólidos, líquidos y gases. Nuestra existencia se desarrolla principalmente en la superficie de la Tierra, bajo la atmósfera. Además, bebemos líquidos e interactuamos con objetos que se encuentran en diferentes estados. Por otra parte, si aplicas una fuerza sobre alguna sustancia sólida, líquida o gaseosa, estas reaccionan de manera diferente.Por ejemplo, el efecto de sentarse en una mesa es diferente a colocar nuestra mano en el agua o dar manotazos al aire. Todos estos ejemplos mencionados están referidos a la interacción de la materia con algún tipo de fluido, ya sea gas o líquido.

Para estudiar las propiedades básicas de un fluido, necesitas comprender las características de los estados de la materia, la Ley de Hooke, los principios de Newton, y aplicarlos en la resolución de problemas, procesar e identificar datos y formular explicaciones a situaciones experimentales o teóricas.

Los temas que aprenderás en está sección, son relevantes porque te ayudarán a comprender por qué una persona que se mueve en un ala delta puede planear con un trozo de plástico.

EVALUACIÓN INDIVIDUAL actividad

Antes de proseguir con los contenidos de esta sección, explica: ¿Cómo determinarías la presión que ejerce un cubo sobre una superficie horizontal?

Estados de la materia

En diversos ámbitos de tu vida interaccionas con el estado sólido, líquido y gas. ¿Recuerdas sus propiedades?

En cursos anteriores has estudiado que la materia que compone los diversos cuerpos existentes en la naturaleza está formada por átomos y moléculas que la estructuran. Entre estas moléculas existen fuerzas llamadas **intermoleculares**, que son las responsables de los **estados de la materia.**

A continuación, estudiaremos algunas de las propiedades de los estados de la materia.

• Sólidos

Tal como lo ilustra la **figura 2.2**, tienen forma propia y volumen bien definido. Es decir, las fuerzas intermoleculares son bastante grandes. En estos cuerpos se hace difícil separar sus moléculas (fierro, madera, rocas, televisor, etc.).

• Líquidos

Tienen un volumen bien definido, pero su forma se adapta al recipiente que los contiene. Como se ilustra en la **figura 2.3**, las fuerzas intermoleculares son pequeñas, es decir, en estos cuerpos sus moléculas se separan con facilidad (agua, aceite, vino, etc.).

• Gases

No tienen volumen ni forma definida, y pueden fluir libremente y ocupar todo el espacio disponible, adaptándose completamente al recipiente que los contiene. En estos cuerpos las fuerzas intermoleculares son prácticamente inexistentes o nulas, es decir, sus moléculas están básicamente separadas (**figura 2.4**).

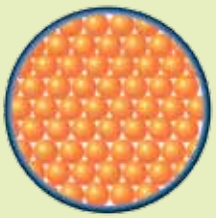
Existe además un cuarto estado de la materia, el cual está asociado a situaciones donde se manifiestan cantidades de energía gigantes, tal como un rayo eléctrico. Este estado de la materia es el denominado **plasma.** (**figura 2.5**).



Figura 2.5 ▸
En un rayo es posible observar la presencia de un estado especial de la materia: el plasma

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la importancia de la fuerzas intermoleculares en la materia?



Sólidos

▲ **Figura 2.2**
Modelo de sólido



Líquido

▲ **Figura 2.3**
Modelo de líquido



Gas

▲ **Figura 2.4**
Modelo de gas

ROBERT HOOKE

Científico inglés (1635-1702), Ideó instrumentos para registrar los cambios de las condiciones del tiempo y perfeccionó los métodos para registrar sistemáticamente la información obtenida. Entre sus invenciones se encuentran el barómetro de cuadrante, un termómetro de alcohol, un cronómetro mejorado, el primer higrómetro, un anemómetro, un "reloj" para registrar automáticamente las lecturas de sus diversos instrumentos meteorológicos y el telescopio gregoriano, entre otros.



AL LEER APRENDERÁS

- A identificar las propiedades básicas de un fluido.

CONCEPTOS CLAVE

- Estados de la materia.
- Sólidos y módulo de corte, volumen y elasticidad.

TEMA 2: Propiedades de los fluidos

Como mencionamos antes, las sustancias que pueden fluir incluyen a los líquidos y gases, pero excluyen a las sustancias sólidas, ya que no pueden fluir.

También hay diferencias importantes. Por ejemplo, los líquidos no son muy compresibles, mientras que los gases se comprimen fácilmente.

En el estudio de los fluidos es fundamental conocer y entender los conceptos de densidad, peso especifico, entre otros.

minilaboratorio

Objetivo

- Identificar la fluidez de los fluidos.

Materiales

- 3 mangueras plásticas
- 2 globos
- prensa o llave de paso
- elásticos

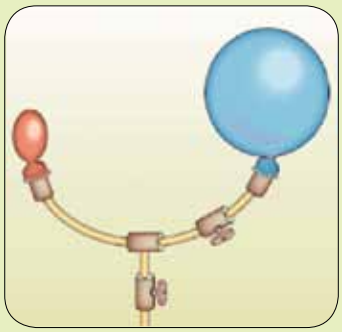


Figura 2.6

Procedimiento

1. En un extremo de la manguera plástica flexible conecta uno de los globos, pero inflado.
2. Conecta el extremo libre de la manguera a la prensa o llave de paso cerrada.
3. Conecta una segunda manguera a la llave de paso cerrada.
4. Conecta un globo desinflado a la manguera.
5. Refuerza las conexiones de los globos con los elásticos.

Análisis.

1. ¿Qué sucederá con los tamaños de los globos luego de conectarlos como indica la **figura 2.6**?
2. ¿Qué sucede con los volúmenes de los globos luego de abrir la llave superior?
3. ¿Cuál es la propiedad de los fluidos que se manifiesta en esta actividad?

Densidad

Una propiedad importante de cualquier material es su densidad, definida como su masa por unidad de volumen y simbolizada por la letra griega ρ (rho). Un material homogéneo tiene la misma densidad en todas sus partes.

Por lo tanto, denominaremos densidad absoluta al cociente entre la masa y el volumen que ocupa. Es decir:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

La densidad de algunos materiales varía de un punto a otro dentro del material; ejemplos de ello son la atmósfera terrestre (que es menos densa a mayor altura) y los océanos (que son menos densos a mayores profundidades).

En general, la densidad de un material depende de factores ambientales como la temperatura (la mayoría de los materiales se expanden al aumentar la temperatura) y la presión.

La unidad de la densidad en el SI es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).

También se usa la unidad en el c.g.s, gramo por centímetro cúbico (g/cm^3).

El factor de conversión entre ambas unidades es:

$$1\ \frac{g}{cm^3} = 1\ 000\ \frac{kg}{m^3}$$

En la **tabla 1** se dan las densidades de varias sustancias a temperaturas cercanas a los 20 °C y a 1 atm. Observa la amplia gama de magnitudes.

Tabla 1

DENSIDADES DE ALGUNAS SUSTANCIAS COMUNES			
Material	Densidad (kg/m^3)*	Material	Densidad (kg/m^3)*
Aire (1 atm, 20 °C)	1,20	Hierro, acero	$7{,}8 \cdot 10^3$
Etanol	$0{,}81 \cdot 10^3$	Latón	$8{,}6 \cdot 10^3$
Benceno	$0{,}90 \cdot 10^3$	Cobre	$8{,}9 \cdot 10^3$
Hielo	$0{,}92 \cdot 10^3$	Plata	$10{,}5 \cdot 10^3$
Agua	$1{,}00 \cdot 10^3$	Plomo	$11{,}3 \cdot 10^3$
Agua de mar	$1{,}03 \cdot 10^3$	Mercurio	$13{,}6 \cdot 10^3$
Sangre	$1{,}06 \cdot 10^3$	Oro	$19{,}3 \cdot 10^3$
Glicerina	$1{,}26 \cdot 10^3$	Platino	$21{,}4 \cdot 10^3$
Hormigón	$2 \cdot 10^3$	Estrella enana blanca	10^{10}
Aluminio	$2{,}7 \cdot 10^3$	Estrella de neutrones	10^{18}

* Para obtener las densidades en gramos por centímetro cúbico, divida por 10^3.

El material más denso que se encuentra en la Tierra es el metal osmio (ρ =22 500 kg/m^3), pero es mucho mayor la densidad de objetos astronómicos exóticos, como las estrellas enanas blancas y las estrellas de neutrones.

Además de la densidad absoluta, existe la densidad relativa, que corresponde al cociente entre la densidad del material y la densidad del agua a 4 °C y 1 atm.

$$\rho_{\text{relativa}} = \frac{\rho_{\text{sustancia}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

La densidad relativa es una magnitud adimensional.

INVESTIGA Y RESPONDE

- Investiga la masa y radio de los planetas del sistema solar, calcula su densidad e indica cuál de ellos flotaría en el agua.

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
- http://sac.csic.es/astrosecundaria/es/cursos/formato/materiales/talleres/T9%20Planetas%20y%20exoplanetas%20version3.pdf
- http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/enfermedad%20aguda%20de%20montana.htm

Peso específico

El **peso específico** es el cociente entre el peso del cuerpo y el volumen que ocupa, se designa por la letra γ y su unidad en el SI es el N/m^3. Este concepto es similar al de **densidad absoluta**, pero en lugar de considerar la masa, considera el peso del cuerpo, es decir:

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V}$$

Pero ¿cuál es la relación entre la densidad absoluta y el peso específico?

La densidad absoluta y el peso específico se relacionan de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Ejercicio resuelto N° 1

APLICANDO EL CONCEPTO DE DENSIDAD PESO DE UNA HABITACIÓN LLENA DE AIRE

Calcula la masa y el peso del aire a 20 °C de una habitación con un piso de 4 m de largo, 5 m de ancho y una altura de 3 m

Identificando la información

En este problema debemos recordar el cálculo del volumen, y la densidad el aire. Los datos disponibles son:

$$P_{aire} = 1{,}2 \frac{kg}{m^3}$$

Estrategia

Se calcula la presión usando la ecuación,

$$m_{aire} = P_{aire} \cdot V \quad \text{y} \quad P_{aire} = m_{aire} \cdot g$$

El volumen de la habitación

$$V = (3\ m) \cdot (4\ m) \cdot (5\ m) = 60\ m^3$$

La masa $m_{aire} = P_{aire} \cdot V = (1{,}2\ kg/m^3)\ (60\ m^3) = 72\ kg$

Peso de aire $P_{aire} = m_{aire} \cdot g = 72 \cdot 10 \frac{m}{s^2} = 720\ N$

AHORA RESUELVES TÚ

¿Qué masa y peso tiene un volumen igual de agua?

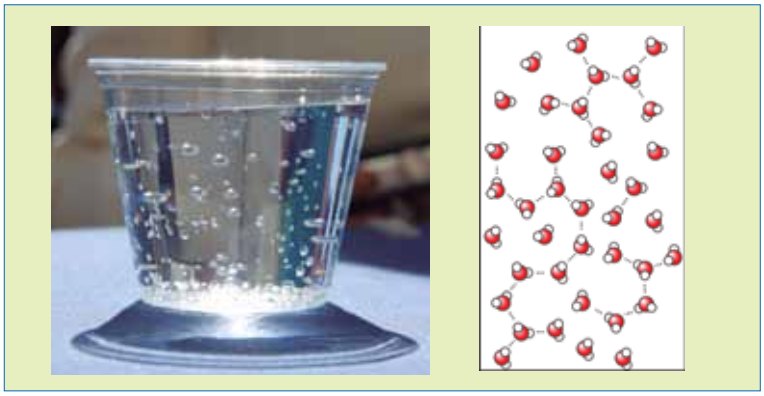
Fuerzas que actúan sobre los fluidos

Para comprender el efecto de las fuerzas sobre los líquidos, es necesario considerar al líquido como un medio continuo, es decir, que llena el espacio sin vacíos o intersticios, como lo ilustra la **figura 2.7**.

Pero, ¿cuál es la consecuencia de la fluidez de un líquido al aplicar una fuerza?

REFLEXIONA

- Usando la secuencia de la **figura 2.8** identifica las fuerza de masa y las fuerza superficiales que actúan sobre el líquido.



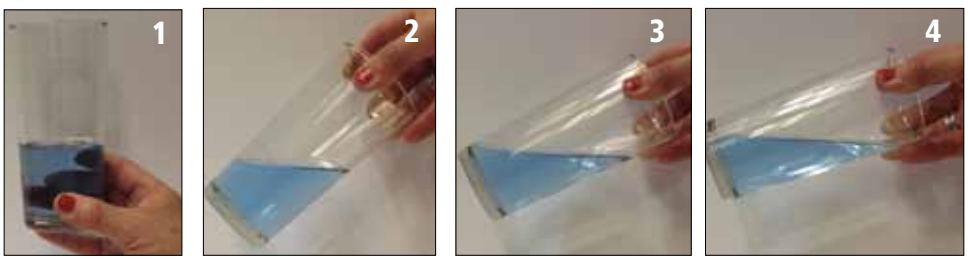
◂ **Figura 2.7**

Debido a la fluidez del líquido (movilidad de sus partículas), en él no pueden actuar fuerzas concentradas y solamente es posible la acción de fuerzas continuamente distribuidas en su volumen (masa) o por su superficie.

De este modo, si aplicamos una fuerza sobre un vaso que contiene cierto líquido, tal como lo ilustra la **figura 2.8**, observaremos que el líquido se moverá como un medio continuo dentro del vaso y cada volumen de líquido dentro del vaso ejercerá una fuerza sobre la superficie de su vecino.

En otras palabras, hemos dividido el volumen total del líquido en trozos contiguos de menor tamaño.

Por lo tanto, las fuerzas exteriores que actúan sobre el volumen del líquido dado se subdividen en: las fuerzas de masa (volumétricas) y las fuerzas superficiales.



▲ **Figura 2.8**

Las fuerzas de masa

Las fuerzas de masa son proporcionales a la masa del cuerpo líquido, y si un líquido es homogéneo, es decir, de densidad constante, estas fuerzas son proporcionales a su volumen. Dada su definición, su unidad se relaciona con la unidad de masa.

En la secuencia de la **figura 2.8**, el líquido durante todo el movimiento del vaso está sometido a la fuerza de gravedad y a la fuerza que causa su movimiento. Puesto que toda fuerza de masa es igual al producto de la masa por la aceleración, en cada caso la fuerza de unidad de masa será, por consiguiente, numéricamente igual a la aceleración correspondiente.



▲ **Figura 2.9**

El zancudo nadador, utiliza la tensión superficial, la cual se produce en el agua, cuando las moléculas del líquido mantienen fuertes fuerzas de atracción con otras moléculas que son iguales. Estas fuerzas se llaman fuerzas de cohesión. ¿Te has dado cuenta cómo las gotas de agua en un mesón parecen atraerse para juntarse?

TEN PRESENTE

- La superficie del agua tiene una tensión conformada por fuerzas internas que definen la formación de la gota. Este conjunto de fuerzas se denomina tensión superficial.

  Para que moje a la mayoría de los sustratos, la tensión superficial del agua es suficientemente baja, pero cuando se encuentra con superficies cuya tensión superficial es menor, ya no es capaz de mojar y formar gotas aisladas.

  ¿Cuántas veces hemos notado en nuestras vidas que sobre plásticos, superficies enceradas, autos silico-nados, chapas engrasadas, etc. al mojarse se forman pequeñas gotas aisladas entre si?

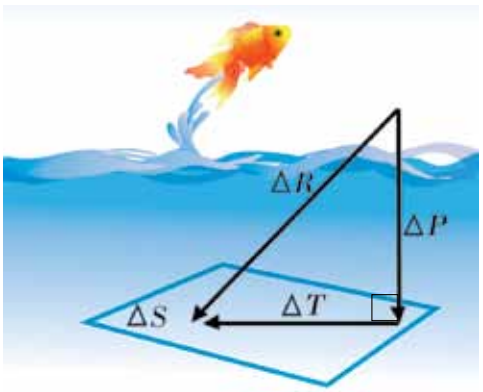
Las fuerzas superficiales

Las fuerzas superficiales están continuamente distribuidas por la superficie del líquido y son proporcionales al área de la misma (si su distribución es uniforme). Estas fuerzas actúan internamente sobre cada unidad volumen.

Por ejemplo. Si quieres sacar una molécula de fluido desde el interior hacia la superficie, gastará energía. Además, esa molécula está rodeada de otras en todas direcciones, ejerciendo una fuerza individual, y al sumarla obtendrás una fuerza neta nula.

Ahora, cerca de la superficie, la molécula está parcialmente rodeada de otras moléculas que la empujarán hacia adentro. Si la extraemos por completo, efectuamos un trabajo llamado tensión superficial (**figura 2.9**).





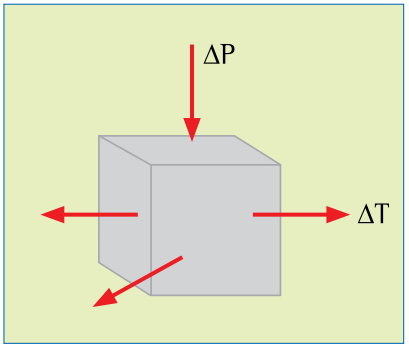
▲ **Figura 2.10**

Presión en el líquido

En el caso general, una fuerza superficial de módulo ΔR que actúa sobre la superficie ΔS, está dirigida bajo cierto ángulo respecto a esta; la fuerza ΔR se puede descomponer en sus dos componentes: la normal ΔP y la tangencial ΔT (**figura 2.10**).

La primera componente, si está dirigida hacia el interior del volumen, se denomina fuerza de presión, y la segunda, fuerza de rozamiento.

Al igual que en los sólidos, la componente normal ΔP empuja el fluido hacia el fondo del recipiente, pero su componente tangencial ΔP provoca un desplazamiento lateral de las moléculas, como lo muestra la **figura 2.11**.



▲ **Figura 2.11**

Si la fuerza de presión ΔP está uniformemente distribuida por la superficie ΔS o si se quiere determinar el valor medio de la presión, se emplea la fórmula:

$$P = \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

¿Cómo vas? actividad

A través de la secuencia de imágenes de la **figura 2.8**, describe la forma de la superficie del agua contenida en el interior de un vaso cuando se traslada luego de aplicar una fuerza sobre él.

miniresumen

- Las sustancias que pueden fluir incluyen a los líquidos y gases. Pero excluyen a las sustancias sólidas, ya que no pueden fluir.
- La densidad se define como la masa por unidad de volumen y está simbolizada por la letra griega ρ (rho). Un material homogéneo, tiene la misma densidad en todas sus partes.
- La densidad absoluta corresponde al cociente entre la masa y el volumen que ocupa. Es decir:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

- La densidad relativa corresponde al cociente entre la densidad del material y la densidad del agua a 4 °C y 1 atm de presión.
- El peso específico es el cociente entre el peso del cuerpo y el volumen que ocupa. Se designa por la letra ρ y su unidad en el SI es el N/m^3.
- Las fuerzas que actúan sobre los volúmenes dados del líquido, y que son, respecto a estos, fuerzas exteriores, se subdividen en fuerza de masa (volumétricas) y las superficiales.

Evaluación de sección 1

1. ¿Cuál es la diferencia entre peso específico y peso de una sustancia líquida?
2. La **figura 2.12** muestra un recipiente que contiene agua, el cual es trasladado debido a la aplicación de una fuerza sobre él. Describe las fuerzas superficiales y de masa que actúan sobre el líquido.



Figura 2.12

FLUIDOS EN REPOSO

A diario notas la presencia del aire cuando este se mueve a tu alrededor, del agua cuando te bañas o cuando la bebes para hidratarte, o de la lluvia cuando hay una tormenta, o los ríos, los lagos, los océanos, el aceite, la gasolina, el alcohol. Ellos son algunos ejemplos de la enorme variedad de diferentes fluidos que te rodean.

Te habrás dado cuenta de que los fluidos pueden estar en reposo, cuando están dentro de cualquier recipiente que los pueda contener: por ejemplo, un vaso con agua en su interior, y que también tienen la capacidad de moverse, por ejemplo el agua en un río o el humo que sale de un cigarrillo. Entonces, si deseas describir el movimiento del vapor de agua que sale de un té caliente cuando lo revuelves con la cuchara, debes conocer las propiedades de los fluidos y aplicarles las leyes de la mecánica de Newton. Luego, si tienes la intención de describir el agua o cualquier fluido que está en reposo, estarás estudiando **hidrostática**, que es la rama de la mecánica de los fluidos que se ocupa del estudio de las condiciones y de las leyes que rigen el equilibrio de los líquidos y gases, considerando la acción de las fuerzas a las que se hallan sometidos.

El estudio de los fluidos en reposo o hidrostática nos permite explicar fenómenos naturales, el funcionamiento de máquinas hidráulicas, la flotabilidad de los cuerpos.

AL LEER APRENDERÁS

- A describir las propiedades de los fluidos en reposo.

PRERREQUISITOS

- Propiedades de los fluidos.
- Leyes de Newton.

CONCEPTOS CLAVE

- Hidrostática
- Presión hidrostática

Tema 1: Presión hidrostática

Cuando llenas un vaso de agua, las burbujas que se producen interactúan con las moléculas de agua que las rodean. El agua ejerce fuerza sobre las burbujas desde todas direcciones. Si observas la secuencia de fotografías, podrás ver cómo se llena el vaso con agua. El vaso del extremo derecho muestra el agua aparentemente quieta y sin movimiento, sin embargo, las moléculas de agua que constituyen este líquido están en constante movimiento, siendo esta una de las causas que le permiten fluir. Si se pudieran observar las interacciones del agua con las burbujas de aire disueltas en ella, se vería una situación similar a la ilustrada en la **figura 2.15**.

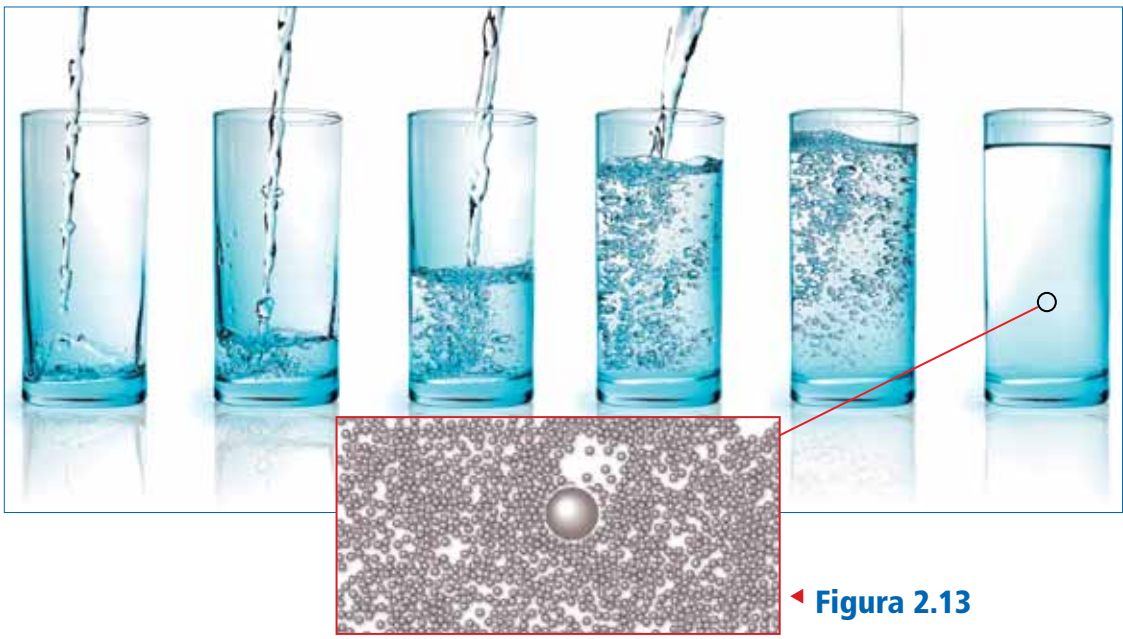


Figura 2.13

Capítulo 2

¿Cómo se manifiesta la fuerza en un fluido?

Estudiaremos la propiedad macroscópica que se manifiesta cuando los fluidos están en reposo y sometidos a un campo gravitatorio constante.

- Los fluidos en reposo ejercen fuerza sobre los objetos que están sumergidos en ellos y también sobre las paredes de los recipientes que los contienen.
- Es conveniente describir esta fuerza sobre una superficie, como lo ilustra la **figura 2.14**, por medio de un concepto que denominaremos la presión hidrostática, que se define de la misma manera como en la sección anterior: la magnitud de esta fuerza normal dividida por la superficie, o sea,

$$p = \frac{F}{A}$$

- Evidentemente, la fuerza, debido a la presión en un fluido en reposo, es siempre perpendicular a la superficie (fuerza Normal) y su módulo será:

$$F = p \cdot A$$

- Notemos que la presión es una magnitud escalar, y que su unidad es, en el sistema internacional, el Pascal (newton/metro^2).

Ahora, cuando nadas y te sumerges en un río o en una piscina, el fluido que te rodea ejerce una presión sobre ti. ¿Sería la misma intensidad de presión si te encontraras a diferentes profundidades en el agua? Y, por otro lado, si estuvieras de pie o acostado en el fondo de la piscina, ¿sentirían la misma intensidad de presión las diferentes partes de tu cuerpo? Y, ¿por qué se te tapan los oídos?

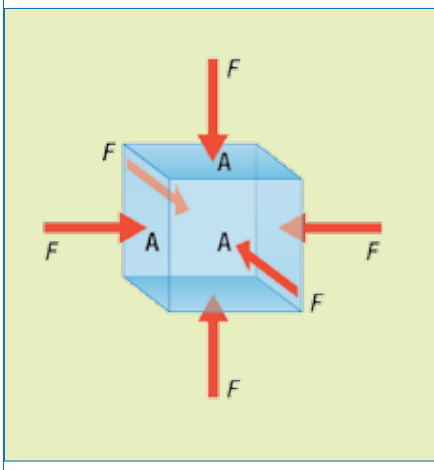


Figura 2.14
La presión que ejerce un fluido sobre un cuerpo sumergido en el o sobre la totalidad

Ejercicio resuelto N° 1

¿Qué fuerza aplica un líquido sobre el fondo de un cilindro?

Estrategia

La fuerza que aplica un líquido es la misma que la de cualquier cuerpo sólido, por lo que podemos usar la expresión $F = m \cdot a$, siendo a la aceleración de gravedad g. Al ocupar g como aceleración, estamos obteniendo el peso de la columna de agua.

Entonces, el peso estará dado por $F = m \cdot g$

Debes tener presente de no confundir los términos fuerza del líquido con presión del líquido.

Para determinar la presión del líquido hacemos uso de la expresión $p = \frac{F}{A}$.

Según su masa debe ser: $m = \rho \cdot V$ y su volumen $V = S \cdot h$, donde S es el área del fondo del recipiente. Remplazando en la expresión de presión se obtiene:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

En las próximas páginas estudiaremos detalladamente la presión y fuerza que se ejercen en los fluidos.

minilaboratorio

Variación de la presión

Objetivo

- Identificar los efectos de la presión al interior de un fluido.

Materiales

- botella plástica de 3L, con tapa rosca.
- marcador permanente.
- clavo.
- plastilina.

Procedimiento

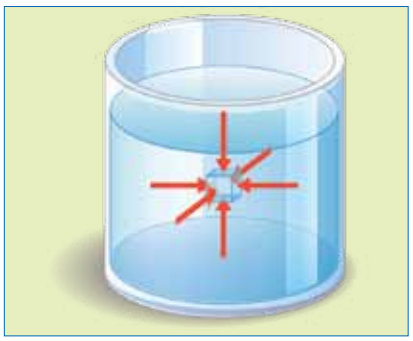
1. Con el marcador, traza una línea a los 10 cm, 20 cm, 30 cm y 40 cm de la base.
2. Con el marcador, traza una cruz sobre cada línea.
3. Con el clavo, perfora la botella en la cruz marcada sobre la línea respectiva.
4. Cubre cada orificio con la plastilina.
5. Llena la botella con agua y luego ciérrala.
6. Partiendo de la base, destapa cada orificio. Observa lo que sucede y luego anota en tu cuaderno las observaciones.
7. Ahora, destapa la botella y anota tus observaciones.

Análisis

1. ¿Por qué el agua no salió por cada orificio cuando los destapaste?
2. En cambio, ¿de qué forma salió el agua por cada orificio al destapar la botella?

Variación de la presión dentro de un fluido

Para poder responder las preguntas planteadas en los párrafos anteriores y establecer el modelo matemático que permite explicar cómo varía la presión dentro de un fluido en reposo, inicialmente sin considerar su interacción con otros cuerpos (aire, paredes del recipiente, sólidos sumergidos, etc.), observa lo ilustrado en la **figura 2.15**, en la cual se considera un vaso con agua y un pequeño cubo de fluido en su interior.



▲ **Figura 2.15**
Fuerzas ejercidas en una sección de volumen de un líquido

Si eliges cualquiera de las caras laterales del cubo, la magnitud de la fuerza generada por la presión sobre esta cara lateral debe igualar a la magnitud de la fuerza generada por la presión sobre la cara lateral opuesta a la elegida, ya que el fluido está en reposo. Si esto no ocurriera, **habría una fuerza neta sobre el cubo, este comenzaría a moverse en cualquier dirección perpendicular a su cara lateral y el líquido comenzaría a fluir.**

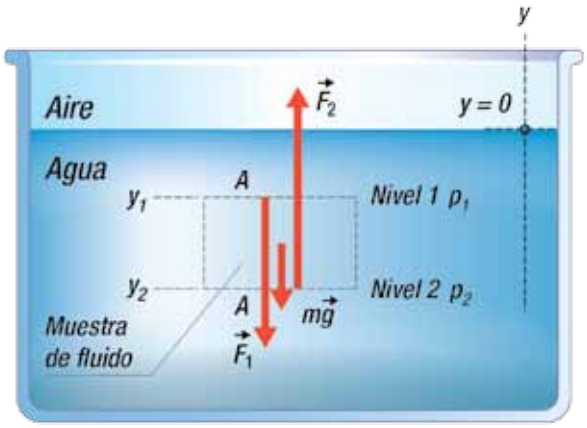
Pero ¿qué ocurre con la magnitud de las fuerzas generada por la presión en la cara superior e inferior del cubo? ¿Son iguales las intensidades de las fuerzas?

La presión del fluido producirá en la cara superior del cubo una fuerza opuesta en sentido, pero de igual dirección, a la fuerza generada por la presión en su cara inferior. Además, es importante que recuerdes que esta muestra cúbica de fluido tiene masa, por lo tanto tendrá un determinado peso.

La relación que se establece entre el peso del cubo y las fuerzas generadas por la presión en la cara superior e inferior del cubo de este fluido en reposo, se obtendrá utilizando el diagrama de cuerpo libre y las leyes de Newton que has aprendido en los cursos anteriores.

Calcularemos cuantitativamente la diferencia de presión (o variación de presión) entre dos puntos ubicados en dos niveles o profundidades distintas, que corresponden a la cara superior e inferior del cubo, ver **figura 2.16**, ubicado al interior de un líquido de densidad uniforme (recuerda que $\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$).

Como buscamos una relación matemática dentro de este fluido en equilibrio, recuerda que aún no consideramos la interacción del aire con el fluido.



◀ **Figura 2.16**
Variación de presión entre dos puntos en un líquido

Agregamos el eje de las ordenadas "y" del plano cartesiano, que indicará la variación de la profundidad en el líquido y cuyo punto origen coincide con la línea que separa al líquido (en este caso agua), de otro cuerpo o fluido que lo rodea (por ejemplo el aire). Considera una muestra o elemento de este fluido, un cubo de área A en la cara superior e inferior y de altura o espesor $\Delta y = y_1 - y_2$.

Llamamos p_1 a la presión sobre la cara superior, ubicada en el nivel 1 de coordenada y_1 llamamos $p_2 = p_1 + \Delta p$ a la presión sobre la cara inferior del cubo, ubicada en el nivel 2 de coordenada y_2.

Como te habrás dado cuenta, las presiones sobre las caras (superior e inferior) son diferentes, ya que los niveles de profundidad son distintos y estas presiones generarán fuerzas sobre sus respectivas caras.

Si realizamos un diagrama de cuerpo libre para este elemento de fluido, la fuerza resultante sobre la dirección perpendicular a las caras laterales del cubo, debido únicamente a la presión, es nula.

Mientras que para la dirección vertical, perpendicular a las caras superior e inferior, la fuerza resultante también es nula, ya que el cubo está en reposo. **Recuerda, el fluido está en equilibrio.**

El diagrama de cuerpo libre en la dirección vertical (**figura 2.17**) nos revela las siguientes fuerzas:

1. La presión sobre la cara superior p_1 produce una fuerza de módulo $F_1 = p_1 \cdot A$ dirigida hacia abajo.
2. La presión sobre la cara inferior p_2 produce una fuerza de módulo $F_2 = p_2 \cdot A$ dirigida hacia arriba.
3. El peso del cubo, cuya magnitud es $w = g \cdot m = g \cdot \rho \cdot \Delta V = g \cdot \rho \cdot A \cdot \Delta y$, donde ρ es la densidad del fluido.



Figura 2.17

Dado que el cubo está en equilibrio, por la segunda ley de Newton se tiene en la dirección vertical: $F_2 - F_1 - w = 0$ o sea, $p_2 \cdot A - p_1 \cdot A - \rho \cdot g \cdot A \cdot \Delta y = 0$

Dividiendo la ecuación anterior en el área A, obtenemos

$$p_2 = p_1 + \rho \cdot g \cdot \Delta y$$

$$p_2 = p_1 + \rho \cdot g \cdot (y_1 - y_2)$$

También si remplazamos $p_2 = p_1 + \Delta p$, podemos escribir la ecuación anterior de la siguiente forma:

$$(p_1 + \Delta p)A - p_1 A - \rho g A \Delta y = 0$$

O sea, $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta y$ $\qquad$ $p_2 - p_1 = \rho \cdot g(y_1 - y_2)$

Puedes enunciar la ecuación anterior de la siguiente forma: "La diferencia de presiones entre 2 puntos de un mismo líquido es igual al producto entre el peso específico ($\rho \cdot g$) del líquido y la diferencia de niveles". Es decir, la variación de la presión dentro del líquido depende de los cambios en la profundidad.

Nota que esta relación es independiente de la forma del recipiente y que es válida para puntos dentro de un líquido, aunque estos no estén en la misma vertical.

Para los gases, ρ es relativamente muy pequeño. Para ello observa los valores del aire o hidrógeno de la **tabla 2** y compáralos con los del agua.

Si consideramos una diferencia de nivel no muy grande, la diferencia de presión es despreciable y se puede considerar que la presión es la misma (o constante) dentro de un recipiente que contiene gas.

tabla 2

Tabla de densidad	
Sustancia	ρ [g/cm^3]
Hidrógeno	0,00009
Aire	0,0013
Gasolina	0,7
Hielo	0,92
Agua 4 °C	1
Agua de mar	1,03
Glicerina	1,25
Aluminio	2,7
Fierro	7,6
Cobre	8,9
Plata	10,5
Plomo	11,3
Mercurio	13,6
Oro	19,3

Ejercicio resuelto N° 2

LA FUERZA DEL AIRE

¿Qué fuerza ejerce el aire sobre el piso de una habitación de 8 metros de largo por 5 metros de ancho a una presión de 1 atm (101 325 Pa)?

Identificando la información

La habitación la consideraremos con una presión uniforme.

Estrategia

La fuerza es igual a la presión por el área, por lo que mediante esta relación obtendremos el resultado. El área lo podemos determinar con el largo y el ancho de la habitación.

Resolución

$A = \text{largo} \cdot \text{ancho}$

$F = P \cdot A$

$A = \text{largo} \cdot \text{ancho}$

$A = 8\text{m} \cdot 5\text{m}$

$A = 40\text{m}^2$

$F = P \cdot A$

$F = 101\,325\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 40\ \text{m}^2$

$F = 101\,325\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 40\ \text{m}^2$

$F = 4\,053\,000\ \text{N}$

Análisis de resultado

¿Por qué el piso de la casa no se viene abajo ante abrumadora fuerza? Debido a que por el lado opuesto de la casa se ejerce una fuerza opuesta igual sobre el piso (si se desprecia el espesor del piso), siendo la fuerza neta igual a cero.

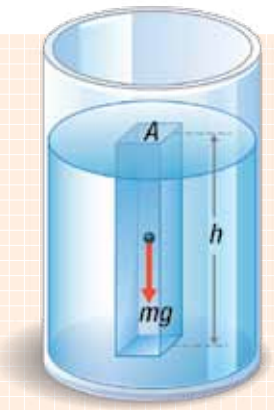
AHORA RESUELVES TÚ

¿Qué fuerza ejerce el agua sobre el piso de una habitación de 8 metros de largo por 5 metros de ancho y altura de 3 metros? Considere la presión atmosférica (1 atm =101 325 Pa)

Ejercicio resuelto N° 3

Un estanque de 10 m de altura se encuentra totalmente lleno de agua. ¿Cuál es la presión en el fondo del estanque debido solamente a la columna de agua? Considera que la magnitud de la aceleración es:

$$g = 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



Identificando la información

Tenemos la altura de un estanque y por tratarse de un líquido que ejerce la presión, desprecia la presión del aire considerándola cero. Por lo tanto, se asume $y_1 = 0$ m, $y_2 = -10$ m.

Solución

La columna de agua ejerce una presión hidrostática de acuerdo al producto $\rho \cdot g \cdot \Delta y$, y teniendo en cuenta que la densidad del agua es de:

$$\rho = 1 \cdot 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Entonces, la presión que produce la columna de agua es: $F = 1 \cdot 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0\ \text{m} - (-10\ \text{m})) = 1 \cdot 10^5\ \text{Pa}$

AHORA RESUELVES TÚ

Un estanque cerrado de 30 cm de profundidad se encuentra lleno de mercurio. ¿Cuál es la presión en el fondo del estanque?

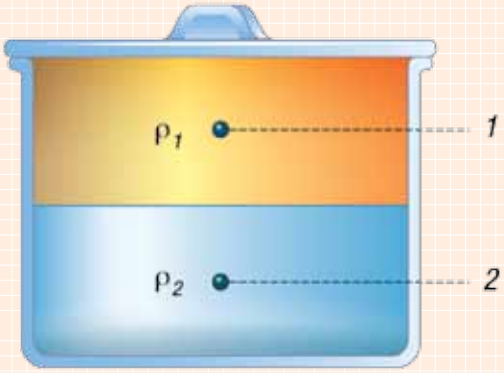
Ejercicio resuelto N° 4

Se introducen dos líquidos inmiscibles (no se mezclan) en un recipiente cerrado. Los fluidos permanecen en equilibrio formando dos capas de igual espesor.

Las densidades de los fluidos son

$\rho_1 = 1\,000\ kg/m^3$

$\rho_2 = 13\,500\ kg/m^3$



Si los puntos 1 y 2 se encuentran en la mitad de cada una de las capas, calcula:

a) Las presiones en el punto 1 que se encuentra a una profundidad de 4 m.

b) La presión en el punto 2.

c) La presión en el fondo del recipiente.

Identificando la información

Este ejercicio se trabaja con dos fases en equilibrio.

Solución

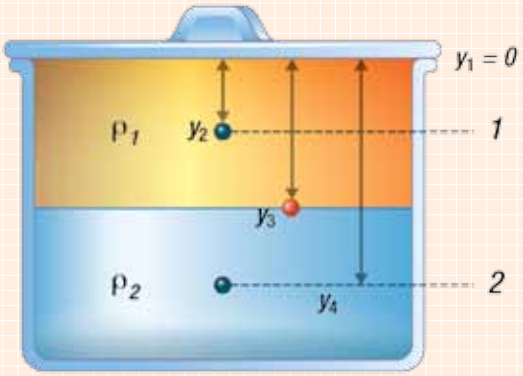
Usaremos la ecuación: $p_2 = p_1 + \rho \cdot g \cdot (y_1 - y_2)$

a) Para el punto 1 consideramos que $p_1 = 0$ Pa, ya que el recipiente está aislado.
Si ubicamos el origen del eje de las ordenadas en
$y_1 = 0$ m, $y_2 = -4$ m, remplazando la presión será:

$$p_2 = \rho_1 \cdot g \cdot (y_1 - y_2)$$

$$p_2 = 1 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot (0\ m - (-4\ m))$$

$$p_2 = 4 \cdot 10^4\ Pa$$



La presión en el punto 1 es de 40 000 Pa.

b) Para encontrar la presión en el punto 2 debemos primero calcular la presión en el punto $y_2 = -8$m, que corresponde a la presión del primer líquido sobre el segundo. Entonces:

$$p_3 = 1 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot (0\ m - (-8\ m))$$

$$p_3 = 8 \cdot 10^4\ Pa$$

Ya ahora la presión en el punto $y_4 = -12$m, ya que las capas tienen el mismo grosor y los puntos 1 y 2 se encuentran en la mitad de cada una de las capas.
La presión en punto 2 será:

$$p_4 = p_3 + \rho_2 \cdot g \cdot (y_3 - y_4)$$

$$p_4 = 8 \cdot 10^4\ Pa + 13{,}5 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot (-8\ m - 12\ m)$$

$$p_4 = 8 \cdot 10^4\ Pa + 54 \cdot 10^4\ Pa = 62 \cdot 10^4\ Pa$$

Por lo tanto, la presión en el punto 2 será de 620 000 Pa.

AHORA RESUELVES TÚ

Usando los datos anteriores, calcula la presión en el fondo del recipiente.

Tema 2: Ecuación fundamental de la hidrostática

AL LEER APRENDERÁS

- A aplicar la ecuación fundamental de la hidrostática para resolver diversos problemas que involucran fluidos.

CONCEPTOS CLAVE

- Ecuación fundamental de la hidrostática.
- Presión atmosférica.

La ecuación $p_2 = p_1 + \rho \cdot g \cdot (y_1 - y_2)$, tiene una gran cantidad de aplicaciones en la hidrostática, las cuales se explicarán durante el desarrollo de esta sección.

Al deducirla no se consideró la interacción del fluido con otros fluidos o sólidos que cubren totalmente su superficie libre. Estas sustancias generan una presión inicial adicional identificada con p_1, distinta a la que genera el propio fluido a una profundidad dada reconocida con $\rho \cdot g \cdot \Delta y$, por ejemplo:

1. Si el recipiente está aislado del ambiente o en contacto con otro fluido no miscible (por ejemplo agua-aceite), de modo que la superficie libre del líquido coincide con el origen de coordenadas ($y_1 = 0$) y está a una presión p_1, con $y_2 = -h$ (profundidad), y $p_2 = p$, obtenemos la denominada ecuación de la hidrostática:

$$p = p_1 + \rho \cdot g \cdot h$$

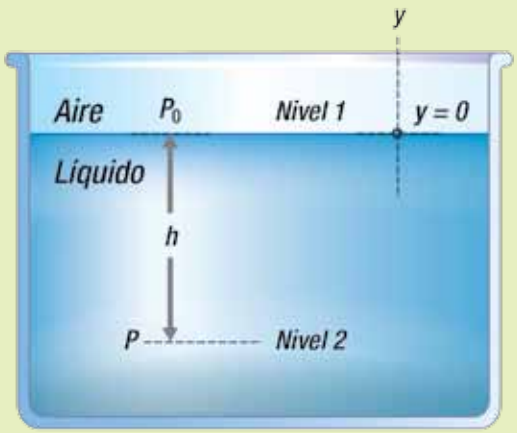
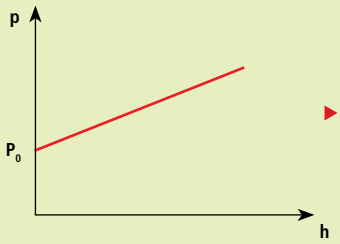


Figura 2.18
Si el líquido está abierto al ambiente, entonces p_0 es la presión atmosférica del lugar



Gráfica 1
Relación entre p y h.

2. Si el recipiente está abierto al ambiente, como un vaso con agua, **figura 2.18**, entonces $p_1 = p_0$, p_0 es la presión atmosférica y obtenemos:

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

Observa que la presión en el interior de un fluido que está abierto al ambiente y crece linealmente con h, tal como lo muestra la **gráfica 1**, depende de la presión atmosférica y de la presión que ejerce la columna de líquido, que a su vez depende solo de h y no de la cantidad de líquido contenido.

En la **figura 2.19** se muestran tres recipientes distintos que contienen un mismo líquido de densidad ρ. En esta situación se cumple que $p_1 = p_2 = p_3$.

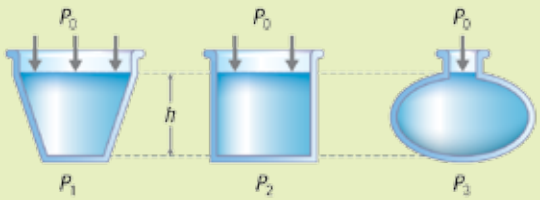
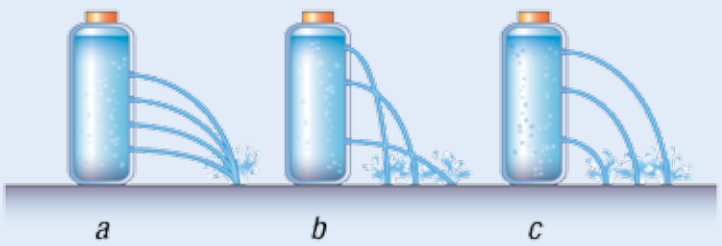


Figura 2.19
La presión en el fondo de estos recipientes es la misma

¿CÓMO VAS? actividad

Observa las siguientes imágenes:

¿Son correctas todas estas situaciones? ¿Cumplen todas con el principio fundamental de la hidrostática? Argumenta tu respuesta.



Vasos comunicantes

Si se llenacon fluidodos tubos unidos por otro de goma o del mismo material, ¿qué sucederá con el nivel de fluido alcanzado en su interior? Para resolver el problema utilicemos la siguiente figura y calculemos la presión en la parte más baja de estos tubos unidos (ver **figura 2.20**). Consideremos que la densidad ρ del líquido es constante. En efecto, la presión a esta profundidad será:

$$p_A = p_B$$

$$p_o + \rho \cdot g \cdot h_A = p_o + \rho \cdot g \cdot h_B$$

O sea, podemos concluir, $h_A = h_B$, es decir, hemos demostrado que el nivel o altura del fluido es la misma en los dos recipientes, aunque su forma es diferente.

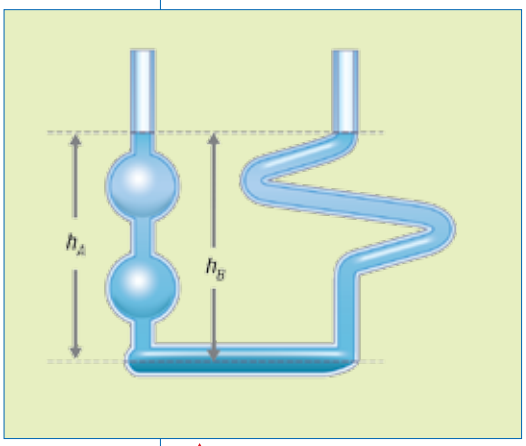


Figura 2.20

En general, cuando se tienen dos o más recipientes intercomunicados entre sí por su parte inferior, estos reciben el nombre de vasos comunicantes.

Dentro de estos vasos, se distinguen dos casos:

- Vasos comunicantes con un mismo líquido, **figura 2.21**. En estos, la altura que alcanza el fluido es la misma en todos los recipientes.

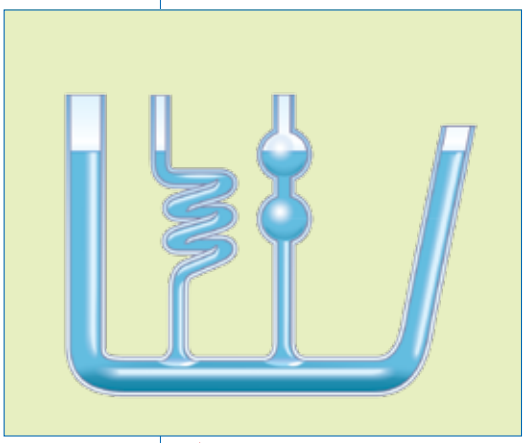


Figura 2.21

Estos vasos tienen distintas aplicaciones: desde la empleada por los albañiles que utilizan una manguera transparente con agua para nivelar paredes o estructuras, pasando por los medidores del nivel de las calderas, hasta la red de distribución de agua potable (**figura 2.22**).

Figura 2.22

En esta construcción, ¿por qué los albañiles utilizan una manguera con agua en su trabajo?



Vasos comunicantes con distintos líquidos, no miscibles (ver **figura 2.23**). Si dos vasos comunicantes contienen distintos líquidos no miscibles, dado que la presión en A y en B ha de ser la misma, deberá verificarse:

$$p_o + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = p_o + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Lo que indica que las alturas alcanzadas en cada rama, medidas a partir de la superficie de separación, son inversamente proporcionales a las densidades de los respectivos líquidos.

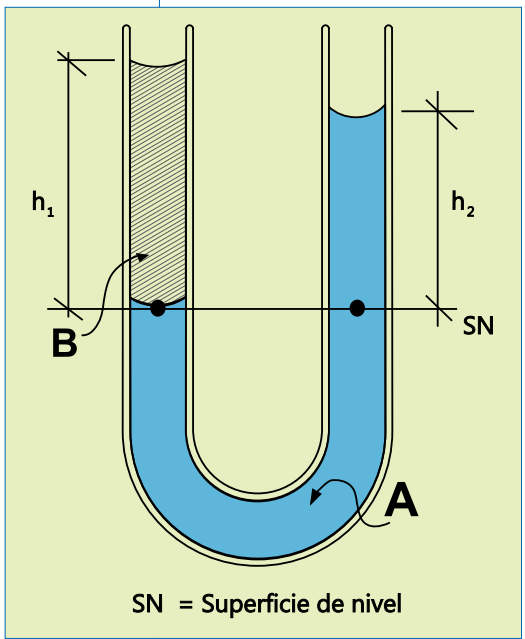


Figura 2.23

Ejercicio resuelto N°5

¿Qué altura debe tener una columna de alcohol de densidad 800 kg/m³ para ejercer la misma presión que una columna de mercurio de 10 cm de altura y una densidad de 13 600 kg/m³?

Identificando la información

Se dispone de las alturas de la columna de alcohol y sus respectivas densidades.

Solución

$\rho_{alcohol} = 800\ kg/m^3$ $\qquad$ $\rho_{mercurio} = 13\,600\ kg/m^3$

$h_{mercurio} = 0{,}1\ m$

Estrategia

Se establece la relación entre las alturas de mercurio con las densidades y se obtiene:

$$\frac{h_{alcohol}}{h_{mercurio}} = \frac{\rho_{mercurio}}{\rho_{alcohol}} \qquad h_{alcohol} = h_{mercurio} \cdot \frac{\rho_{mercurio}}{\rho_{alcohol}}$$

$$h_{alcohol} = 0{,}1\ m \cdot \frac{13\,600\ kg/m^3}{800\ kg/m^3} = 1{,}7\ m$$

Solución

La altura de la columna de alcohol debe ser de 1,7 m.

AHORA RESUELVES TÚ

¿Qué altura debe tener una columna de agua de densidad 1 000 kg/m³ para ejercer la misma presión que una columna de aceite de 26 cm de altura y una densidad de 800 kg/m³?

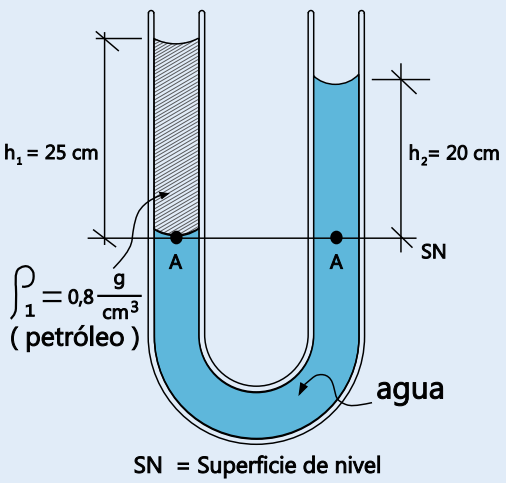
Evaluación individual

actividad

Relación de densidades de líquidos diferentes

Un tubo en U se llena parcialmente con agua y luego lentamente se le adiciona petróleo hasta que la altura de ambas columnas aumenta, como muestra la figura.

¿Por qué la altura del agua es inferior a la del petróleo?



Encuentra una expresión que muestre las relaciones de las alturas de agua y petróleo si

- $P = P_0 + \rho_{agua} \cdot g \cdot h_1$
- $P = P_0 + \rho_{petróleo} \cdot g \cdot h_2$

  Siendo P_0 la presión del aire.

Ecuación fundamental de la hidrostática para el aire

Cuando corres o caminas hacia el colegio o a tu casa, sientes que el aire se mueve hacia tu cuerpo y a tu alrededor. Si a esto le aplicas tus conocimientos de hidrostática, deberías concluir que realmente te encuentras rodeado por una mezcla de gases, llamado aire, que ejerce una determinada presión sobre tu cuerpo y sobre los cuerpos sumergidos en él, ya que es un fluido.

La atmósfera de la Tierra es el ejemplo más claro de la presión que ejercen los gases. Existe una diferencia entre la presión que ejercen los gases y la que ejercen los líquidos. El aire, por ser una mezcla de gases, es compresible y no tiene una densidad constante en todos los niveles de la atmósfera.

La presión de la atmósfera de la Tierra, como en cualquier fluido, cambia con la altura, pero la atmósfera de la Tierra es compleja, porque:

1. La densidad del aire varía enormemente con la altitud y entre las capas atmosféricas, como ilustra la **figura 2.24**. La capa que se encuentra más próxima a la superficie del planeta, la troposfera, tiene la mayor densidad, como lo observas en la **figura 2.25**, porque está más comprimida por el peso de las capas superiores. Así, en la medida que nos alejamos de la superficie de la Tierra, la densidad disminuye.
2. No existe una superficie superior definida, a partir de la cual se pudiera medir h en la ecuación $p = \rho \cdot g \cdot h$.

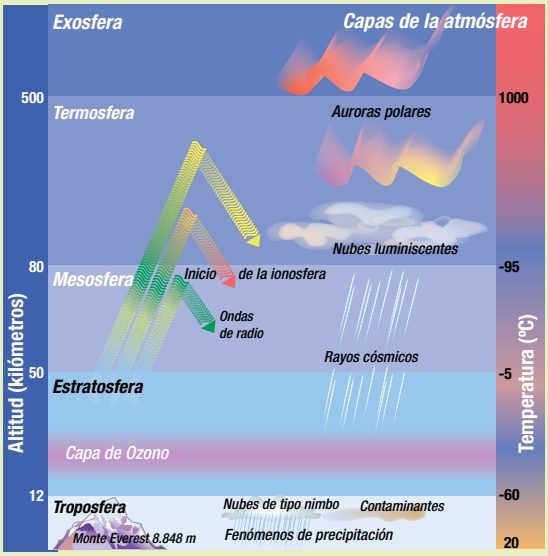
Para medir la presión atmosférica se utiliza un instrumento llamado barómetro.

Con ayuda del barómetro y aplicando la ecuación $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h$ es posible calcular la diferencia aproximada en presión entre dos altitudes.

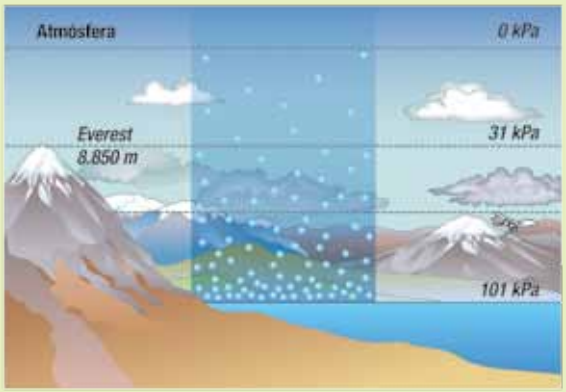
La variación de la presión atmosférica con la altitud se muestra en la **Tabla 3**.

Para determinar la presión atmosférica (p_a), se considera un valor patrón a 0 °C y a nivel del mar, cuyo valor conocido en esas condiciones, es igual a 1 atm o estándar, y equivale a: $1{,}01325 \cdot 10^5$ Pa, 760 mmHg o 1 013 mbar.

Es necesario recordar que el valor real de la p_a varía con la temperatura y la altura, además de las condiciones climáticas. Por lo tanto, el valor de la p_a donde te encuentras puede ser distinto al valor de la presión estándar.



▲ **Figura 2.24** Capas de la atmósfera



▲ **Figura 2.25**
Densidad del aire. ¿Por qué la densidad del aire varía con la altitud?

Tabla 3 ▸ Variación de la P_a 0[°C] y 1 [atm]

Altitud sobre el nivel del mar [m]	p_a [mmHg]
0	760
500	720
1 000	670
2 000	600
3 000	530
4 000	470
5 000	410
6 000	360
7 000	310
8 000	270
9 000	240
10 000	210

Por ejemplo, sobre una superficie dada, en 1 cm^2, el aire situado encima ejerce menos presión cuanto más arriba la situemos.

Al nivel del mar, el valor de la presión, a la que llamamos "normal", es de 760 mm Hg (1 013 mbar). A una altura de 5 500 m este valor se reduce a la mitad.

Y a una altura de 10 000 metros (altura a la que vuelan los aviones), la presión atmosférica es cuatro veces menor que al nivel del mar (ver **gráfico 2**).

El barómetro y el valor de la presión atmosférica

La **presión atmosférica** se debe al aire de la atmósfera que rodea la Tierra. Si la densidad del aire fuera constante, su valor sería $p = \rho \cdot g \cdot H$, donde H es el espesor de la capa atmosférica. Como la densidad no es constante y no conocemos H, se debe recurrir a otro método con la ayuda de un aparato denominado barómetro, construido por primera vez por Torricelli en el año 1644, el cual tiene un largo entre 0,9 a 1 m de longitud, que se llena completamente de mercurio y se invierte en una cubeta de mercurio, como lo ilustra la **figura 2.26**. El mercurio de la columna baja una cierta distancia y luego se estabiliza: Torricelli consideró que lo que detenía la bajada de la columna de mercurio era la fuerza producida por el peso de la atmósfera.

Torricelli también sugirió que el espacio situado por encima de la columna de mercurio está vacío, por lo que no ejerce ninguna presión. Es importante destacar que en esa época (s.XVII) se consideraba casi imposible hablar de "vacío", principalmente por influencia del pensamiento aristotélico (Aristóteles argumentó que ya que el vacío no ocupa volumen, no podría existir).

Si tomamos dos puntos, a la misma profundidad, uno sobre la superficie del mercurio (punto M), y el otro dentro del tubo (punto N), tendremos dos puntos al mismo nivel.

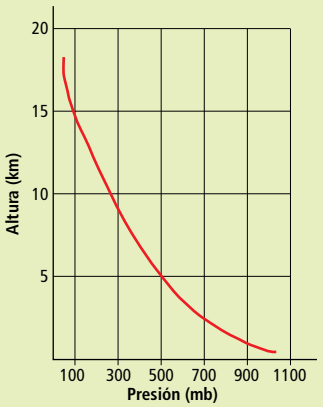
En el punto M la presión es la presión atmosférica p_a, mientras que en el punto N la presión es $\rho \cdot g \cdot h$ y, aplicando la ecuación fundamental de la hidrostática, tenemos por tanto que,

$$p_a = \rho \cdot g \cdot h$$

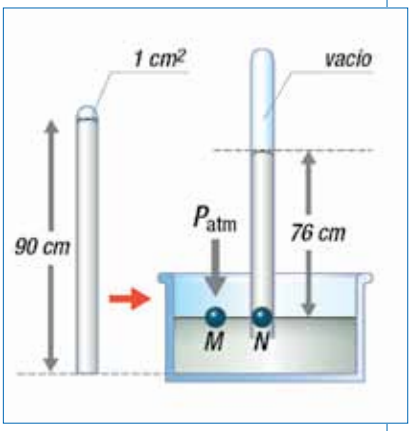
Al nivel del mar (**figura 2.27**) la columna de mercurio es de 0,76 m y como la densidad del mercurio es de $13{,}6 \cdot 10^3$ kg/m, la presión atmosférica será:

$$p_a = 13{,}6 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 0{,}76\ m$$

$$p_a = 1{,}01325 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$$



▲ **Gráfico 2**



▲ **Figura 2.26**
En el siglo XVII hubo mucho debate acerca del espacio vacío del tubo



▲ **Figura 2.27**
Pascal repitió el experimento de Torricelli a diferentes altitudes y descubrió que: a mayor altitud la columna de mercurio disminuía su largo, como se observa en esta figura. ¿Podrías explicar este comportamiento?

¿CÓMO VAS? actividad

¿Podría variar el valor de la presión atmosférica si dentro del barómetro cambiamos el mercurio por aceite?

Tema 3: Principio de Pascal

AL LEER APRENDERÁS

- A aplicar los principios de Pascal.

CONCEPTO CLAVE

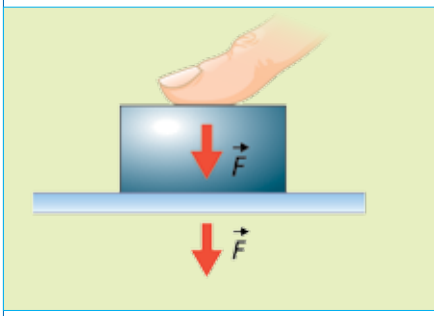
- Principio de Pascal

Probablemente has observado que un automóvil se detiene cuando el conductor presiona un pedal, o cómo una máquina retroexcavadora puede levantar gran cantidad de piedras y material, o cómo una gata hidráulica puede facilitar el cambio de un neumático desinflado. En realidad, lo más probable es que te estés preguntando cómo frena el automóvil, o cómo la gata o la retroexcavadora pueden levantar grandes masas.

Todos estos casos utilizan sistemas hidráulicos para funcionar, que se basan en una propiedad muy interesante de los sólidos y líquidos: la de poder transmitir una presión.

Cuando aplicamos una presión sobre los cuerpos, estos responderán dependiendo si son un sólido rígido, elástico o un fluido.

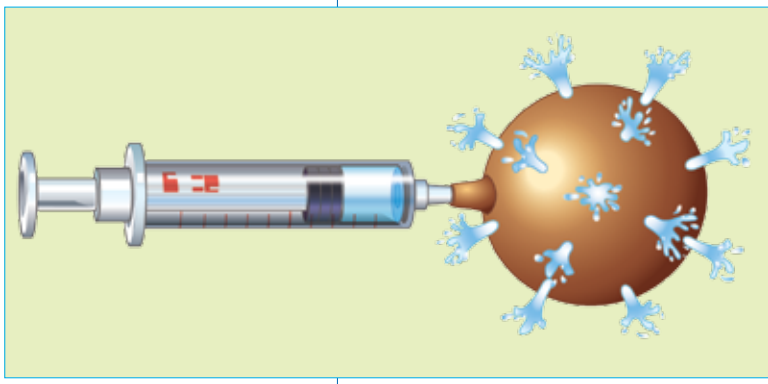
Un sólido transmitirá la presión, tal como se observa en la **figura 2.28**, pero ¿qué sucede en un líquido?



▲ **Figura 2.28**
Representación de la transmisión de fuerzas en uns sólido

Imagina que tienes una jeringa con aire (estado gaseoso) y tapas con un dedo el orificio en un extremo; al presionar el émbolo notarás que el aire del interior disminuye su volumen. Si repites este procedimiento, pero ahora con agua (estado líquido), no lograrás percibir un cambio de volumen. A esto se le denomina "incompresibilidad" de los líquidos.

De acuerdo a los experimentos realizados por Pascal, si tienes una jeringa conectada a una esfera perforada pero con tapones, llena de agua, y presionas el émbolo de la jeringa, el agua saldrá tal como lo ilustra la **figura 2.29** y se detalla en la **figura 2.30**. Si deseas comprobarlo, vuelve a realizar el minilaboratorio de la página 86, pero luego del paso 6 del procedimiento, presiona con fuerza la botella y anota tus observaciones.

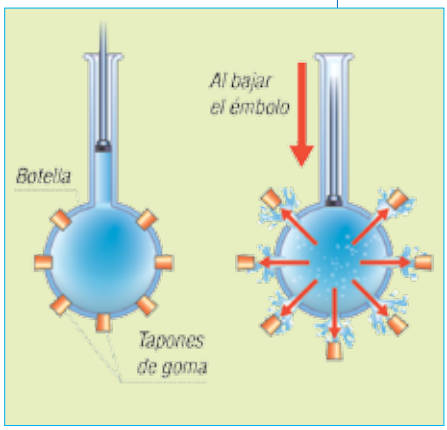


▲ **Figura 2.29**
Representación de la transmisión de fuerzas en un líquido

Como el agua es incompresible, al presionar el émbolo, el agua se desplaza y escapa por los orificios de la esfera empujando los tapones. En otras palabras, un fluido transmite en todas las direcciones la presión que se ejerce sobre él.

El principio de Pascal afirma que *si se aplica una presión externa a un fluido confinado, la presión en todo punto del fluido aumenta por dicha cantidad*. Sin embargo si te detienes a pensar un momento, de la ecuación fundamental de la hidrostática $p = p_o + \rho \cdot g \cdot h$, se puede deducir que si se aumenta de algún modo la presión p_o, la presión p en cualquier punto también aumenta en la misma cantidad, es decir, el principio de Pascal es una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática.

Esto lo puedes comprobar si observas con atención el procedimiento que se desarrolló para resolver el cálculo de la presión al interior de los líquidos no miscibles en el ejercicio resuelto de la página 89.



◀ **Figura 2.30**
Principio de Pascal para un líquido

Ejemplos de la aplicación del principio de Pascal

1. Efecto de la atmósfera sobre los líquidos

Un ejemplo de aplicación del principio de Pascal es el siguiente: la atmósfera de la Tierra ejerce una presión sobre todos los objetos con los que está en contacto, incluso con otros fluidos. La presión externa que actúa sobre un fluido se transmite a través de él. Por ejemplo, de acuerdo con la ecuación $p = \rho \cdot g \cdot h$, la presión que ejerce el agua a una profundidad de 100 m debajo de la superficie de un lago es:

$$p = 1\ 000\ \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}8\ \frac{m}{s^2} \cdot 100\ m = 9{,}8 \cdot 10^5\ \frac{N}{m^2}\ \text{o}\ 9{,}7\ \ atm$$

Sin embargo, la presión total en este punto, se debe a la presión del agua más la presión del aire sobre ella. En consecuencia, si el lago está cerca del nivel del mar, la presión total es: 9,7 atm + 1atm = 10,7 atm

2. La prensa hidráulica

En la práctica, la ventaja que presentan los líquidos debido a su baja compresibilidad es que al transmitir **presiones**, pueden multiplicar las **fuerzas**, aumentando el área sobre la cual se ejerce, como se observa en la **figura 2.31**.

Esto se puede explicar, con ayuda de la **figura 2.32**, de la siguiente forma: $p = \frac{F_i}{A_i}$.

Un pistón de área A_i, al cual se le aplica una fuerza F_i, produce una presión que se trasmite a todos los puntos del líquido y, en particular, a un pistón más ancho de área A_0, situado a la misma altura. Dado que la presión es la misma, se tiene:

$$p = \frac{F_i}{A_i} = \frac{F_0}{A_0}\ \text{o sea}\ F_0 = \frac{A_0}{A_i} F_i$$

de donde se deduce que la fuerza se multiplica por la razón de las áreas de los pistones.

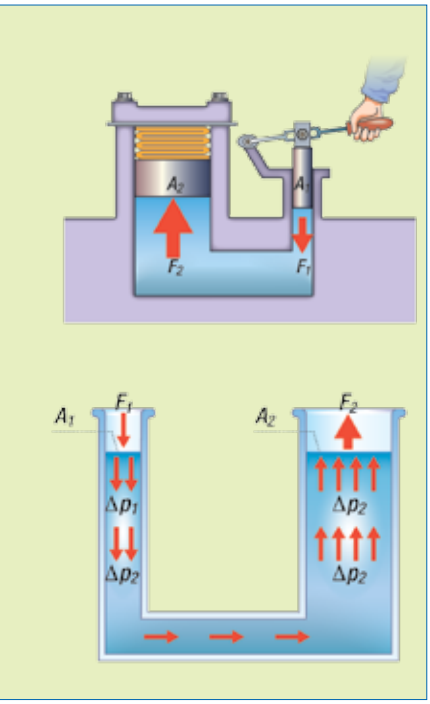


Figura 2.31
¿Por qué las presiones en los dos émbolos son iguales?

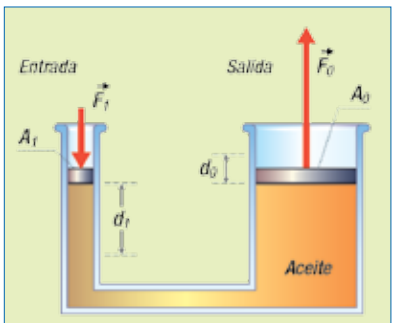


Figura 2.32
¿Puede la prensa Hidráulica cambiar la cantidad de trabajo realizado?

Pero ¿qué sucede con el trabajo mecánico?

La máquina no puede cambiar la cantidad de trabajo que hay que realizar para mover el pistón.

El volumen desplazado es constante $v = A_i \cdot d_i = A_o \cdot d_o$. De esto se deduce que $d_0 = \frac{A_i}{A_0} d_i$, y si calculas el trabajo, se obtiene:

$$W = F_0 \cdot d_0 = \frac{A_0}{A_i} F_i \cdot \frac{A_i}{A_0} d_i = F_i \cdot d_i$$

es decir, la energía se conserva.

actividad

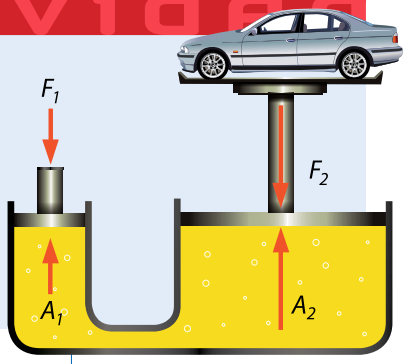
¿CÓMO VAS?

¿Es posible levantar un elefante presionando un botón? ¿Es posible aumentar el módulo o intensidad de una fuerza? ¿Cuál sería la relación matemática entre la distancia recorrida por la fuerza y el área de cada sección?

Evaluación para dos

Observa la siguiente figura:

1. ¿Cuál es la relación entre las presiones de ambos extremos?
2. ¿Influye en la presión del fluido, la diferencia de área de ambos pistones?
3. ¿Son iguales o diferentes las fuerzas en F_1 y F_2? Argumenta tu respuesta.



Principio del elevador hidráulico, una aplicación de la ley de Pascal. El tamaño del recipiente lleno de fluido se ha exagerado por claridad

3. Frenos hidráulicos

Una de las aplicaciones tecnológicas del principio de Pascal es el sistema de frenos hidráulicos: con pequeñas fuerzas logramos detener vehículos muy pesados. La **figura 2.33** ilustra un sistema de frenos de un automóvil.

Cuando un conductor pisa el pedal del freno, la presión en el cilindro maestro aumenta. Este aumento de presión ocurre a través del líquido de frenos, que entonces empuja las balatas contra del tambor de freno unido a la rueda del automóvil.

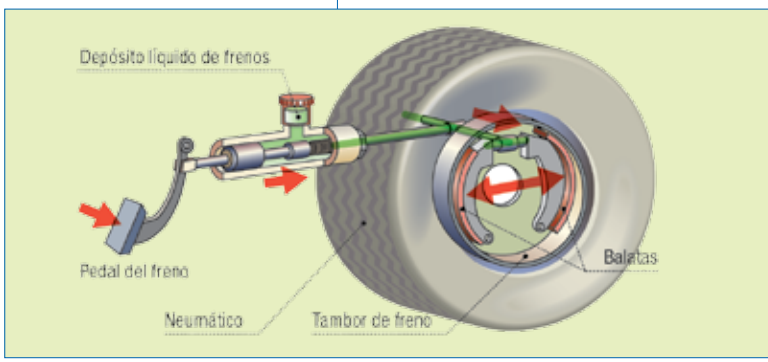
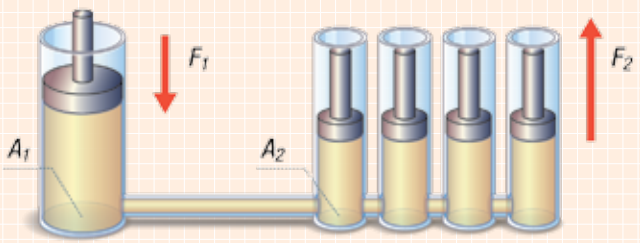


Figura 2.33
Diseño de un sistema de frenos de automóvil

Ejercicio resuelto N°6

Se aplica una fuerza F_1 de 1 000 N, sobre un émbolo de superficie S_1 de 25 cm^2. Calcula la fuerza F_2 que se ejerce en este sistema hidráulico, si cada émbolo tiene una superficie S_2 igual a 10 cm^2.



Identificando la información

Nos dan tres datos y tenemos que calcular un cuarto, F_2.

Estrategia

Este es un problema en que se aplica el principio de Pascal. Dado que la presión tiene que ser la misma en todas las direcciones, se tiene que cumplir:

$\frac{F_2}{S_2} = \frac{F_1}{S_1}$ sobre cada émbolo. Despejando nuestra incógnita.

$$F_2 = \frac{1\,000\ N}{25}\,(10) = 400\ N$$

Resolución

Cada uno de los tubos tiene 400 N de fuerza de empuje, por lo tanto, los cuatro juntos dan como resultado 1 600 N.

AHORA RESUELVES TÚ

Una prensa hidráulica, se acciona a través de un cilindro de área $3 \cdot 10^{-5}$ m^2. El automóvil levantado tiene una masa de $3 \cdot 10^3$ Kg y está sobre un cilindro de área $6 \cdot 10^{-3}$ m^2, siendo la aceleración de gravedad g = 10 m/s^2. Determina la fuerza mínima que se debe aplicar al cilindro menor para elevar el automóvil.

Tema 4: Principio de Arquímedes

AL LEER APRENDERÁS

- A aplicar el Principio de Arquímedes.

CONCEPTO CLAVE

- Principio de Arquímedes

Probablemente alguna vez observaste que al colocar una piedra pequeña en un vaso con agua esta se hundió; sin embargo, si colocas un trozo de hielo en el vaso con agua este no se hunde, por el contrario, flota. Ahora, si un trozo de metal se hunde en el agua, ¿por qué razón un barco construido con metal puede flotar en el océano?, o simplemente, ¿cómo puede un submarino sumergirse o emerger del océano?

Un cuerpo sumergido en un líquido soporta fuerzas en toda su superficie. Esas fuerzas son mayores a medida que aumenta la profundidad a la que el cuerpo está sumergido, ya que la presión que las genera aumenta su intensidad con la profundidad, como lo vimos en páginas anteriores.

Si sobre la superficie superior, ubicada a una profundidad h_1, actúa una fuerza F_1 hacia abajo (cuya intensidad es generada por la presión p_1), y sobre la superficie inferior, ubicada a una profundidad h_2, actúa una fuerza F_2 hacia arriba (cuyo intensidad es generada por la presión p_2) **figura 2.34** y teniendo en cuenta que $h_1 < h_2$, entonces $p_1 < p_2$ y por lo tanto $F_1 < F_2$.

Ahora, podemos concluir que hay una fuerza neta hacia arriba a la que llamaremos empuje.

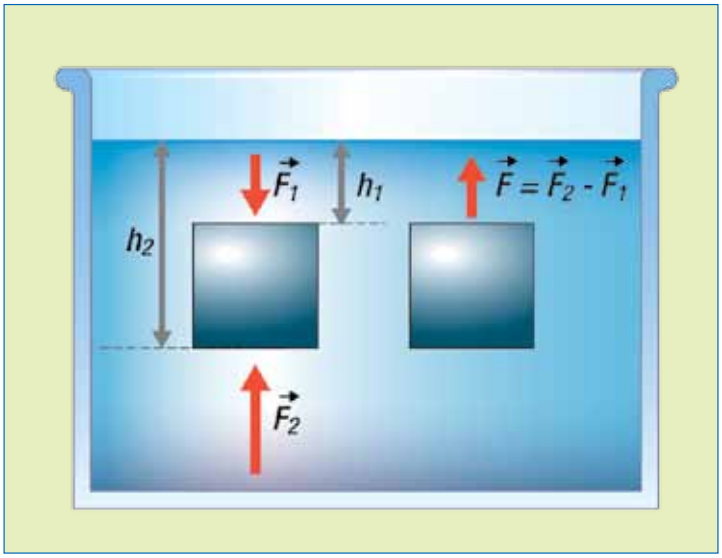


Figura 2.34

En otras palabras, cuando tratamos de sumergir un cuerpo sólido cualquiera en un líquido, se aprecia que este ejerce una fuerza de empuje sobre el cuerpo, es decir, una fuerza hacia arriba que trata de impedir que el cuerpo se hunda en el líquido; es la que hace que un cuerpo pareciera que pesa menos dentro de un líquido, lo que se denomina peso aparente.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Por qué $F_2 > F_1$? ¿Cuál es la relación con las leyes de Newton?

minilaboratorio

Principio de Arquímedes

Objetivo

- Aplicar el principio de Arquímedes.

Materiales

- botella plástica de 3L, con tapa rosca.
- marcador permanente.
- plastilina.
- cuchillo cartonero.

Procedimiento

1. Con el marcador traza una línea a 35 cm de la base.
2. Con el cuchillo cartonero, corta la botella en la línea marcada.
3. Llena la botella con agua hasta los 25 cm.
4. Construye una esfera sólida con la plastilina.
5. Introduce la plastilina en la botella con agua, marca el nivel de agua y anota tus observaciones.
6. Con la misma cantidad de plastilina, construye una esfera hueca.
7. Introduce la plasticina en la botella, marca el nivel del agua y anota tus observaciones.

Análisis

1. ¿En qué caso observado el nivel del agua subió? ¿Por qué?
2. ¿En cuál caso la misma cantidad de plastilina flotó en agua? ¿Por qué?

Esta fuerza vertical y dirigida hacia arriba se denomina empuje ascendente del líquido sobre el cuerpo.

El griego Arquímedes, descubrió, de forma experimental, cómo calcular el empuje ascendente que actúa en los cuerpos sumergidos en algún fluido.

Este principio afirma que:

"Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido recibe de este un empuje vertical ascendente igual al peso del fluido desalojado" (**figura 2.35**).



▲ **Figura 2.35**
Representación del empuje vertical

El **principio de Arquímedes** se puede demostrar de la siguiente manera: consideremos un cilindro como el que ilustra la **figura 2.36**, de área A y altura Δh, totalmente sumergido en el líquido de densidad ρ. Si la presión es p en su cara superior, en la cara inferior será $p + \rho \cdot g \cdot \Delta h$, y la fuerza neta vertical dirigida hacia arriba que el líquido hace sobre el cilindro será:

$$F_{emp} = (p + \rho \cdot g \cdot \Delta h) \cdot A - p \cdot A = \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot A$$

$$F_{emp} = \rho \cdot g \cdot V$$

Esta fuerza, llamada empuje, es de igual magnitud que el peso del fluido que ocupa el volumen del cuerpo sumergido.

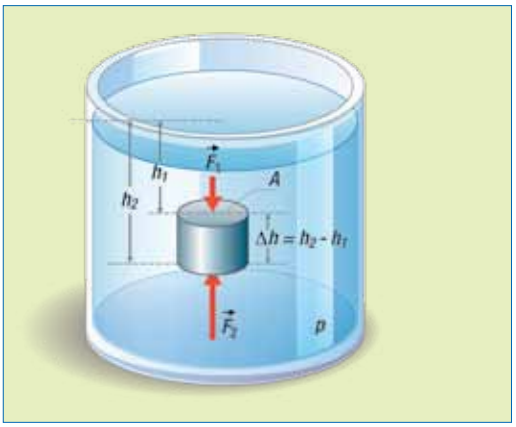


Figura 2.36 ▸
Relación de fuerzas en el principio de Arquímedes

Ejercicio resuelto N° 7

Se desea calcular la densidad de una pieza metálica, para lo cual se pesa en el aire, dando un peso de 19 N. A continuación, se pesa la pieza sumergida en agua, informando un peso aparente de 17 N. Calcula la densidad del metal.

Identificando la información

Si en el agua pesa 2 N menos que afuera, es porque el empuje vale 2 N.

Estrategia

1. Utilizando la fórmula del empuje podemos sacar el volumen sumergido, es decir, el volumen de la pieza.

$$E = d_{agua} \cdot V_{sumergido} \cdot g \qquad 2N = 1\,000 \frac{kg}{m^3} \cdot V \cdot 9{,}8 \frac{m}{s^2} \qquad V = 2{,}041 \cdot 10^{-4}\ m^3$$

2. Conociendo el peso real de la pieza sacamos su masa $m = \frac{P}{g} = \frac{19N}{9{,}8 \frac{m}{s^2}} = 1{,}939\ kg$

3. Ya sabemos el volumen de la pieza y su masa, por lo cual, su densidad será:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{1{,}939\ kg}{2{,}041 \cdot 10^{-4}\ m^3} = 9\,500 \frac{kg}{m^3}$$

AHORA RESUELVES TÚ

Una pieza de aleación tiene una masa de 86 N en el aire y 76 N cuando está sumergida en el agua. Calcula el volumen y densidad de la pieza.

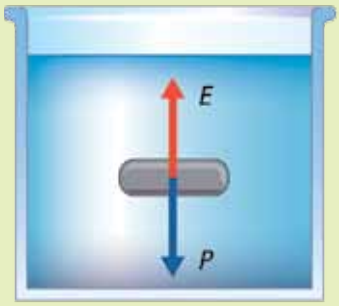
Condiciones para que un cuerpo flote

Si se introduce un cuerpo en un fluido, de modo que quede totalmente sumergido, las fuerzas que actuarán sobre él serán: su peso P y el empuje ascendente E ejercido por el líquido.

En estas condiciones se puede tener una de las tres situaciones siguientes:



▲ **Figura 2.37**



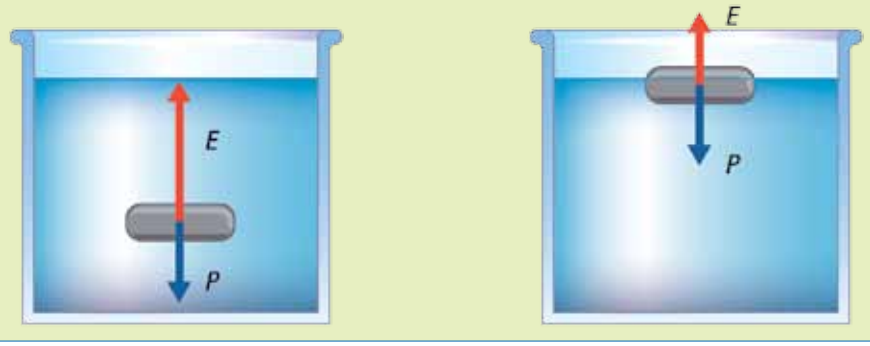
▲ **Figura 2.38**

1. El valor del empuje es menor que el peso del cuerpo (E < P). En este caso, la resultante de las fuerzas está dirigida hacia abajo y el cuerpo se hundirá hasta llegar al fondo del recipiente que contiene al líquido. Un ejemplo es una piedra que se suelta en el agua (**figura 2.37**).

2. El valor del empuje es igual al peso del cuerpo (E = P). En este caso, la resultante entre las fuerzas será nula y el cuerpo quedará en reposo en el sitio en que se halle. Esto se observa en los submarinos bajo el agua en reposo (**figura 2.38**)

3. El valor del empuje es mayor que el peso del cuerpo (E > P). En este caso, la resultante de las fuerzas estará dirigida hacia arriba y el cuerpo subirá hacia la superficie del líquido (**figura 2.39**).

Mientras el cuerpo que sube está totalmente sumergido, se tiene que E > P. Cuando llegue a la superficie del líquido y comience a salir del agua, el líquido que desplaza empezará a disminuir, por lo tanto, el valor de E también disminuirá. Hay un instante, entonces, en el que E se iguala al valor de P, y cuando esto ocurre el cuerpo flotará finalmente en equilibrio, pues allí será nula la resultante entre las fuerzas que actúan sobre él.



▲ **Figura 2.39**

REFLEXIONA

- ¿Hay fuerza de empuje que actúe sobre ti? Si la hay ¿por qué no te hace flotar?

Empuje y densidad del líquido

REFLEXIONA

- ¿Cómo varía el empuje conforme sube un globo lleno de helio?

Por el principio de Arquímedes se sabe que el empuje ascendente es igual al peso del líquido desplazado, es decir, $E = m_d g$, donde m_d es la masa del líquido desplazado.

Como la masa se puede determinar en función del volumen y la densidad, se tiene:

$$E = \rho_L V_d g$$

donde ρ_L es la densidad del líquido y V_d es el volumen de líquido desplazado. Por otra parte, el peso del cuerpo sumergido también se puede determinar en función de su densidad y su volumen, de acuerdo a:

$$P = m_c g = \rho_c V_c g$$

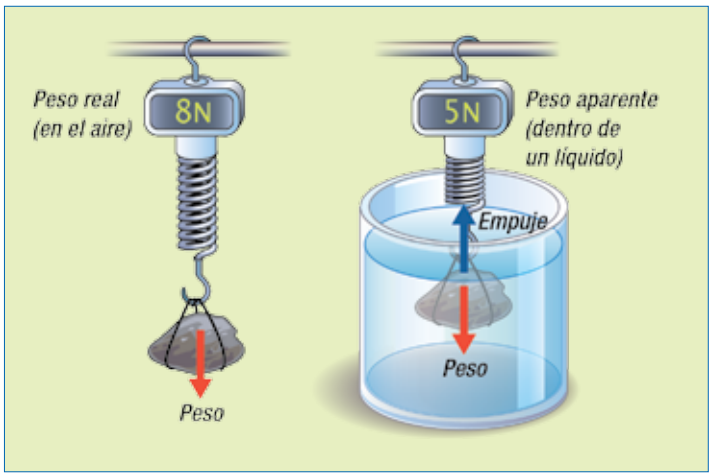
donde m_c es la masa del cuerpo, ρ_c es la densidad del cuerpo y V_c es el volumen del cuerpo.

Cuando el cuerpo está totalmente sumergido en el líquido, $V_d = V_c$, por lo tanto, para un cuerpo totalmente sumergido en un líquido, se tiene:

$$E = P$$
$$\rho_L V_d g = \rho_c V_d g$$

Al simplificar ambos lados de la ecuación, se puede apreciar una relación de orden entre los valores relativos de las densidades del líquido y la del cuerpo sumergido.

Analicemos los siguientes casos:



▲ **Figura 2.40**
Representación del peso real y del peso aparente

1. Si $E < P$, tendremos que $\rho_L < \rho_c$, por lo que el cuerpo se hundirá.
2. Si $E = P$, tendremos que $\rho_L = \rho_c$, el cuerpo quedará en equilibrio cuando esté totalmente sumergido.
3. Si $E > P$, tendremos que $\rho_L > \rho_c$, el cuerpo subirá en el líquido y emergerá en la superficie hasta llegar a una posición de equilibrio, parcialmente sumergido, donde $E = P$.

Los cuerpos sumergidos en los líquidos parecen tener menos peso que en el aire, como se observa en la ilustración, sin embargo, esto no es así, ya que su peso no cambia (**figura 2.40**).

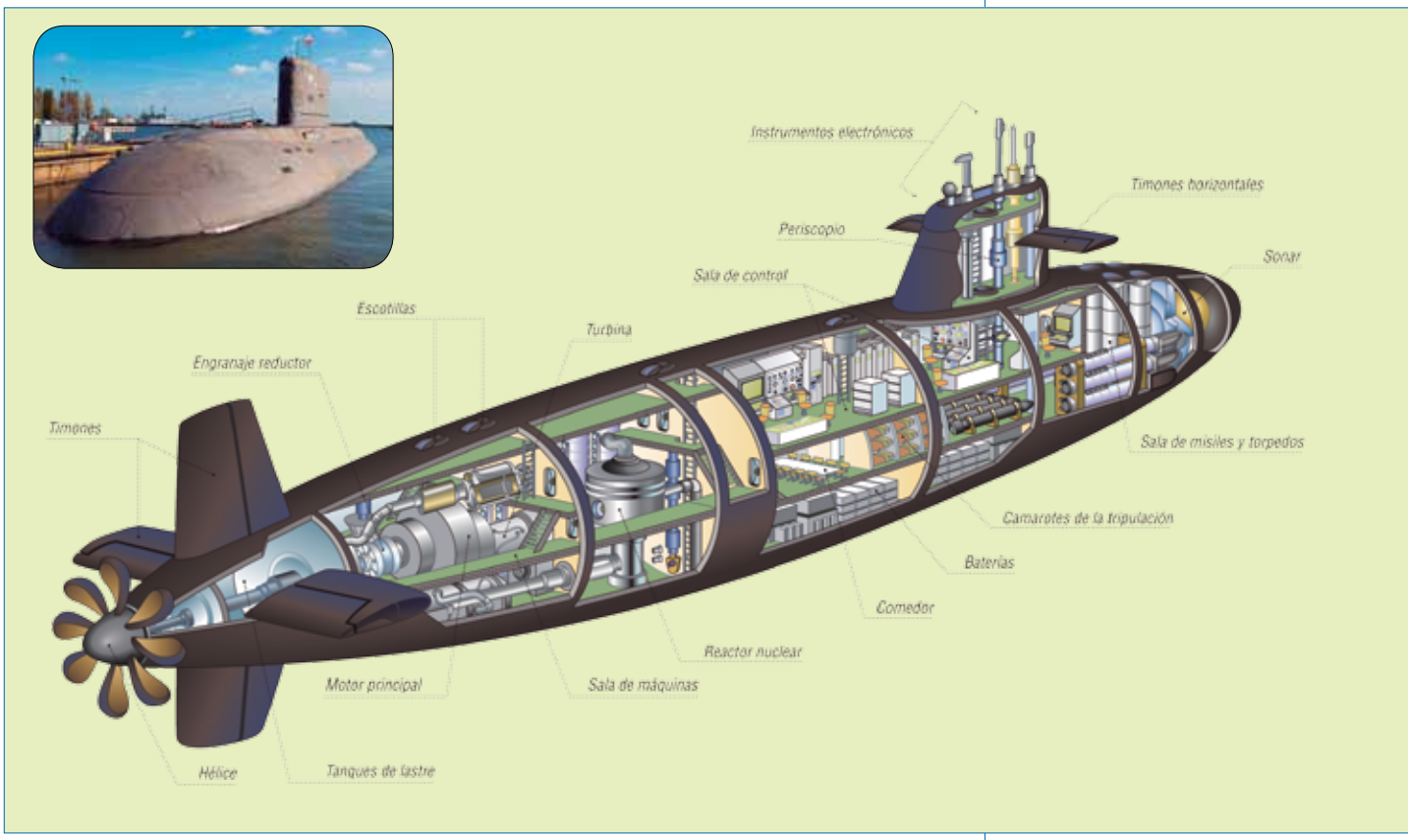
¿CÓMO VAS? actividad

¿Es posible que una papa flote en el agua? ¿Por qué?

Ejemplos de aplicación del principio de Arquímedes

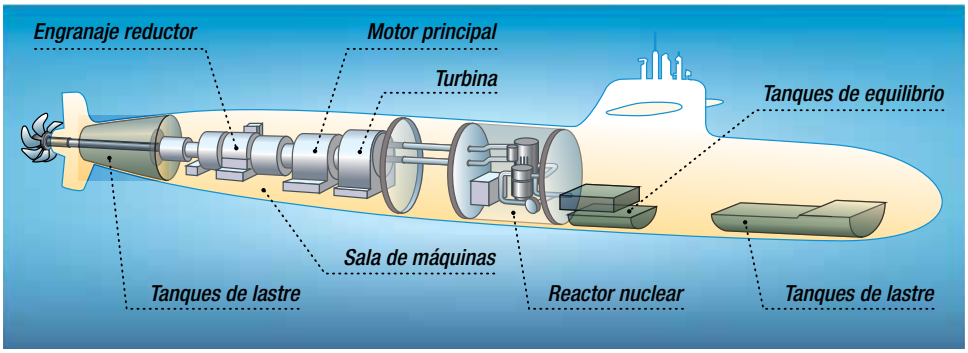
1. El submarino

El principio de Arquímedes se aplica al funcionamiento de un submarino, como lo ilustra la **figura 2.41**, que es un navío especial.



▲ **Figura 2.41**
¿A qué ser vivo se parece un submarino? ¿Por qué?

Generalmente, flota en la superficie del agua, pero tiene depósitos (llamados tanques) especiales que se hallan en el interior del casco, como se detalla en la **figura 2.42**, en los cuales se puede dejar entrar el agua o evacuarla con aire comprimido. Esto modifica el peso del submarino, cambiando su densidad, sin variar el empuje, ya que su volumen no se altera, y le permite sumergirse a diferentes profundidades.



▲ **Figura 2.42**
Detalles de los tanques en un submarino



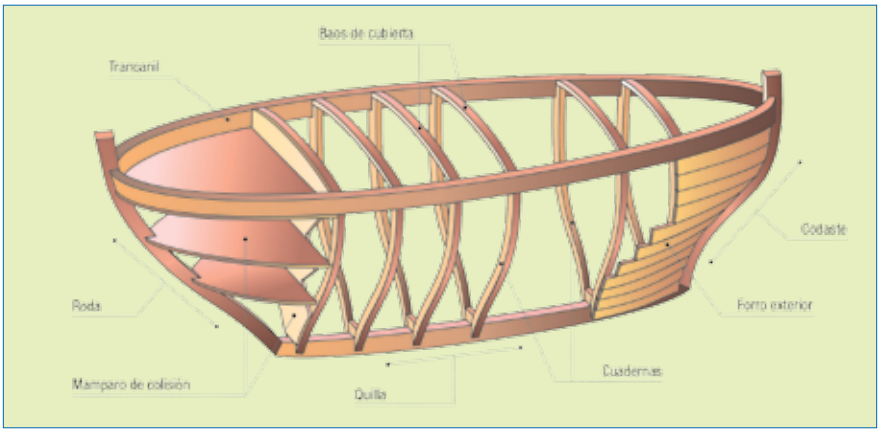
2. El barco

Aunque la mayoría de los barcos son de metal (el cual se hunde en el agua), estos logran flotar, por su forma.

Un barco se construye con un fondo muy amplio (**figura 2.43**), que aumenta su volumen, de tal forma que tenga aire en su interior, así su densidad promedio es menor a la del agua, y el barco puede flotar.

De este modo, cuando sumergimos un barco en el agua, este desaloja una parte del volumen que antes ocupaba el fluido, y de acuerdo al principio de Arquímedes, existe una fuerza que empuja al barco de abajo hacia arriba haciéndolo flotar.

Esto lo puedes comprobar realizando el minilaboratorio "principio de Arquímedes" propuesto en el texto.

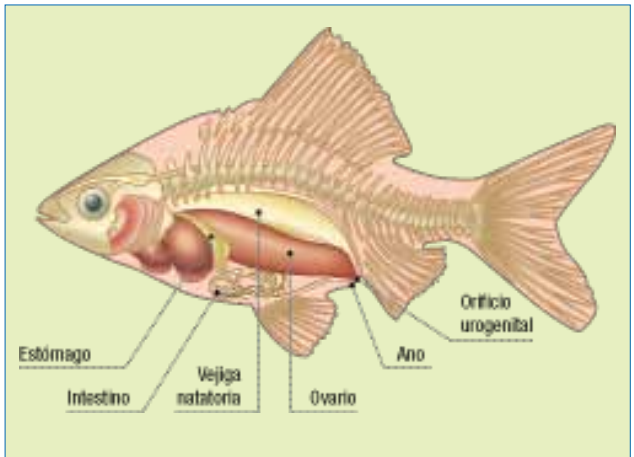


▲ **Figura 2.43**

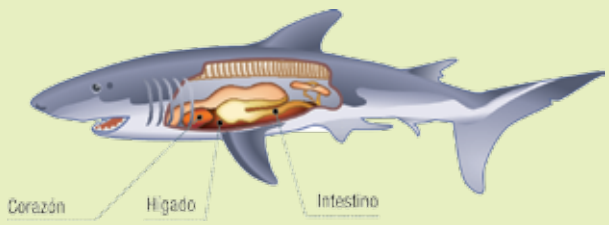
3. Seres vivos que también usan el principio de Arquímedes

En los océanos los peces regulan su densidad promedio expandiendo o contrayendo su bolsa de aire: la vejiga natatoria, (**figura 2.44**). De esta manera, logran compensar el empuje con el peso y pueden nadar manteniéndose inmersos en el interior del líquido. Los que no poseen vejiga natatoria como los tiburones (**figura2.45**), están en continuo movimiento y de este modo evitan hundirse.

Los cocodrilos (que no son peces sino reptiles), flotan fácilmente. Por eso, tragan piedras que almacenan en la parte anterior del estómago. Así pueden nadar manteniendo solo los ojos fuera del agua, lo que les resulta muy conveniente para moverse sin que los vean (**figura 2.46**).



▲ **Figura 2.44**
¿Cuál es la semejanza entre la vejiga natatoria y los tanques de almacenamiento de agua de un submarino?



▲ **Figura 2.45**
¿Por qué un tiburón no se hunde en el océano?



▲ **Figura 2.46**
¿Cómo mantienen los cocodrilos su cuerpo sumergido en el agua?

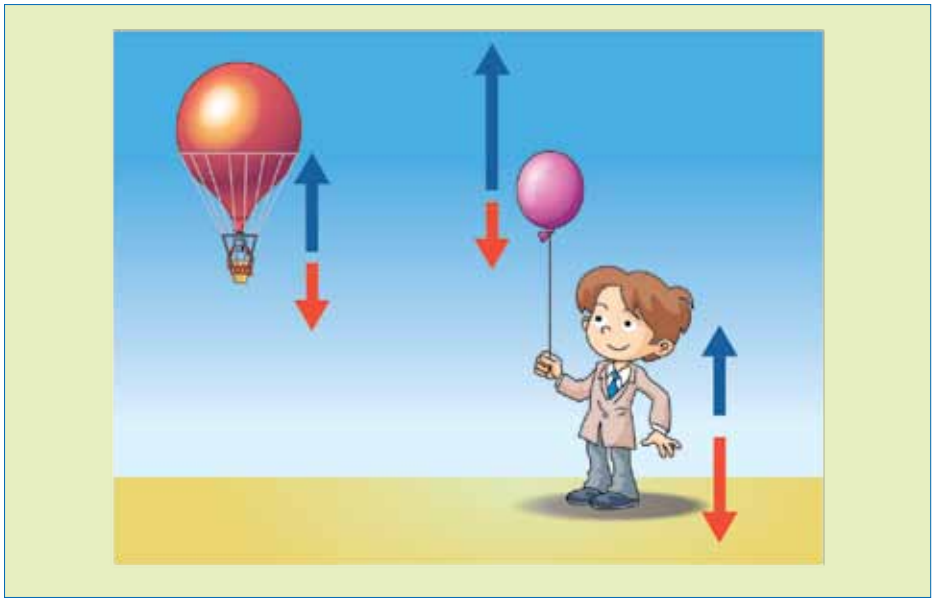
4. El globo aerostático

Sobre la superficie de la Tierra, el empuje que el aire ejerce sobre un globo lleno de un gas menos denso que el aire tiene mayor peso que el peso del globo; en consecuencia el globo se eleva (**figura 2.47**).

Como la densidad del aire del ambiente disminuye y con ella el empuje, el globo llega a estabilizarse. Para subir se echan fuera de la nave sacos de arena y para bajar se deja escapar parte del gas por medio de una válvula situada en la parte superior del globo.



▲ **Figura 2.47**
Globo aerostático

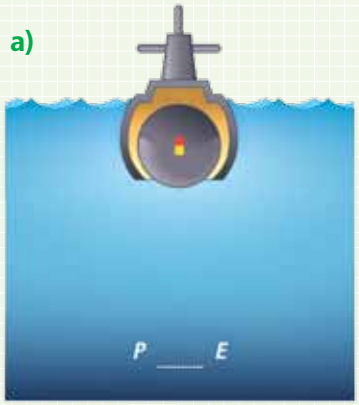


▲ **Figura 2.48**
En la siguiente figura el globo contiene helio en su interior ¿Cuál es la diferencia entre la fuerza sobre el globo aerostático y el globo que tiene la persona?

Evaluación de sección 2

1. ¿Qué es la hidrostática?
2. ¿Cuáles son las variables físicas que influyen en la ecuación fundamental de la hidrostática?
3. ¿Cuál es la diferencia entre el principio de Pascal y el principio de Arquímedes?
4. Coloca en cada una de las figura si el empuje (E) es mayor (>), menor (<) o igual al peso (P) del cuerpo.
   En la figura a) el cuerpo está en reposo, en b) el cuerpo emerge hacia la superficie, en c) el cuerpo se hunde.

a)



b)

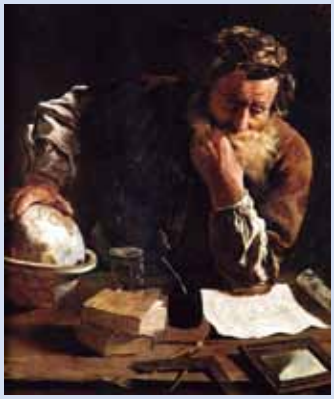


c)



ARQUÍMEDES DE SIRACUSA

(ca. 287 a.C.- ca. 212 a.C.) fue un matemático griego, físico, ingeniero, inventor y astrónomo. Es considerado uno de los científicos más importantes de la Antigüedad clásica y de todos los tiempos. Entre sus avances en física se encuentran sus fundamentos en hidrostática, estática y la explicación del principio de la palanca.



CIENCIA EN RED

Si deseas profundizar sobre el tema, te sugerimos las siguientes páginas webs:

- http://hermes.ffn.ub.es/luisnavarro/docs_pdfs/Crono%20HF.pdf
- www.javierdelucas.es/fisicos2.pps

Consulta junio 2014.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

¿Cuál es la importancia del descubrimiento de Arquímedes, Pascal y Torricelli? ¿Cuáles son las consecuencias del descubrimiento de la presión atmosférica? Revisemos un poco la historia de la hidrostática:

Las investigaciones señalan que posiblemente una de las motivaciones que Arquímedes tuvo para llegar a la formulación del principio de la hidrostática, fue la pregunta que le hiciera el rey Hieron, quien quería saber si su corona era de oro puro. Arquímedes tenía que resolver el problema sin dañar la corona, lo que significaba que no podía fundirla para convertirla en un cuerpo regular, que le permitiría calcular fácilmente su densidad a partir de su masa y volumen.

Se dice que cierto día, mientras tomaba un baño, notó que cuando entraba a la bañera, el nivel de agua subía, por lo que se dio cuenta que ese efecto podría ser usado para determinar el volumen de la corona. Como el agua no se podía comprimir, la corona, al ser sumergida en ella, desplazaría una cantidad de agua igual a su propio volumen, y al dividir la masa de la corona por el volumen de agua desplazada se podría obtener su densidad.
Si esta densidad era menor que la densidad del oro, entonces esta poseería otros metales menos densos.
Cuando Arquímedes, durante el baño, se dio cuenta del descubrimiento, se dice que salió corriendo desnudo por las calles, y que estaba tan emocionado por su hallazgo que olvidó vestirse. Según el relato, en la calle gritaba "¡Eureka!" (en griego antiguo: "**εὕρηκα** " que significa "¡Lo he encontrado!"). En su obra sobre los cuerpos flotantes, planteó el famoso principio por lo que Arquímedes es considerado el fundador de la estática de los cuerpos rígidos y también de la hidrostática.

En la Edad Media, el belga Stevin volvió a establecer el principio de Arquímedes basándose en la imposibilidad del movimiento perpetuo y complementó el estudio de la estabilidad de los cuerpos flotantes y demostró, además la relación que da la presión dentro de un fluido. En 1653, el francés Pascal precisa la noción de presión en el interior de un fluido y estudia experimentalmente el aumento de presión con la profundidad en los fluidos, por lo que demuestra y enuncia el siguiente principio que aplica a la prensa hidráulica.
"*Si un recipiente lleno de agua y cerrado por completo, tiene dos aberturas, una cien veces mayor que la otra, y colocamos en ellas un pistón, cuando un hombre hunda el pistón pequeño igualará la fuerza de cien hombres que empujan el pistón que es cien veces mayor*".
Veamos ahora algunas consecuencias interesantes de hidrostática.

- Descartes, en 1644, inventa su famoso diablito, ingeniosa aplicación del principio de Arquímedes.
- Galileo establece el principio de los vasos comunicantes.
- Hooke en 1661 utiliza prácticamente la horizontalidad de nivel de un líquido, construyendo el primer nivel de alcohol.
- El sifón era conocido de los antiguos, quienes asimilaban el líquido a una cadena que se desliza del lado más largo. Su verdadera explicación se dio cuando se llegó al concepto claro de presión atmosférica.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Presión atmosférica

En la Antigüedad consideraban al aire como un cuerpo que por su naturaleza tendía a elevarse, por esta razón los líquidos ascendían en las bombas, ya que la naturaleza le tenía un horror vacui, "horror al vacío".

Por otra parte, Aristóteles suponía que el aire podía tener peso, pero como ignoraba el principio de Arquímedes, todos sus experimentos fracasaron.

Durante la revolución científica, Galileo determinó que el horror de la naturaleza al vacío se limitaba con una fuerza equivalente al peso de 10,33 m de agua (lo que viene a ser 1 atm de presión), y denominó a dicha altura *altezza limitatíssima*.

Mientras que Torricelli, recogiendo la pregunta que se había hecho a Galileo de por qué las bombas de agua no podían aspirar agua a una profundidad mayor de 10 m, pensó que un líquido más denso se "levantaría menos".

Por lo tanto, en 1643, Torricelli tomó un tubo de vidrio de un metro de longitud y lo llenó de "plata viva" (mercurio). Manteniendo el tubo cerrado con el dedo, lo invirtió e introdujo en una vasija con mercurio. Al retirar el dedo comprobó que el metal descendía hasta formar una columna cuya altura era 13,6 veces menor que la que se obtenía al realizar el experimento con agua. Como sabía que el mercurio era 13,6 veces más pesado que el agua, dedujo que ambas columnas de líquido soportaban el mismo contrapeso, sospechando que solo el aire era capaz de realizar dicha fuerza.

De esta forma, Torricelli, en 1643, realizó el descubrimiento que le haría pasar a la posteridad: el **principio del barómetro**, que demostraba la existencia de la presión atmosférica. Principio confirmado posteriormente por Pascal, que admite las explicaciones de Torricelli y lo comprueba realizando mediciones de la presión atmosférica a distinta altura. En sus célebres experimentos del Puy-de Dome (Francia), observó la disminución de la presión con la altura. Aunque el mencionado experimento ha pasado a la historia por la importancia del barómetro y de la medida de la presión atmosférica, la motivación inicial, tanto de Torricelli como de Pascal para realizar este experimento fue refutar la teoría aristotélica de que "la naturaleza tiene horror al vacío".

El francés Mariotte en 1676 usando el manómetro determina la altura de un lugar por la lectura del barómetro. Relación perfeccionada por Bernoulli y Laplace.

Por otro lado, el alemán Otto von Guericke observa que las variaciones barométricas precedían los cambios atmosféricos y así pudo prever el tiempo, base de la meteorología.

Ir más allá

- Investiga el famoso experimento de los hemisferios de Magdeburgo y el modelo matemático que relaciona la presión atmosférica con la altura.

BLAISE PASCAL

(1623 -1662) fue un matemático, físico, filósofo y escritor francés. Sus contribuciones a las matemáticas y las ciencias incluyen el diseño y construcción de calculadoras mecánicas, aportes a la teoría de la probabilidad, investigaciones sobre los fluidos y la aclaración de conceptos tales como la presión y el vacío.



EVANGELISTA TORRICELLI

(1608 -1647) fue un físico y matemático Italiano. Estudió una de las obras de Galileo Galilei, *Diálogo de la nueva ciencia*, (1630), lo que inspiró el desarrollo algunos de los principios mecánicos. En 1643 realizó el descubrimiento que le haría pasar a la posteridad: el principio del barómetro, que demostraba la existencia de la presión atmosférica, principio confirmado posteriormente por Pascal.



Sección 3 FLUIDOS EN MOVIMIENTO

En la naturaleza encuentras fluidos en movimiento como el aire, los ríos, el océano; incluso cuando riegas el jardín con una manguera de plástico el flujo de agua cambia si presionas la boca de la manguera.

Por otra parte, si observas el humo que sale de una vela extinta (**figura 2.49**), podrás ver cómo este humo comienza a subir con un flujo aproximado de líneas de corriente, y que a medida que avanza se vuelve turbulento y rotacional.

Pero ¿cómo describirías el movimiento del humo que asciende de la vela o de un río turbulento?

El área de la mecánica que estudia los fluidos en movimiento se denomina dinámica de fluidos o hidrodinámica y se ocupa de las leyes de los fluidos en movimiento, las que son enormemente complejas.



Figura 2.49

Aunque la hidrodinámica tiene una importancia práctica mayor que la hidrostática, en esta sección trataremos algunos conceptos básicos.

De este modo, para poder aplicar cualitativamente la ley de Bernoulli y formular explicaciones a situaciones importantes, usaremos modelos idealizados sencillos y principios que ya conocemos, como las leyes de Newton y la conservación de la energía. Además, necesitas estrategias para resolver problemas y organizar e interpretar datos empíricos. Y aun así, apenas tocaremos la superficie de este amplio e interesante tema.

AL LEER APRENDERÁS

- A aplicar cualitativamente la ley de Bernoulli a fenómenos físicos.

CONCEPTOS CLAVE

- Fluido ideal
- Línea de corriente y línea de flujo
- Ecuación de continuidad
- Ecuación de Bernoulli
- Hidrodinámica

Tema 1: Flujo de un fluido

El movimiento de un fluido recibe el nombre de flujo. Este puede ser en extremo complejo, como se aprecia en las corrientes de los ríos o en las llamas de una fogata, pero en algunas situaciones se puede representar con modelos idealizados relativamente simples.

Pero ¿cuáles son las condiciones para que las leyes de la hidrodinámica puedan ser expresadas de manera sencilla?

Leonard Euler fue el primero en reconocer que las leyes dinámicas para los fluidos solo pueden expresarse de forma relativamente sencilla si se supone que el fluido es incompresible e ideal, es decir, que se pueden despreciar los efectos del rozamiento y la viscosidad. De este modo, un fluido ideal es incompresible (su densidad no cambia) y no tiene fricción interna (viscosidad).

Los líquidos casi siempre son aproximadamente incompresibles, pero también podemos tratar un gas como incompresible si las diferencias de presión de una región a otra no son muy grandes.

Por otra parte, la fricción interna en un fluido causa esfuerzos de corte cuando dos capas de fluido adyacente tienen movimiento relativo, como cuando el aceite fluye (**figura 2.50**) o un fluido fluye dentro de un tubo o alrededor de un obstáculo.

En algunos casos podemos ignorar estas fuerzas de corte si las comparamos con las fuerzas debidas a la gravedad y a diferencias de presión.



▲ **Figura 2.50**

Clasificación de los flujos de un fluido

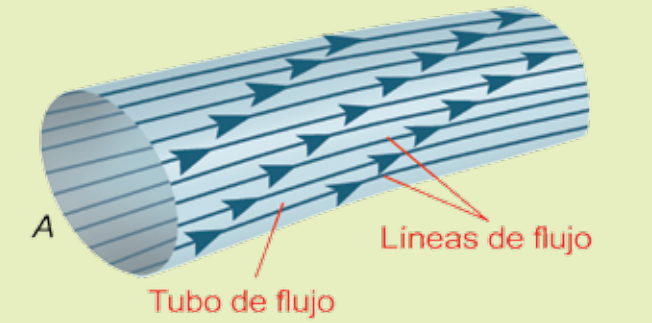
¿Cómo podemos describir el camino de una partícula en un fluido en movimiento?

El camino de una partícula individual en un fluido en movimiento se llama línea de flujo (**figura 2.51**). De este modo, si la distribución global de flujo no cambia con el tiempo, tenemos un flujo estable.

En un flujo estable, cada elemento que pasa por un punto dado sigue la misma línea de flujo; en este caso el mapa de las velocidades del fluido en distintos puntos del espacio permanece constante aunque la velocidad de la partícula específica pueda cambiar tanto en magnitud como en dirección durante su movimiento.

Otro concepto importante es el de línea de corriente, que es una curva tangente en cualquier punto y tiene la dirección de la velocidad del fluido en ese punto.

Pero ¿qué sucede si las líneas de corriente no coinciden con las de flujo? Si esto ocurre, indica que la distribución de flujo cambia con el tiempo, pero en nuestro estudio consideraremos solo situaciones de flujo estable, en las que las líneas de flujo y las corrientes son idénticas.



▲ **Figura 2.51**

Las líneas de flujo que pasan por el borde de un elemento de área imaginario forman un tubo llamado tubo de flujo (**figura 2.51**).

Por la definición de línea de flujo, en un flujo estable el fluido no puede atravesar las paredes laterales de un tubo de flujo; los fluidos de diferentes tubos de flujo no pueden mezclarse.

Pero ¿qué sucede con las líneas de flujo si en el recorrido de estas se colocan obstáculos?

La **figura 2.52** de la siguiente página muestra patrones de flujo de fluidos de izquierda a derecha alrededor de varios obstáculos y un canal de secciones variables. Las imágenes se tomaron inyectando colorante en agua que fluye entre dos placas de vidrio cercanas. Estas distribuciones son representativas del **flujo laminar**, en las que las capas adyacentes del fluido se deslizan suavemente una sobre otra y el flujo es estable.

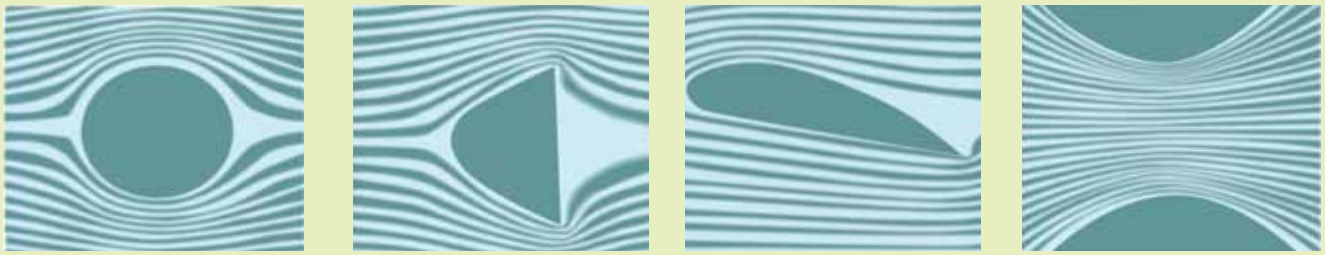


Figura 2.52

En cambio, si la tasa de flujo es lo suficientemente alta, o si las superficies de frontera causan cambios abruptos en la velocidad, el flujo puede hacerse irregular y caótico, y se llama flujo **turbulento** (**figura 2.52**). En este tipo de flujo no hay una distribución estacionaria; el patrón de flujo cambia continuamente.

En resumen, los flujos se pueden clasificar en:

- **Laminar:** Ocurre cuando las moléculas de un fluido en movimiento siguen trayectorias paralelas (**figura 2.52**).
- **Turbulento:** Ocurre cuando las moléculas de un fluido en movimiento se cruzan y producen un flujo inestable, es decir, cuando las partículas del fluido se mueven en trayectorias muy irregulares (**figura 2.53**).

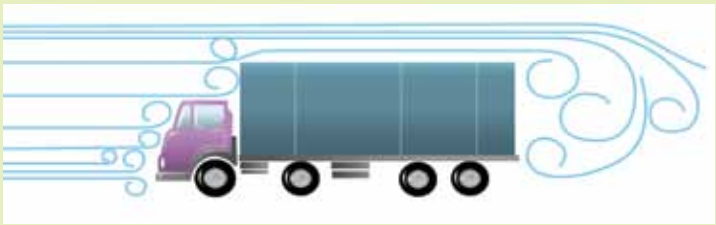


Figura 2.53
Flujo turbulento

Características de un fluido ideal



Figura 2.54

Como ya se indicó en los párrafos anteriores, en general resulta difícil analizar el movimiento de los fluidos. Por ejemplo, imagina que deseas describir el movimiento de una partícula o molécula de agua en un arroyo con una gran corriente (**figura 2.54**).

Podrías describir la corriente del arroyo, pero prácticamente sería imposible deducir una descripción matemática de cualquier partícula individual debido a los remolinos, al salto de agua sobre piedras, a la fricción con el fondo del arroyo, etc.

Sin embargo, podemos obtener una descripción simple del flujo de un fluido si hacemos caso omiso a las complicaciones antes descritas.

De este modo, para realizar un estudio y análisis de la dinámica de los fluidos es necesario considerar ciertas condiciones, de tal manera de aproximar un flujo real a un flujo ideal para que el estudio sea sencillo.

En este enfoque, en un fluido ideal se deben considerar cuatro características para su flujo:

1. **Flujo constante:** Implica que todas las partículas de un fluido tienen la misma velocidad al pasar por un punto dado. También puede describirse como un flujo liso o regular o en régimen estacionario.

2. **Flujo irrotacional:** Implica que un elemento de fluido (un volumen pequeño de fluido) no posee velocidad angular neta, lo que evita la posibilidad de remolinos (**figura 2.55**).
3. **Flujo no viscoso:** Implica que la viscosidad es insignificante, es decir, la fricción interna o resistencia a fluir es insignificante.
4. **Flujo incompresible:** Implica que la densidad del fluido es constante. Los líquidos, por lo general, se consideran incompresibles; en cambio, los gases son muy compresibles. No obstante, existen excepciones, como el aire que fluye alrededor de las alas de un avión en vuelo.

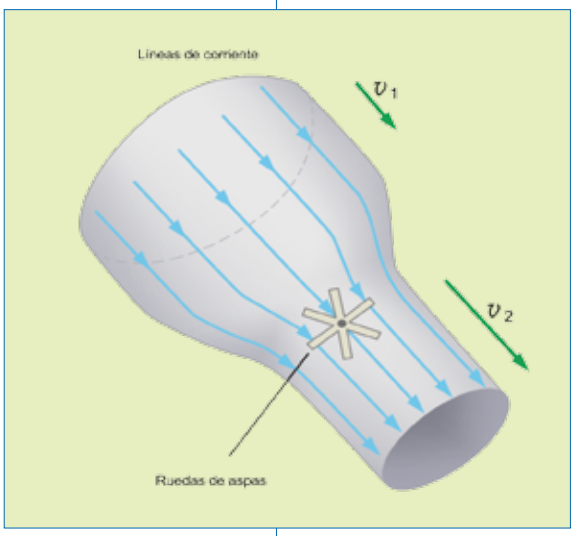


Figura 2.55 ▸
Si el torque neto sobre las aspas es cero, el fluido es irrotacional

¿CÓMO VAS? actividad

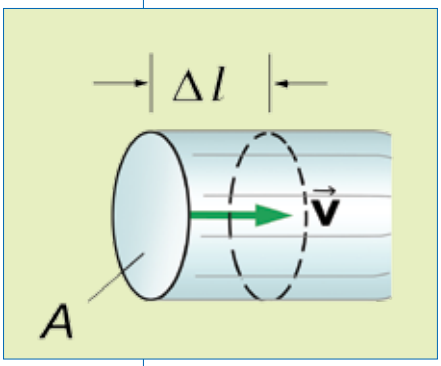
¿Por qué es necesario indicar las condiciones para un fluido ideal?

Ecuación de continuidad

En los párrafos anteriores se establecieron las condiciones para aproximar un flujo real a un flujo ideal. Aunque el flujo teórico o ideal no caracteriza a la generalidad de las situaciones reales, el análisis del flujo ideal proporciona resultados que aproximan o describen de manera general diversas aplicaciones.

Generalmente, este análisis se deduce no de las leyes de Newton, sino de dos principios básicos: la conservación de masa y la conservación de la energía.

Antes de establecer la ecuación de continuidad es necesario entender el concepto de **caudal volumétrico** (Q).



▲ **Figura 2.56**

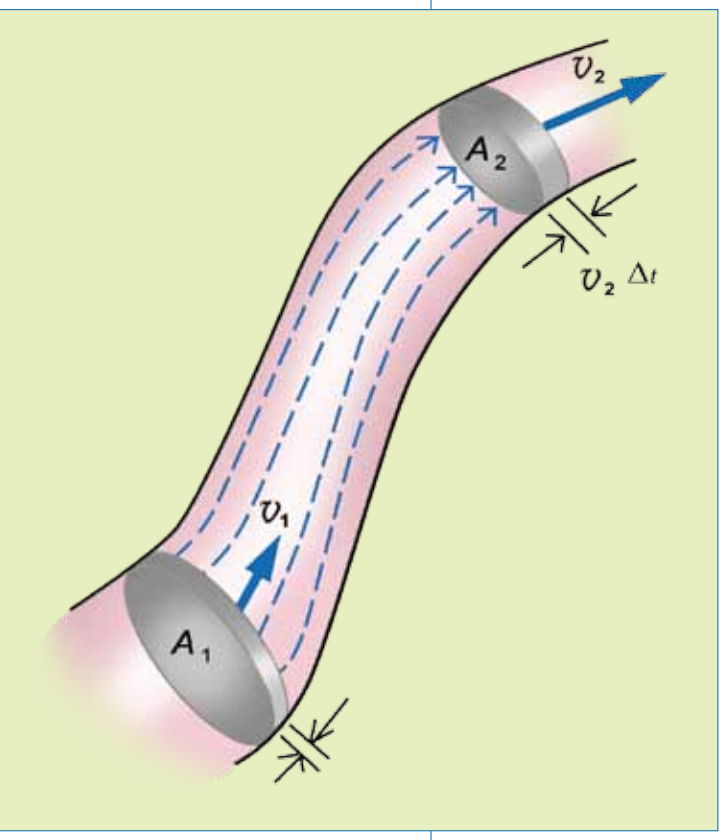
El caudal volumétrico está definido como el cociente entre el volumen V de un fluido que pasa por una sección de área A y el tiempo t que demora en pasar.

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

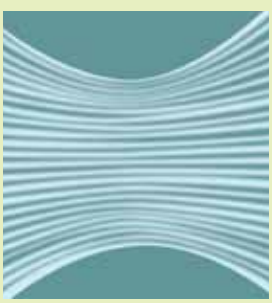
En el SI, la unidad del caudal volumétrico es $\frac{m^3}{s}$.

Ahora, si suponemos que el flujo se mueve con rapidez constante v dentro de un tubo cilíndrico de área transversal A y largo Γl, en un intervalo de tiempo Γt (**figura2.56**), entonces el caudal volumétrico dentro del tubo es:

$$Q = \frac{V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \Delta L}{\Delta t} = A \cdot \frac{\Delta L}{\Delta t}$$



▲ **Figura 2.57**



▲ **Figura 2.58**

Recuerda que $\frac{\Delta L}{\Delta t} = v$, entonces:

$$Q = A \cdot v$$

Pero ¿qué sucede si la masa del fluido en movimiento no cambia al fluir? Si la masa de un fluido en movimiento no cambia al fluir, nos permitirá encontrar una importante relación cuantitativa llamada **ecuación de continuidad.**

Consideremos una porción de un tubo de flujo entre dos secciones transversales estacionarias con áreas A_1 y A_2. La rapidez de fluido en estas secciones será entonces v_1 y v_2, respectivamente (**figura 2.57**).

Ahora, estableceremos la ecuación de continuidad para un fluido compresible.

La masa Δm_1 que fluye al interior del tubo por A_1 en el tiempo Δt es $\Delta m_1 = \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1$. De igual forma, la masa Δm_2 que sale por A_2 en el mismo tiempo es $\Delta m_2 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$.

Puesto que la masa se conserva (es decir, la masa que entra es igual a la masa que sale), $\Delta m_2 = \Delta m_1$, obtenemos:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Pero si el fluido es incompresible ($\rho_1 = \rho_2$) se obtiene, $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot V_2$, es decir, el flujo de masa total en el tubo es constante.

El producto $A \cdot v$ (o caudal volumétrico) es la razón de flujo de volumen $\frac{\Delta V}{\Delta t}$, es decir, la rapidez con que el volumen cruza una sección del tubo.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = A \cdot v$$

La ecuación anterior indica que la razón de flujo de volumen tiene el mismo valor de todos los puntos de cualquier tubo de flujo.

Si la sección de un tubo disminuye (**figura 2.58**), la rapidez aumenta (y si la sección del tubo aumenta, la rapidez disminuye).

Esto explica, por ejemplo, por qué una zona profunda de un río tiene mayor área seccional y una corriente más lenta que la parte superficial, pero las razones de flujo de volumen son las mismas.

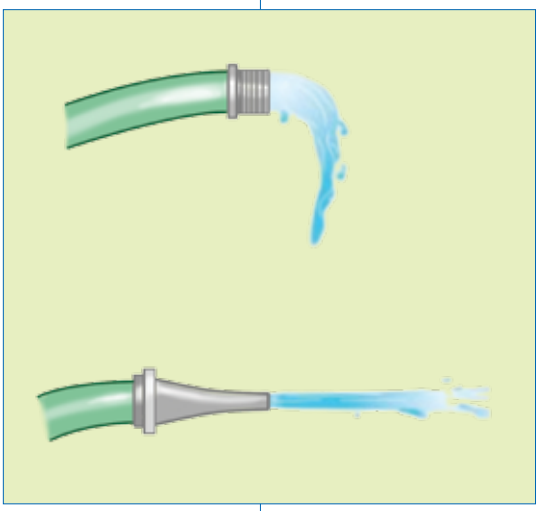
El chorro de agua de un grifo se estrecha al adquirir rapidez durante su caída, pero $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ es la misma en todo el chorro.

Ejemplo:

Si un tubo de agua de 2 cm de diámetro se conecta a un tubo de 1 cm de diámetro, la rapidez de flujo es 4 veces más grande en el segundo tubo que en el primero (**figura 2.59**).

Finalmente, definimos la razón de flujo de masa como el flujo de masa por unidad de tiempo a través de una sección transversal, y es igual a la densidad ρ por la razón de flujo de volumen $\frac{\Delta V}{\Delta t}$.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$



▲ **Figura 2.59**

Ejercicio resuelto N° 8

Aplicando la ecuación de continuidad. Flujo de sangre, colesterol y placa

1. El nivel alterado de colesterol en la sangre puede hacer que se formen depósitos grasos, llamados placas, en las paredes de los vasos sanguíneos. Supongamos que una placa reduce el radio eficaz de una arteria en 25 % ¿Cómo afectará este bloqueo parcial la rapidez con que fluye la sangre por la arteria?

Identificar la información

En este problema desconocemos la rapidez y el radio inicial de la arteria y la densidad de la sangre, pero el flujo de sangre por la arteria será constante y el radio de la arteria con la placa será de un 75% el radio inicial. Debemos considerar la arteria con área transversal de un círculo. En resumen, los datos disponibles son:

r_1 = radio inicial

v_1 = rapidez inicial

$r_2 = 0{,}75 \cdot r_1$ (una reducción del 25%)

Estrategia

Escribimos la ecuación de tasa de flujo en términos de los radios. Para ello usamos la ecuación de continuidad:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Resolución

Calculemos v_2:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

$$\pi \cdot r_1^2 \cdot V_1 = \pi \cdot r_2^2 \cdot V_2$$

Reordenando

$$V_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \cdot V_1 \Rightarrow V_2 = \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot V_1$$

$$V_2 = \left(\frac{1}{0{,}75}\right)^2 \cdot V_1 \Rightarrow V_2 = \frac{1^2}{0{,}75^2} \cdot V_1$$

$$V_2 = 1{,}8 \cdot V_1$$

Por lo tanto, la rapidez en la zona donde se encuentra la placa aumenta en 80%.

AHORA RESUELVES TÚ

¿Cómo afectará este bloqueo parcial la rapidez con que fluye la sangre por una arteria donde la placa reduce su radio en 50 %?



▲ **Figura 2.60**
Un bote de vela

REFLEXIONA

- ¿Por qué los camiones que pasan cercanamente en la carretera se atraen entre sí?

DANIEL BERNOULLI

Matemático, físico y médico, holandés-suizo (1700-1782). En 1738 publicó su obra Hidrodinámica, donde expone lo que más tarde sería conocido como el Principio de Bernoulli, que describe el comportamiento de un fluido al moverse a lo largo de un conducto cerrado. Otra de sus contribuciones a las ciencias fue en hidrodinámica, elasticidad, estadística y probabilidades.



Ecuación de Bernoulli

¿Alguna vez te has preguntado por qué una persona en un ala delta puede planear o por qué puede un avión volar o cómo un bote de vela (**figura 2.60**) puede moverse contra el viento? Estos son ejemplos de un principio descubierto por Daniel Bernoulli (1700 -1782) que se relaciona con los fluidos en movimiento.

Según la ecuación de continuidad estudiada en los párrafos anteriores, la rapidez de flujo de un fluido puede variar a lo largo de las trayectorias del fluido.

Por otra parte, la presión también puede variar, ya que depende de la altura, al igual que en la situación estática, en la que dependía de la profundidad (Sección 2), y también de la rapidez de flujo. Pero ¿qué relación se puede establecer entre la rapidez de flujo, la presión y la altura para el flujo de un fluido ideal?

La ecuación de Bernoulli relaciona la presión, la rapidez de flujo y la altura para el flujo de un fluido ideal. Esta ecuación es una herramienta indispensable para analizar, por ejemplo, instalaciones de gasfitería, estaciones generadoras hidroeléctricas, el vuelo de aviones, entre otros.

Pero ¿cómo podrías establecer la relación entre la presión y la rapidez del flujo de un fluido incompresible?

La dependencia de la presión respecto de la rapidez proviene de la ecuación de continuidad.

Piensa en el siguiente argumento: Si un fluido incompresible fluye por un tubo de flujo, ubicado horizontalmente, con sección transversal variable, su rapidez debe cambiar, así que un elemento de fluido debe tener una aceleración. Como el tubo es horizontal, la fuerza que causa esta aceleración debe ser aplicada por el fluido circundante.

Esto implica que la presión debe ser distinta en regiones con diferente sección. Si fuera la misma en todos lados, la fuerza neta sobre cada elemento de fluido sería 0. Si un tubo de flujo horizontal se estrecha y un elemento de fluido se acelera, se debe estar en movimiento hacia una región de menor presión para tener una fuerza neta hacia adelante que lo acelere. Si la altura también cambia, esto causa una diferencia de presión adicional.

Para deducir la ecuación de Bernoulli aplicamos el teorema del trabajo y la energía al fluido en una sección de un tubo de flujo.

¿cómo vas? actividad

¿Qué variables físicas relaciona la ecuación de Bernoulli?

En la **figura 2.61** consideramos el elemento de fluido que en algún tiempo inicial está entre las dos secciones transversales a y c.

Las rapideces de los extremos inferiores y superior son v_1 y v_2. En un tiempo corto Δt, el fluido que está en a se mueve a b una distancia $\Delta s_1 = v_1 \cdot \Delta t$ y el fluido que está en c se mueve a d una distancia $\Delta s_2 = v_2 \cdot \Delta t$.

Las áreas de las secciones son A_1 y A_2, tal como lo ilustra la **figura 2.61**.

El fluido es incompresible, así que por la ecuación de continuidad, el volumen de fluido ΔV que pasa por cualquier sección transversal durante Δt es la misma.

Es decir, $\Delta V = A_1 \cdot \Delta s_1 = A_2 \cdot \Delta s_2$

Calculemos el trabajo efectuado sobre este elemento durante el intervalo Δt.

Las presiones en los extremos son p_1 y p_2, la fuerza sobre la sección en a es $p_1 \cdot A_1$ y la fuerza en c es $p_2 \cdot A_2$

De este modo, el trabajo neto ΔW efectuado sobre el elemento por el fluido circundante durante este desplazamiento es:

$$\Delta W = p_1 \cdot A_1 \cdot \Delta s_1 - p_2 \cdot A_2 \cdot \Delta s_2 = (p_1 - p_2) \cdot \Delta V$$

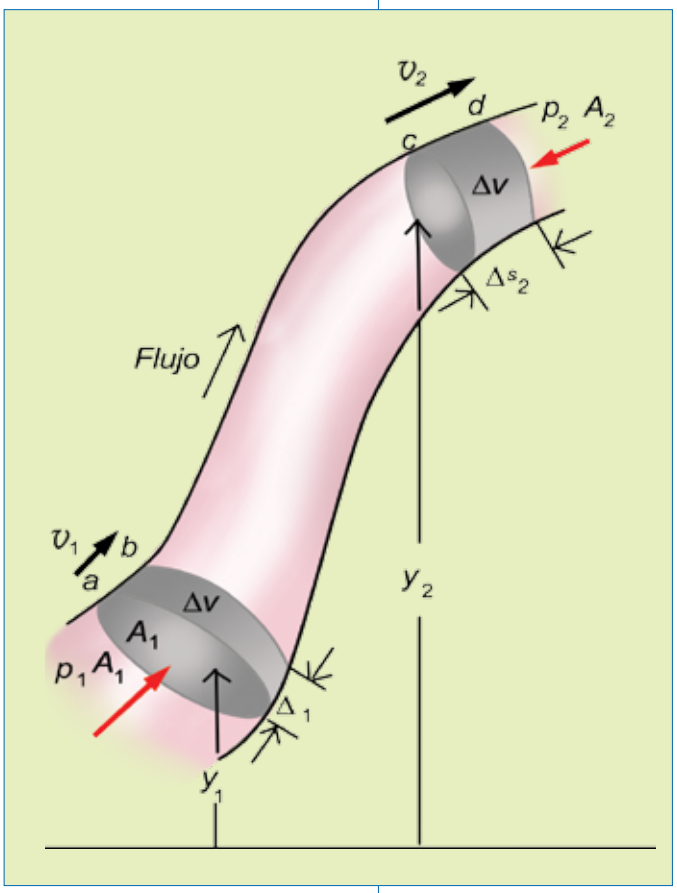


Figura 2.61
Un fluido circulando por una tuberia de distintos diámetros y con desnivel

El segundo término tiene signo negativo porque la fuerza en c se opone al desplazamiento del fluido.

El trabajo ΔW se debe a fuerzas distintas de la fuerza de gravedad, que es una fuerza conservativa, y es igual al cambio en la energía mecánica total (energía cinética más energía potencial) asociada con el elemento de fluido. La energía mecánica para el fluido entre secciones b y c no cambia.

Al principio de la variación de tiempo (Δt), el fluido entre a y b tiene volumen $A_1 \cdot \Delta s_1$, una masa $\rho \cdot A_1 \cdot \Delta s_1$ y una energía cinética $\frac{1}{2}(\rho \cdot A_1 \cdot \Delta s_1) \cdot v_1^2$.

Al final de Δt, el fluido entre c y d tiene energía cinética $\frac{1}{2}(\rho \cdot A_2 \cdot \Delta s_2) \cdot v_2^2$.

El cambio neto de energía cinética ΔK durante Δt es: $\Delta K = \frac{1}{2}\rho \cdot \Delta V \cdot (v_2^2 - v_1^2)$.

Ahora queremos calcular la variación de la energía potencial gravitatoria en el fluido. Al iniciarse el intervalo de tiempo Δt, la energía potencial para la masa que está entre a y b es:

$$\Delta m \cdot g \cdot y_1 = \rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot y_1$$

y al final de Δt, la energía potencial ΔU durante Δt será:

$$\Delta U = \rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$$

INVESTIGA Y RESPONDE

- Dobla los extremos de una hoja de papel para formar un pequeño puente. Colócalo sobre la mesa y sopla por debajo de él, ¿sale volando? ¿Por qué? Explica lo que sucede usando el principio de Bernoulli.

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)

– http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/ecuacion-bernoulli/ecuacion-bernoulli.pdf

Ahora calculamos la energía total $\Delta W = \Delta K + \Delta U$ y obtenemos:

$$(p_1 - p_2) \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \rho \cdot \Delta V (v_2^2 - v_1^2) + \rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho \cdot (v_2^2 - v_1^2) + \rho \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$$

Esta es la ecuación de Bernoulli, que dice que el trabajo efectuado por el fluido circundante sobre un volumen unitario de fluido es igual a la suma de los cambios de energías cinética y potencial por unidad de volumen que ocurren durante el flujo.

Otra forma de interpretar la ecuación de Bernoulli es en términos de presiones. El primer término de la derecha es la diferencia de presión asociada con el cambio de rapidez del fluido; el segundo es la diferencia de presión adicional causada por el peso del fluido y la diferencia de altitud de los dos extremos.

También podemos expresar la ecuación de Bernoulli en una forma más útil:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot y_2$$

Los subíndices 1 y 2 se refieren a 2 puntos cualesquiera del tubo de flujo, así que

$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot y = \text{constante}$$

Debemos indicar que la ecuación de Bernoulli solo es válida para un flujo estable de un fluido incompresible, sin viscosidad. Aunque es una ecuación sencilla, no por ello vas a aplicarla en situaciones en que no es válida.



Habrás notado que el calefón sabe cuándo está la llave abierta y cuándo está cerrada. Un buen calefón, además, sabe cuándo está muy abierta y cuándo está poco abierta. En función de esto regula la llama del quemador que calienta el agua dentro del serpentín. Esta tarea la realiza utilizando la propiedad bernoulliana del cambio de presión con la velocidad: la sensibilidad al cambio de presión la tiene en una parte que se llama diafragma, que es la pieza que con más frecuencia hay que renovar en un calefón.

¿CÓMO VAS? actividad

¿A qué ecuación se reduce la ecuación de Bernoulli si el fluido no se mueve ($v_1 = v_2 = 0$)?

Ejercicio resuelto N° 9

Aplicando la ecuación de Bernoulli. Presión de agua en el hogar

Ejemplo

Entra agua a una casa por un tubo de diámetro interior de 2 cm a una presión absoluta de $4 \cdot 10^5$ Pa. Un tubo de 1 cm de diámetro va al cuarto de baño del segundo piso, 5 m más arriba (**figura 2.62**). Si la rapidez en el flujo de entrada es de 1,5 m/s, calcula la rapidez de flujo, presión y razón de flujo de volumen en el cuarto de baño.

Identificar la información

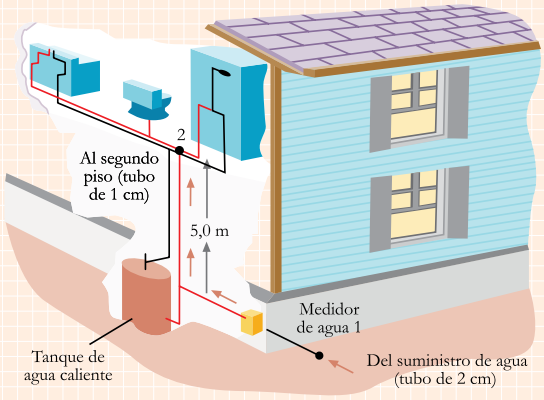
En este problema debemos ubicar dos puntos, en el tubo de entrada (1) y en el cuarto de baño (2), respectivamente (**figura 2.62**). Se debe considerar que las cañerías son de área cilíndrica y calcular la rapidez v_2 en el cuarto de baño y las alturas 0 m en la entrada y 5 m en el cuarto de baño. En resumen, los datos disponibles son:

$r_1 = 1$ cm $= 0{,}1$ m $\quad r_2 = 0{,}5$ cm $= 0{,}05$ m

$v_1 = 1{,}5$ m/s $\quad y_1 = 0$ m

$y_2 = 5$ m $\quad p_1 = 4 \cdot 10^5$ Pa

$\rho_{agua} = 1\,000$ Kg/m^3



▲ **Figura 2.62**

Estrategia

Escribimos la ecuación de tasa de flujo en términos de los radios.

Para ello usamos la ecuación de continuidad $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

Aplicamos la ecuación de Bernoulli $p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho \cdot (v_2^2 - v_1^2) + \rho \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$

Resolución

1. Calculemos v_2 $\quad A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

$\pi \cdot r_1^2 \cdot v_1 = \pi \cdot r_2^2 \cdot v_2$

2. Reordenando

$$V_2 = \left(\frac{1}{0{,}5}\right)^2 \cdot 1{,}5\,\frac{m}{s} \Rightarrow V_2 = \frac{1^2}{0{,}5^2} \cdot 1{,}5\,\frac{m}{s} \Rightarrow V_2 = 6\,\frac{m}{s}$$

3. Usando la ecuación de Bernoulli para calcular p_2 y reordenando

$p_2 = p_1 - \frac{1}{2}\rho \cdot (v_2^2 - v_1^2) - \rho \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$

$p_2 = 4 \cdot 10^5\ \text{Pa} - \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 10^3\ \frac{kg}{m^3}\ (\ 36\ \frac{m^2}{s^2} - 2{,}25\ \frac{m^2}{s^2}\ ) - 1 \cdot 10^3\ \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}8\ \frac{m^2}{s^2} \cdot (5\ m - 0\ m)$

$p_2 = 4 \cdot 10^5\ \text{Pa} - 0{,}17 \cdot 10^5\ \text{Pa} - 0{,}49 \cdot 10^5\ \text{Pa}$

$p_2 = 3{,}3 \cdot 10^5\ \text{Pa}$

4. La razón de flujo o caudal es: $\frac{\Delta V}{\Delta t} = \pi \cdot (0{,}05\ m)^2 \cdot 6\,\frac{m}{s} = 4{,}7 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^3}{s} = 0{,}47\ \frac{L}{s}$

Por lo tanto, la rapidez en la zona donde se encuentra la placa se cuadruplica.

AHORA RESUELVES TÚ

¿Cuál es el valor de la presión si se cierra la cañería?

Aplicaciones de la ecuación de Bernoulli

1. El efecto Venturi

La **figura 2.63** ilustra un medidor Venturi, que mide la rapidez de flujo en un tubo.

La parte estrecha del tubo se llama garganta.

Deduzcamos una expresión para la rapidez de flujo v_1 en términos de las áreas transversales A_1 y A_2 y la diferencia de altura h de líquido en los dos tubos verticales.

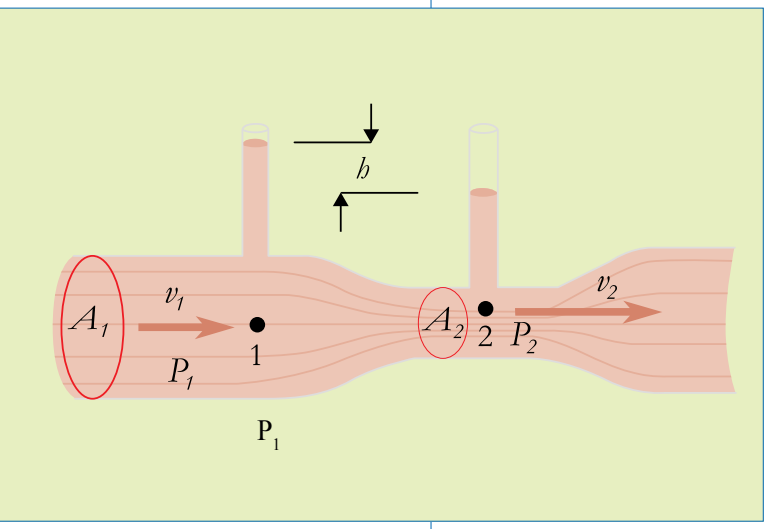


Figura 2.63

Para ello, aplicamos la ecuación de Bernoulli a las partes ancha (punto 1) y estrecha (punto 2) del tubo. Consideremos que los puntos se encuentran a igual altura y que $y_1 = y_2$. De este modo tenemos:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$$

Por la ecuación de continuidad,

$$v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \cdot v_1$$

sustituyendo y reorganizando, obtenemos:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 \cdot \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1\right)$$

Como $A_1 > A_2$, $v_1 > v_2$ y la presión p_2 en la garganta es menor que p_1, una fuerza neta hacia la derecha acelera el fluido al entrar en la garganta y una fuerza neta hacia la izquierda lo frena al salir. La diferencia de presión $p_1 - p_2$ también es igual a $\rho \cdot g \cdot h$, donde h es la diferencia de nivel del líquido en los tubos.

Combinando esto con el resultado anterior y despejando v_1 obtenemos:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

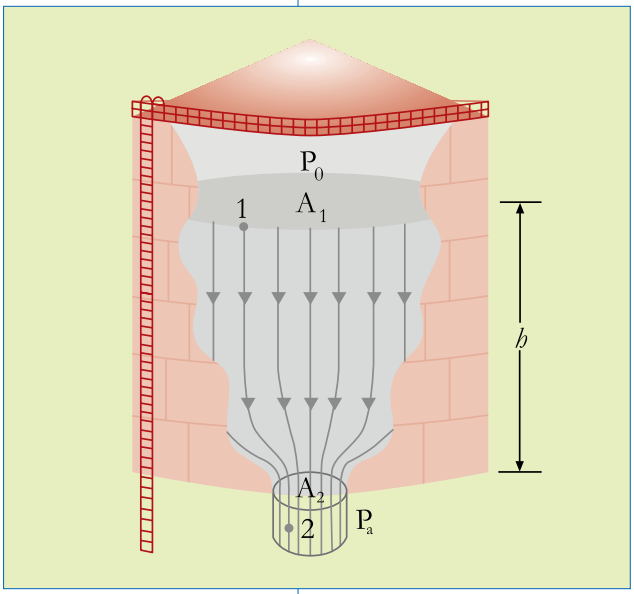


Figura 2.64

2. Ecuación de Torricelli

La **figura 2.64** ilustra un estanque de almacenamiento de gasolina con área transversal A_1, lleno hasta una altura h. El espacio por encima de la gasolina contiene aire a P_0 y la gasolina sale por un tubo corto de área A_2.

Deduzcamos las expresiones para la rapidez de flujo en el tubo y el caudal.

Para ello, consideremos todo el volumen del líquido en movimiento como un único tubo de flujo; v_1 y v_2 son las velocidades en los puntos 1 y 2 de la **figura 2.64**.

Por otra parte, la presión en 2 es la atmosférica, P_a.

Aplicando la ecuación de Bernoulli a los puntos 1 y 2 y considerando y = 0 en la base del estanque, tenemos:

$$p_0 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h = p_a + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2\frac{(p_0 - p_a)}{\rho} + 2 \cdot g \cdot h$$

Como A_2 es mucho menor que A_1, v_1^2 es insignificante en comparación con v_1^2. Así tenemos:

$$v_2^2 = 2\left(\frac{p_0 - p_a}{\rho}\right) + 2 \cdot g \cdot h \Rightarrow v_2^2 = 2 \cdot \frac{(p_0 - p_a)}{\rho} + 2 \cdot g \cdot h$$

De este modo, la rapidez de salida v_2 depende tanto de la diferencia de presión $(p_0 - p_a)$ como de la altura h del líquido en el tanque. Si el tanque está abierto por arriba a la atmósfera, no habrá exceso de presión: $p_0 = p_a$ y $p_0 - p_a = 0$.

En ese caso: $v_2 = \sqrt{2gh}$

Esto es la rapidez de salida por una abertura a una distancia h bajo la superficie del líquido, que es la misma que adquiriría un cuerpo cayendo libremente desde una altura h. Este resultado es el teorema de Torricelli y es válido no solo para una abertura en la base de un recipiente, sino también para un agujero en una pared lateral a una profundidad h por debajo de la superficie.

Mientras que la razón de flujo de volumen es: $\frac{\Delta V}{\Delta t} = A_2\sqrt{2gh}$

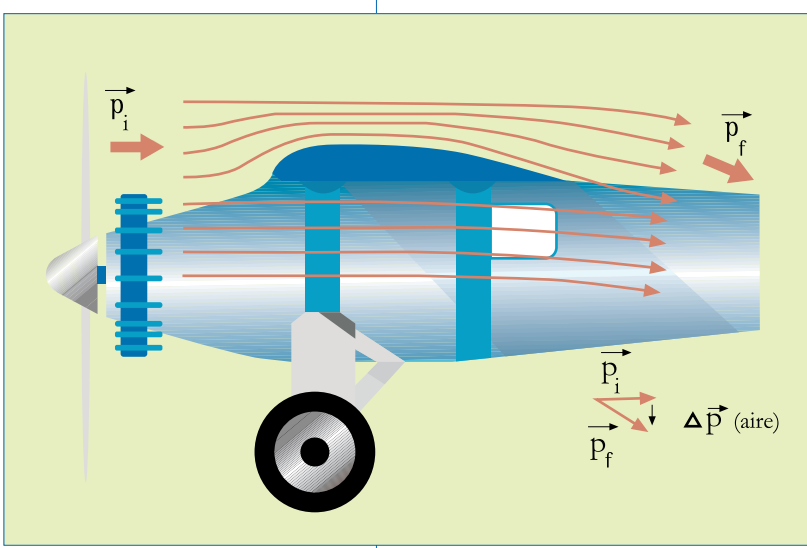
INVESTIGA Y RESPONDE

- Haz esta prueba en tu tina o lavamanos. Amarra un par de barcos de juguete para que queden uno al lado del otro en forma paralela, sin que el hilo quede tenso. A continuación lanza un chorro de agua entre ellos. ¿Qué sucede? ¿chocan los barcos?

3. Empuje sobre el ala del avión

La **figura 2.65** muestra las líneas de flujo alrededor de un corte del ala de un avión. Las líneas se juntan por encima del ala, por lo que en esa región la rapidez es mayor y la presión menor, igual que en la garganta del medidor Venturi.

La fuerza hacia arriba sobre el lado inferior del ala es mayor que la fuerza hacia abajo sobre el lado superior; hay una fuerza neta hacia arriba, o sustentación. La sustentación no se debe solo al impulso del aire que incide bajo del ala; de hecho, la menor presión sobre la superficie de arriba del ala es lo que más contribuye a ella (Esta explicación simplificada ignora la formación de vórtices; un análisis más completo los tendría en cuenta).



▲ **Figura 2.65**

Otra forma de entender la sustentación es en términos de cambios de cantidad de movimiento. La **figura 2.65** muestra que hay un cambio neto hacia abajo en la componente vertical de la cantidad de movimiento del aire que fluye por el ala, correspondiente a la fuerza hacia abajo que el ala ejerce sobre el aire. La fuerza de reacción sobre el ala es hacia arriba, como habíamos visto.

4. La aplicación en los automóviles: el alerón

Como se indicó en los párrafos anteriores, el ala de un avión cumple la función de elevarlo, en cambio un alerón funciona exactamente al revés, no eleva al auto sino que lo "aplasta". Por eso está colocado con un ángulo de incidencia tal que puede crear una antisustentación, es decir, un empuje hacia abajo sobre las ruedas motrices.



▲ **Figura 2.66**

Pero ¿cómo ocurre esto?

La fuerza aerodinámica, tal como se explicó en los párrafos anteriores, está producida por las diferencias de presiones entre la cara superior y la cara inferior de un perfil alar, a consecuencia de la diferente longitud que debe recorrer el flujo de aire.

Esta diferencia de presión aumenta con la velocidad, y por ende con ella los efectos de la sustentación se multiplican.

La fuerza se descompone en dos: una es vertical, que es de sustentación en el caso del avión o de aplastamiento en el caso del automóvil, y la otra es en dirección al avance del vehículo, contraria al efecto.

La aplicación que tiene el alerón es ejercer una presión hacia abajo a cualquiera de los dos trenes, tanto tractor como directriz. Normalmente, se denomina alerón al que trabaja en el tren posterior, que en caso de ser tractor aumenta la adherencia al "apretar" la rueda contra el suelo. Al adminículo que trabaja sobre el tren delantero se le llama *spoiler* y sigue la misma finalidad del alerón que se usa en el tren trasero.

En los autos de competición (**figura 2.66**) sería suficiente el peso del motor, pero, a su vez, el alerón cumple la función de canalizar el flujo de aire que debe usarse para la refrigeración en el enfriamiento de los frenos y la corriente que debe pasar por debajo del auto.

A esta corriente de aire delantera se le da un tratamiento posterior para poder obtener una ventaja adicional: conseguir lo que se conoce como efecto suelo.

Este efecto, explicado mediante la ecuación de Bernoulli, se logra con un diseño de la parte inferior simulando un ala invertida que genera una zona de baja presión debajo el automóvil que lo succiona hacia la pista.

Evaluación de sección 3

1. ¿Qué es un fluido ideal?
2. ¿Cuál es el flujo que se ilustra en la siguiente figura?
3. Dobla los extremos de un papel para formar un pequeño arco. Ponlo sobre una mesa y sopla entre el arco en forma paralela a la mesa. ¿Qué pasa con el arco?
4. ¿Por qué al presionar la boca de una manguera plástica el agua tiene mayor velocidad?
5. ¿Cuál es la diferencia entre el alerón y el ala de un avión?



INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

1. ¿Por qué vuelan los aviones? ¿Por qué los autos de carrera usan alerones traseros? ¿Por qué existen líneas de seguridad amarillas o rojas en el metro de Santiago? Increíblemente, las respuestas a estas y otras preguntas se pueden dar a través de la ley de Bernoulli. El principio básico es que si un fluido se mueve con mayor rapidez, la presión que este ejerce sobre el cuerpo es menor.

Por ejemplo, en un avión, la geometría de las alas produce que cuando cortan el aire a una cierta velocidad, el aire que pasa por la parte superior tenga una rapidez mucho mayor que la del aire que pasa por la parte inferior, luego la presión en la cara superior es mucho menor que en la cara inferior. Esta diferencia de presión genera una fuerza llamada fuerza de sustentación que contrarresta el peso del avión y lo mantiene en el aire.



Fuente: http://www.asifunciona.com/aviacion/af_avion/af_avion5.htm

2. En un auto de carrera, lo que se requiere es que esté lo más pegado al piso posible. Para lograr esto, se le instalan alerones que funcionan como el ala de un avión pero inversa, es decir, la presión en la cara inferior es mucho menor que en la superior, lo que genera una fuerza descendente para que tome lo mejor posible las curvas.



Fuente: http://motoburg.com/28655--ferrari-f1-.html

3. En el caso del metro, las líneas de seguridad evitan que una persona esté muy cerca del tren cuando este pasa a una cierta velocidad, ya que las diferencias de presión podrían crear una fuerza que empujaría a una persona hacia el tren y ocasionaría un accidente.



4. (Curiosidad) Cuando los cuerpos caen en la atmósfera terrestre, su velocidad no crece indefinidamente. Como está atravesando un fluido al caer (aire), a mayor velocidad de caída, mayor es la fuerza que ejerce el aire sobre el objeto para frenarlo, hasta que llega a un punto en que ya no acelera. Este punto se llama velocidad límite de caída. Mientras más denso sea el fluido que atraviesa, mayor será la resistencia que opone y menor será la velocidad límite de un objeto cayendo en él.

Cierre Capítulo REPASO IDEAS PRINCIPALES

Sección 1: Propiedades de los fluidos

- En la deformación de los sólidos elásticos, esfuerzo es una medida de la fuerza que causa la deformación.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{F}{A}$$

- Densidad: Corresponde a la cantidad de masa de un cuerpo contenida en una unidad de volumen, cuyo símbolo es la letra griega ρ (rho).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- La densidad relativa es una magnitud adimensional, que relaciona la densidad de una sustancia con la densidad de una sustancia patrón, por lo general, agua.

$$\rho_{relativa} = \frac{\rho_{sustancia}}{\rho_{agua}}$$

- Peso específico es la relación entre el peso de un cuerpo y el volumen que ocupa. Su unidad es N/m^3

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V}$$

Sección 2: Fluidos en reposo

- La presión en un fluido está dado por $p = \frac{F}{A}$
- La presión en un fluido en reposo varía con la profundidad y está dada por $p_2 - p_1 = \rho \cdot g\ (y_1 - y_2)$
- Empuje es una fuerza ascendente que produce un fluido y está dada por $F_{emp} = \rho \cdot g \cdot V$
- **Principio de Arquímedes:** "Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido recibe de este un empuje vertical ascendente igual al peso del fluido desalojado".
- **Principio de Pascal:** si se aplica una presión externa a un fluido confinado, la presión en todo punto del fluido aumenta por dicha cantidad.

Sección 3: Fluidos en movimiento

- Para un fluido ideal, el flujo es constante, irrotacional, no viscoso e incompresible.
- La conservación de masa en un fluido incompresible se expresa con la ecuación de continuidad para dos secciones transversales A_1 y A_2 de un tubo de flujo; las rapideces de flujo v_1 y v_2 están relacionadas por

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

- El producto Av es la razón de flujo de volumen, o caudal.
- La ecuación de Bernoulli relaciona la presión p, la rapidez de flujo v y la altura y para el flujo estable en un fluido ideal.

$$p + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot y = \text{constante}$$

Aplicaciones

Sección 1 - 2

1. Una esfera sólida de cierto material tiene un radio de 2 cm y una masa de 81g, ¿ flotará en el agua?
2. Un tubo de vidrio se dobla y adquiere una forma de U. En su interior se vierte agua hasta que alcanza una altura de 10 cm en cada lado. Se agrega benceno lentamente en un lado hasta que el agua llega a los 4 cm, mientras que la longitud de la columna de benceno es de 13,66 cm. ¿Cuál es la densidad del benceno?

Sección 3

3. En una vena de diámetro 0,6 cm, el flujo de sangre tiene una velocidad de 20 cm/s. Si la vena reduce su diámetro hasta 0,4 cm, ¿cuál es la velocidad de la sangre en esa zona de la vena?

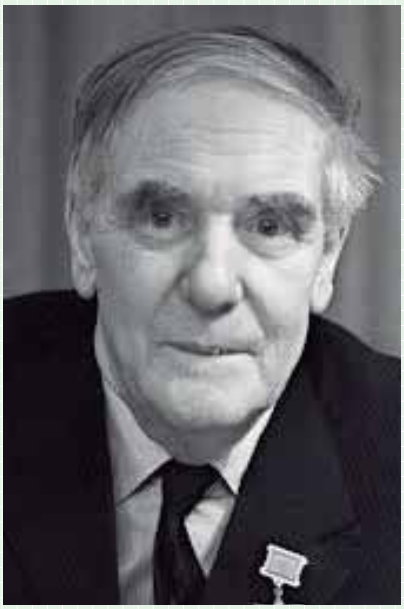
Bibliografía recomendada

- Wilson, Jerry D.; Buffa, Anthony J.
  Física, 5ta ed, Pearson Educación, México, 2003.
- Resnick, Robert.
  Fundamentos De Física Volumen 2, Grupo Editorial Patria, México, 2009.

Sitios web (consulta junio 2014)

- http://oceanologia.ens.uabc.mx/~fisica/FISICA_II/LAB/Propiedades_Fluidos.pdf
- http://www.buenastareas.com/ensayos/Fluidos-En-Reposo/1160923.html
- http://fisicadelmovimiento.wordpress.com/fluidos/

SUPERFLUIDEZ



P.L. Kapitza

Los fenómenos que exhibe la materia a temperaturas bajas, es decir, a temperaturas cercanas al cero absoluto (-273,2 °C), son numerosos y diversos. A estas temperaturas, las propiedades térmicas, eléctricas y magnéticas de muchas sustancias experimentan grandes cambios y, ciertamente, el comportamiento de la materia puede parecer extraño y exótico en comparación con el que muestra a temperaturas ordinarias. Sin duda, entre estos fenómenos extraordinarios e importantes se encuentra la superfluidez.

El helio tiene propiedades a la vez extrañas y fascinantes. Por ejemplo, su comportamiento frente a los cambios de temperatura es completamente diferente al de los demás elementos.

En efecto, observamos repetidamente que si la temperatura de un gas se reduce de manera tal que su presión se mantenga siempre igual a la presión atmosférica durante este proceso de enfriamiento, entonces el gas se convierte en líquido. Más aún, si el líquido continúa enfriándose, se convierte finalmente en sólido. Esta secuencia de transformaciones o cambios de fase ha sido bien establecida experimentalmente y ha hecho posible la licuefacción de muchos gases y la solidificación de los correspondientes líquidos.

Ahora bien, el helio no sigue la secuencia de cambios que acabamos de describir, ya que es una excepción a la regla. Se observa, en cambio, que si la presión se mantiene igual a la presión atmosférica ambiente, el gas helio se licúa a 4,2 K, pero no se convierte en sólido sin importar cuánto se disminuya su temperatura. En otras palabras, si bajo estas condiciones fuera posible alcanzar el cero absoluto, observaríamos que el helio nunca se congela, que siempre permanece en su fase líquida. Esta es su propiedad más importante, pues, como veremos, da lugar a la superfluidez y a otros efectos espectaculares asociados a él.

Habilidades

- Describir la conexión lógica entre hipótesis, conceptos, procedimientos, datos recogidos, resultados y conclusiones extraídas en investigaciones científicas clásicas o contemporáneas, comprendiendo la complejidad y coherencia del pensamiento científico

La licuefacción del helio fue lograda por el gran físico holandés Heike Kamerlingh Onnes, el 10 de julio de 1908 en el Laboratorio de Bajas Temperaturas de la Universidad de Leyden, Holanda.

En el mismo Laboratorio de Bajas Temperaturas de Leyden, en 1932, los físicos holandeses W.H. Keesom y su hermana A.F. Keesom descubrieron que si después de licuar al helio se le enfría hasta 2,19 K, pero manteniendo su presión igual a la atmosférica, el isótopo helio-4 sufre una transición de fase, pero no a una fase sólida, sino a una nueva fase líquida. A este nuevo estado se le llama helio-II, para distinguirlo del helio ordinario, helio-I, que existe a temperaturas superiores a 2,19 K.

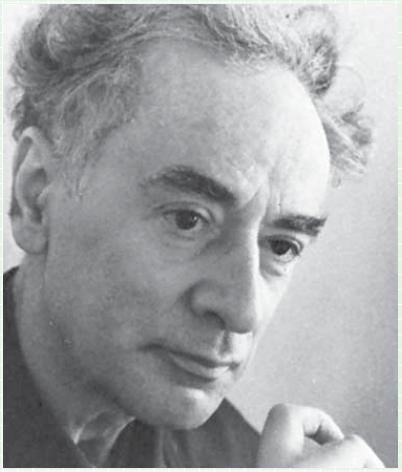
Los hermanos Keesom y sus colaboradores también descubrieron en 1935 que el helio-II era un extraordinario conductor de calor: observaron que si un tubo capilar se llenaba con helio-II, el calor se transportaba de un

lado a otro del capilar 200 veces más rápido que en un alambre de cobre a la temperatura ambiente. Fue precisamente tratar de explicar esta sorprendente capacidad del helio para conducir calor lo que llevó al gran físico ruso P.L. Kapitza a descubrir la superfluidez en 1937, en el Instituto de Problemas Físicos de Moscú. Kapitza sospechaba que la extraordinaria conductividad térmica del helio-II no era la conductividad térmica ordinaria que se usa, por ejemplo, para describir la conducción de calor por un metal. Más bien, Kapitza creía que la gran conductividad del helio se debía a que el helio mismo se movía en el capilar, es decir, a que existía un flujo. Pero si esta conjetura era correcta, implicaba que el helio-II debía fluir con una extraordinaria facilidad y, por lo tanto, según hemos visto en capítulos anteriores, su viscosidad o resistencia interna al flujo sería forzosamente muy baja o nula. Es decir, que el helio-II debía ser un "superfluido".

Otra consecuencia de la superfluidez del helio es el efecto de reptación, que consiste en que una película muy delgada de helio puede escalar las paredes del recipiente que lo contiene en aparente desafío a las leyes de gravedad. Si tomamos un tubo de ensayo vacío pero enfriado a una temperatura inferior a 2,19 K, y lo sumergimos parcialmente en un recipiente que contiene helio-II, observaremos que el helio trepa por las paredes exteriores del tubo y penetra en él hasta que el nivel de helio-II dentro es igual al nivel del recipiente.

¿Cómo es posible explicar estas paradojas?

Para contestar estas preguntas es preciso recordar que la materia a escala macroscópica, es decir, en cualquiera de las fases, posee tanto las propiedades ordinarias que nos son familiares, como propiedades cuánticas fundamentales.



Lev Davidovich Landau

En consecuencia, a temperaturas muy bajas, las propiedades cuánticas fundamentales de una sustancia podrían ser observables y de hecho es precisamente lo que ocurre con el helio-II. Su temperatura es tan baja que los movimientos térmicos de sus moléculas ya no enmascaran a los efectos cuánticos y estos se manifiestan plenamente a una escala macroscópica. Así que el helio-II se transforma en un líquido cuántico antes de solidificarse y, de acuerdo con las leyes cuánticas, puede permanecer líquido aun en el cero absoluto.

Tomando en cuenta estas características inherentemente cuánticas del helio-II, en 1940 el gran físico ruso Lev Davidovich Landau propuso una teoría para explicar la superfluidez. La idea básica de esta teoría constituye un verdadero desafío a nuestro sentido común, pues propone que el helio-II ¡realiza dos movimientos diferentes simultáneamente! En otras palabras, que para poder describir completamente el flujo del helio-II es necesario especificar dos velocidades en cada punto y al mismo tiempo. Por supuesto que esto es muy distinto a lo que ocurre con un líquido menos exótico para el que es suficiente conocer una velocidad en cada punto para caracterizar su flujo.

Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/104/htm/sec_9.htm

Actividad experimental

EL VASO DE ARQUÍMEDES

La historia cuenta que allá por el año 287 - 212 a.C. un gran científico de la Antigüedad inventó una copa para poder servir el vino en las fiestas, la que tiene un nivel máximo para contener el líquido; si el líquido sobrepasa ese nivel, se rebasa y escapa completamente.

Habilidades

- Organizar e interpretar datos, y formular explicaciones, apoyándose en las teorías y conceptos científicos en estudio

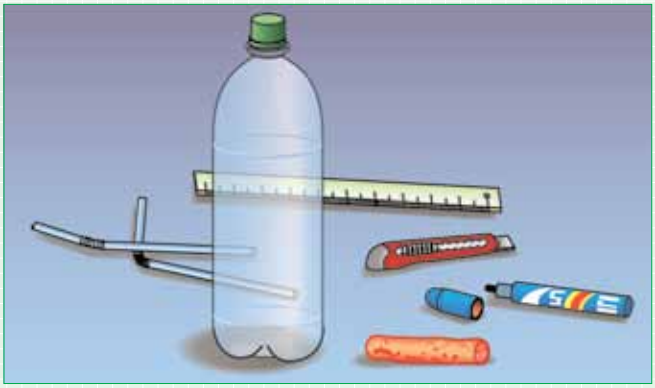
La copa fue ideada por Arquímedes para que en las fiestas, los invitados no consumieran más vino, sino solo en su determinada medida.

Objetivo

Identificar los efectos de la presión atmosférica al interior de un fluido.

Materiales

- botella plástica de 3L, con tapa rosca
- marcador permanente
- 2 bombillas
- plastilina
- clavo
- balde
- cuchillo cartonero



Procedimiento



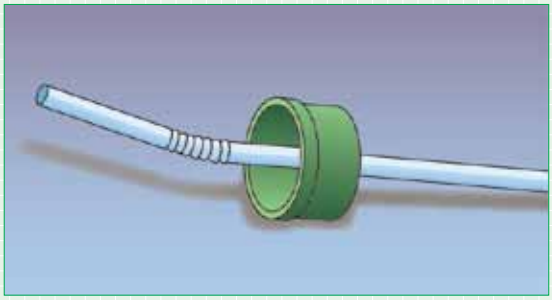
1. Con el marcador traza una línea a 25 cm de la base.



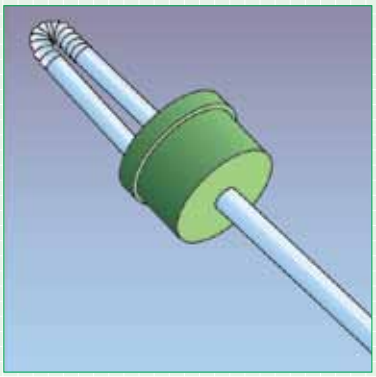
2. Con el cuchillo cartonero, corta la botella en la línea marcada.



3. Con el clavo abre un agujero en la tapa rosca de la botella.



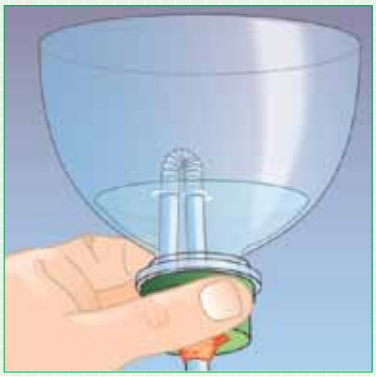
4. Une las bombillas. Atraviesa con la bombilla el orificio en la tapa rosca.



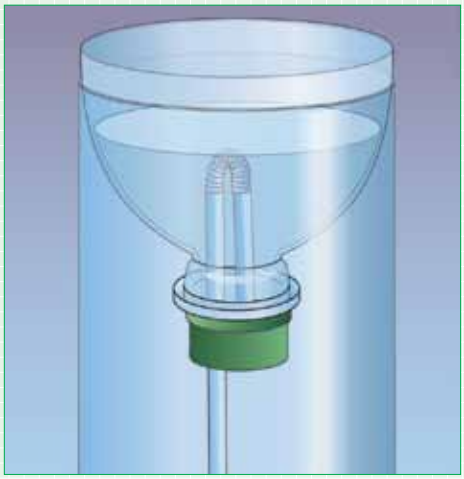
6. Dobla el extremo libre de la bombilla hacia la tapa rosca para que quede la bombilla en forma de U invertida. Rodea de plastilina la unión de la bombilla con la tapa.



7. Coloca la boca de la botella hacia abajo, como un cono invertido.



8. Agrega agua sin pasar el nivel indicado por la bombilla en forma de U invertida y anota tus observaciones.



10. Ahora, agrega más agua hasta que el nivel del agua supere el nivel marcado por la bombilla en forma de U invertida.



11. Anota tus observaciones.

Análisis

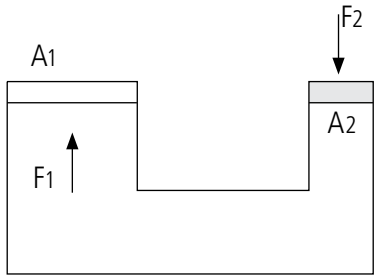
- ¿Por qué el agua no salió del orificio la primera vez?
- En cambio, ¿por qué el agua sale luego de superar el límite de la U invertida?
- ¿Qué relación existe entre la acción de la presión atmosférica y el nivel de agua en el experimento?

Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS?

1. La presión hidrostática en el fondo de una piscina llena con cierto líquido depende de:

A) La profundidad de la piscina.
B) La superficie de la piscina.
C) La masa total del fluido contenido en la piscina.
D) La forma de la piscina.
E) Todas las anteriores.

2. En una prensa hidráulica, el pistón más grande, en la sección transversal, tiene un área $A_1 = 0{,}5\ m^2$ y el área de la sección transversal del pistón pequeño es $A_1 = 0{,}125\ m^2$. Si una fuerza de 250 N es aplicada sobre el pistón pequeño, ¿cuál es fuerza en el pistón grande?



A) 1 000 N
B) 500 N
C) 250 N
D) 125 N
E) 100 N

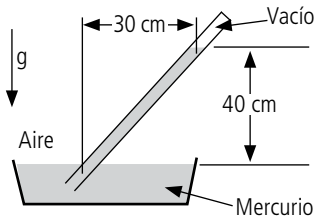
3. La presión total al fondo de una piscina llena de agua es de 1,3 atmósferas. ¿Cuál es la profundidad de esta piscina?

A) 0,3 m
B) 1,3 m
C) 3 m
D) 13 m
E) 130 m

4. Un disco gira con movimiento circunferencial uniforme con un período de 3 segundos. ¿Cuál es el valor de la rapidez lineal de un punto situado a 10 cm del centro de giro, medido en m/s?

A) $0{,}3\pi$
B) 6π
C) $\pi/15$
D) 15π
E) Ninguna de las anteriores.

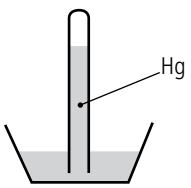
5. La figura representa un barómetro tipo Torricelli que está inclinado respecto de la vertical. A partir de las medidas indicadas:



¿Cuál es la presión del aire en que se encuentra inmerso este barómetro?

A) 30 cm de Hg.
B) 40 cm de Hg.
C) 50 cm de Hg.
D) 70 cm de Hg.
E) 76 cm de Hg.

6. El tubo de vidrio de 1 cm de diámetro interior y 1 m de largo estaba lleno de mercurio (Hg), pero al invertirlo en un recipiente, que también contiene mercurio, parte de él descendió y quedó como se ilustra en la figura.



¿Por qué no se derramó todo el mercurio en el recipiente?

A) Porque el mercurio es más denso que el agua.

B) Porque lo sostiene el vacío que se forma en la parte superior del tubo.

C) Porque el diámetro del tubo de vidrio es menor que el diámetro del recipiente.

D) Porque el vidrio y el mercurio se atraen eléctricamente; es decir, por el fenómeno denominado capilaridad.

E) Porque la presión que ejerce el mercurio en el interior del tubo se equilibra con la presión que ejerce el aire sobre el mercurio que está en el recipiente.

7. La fuerza de empuje que actúa sobre un cuerpo sumergido en un líquido la descubrió Arquímedes. Dos barcos, uno de madera y el otro de acero, el primero cargado y el segundo vacío, tienen en total el mismo peso y flotan en equilibrio en el mismo líquido. ¿Qué es correcto inferir de esta situación?

A) Que el empuje sobre ambos barcos debe ser igual.

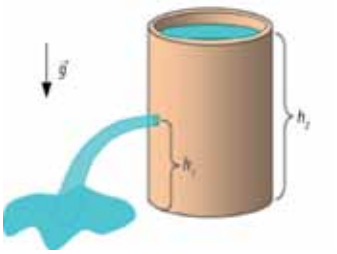
B) El barco de acero debe desplazar un volumen mayor de agua.

C) El empuje sobre el barco cargado debe ser mayor.

D) La densidad del acero es mayor que la de la madera.

E) El barco de madera debe ser de mayor tamaño que el de acero.

8. Un recipiente inicialmente lleno con un líquido de densidad D posee una perforación por donde el líquido se está derramando. Si P es la presión atmosférica y G la aceleración de gravedad del lugar, ¿con qué presión sale el líquido por el orificio?



A) P

B) Dgh_1

C) Dgh_2

D) $Dg\,(h_2 - h_1)$

E) $P + Dg\,(h_2 - h_1)$

9. Un cuerpo cuya densidad es 300 kg/m^3, se introduce en agua (p = 1 000 kg/m^3) y se observa que flota en dicho líquido. ¿Qué porcentaje de su volumen quedará sumergido en agua?

A) 20%

B) 30%

C) 70%

D) 100%

E) 130%

Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo

En el formulario KPSI que se presenta a continuación se han formulado preguntas con el objetivo de indagar sobre tu nivel de aprendizaje. Dependiendo de tu desempeño podrás:
reforzar conceptos, habilidades y procedimientos débiles
resolver nuevas situaciones problemáticas o fenomenológicas como desafío de profundización.

Categorías:
1. No lo sé
2. No lo entiendo
3. Creo que lo se
4. Se lo podría explicar a mis compañeros

Utilizando las categorías anteriores, marca con una X en el recuadro que corresponda.

Objetivo del capítulo

Entender los conceptos y leyes físicas fundamentales que describen el comportamiento de los fluidos, tanto en reposo como en movimiento, para explicar fenómenos naturales y el funcionamiento de algunos aparatos tecnológicos.

Enunciados /conceptos o temas	1	2	3	4
¿Cuál es la importancia de las fuerzas intermoleculares al interior de una sustancia?				
¿Cuál es la diferencia entre la densidad absoluta y la densidad relativa?				
¿Qué es la presión hidrostática?				
¿Cuáles son las relaciones matemáticas que describen la presión hidrostática al interior de un fluido?				
¿Cuál es la diferencia entre el principio de Pascal y el principio de Arquímedes?				
¿Cuáles son las características de un fluido ideal?				
¿Cuál es la diferencia entre la ecuación de la continuidad y la ecuación de Bernoulli?				
¿Cómo se aplica el principio de Bernoulli al vuelo de los aviones?				
Subtotal				
Procedimientos y método de trabajo				
Puedo seguir las instrucciones dadas en una actividad.				
Puedo identificar las propiedades básicas de un fluido y aplicar la ecuación fundamental de la hidrostática en el aire y en distintos líquidos.				
Puedo aplicar los principios de Arquímedes y Pascal para explicar fenómenos naturales y el funcionamiento de máquinas hidráulicas y la flotabilidad de barcos, submarinos, globos aerostáticos, entre otros.				
Puedo entender la ley de Bernoulli para explicar fenómenos como el efecto estabilizador de los alerones en autos de carrera o el funcionamiento de los atomizadores, entre otros.				
Subtotal				
Actitudes				
Logré cumplir con los objetivos propuestos en cada sección, tema del capítulo.				
Logré explicar con mis palabras los diferentes temas tratados.				
Pude expresar las ideas principales en presentaciones.				
Pude compartir las ideas con mis compañeros.				
Pude cambiar mi opinión sobre algún tema a partir de la explicación de mis compañeros.				
Subtotal				
Total general				

Ahora suma los subtotales y obtén el total general.

Con ayuda de los subtotales notarás tu avance en relación al manejo de conceptos, al desarrollo de tus habilidades, procedimientos y actitudes referidas a tus aprendizajes del capítulo.

Dependiendo de los resultados te orientarán sobre tus logros, por lo que te sugerimos preguntarte ¿Qué debo reforzar para superar el déficit?¿Qué puedo hacer para avanzar más? ¿Qué puedo hacer para saber más?

Utiliza la siguiente tabla para guiar tus remediales

Puntos	Acción	Algunas tareas sugeridas
0-16	Leer detenidamente los contenidos del capítulo. Identifica las ideas y conceptos que no puede explicar. Buscar información en otras fuentes bibliográficos o Internet.	• **respecto de los contenidos** Buscar situaciones cotidianas relacionas con contenidos del texto como por ejemplo: objetos que se hunden o flotan en el agua o en otros que no, el caudal de los ríos o el vuelo de los aviones. • **respecto a los procedimientos** Realizar cálculos sencillos relacionados con las magnitudes que describen la presión al interior de los fluidos. • **respecto a las actitudes** Interés por entender los conceptos, fijándote metas.
17- 32	Leer los contenidos del capítulo que no ha logrado entender. Reconocer los conceptos aprendidos y los que no ha entendido. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Conocer la aplicación de los conceptos adquiridos en situaciones cotidianas relacionas con contenidos del texto como por ejemplo: cuando utilizas la gata hidráulica para sacar una rueda del auto, flotar fácilmente en agua salada que en agua dulce. • **respecto de los procedimientos** Ejercita cálculos matemáticos en la elaboración e interpretación de magnitudes físicas relacionadas con el capitulo. • **respecto de las actitudes** Interés por trabajar en equipo.
33 – 48	Ejercitar los problemas propuestos en el texto. Elaborar explicaciones sobre los conceptos deficitarios. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Elaborar esquemas conceptuales utilizando los conceptos adquiridos. • **respecto de los procedimientos** Ejercitar la competencia matemática a través del repaso de los cálculos realizados en el texto. • **respecto de las actitudes** Interés por saber para qué se necesita comprender los conceptos del capítulo.
49 – 64	Ejercitar los desafíos propuestos en el texto. Elabora explicaciones sobre los conceptos desarrollados a lo largo del texto. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Comprender conceptos y entender fórmulas. Aplicar competencias matemáticas a nuevas situaciones problemáticas. • **respecto de los procedimientos** Construir mecanismos como, por ejemplo, un barquito usando diferentes materiales como papeles, maderas etc. • **respecto de las actitudes** Curiosidad por conocer nuevos conceptos, siendo consciente de la importancia de comprenderlos en profundidad para poder explicarlo Puedo explicar a mi compañero o grupo y logran entender.

Capítulo 3

¿CÚAL ES LA CONEXIÓN ENTRE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS Y EL FUNCIONAMIENTO DE MOTORES Y GENERADORES ELÉCTRICOS?



FÍSICA DE LOS CUERPOS CARGADOS

En este capítulo vas a estudiar los cuerpos cargados y sus interacciones tanto en reposo como en movimiento.

Comenzaremos nuestro estudio con las interacciones electrostáticas de cargas en reposo (electrostática), regidas por la ley de Coulomb. Aplicando el concepto de campo eléctrico, examinaremos además la naturaleza de la carga eléctrica y los métodos de electrización.

Seguidamente, nos ocuparemos de las cargas en movimiento a fin de comprender el comportamiento de las corrientes en los circuitos eléctricos, transportando energía desde un punto a otro, sin utilizar ningún medio móvil. Luego, describiremos las fuerzas magnéticas que actúan sobre cargas en movimiento, utilizando el concepto de campo magnético. Estas fuerzas son esenciales para el funcionamiento de los motores eléctricos, los galvanómetros y muchos otros aparatos.

Finalmente, estudiaremos la inducción electromagnética, en particular, la fem inducida, fenómeno que ocurre cuando cambia el flujo magnético a través de cualquier espira cerrada. Este descubrimiento es esencial para el funcionamiento de los generadores eléctricos, de gran importancia en nuestra sociedad.

Lo que estudiarás

- Las leyes y conceptos básicos de la electricidad y el magnetismo; la relación que existe entre ambos y su rol en fenómenos de la vida diaria, y el funcionamiento de diversos dispositivos tecnológicos.

Lo que debes saber

- El movimiento de los cuerpos a partir de las leyes de la mecánica formuladas por Newton.
- Las características básicas de las fuerzas eléctricas, el funcionamiento de circuitos eléctricos simples, los métodos para cargar eléctricamente diversos objetos y las medidas de seguridad que se deben adoptar al trabajar con corriente eléctrica.

Habilidades

- Organizar e interpretar datos y formular explicaciones, apoyándose en las teorías y conceptos científicos en estudio

Actividad exploratoria

Construyendo un "acumulador de Leyden"

De manera previa a lo que nos presentará el texto en esta unidad, te invitamos a desarrollar la siguiente actividad. Usa para ello no solo tus conocimientos previos, sino que tu propia curiosidad y capacidad científica. Para realizar esta actividad, es necesario trabajar en grupos de tres o cuatro integrantes.



Figura 3.1

PROCEDIMIENTO

1. Construyamos un condensador.

a) Llenen completamente el recipiente con papel de aluminio comprimiéndolo lo más fuerte posible.

b) Tapen el recipiente con un material aislante (plumavit, por ejemplo) (**figura 3.1**).

c) Cubran la parte externa del envase con papel de aluminio.

d) Introduzcan el cable de cobre por la tapa hasta que penetre en el interior del aluminio. (**figura 3.2**).

e) Carguen su acumulador (condensador) acercando la punta de cobre hasta la pantalla de computador (monitor) o TV antiguo, recién encendido. Háganlo varias veces. Evita acercar tu acumulador a una pantalla LED, ya que la carga sería mínima. (**figura 3.3**)



Figura 3.2

ANÁLISIS

2. Ahora contesten las siguientes preguntas:

a) ¿Qué creen que ocurrió al interior del acumulador (condensador)? ¿Podrían aventurar una hipótesis?

b) Conecten un led a los terminales de la botella. ¿Qué piensan que sucederá?

c) ¿A qué se debe el fenómeno observado?

d) Si se conecta el cuerpo exterior del envase con el alambre de cobre, ¿qué estiman que pasará? Desarrollen una hipótesis.



Figura 3.3

CONCLUSIONES

3. Preparen un informe con las observaciones y disértenlo con sus compañeros.

4. ¿Qué ideas nuevas aprendiste con esta actividad?

SECCIONES

1 LA INTERACCIÓN ELÉCTRICA

2 CARGAS EN MOVIMIENTO

3 MAGNETISMO Y FUERZAS ENTRE CARGAS EN MOVIMIENTO

4 MOVIMIENTO RELATIVO Y FUERZAS ELECTROMAGNÉTICAS

Sección 1 LA INTERACCIÓN ELÉCTRICA

¿Has sentido alguna vez una pequeña descarga al tocar una manilla metálica o has visto un rayo luminoso en una tormenta eléctrica? ¿Qué imagen o imágenes se te viene(n) a la mente cuando las personas comentan que: "está cargado el ambiente"? ¿Cómo se cargan los cuerpos? ¿Cómo definirías la carga eléctrica?

Cuando los cuerpos se cargan, ocurren fenómenos. Por ejemplo, si frotas tu cabello con un globo, el primero puede atraer pequeños trozos de papel o desviar un pequeño hilo de agua.

Pero ¿cuál es origen de dichos fenómenos? ¿Habrá alguna semejanza entre las leyes físicas que explican el comportamiento de los cuerpos con carga y los cuerpos con masa?

Para poder reconocer semejanzas, diferencias, analogías entre las leyes que explican la interacción de los cuerpos cargados y la ley de gravitación universal, necesitas comprender los principios de Newton, resolver problemas, procesar e identificar datos y formular explicaciones para situaciones experimentales o teóricas. El estudio de estas leyes te permitirá explicar las interacciones de los cuerpos que poseen una nueva cualidad llamada carga eléctrica.

El tema que se tratará durante el desarrollo de la sección es relevante porque las analogías presentes entre las leyes de Coulomb y de gravitación han motivado a los científicos a intentar encontrar una teoría que resulte común a ambos fenómenos.

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer las semejanzas y diferencias entre la ley de Coulomb y la ley de gravitación universal de Newton en los ámbitos de:
  - aplicabilidad
  - magnitudes relativas
  - analogías formales entre ambas leyes

CONCEPTOS CLAVE

- Campo eléctrico
- Ley de Coulomb
- Concepto de campo eléctrico y campo gravitacional

Capítulo 3

TEMA 1: Fuerzas entre cargas eléctricas en reposo, Coulomb vs. Newton

En cursos y capítulos anteriores has definido el concepto de fuerza como la causa de los movimientos y sus variaciones (aceleraciones, cambios de dirección), y también de las deformaciones de los cuerpos y su ruptura. Además, la has relacionado con la masa y la aceleración de un cuerpo, aplicando el segundo principio de Newton, a través de la ley

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Por otra parte, las variaciones de la energía potencial respecto a la posición de una partícula se relacionan con una fuerza; por ejemplo, los cambios de la energía potencial gravitatoria, en relación con la altura, te permiten encontrar la fuerza peso.

En esta sección estudiaremos una de las más importantes interacciones de la naturaleza: la interacción eléctrica. Como recordarás por los cursos de química, las interacciones entre los constituyentes de los átomos (electrón, protón) y las moléculas son, fundamentalmente, de origen eléctrico y por este motivo esta interacción determina principalmente la estructura interna de los diferentes cuerpos materiales o sustancias.

Las fuerzas o interacciones eléctricas se relacionan con una cualidad de las partículas denominada carga eléctrica. Los cuerpos que no la tienen o no la llevan no interactúan eléctricamente.

Pero ¿cuáles son las variables que caracterizan la interacción entre dos cuerpos cargados? ¿Influye su masa?

La ley fundamental de la electrostática es la ley de acción recíproca de las cargas.

Al principio, esta acción se consideraba análoga con la ley de gravitación universal establecida por Newton, considerando que las fuerzas eléctricas y las de gravitación universal eran de "acción a distancia" sin que desempeñase papel alguno el espacio intermediario. Sin embargo, en la realidad las cargas originan en el espacio circundante ciertos cambios físicos (lo mismo que las masas que gravitan), los cuales se revelan especialmente, en que sobre cualquiera otra carga que se aloje a cierta distancia de las que examinamos, también actuarán fuerzas. Sin meternos a examinar por ahora la naturaleza de estos cambios, **diremos que las cargas están en reposo, y en el espacio circundante se forma un** campo eléctrico.

Por ejemplo, la acción recíproca de dos cargas reside en lo siguiente: cada carga crea un campo en el espacio que la rodea, y este campo actúa sobre otra carga con una fuerza determinada.

El campo eléctrico es un aspecto peculiar de la materia; transmite la acción de unos cuerpos electrizados a otros, y el estudio de sus propiedades se realiza de acuerdo con las leyes a las cuales se subordinan las fuerzas que actúan sobre las cargas de parte del campo.

Dado que la acción recíproca de los cuerpos cargados depende de sus formas y dimensiones, para establecer la ley de acción recíproca se examina el comportamiento de las llamadas cargas puntuales. Se entiende por cargas puntuales a los cuerpos cuyas dimensiones resultan pequeñas si se comparan con la distancia entre los mismos. Cualquier cuerpo cargado se puede considerar como un conjunto de cargas puntuales.

El estudio de la interacción eléctrica comenzó en 1785 con el francés Coulomb, quien estableció experimentalmente la ley de acción recíproca.

Coulomb midió en el aire la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales con una balanza de torsión semejante a la empleada por Cavendish, la cual permitió conocer la constante universal de gravitación.

La balanza de torsión empleada por Coulomb (**figura 3.4**) **está construida como sigue**: en el interior de un gran recipiente de vidrio hay una palanca o aguja de vidrio suspendida de un hilo fino. En uno de los extremos de la palanca se ubica una esfera metálica **a** y en el otro un contrapeso. Una segunda esfera metálica **b** se fija a una varilla.

El razonamiento que nos conduce a la ley de Coulomb es el siguiente: las observaciones indican que las fuerzas de acción recíproca van dirigidas según la recta que une a las cargas. Si las cargas son del mismo signo, estas fuerzas son de repulsión, y si las cargas son de signo contrario, las fuerzas son de atracción. Variando la distancia entre las esferas **a** y **b**, que tienen cargas invariables, como lo demuestra la experiencia realizada por Coulomb, las fuerzas de acción recíproca varían en razón inversa al cuadrado de la distancia que las separa.

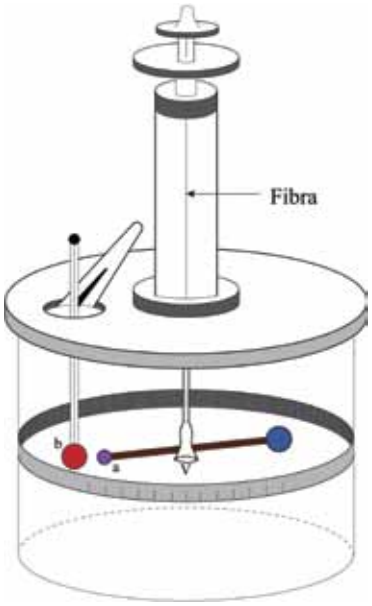


Figura 3.4
Balanza de Coulomb

CHARLES-AUGUSTIN DE COULOMB

(1736-1806), físico e ingeniero militar francés. Se recuerda por haber descrito de manera matemática la ley de atracción entre cargas eléctricas. En su honor la unidad de carga eléctrica en el SI lleva el nombre de coulombio.

Entre otras teorías y estudios se le debe la teoría de la torsión recta y un análisis del fallo del terreno dentro de la mecánica de suelos.



¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuáles son las interacciones que sufre un electrón al encontrarse con un protón en una región del espacio?

minilaboratorio

Fuerzas eléctricas

Objetivo

– Construir un péndulo eléctrico que permita detectar la presencia de cargas eléctrica en diferentes objetos.
– Explicar el comportamiento que presentan algunos objetos al interactuar eléctricamente.

Materiales

- papel de aluminio de un bombón
- hoja de papel
- 2 m hilo de coser
- palitos de maqueta de 4 mm
- regla de plástico
- cartón piedra de 30 cm por 30 cm
- tijeras
- aguja
- pegamento
- paño de lana
- paño de seda

Procedimiento

Para construir la base del péndulo

Observa el esquema y constrúyelo de la siguiente forma:

1. Corta 2 palitos de maqueta de 30 cm y uno de 25 cm.
2. En el palo de 25cm, marcar 3 puntos en las siguientes distancias: Punto 1 a 11,5 cm, Punto 2 a 12,5 cm y Punto 3 a 13,5 cm.
3. Pega en el cartón piedra, los palitos de 30 cm separados una distancia de 25 cm.
4. Pega el palo de 25 cm en la parte superior libre de cada palito de maqueta de 30 cm, formando un arco.

Para construir los péndulos

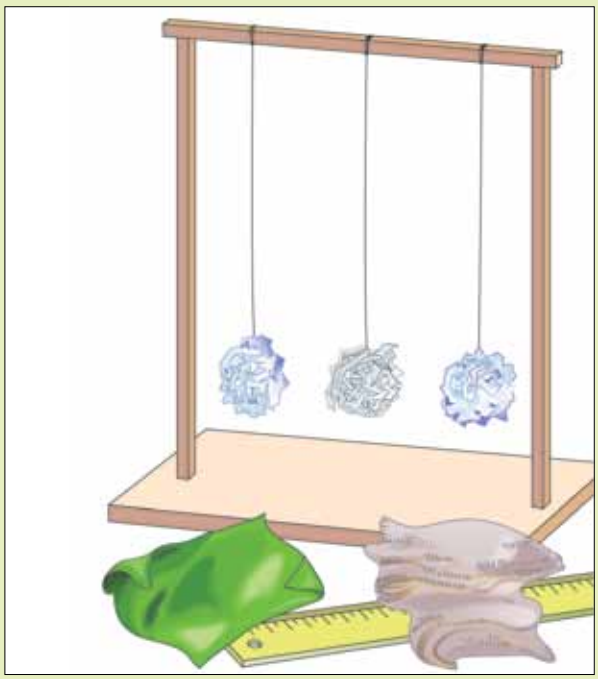
5. Corta 1 hilo de 25 cm, enhébralo a la aguja y forma un nudo en el extremo libre del hilo.
6. Corta 1 trozo de papel de 3 cm x 3 cm, y perfora su centro con la aguja, atravesándolo con el hilo hasta llegar al nudo. Finalmente, forma una esfera de papel a su alrededor.
7. Repite dos veces, los pasos 5 y 6, cambiando el trozo de papel por láminas de aluminio de 3 cm x 3 cm. De esta forma, obtendrás dos péndulo con esferas de aluminio.

Para experimentar

8. Ahora, cuelga un péndulo con la esfera de aluminio en el punto 1 del palito de maqueta de 25 cm. Frota la regla con el paño de seda, acércala a la esfera de aluminio. Describe en tu cuaderno lo que observas.
9. A continuación coloca el péndulo con esfera de papel en el punto 2 del palito de maqueta de 25 cm, junto al péndulo con la esfera de aluminio. Frota la regla con el paño de seda, acércala a la esfera de papel y luego a la esfera de aluminio. Describe en tu cuaderno lo que observas.

Habilidades

- Organizar e interpretar datos y formular explicaciones apoyándose en teorías y conceptos científicos en estudio



10. Ahora coloca el tercer péndulo con esfera de aluminio en el punto 3 del palito de maqueta de 25 cm, junto al péndulo con la esfera de papel y de aluminio. Frota la regla con el paño de seda, acércala a cada una de las esferas. Describe en tu cuaderno lo que observas.
11. Repite los pasos 8, 9 y 10 pero frotando la regla con el paño de lana y luego con tu pelo.

Analiza y concluye

1. Registra las evidencias descritas en las observaciones y analiza ¿qué relación se puede establecer entre los fenómenos estudiados?
2. Interpreta las observaciones relacionándolas con las interacciones eléctricas.
3. Si entre dos objetos hay atracción eléctrica, explica ¿Qué tipo de carga tienen?
4. Si entre dos objetos hay repulsión eléctrica, explica ¿Qué tipo de carga tienen?
5. Formula una conclusión de este mini-laboratorio considerando las preguntas planteadas.
6. Explica tus resultados a tus compañeros.
7. Comunica tus resultados a través de un organizador gráfico.

Modelo matemático de la ley de Coulomb

Como se indicó anteriormente, Coulomb realizó todas sus mediciones en el aire, pero rigurosamente hablando, la expresión de la ley de Coulomb que se estudia en este párrafo se refiere al vacío, es decir, al espacio en que no hay una cantidad perceptible de átomos, moléculas u otras partículas. Debemos señalar que la ley de Coulomb comprende, al mismo tiempo, la definición de magnitud de carga.

De este modo, si designas por F a la intensidad de la fuerza de interacción eléctrica, por Q_1 y Q_2 las cargas de los cuerpos y por R la distancia entre los mismos, se puede escribir por la ley de Coulomb la intensidad de la interacción como sigue:

$$F = \text{constante} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2}$$

La fuerza F está dirigida según la recta que une las cargas y, como lo manifiestan los experimentos, en algunos casos puede causar atracción y en otros, repulsión de los cuerpos cargados.

Por tal razón, se habla de cargas de diferentes signos: los cuerpos con cargas del mismo signo se repelen y los de carga de distinto signo se atraen. El signo positivo de la fuerza en la ley de Coulomb expresa repulsión, y el negativo, atracción. Qué carga hay que considerar precisamente positiva y cuáles negativas es totalmente indiferente.

Como nosotros nos encontramos por primera vez con las cargas y aún no tenemos una unidad para su medición, utilizaremos la unidad establecida por el SI: el coulomb.

Si consideras la fuerza medida en newton (N), las cargas en coulomb (C) y la distancia en metro (m), la constante es en el vacío:

$$\text{constante} = k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

En resumen, si consideras los cuerpos cargados como puntos materiales, la fuerza de interacción eléctrica de ellos es proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos.

La ley de Coulomb se parece mucho a la ley de gravitación universal, que expresa la intensidad de la fuerza de interacción gravitatoria de la siguiente manera:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

El siguiente cuadro te permitirá observar las semejanzas y diferencias entre ambas leyes.

	Fórmula	Descripción	Semejanzas	Diferencias
Ley de Coulomb	$\vec{F} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R^2} \hat{r}$	Expresa la fuerza que una carga Q ejerce sobre una carga q.	1. Actúan a distancia. 2. Ambas son inversamente proporcionales con el cuadrado de la distancia que las separa. 3. Ambas son directamente proporcionales a una cualidad del cuerpo: masa para la fuerza gravitatoria, carga para la fuerza eléctrica.	1. La fuerza eléctrica es atractiva o repulsiva. 2. La fuerza gravitatoria es solo atractiva. 3. La carga eléctrica puede ser positiva o negativa. 4. La masa es una cantidad positiva. 5. La razón entre la constante k y la constante G es $\frac{k}{G} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}}{6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}} = 1{,}34 \cdot 10^{20} \frac{kg^2}{c^2}$
Ley de gravitación de Newton	$\vec{F} = \frac{-G \cdot M \cdot m}{R^2} \hat{r}$	Expresa la fuerza que una masa M ejerce sobre otra masa m.		

TEN PRESENTE

- **Valor de la constante de gravitación universal**
  Sean dos masas iguales de 1kg, cada una situadas a 1 m entre sí; la fuerza de atracción entre ellas, medida a través de una balanza de torsión, es de $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N.

  De la ley de atracción universal
  $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$
  se deriva que $G = \frac{F \cdot R^2}{m_1 \cdot m_2}$

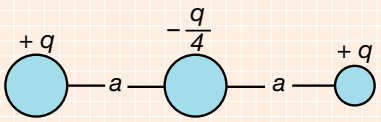
  Al remplazar los valores, se obtiene que
  $G = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} N \cdot 1m^2}{1kg^2}$
  $= 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

  valor en cualquier rincón del universo e independiente del medio en que se encuentren las masas.

Ejercicio resuelto N° 1

APLICACIÓN DE LA LEY DE COULOMB

Tres esferas muy pequeñas, iguales y cargadas, están alineadas sobre un plano horizontal aislante, tal como muestra la figura.



Al abandonar el sistema, de modo que las cargas se puedan mover libremente, ¿cuál es la intensidad de la fuerza sobre cada carga? ¿Se mueven las cargas?

Solución:

1. Identifica el problema

Enumeremos las cargas de derecha a izquierda como 1, 2 y 3, respectivamente.

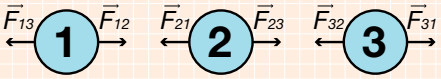
Establezcamos las magnitudes de las cargas: $q_1 = +q$ $\quad q_2 = -\frac{q}{4}$ $\quad q_3 = +q$

2. Conocimientos necesarios para resolverlo

Expresión matemática de la ley de Coulomb, Diagrama de cuerpo libre, fuerza neta.

3. Estrategia

Diagrama de cuerpo libre (D.C.L.)



a) Calcular la fuerza neta sobre la carga 1.

La intensidad de la fuerza de atracción entre la carga 1 y la carga 2 es igual a $F_{12} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2}$

La intensidad de la fuerza de repulsión entre la carga 1 y la carga 3 es $F_{13} = k \cdot \frac{q \cdot q}{(2 \cdot a)^2}$

El módulo de la fuerza neta es $F_{neta} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2} - k \cdot \frac{q \cdot q}{(2 \cdot a)^2} = 0$

b) Calcular la fuerza neta sobre la carga 2.

La intensidad de la fuerza de atracción entre la carga 1 y la carga 2 es igual a $F_{21} = k \cdot \frac{q \cdot \frac{q}{4}}{a^2}$

La intensidad de la fuerza de atracción entre la carga 3 y la carga 2 es igual a $F_{23} = k \cdot \frac{q \cdot \frac{q}{4}}{a^2}$

El módulo de la fuerza neta es $F_{neta} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2} - k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2} = 0$

c) Calcular la fuerza neta sobre la carga 3.

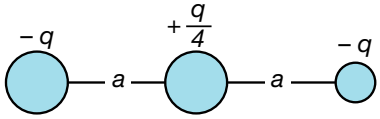
La intensidad de la fuerza de atracción entre la carga 3 y la carga 2 es igual a $F_{32} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2}$

La intensidad de la fuerza de repulsión entre la carga 3 y la carga 1 es $F_{31} = k \cdot \frac{q \cdot q}{(2 \cdot a)^2}$

El módulo de la fuerza neta es $F_{neta} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2} - k \cdot \frac{q \cdot q}{(2 \cdot a)^2} = 0$. De este modo, las cargas quedan en reposo.

AHORA RESUELVES TÚ

Tres esferas muy pequeñas, iguales y cargadas, están alineadas, tal como muestra la figura.



Al abandonar el sistema, de modo que las cargas se puedan mover libremente, ¿se mueven las cargas?

Concepto de campo eléctrico y campo gravitatorio

¿Qué sucede cuando frotas una sustancia de plástico con un paño de lana? Es un fenómeno conocido el hecho de que el plástico luego de la interacción con el paño adquiere una propiedad que antes no tenía. Esta propiedad se manifiesta porque dicha sustancia frotada atrae pequeños trozos de papel. De este modo, un cuerpo cargado se rodea de una porción de espacio donde se manifiestan las fuerzas eléctricas sobre otros cuerpos cargados.

Por lo tanto, la presencia de un cuerpo cargado altera el espacio que lo rodea, produciendo una fuerza eléctrica sobre otra carga cercana. Así también, la presencia de la masa de un cuerpo altera el espacio que lo rodea de manera tal que produce una fuerza gravitatoria sobre otra masa cercana.

Para poder explicar esta alteración del espacio se admite que tanto la carga como la masa se rodean de un campo de influencia sobre otras masas (**campo gravitatorio**) o sobre otras cargas (campo eléctrico).

TEN PRESENTE

- Concepto de campo físico: En una región del espacio existe un campo físico si, por algún medio, se detecta en esa región una fuerza física. El nombre del campo está determinado por la naturaleza de la fuerza detectada.

Así, podemos decir que:

- Existe un campo eléctrico en una región del espacio si una carga eléctrica colocada en un punto de esa región experimenta una fuerza eléctrica (**figura 3.5**).
- Existe un campo gravitatorio en una región del espacio si una masa colocada en un punto experimenta una fuerza gravitatoria (**figura 3.6**).

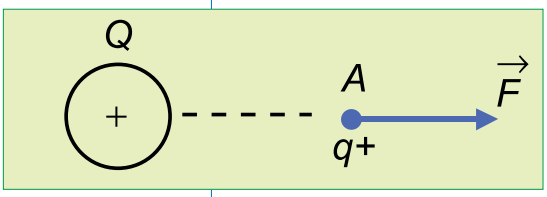


Figura 3.5
En el punto A existe un campo eléctrico

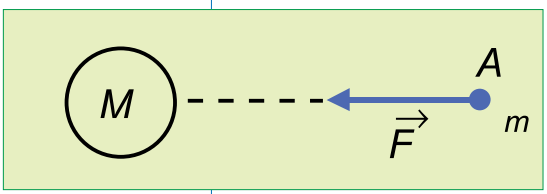


Figura 3.6
En el punto A existe un campo gravitatorio

Esta definición te permite identificar la presencia de un campo en una región de espacio. Por ejemplo, si colocas una carga eléctrica en esa región y observas una fuerza eléctrica, entonces en ese punto existe un campo eléctrico. Lo mismo ocurre con el campo gravitatorio.

Analogía entre el campo eléctrico y el campo gravitatorio

Entre los campos estudiados en los párrafos anteriores se pueden establecer las siguientes analogías, que también resultan útiles para hablar de analogías entre la ley de gravitación universal y la ley de Coulomb:

- Ambos campos son centrales, puesto que están dirigidos hacia un punto donde se encuentra la masa o la carga que los crea.
- Son conservativos, porque la fuerza central solamente depende de la distancia.

Por otra parte, ambos campos definen una fuerza central cuya intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia

$$\vec{F} = \frac{k_1}{R^2}\hat{r}$$

Donde $\hat{r}$ es el versor radial (**ver figura 3.6 A**)

k_1 es una constante de proporcionalidad que depende del tipo de campo.

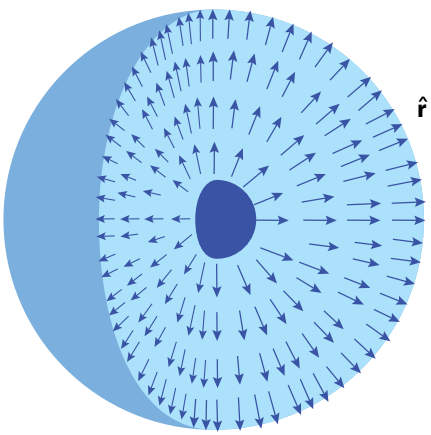


Figura 3.6 A

minilaboratorio

campo eléctrico

Objetivo

Identificar la acción del campo eléctrico sobre los cuerpos.

Materiales

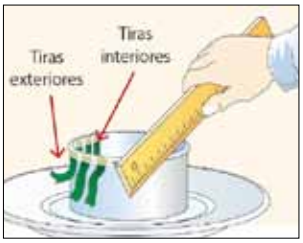
- recipiente metálico
- plato plástico
- papel de seda
- regla plástica
- tijeras

Procedimiento

1. Toma el recipiente metálico y colócalo sobre el plato de plástico.
2. Corta 10 tiras de 0,5 cm x 5 cm.
3. Cuelga la mitad en la parte exterior del recipiente y el resto en la parte interior, tal como muestra la **figura 3.7**.
4. Electriza la regla de plástico y toca el recipiente con esta.
5. Repite el paso 4 varias veces.

Análisis

1. ¿Qué sucedió con las tiras de papel luego de tocar varias veces el recipiente de metal?
2. ¿Cómo explicarías este fenómeno?



▲ **Figura 3.7**

A continuación, analizaremos diversos casos para distintos valores de k_1.

A) Si $k_1 = k \cdot Q \cdot q$, el campo es eléctrico.

En donde:

- k es la constante cuyo valor depende del medio en que se encuentran las cargas y del sistema de unidades que se utilice.

  Si las cargas están en el vacío y se emplea el SI, la constante tiene un valor de

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

- Q y q son, respectivamente, las cargas eléctricas de la partícula que ocupa el centro del campo y de la que está sometida al campo. Como ambas cargas generan un campo eléctrico a su alrededor, supondremos que la magnitud de la carga Q es mayor a la magnitud mayor de la carga q, de modo que el campo eléctrico generado por la carga Q no se altera por el presencia del campo eléctrico de la carga q.

  De este modo, la fuerza central que crea el campo eléctrico es

$$\vec{F} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R^2} \hat{r}$$

Que corresponde a la expresión matemática de la ley de Coulomb.

Como recordarás de los párrafos anteriores, la carga eléctrica es una magnitud de naturaleza escalar que puede ser positiva o negativa, y, como consecuencia, la fuerza central podrá tener el signo de $\hat{r}$ o contrario.

Sin embargo, la ley de Coulomb tiene escasas aplicaciones, puesto que únicamente es válida para objetos cargados sin dimensiones, cargas puntuales y cuerpos finitos de forma esférica que estén alejados, es decir, cuando el radio de las esferas sea despreciable frente a la distancia entre sus centros.

Conociendo la expresión matemática de la fuerza de interacción eléctrica, se puede hallar la energía potencial mutua de las cargas Q y q. Cuya expresión matemática es:

$$U = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R}$$

De este modo, la energía potencial de interacción de dos cargas es inversamente proporcional a la distancia entre las mismas.

B) Si $k_1 = - G \cdot M \cdot m$, el campo es gravitatorio

En donde:

- G es una constante universal que en el Sistema Internacional vale

$$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

  Su valor no depende del medio.

- M, m son, respectivamente, las masas de la partícula que ocupa el centro del campo y de la partícula sometida a la acción del campo. Por las mismas razones indicadas en el punto A, supondremos que la magnitud de la masa M es mayor a la magnitud de la masa m.

Por lo tanto, la fuerza central que se detecta en el campo gravitacional es:

$$\vec{F} = \frac{-G \cdot M \cdot m}{R^2} \hat{r}$$

El vector $\hat{r}$ es un vector unitario cuya dirección es la recta que une al cuerpo originador del campo con el cuerpo de prueba usado para detectar dicho campo.

Teniendo en cuenta el sentido de este vector, una fuerza central será negativa (atracción) si está dirigida hacia el centro del campo (**figura 3.8**), y será positiva si está dirigida hacia afuera (repulsión) (**figura 3.9**).

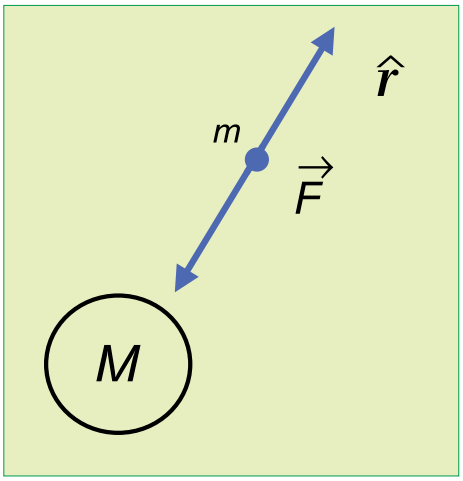


Figura 3.8

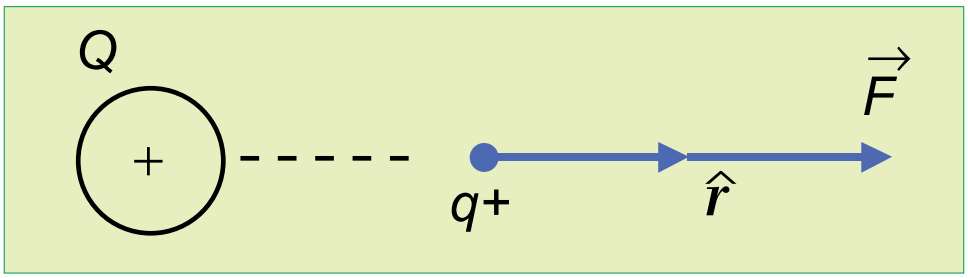


Figura 3.9

Diferencias entre el campo eléctrico y el campo gravitacional

Como lo habrás notado, aunque existen analogías entre el campo eléctrico y gravitatorio, y la fuerza central generada por ellos (ley de Coulomb y ley de gravitación universal). También, existen las siguientes diferencias:

1. Dado que el campo gravitatorio depende de la masa del cuerpo, existe de modo universal, mientras que el campo eléctrico solo se manifiesta cuando los cuerpos están cargados.
2. El campo gravitatorio es siempre de atracción, mientras que el campo eléctrico puede ser de atracción (cargas de diferente signo) o de repulsión (cargas de igual signo).
3. Si comparamos la constante G con la constante k, podemos decir que la constante k es 10^{20} veces mayor que la constante G, indicio de que el campo gravitatorio es muy débil comparado con el campo eléctrico. Como consecuencia de esto, en los fenómenos eléctricos los efectos gravitatorios son despreciables.
4. La masa de un cuerpo en reposo o en movimiento siempre crea un campo gravitatorio. En cambio, una carga eléctrica en movimiento, además del campo eléctrico, genera un campo magnético.

Ejercicio resuelto N° 2

Las **partículas** (α) son núcleos de helio (${}^{4}_{2}He$) completamente ionizados, es decir, sin su envoltura de electrones correspondiente. Estos núcleos están formados por dos protones y dos neutrones. Si dos partículas alfa (${}^{4}_{2}He$) están separadas una distancia de 10^{-13} m. Calcula la fuerza electrostática con que se repelen y la fuerza gravitatoria con que se atraen. Compara ambas fuerzas entre sí.

Datos: Masa de la partícula alfa $m = 6{,}68 \cdot 10^{-27}$ kg; carga $q = +2 \cdot e = 2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

Identificando la información

Utilizando los datos de las cargas de las partículas alfa $Q = q = 2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

Y de las masas de las partículas alfa $M = m = 6{,}68 \cdot 10^{-27}$ kg.

Se valorizan en la ley de Coulomb y en la ley de gravitación.

Conocimientos para resolverlos

Expresión matemática de la ley de Coulomb, y de la ley de gravitación.

Estrategia

Valorizar las expresiones matemáticas

a) Ley de Coulomb

$$F_{\text{eléctrica}} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R^2} = 9 \cdot 10^{9} \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot \frac{(2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C)^2}{(1 \cdot 10^{-13}\,m)^2} = 92{,}16 \cdot 10^{-3}\,N$$

b) Ley de gravitación

$$F_{\text{gravitatoria}} = \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2} = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \cdot \frac{(6{,}68 \cdot 10^{-27}\,kg)^2}{(1 \cdot 10^{-13}\,m)^2} = 297 \cdot 10^{-39}\,N$$

c) Para compararlas se necesita de una división entre los resultados obtenidos

$$F\ \frac{\text{eléctrica}}{\text{gravitatoria}} = \frac{92{,}16 \cdot 10^{-3}\,N}{297 \cdot 10^{-39}\,N} \Big| 3 \cdot 10^{35}$$

De este modo, la intensidad de la fuerza eléctrica entre las partículas alfa es $3 \cdot 10^{35}$ veces la fuerza gravitacional entre ellas.

AHORA RESUELVES TÚ

Compara las fuerzas eléctrica y gravitacional entre dos electrones separados a una distancia de 1 m.

Datos: Masa del electrón $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg, carga $q = e = 2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

minirresumen

Las fuerzas o interacciones eléctricas se relacionan con una cualidad de las partículas denominada carga eléctrica. Los cuerpos que no la tienen o no la llevan no interactúan eléctricamente.

El campo eléctrico es un aspecto peculiar de la materia que transmite la acción de unos cuerpos electrizados sobre otros cuerpos cargados.

- Existe un campo eléctrico en una región del espacio si una carga eléctrica colocada en un punto de esa región experimenta una fuerza eléctrica, (**figura 3.5**) de la página 137.
- Existe un campo gravitatorio en una región del espacio si una masa puesta en un punto experimenta una fuerza gravitatoria.

La ley de Coulomb tiene un parecido con la ley de gravitación de Newton, pero puede ser atractiva o negativa. Matemáticamente, se expresa con:

$$\vec{F} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R^2}\,\hat{r}$$

TEMA 2: Cargas eléctricas

Como recordarás de los párrafos anteriores, un cuerpo cargado genera alrededor de su espacio un campo eléctrico. Pero ¿cómo se puede cargar un cuerpo?, ¿cuáles son los métodos usados para cargar un cuerpo?

Se dice que un cuerpo está electrizado si uno o varios de sus átomos se han ionizado. Recuerda que un átomo o partícula está ionizado si ha perdido o ganado uno o varios electrones, los que son responsables de que un cuerpo se cargue.

De este modo, un cuerpo está cargado positivamente cuando tiene déficit de electrones y está cargado negativamente cuando posee predominio de electrones. El cuerpo neutro tiene equilibrio de cargas negativas y positivas.

Los experimentos realizados a principios del siglo XVIII demostraron que la electricidad puede ser de dos tipos y solamente de dos clases: la que por sus cualidades coincide con la del vidrio al frotarlo con la piel (y que se denomina positiva), y la que coincide con la de la piel al ser frotada por el vidrio (y que se llama negativa).

Por ejemplo, un protón tiene la misma cantidad de electricidad que un electrón, pero posee distinta clase de electricidad: el protón es positivo y el electrón es negativo.

Los cuerpos igualmente electrizados (por ejemplo, positivamente) se repelen; los **electrizados** de distinta clase se atraen. Al ponerse en contacto los cuerpos cargados, los electrones se mueven de un cuerpo a otro si los cuerpos son conductores eléctricos.

El cuerpo electrizado posee una carga denotado por la letra "Q", que sirve para medir la electrización del cuerpo.

Como recordarás, tal como todos los cuerpos o partículas tienen asignados el atributo abstracto de masa, también tienen una carga inherente, que puede ser positiva, negativa o nula.

Como has podido observar a lo largo de estos capítulos y de los niveles anteriores, los cálculos de las interacciones entre los cuerpos (fuerza, aceleraciones, momentum, energía, entre otros) se simplificaron mucho al introducir el concepto de masa. De igual manera, la introducción del concepto de carga nos ofrece una sencilla presentación de este nuevo tipo de fuerzas llamadas eléctricas.

Para entender por qué el frotamiento o rozamiento produce estos fenómenos, es necesario conocer la estructura del átomo.

Un fenómeno muy importante que ayuda a comprender el proceso de electrización de los cuerpos es el siguiente: Si a un cuerpo electrizado, por ejemplo, positivamente, se le empieza a electrizar negativamente, su estado de electrización disminuirá al principio, luego desaparecerá por completo y recién después de pasado todo esto el cuerpo comenzará a electrizarse negativamente. De lo que se deduce que las cargas de diferente signo se compensan mutuamente, hecho que sugirió la hipótesis de que en los cuerpos no cargados siempre hay cargas, pero solamente del signo contrario y en una cantidad tal que sus acciones se compensan completamente.

Un cuerpo que posee un déficit de carga negativa (o electrones), estará cargado positivamente, mientras que aquel que tenga un exceso de carga negativa, estará cargado negativamente.

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer los tipos de carga eléctricas, los tipos de materiales, los métodos de electrización.

CONCEPTOS CLAVE

- Cuerpo cargado positivamente
- Cuerpo cargado negativamente
- Ley de conservación de la carga eléctrica
- Conductores, semiconductores, dieléctricos
- Métodos de electrización
- Detectores de cuerpos electrizados

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuáles son los parámetros que posee un cuerpo? ¿Cuál es la utilidad de introducir el concepto de carga o el de masa en un cuerpo?

FRANZ MARIA ULRICH THEODOR AEPINUS

(1724 – 1802), físico médico. Fue director del Observatorio de Berlín y durante su desempeño trabajó en el estudio de las propiedades de la turmalina (que tiene la capacidad de generar electricidad cuando se somete a presión; efecto piezoeléctrico) y también realizó experimentos sobre la polarización de este y otros cristales cuando son afectados por cambios de temperatura (piroelectricidad). En 1759 escribe la obra titulada Testamento teórico de electricidad y magnetismo, siendo uno de los libros más importantes en la historia de la electricidad.

Los experimentos que llevó a cabo sobre condensadores de placas metálicas paralelas, condensador de Aepinus, constituyen el planteamiento básico de lo que son los modernos condensadores.



PARA SABER MÁS

- **El valor de la carga eléctrica es independiente del movimiento del cuerpo**
  La carga eléctrica es un invariante relativista, es decir, no depende de los estados de movimiento o reposo de un cuerpo.

Al electrizar los cuerpos por frotamiento, se electrizan los dos: uno positiva y otro negativa. De esto, se llega a la conclusión de que las cargas no se crean ni desaparecen, sino que solamente se pueden trasladar de un cuerpo a otro o de un lugar a otro en el interior del cuerpo dado. Esta deducción, conocida con el nombre de ley de la **conservación de la carga eléctrica**, es fundamental en el estudio de la electricidad y lo confirman numerosos hechos. Uno de ellos es la electrización por influencia o inducción electrostática descubierta por **Aepinus**.

La carga eléctrica es una propiedad inseparable de algunas partículas elementales. La carga de todas las partículas elementales (si no es nula) es igual en magnitud absoluta y puede denominarse carga elemental. La carga elemental positiva la designaremos por medio de la letra **e**.

Al número de las partículas elementales pertenecen el electrón (portador de la carga negativa **–e**), el protón (portador de la carga positiva **+e**) y el neutrón (cuya carga es nula). De estas partículas están formados los átomos y moléculas de todo cuerpo, por lo que las cargas eléctricas entran en la composición de todos los cuerpos.

Pero ¿cómo crees que se distribuyen las cargas en un cuerpo? Las partículas portadoras de cargas distintas están presentes en el cuerpo en cantidades iguales y distribuidas con igual densidad. En este caso, la suma algebraica de las cargas en cualquier volumen elemental del cuerpo es igual a cero y cada uno de estos volúmenes (y el cuerpo en conjunto) será neutro.

Entonces, ¿cómo se carga un cuerpo? Si por un procedimiento cualquiera se crea un exceso de partículas de un signo (y, respectivamente, un déficit de partícula del otro signo), el cuerpo resultará cargado. También se puede, sin cambiar el número total de partículas positivas y negativas, provocar en ellas tal redistribución que en una parte del cuerpo se produzca un exceso de cargas de un signo y en otra, de otro. Esto puede efectuarse aproximando a un cuerpo metálico no cargado otro cargado.

¿Es posible determinar la cantidad de partículas elementales que tiene un cuerpo cargado? Como toda la carga que está formada por un conjunto de cargas elementales, esta será entera y múltiplo de **e**.

$$q = \pm N \cdot e$$, donde N es un número entero.

El valor de la carga elemental **e** es de $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, y si una magnitud física puede tomar solamente valores discretos, se dice que esta magnitud está cuantizada.

La magnitud de la carga, medida en diferentes sistemas inerciales de referencia, resulta ser igual.

En resumen, un cuerpo que tiene cantidades distintas de electrones y de protones se dice que está cargado eléctricamente. Si posee más electrones que protones, tiene carga negativa. Si posee menos electrones que protones, tiene carga positiva.

Es importante señalar que cuando un cuerpo material se carga, no se crean ni destruyen electrones, sino que se mueven de un material a otro. Por lo tanto, la carga eléctrica se conserva.

La ley de conservación de la carga, siempre se ha comprobado, ya sea a gran escala o a nivel atómico y nuclear. De este modo, el principio de la conservación de la carga es uno de los pilares de la física y su importancia es igual a los de la conservación de la energía y la conservación de la cantidad de movimiento, estudiados en cursos anteriores.

Principios de la electrostática

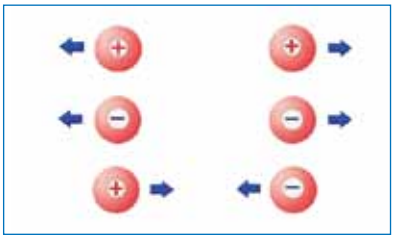
¿Podrías establecer algunos principios presentes en las interacciones eléctricas?

Luego de leer los párrafos anteriores, se pueden establecer los siguientes principios:

- **De atracción y repulsión:** Cargas de igual signo se repelen y cargas de signos opuestos se atraen (**figura 3.11A**).
- **De cargas eléctricas:** Si un sistema está aislado eléctricamente, la suma algebraica de cargas positivas y negativas es constante. Eléctricamente aislado significa que no hay intercambio de cargas con el exterior.

Por otra parte, las cargas eléctricas (Q, q) son escalares y sus unidades son:

1. S. I. Coulomb(C)	$1e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$
2. electrón (e)	$1C = 6{,}25 \cdot 10^{18}\ e$



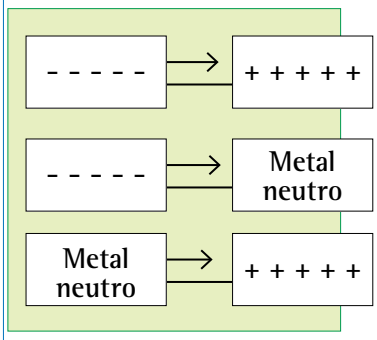
▲ **Figura 3.11 A**
Representación de la interacción entre cargas. Estas cargas son puntuales ya que su tamaño es pequeño en comparación a sus dimensiones.

Flujo de electrones

¿Cómo se puede ionizar un átomo? Como recordarás, los átomos se pueden ionizar al ganar o perder electrones, ya que estos se pueden desplazar desde la periferia (capa externa) de un átomo a la periferia de otro.

De este modo, si un cuerpo tiene carga eléctrica, es porque sus átomos han ganado o perdido electrones. Cuando un cuerpo tiene exceso de electrones se dice que tiene carga negativa, mientras que cuando tiene un déficit de electrones, se dice que tiene carga positiva.

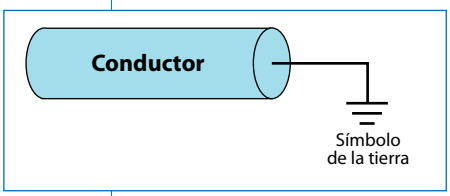
Como habrás notado, el movimiento de los electrones, es responsable de la carga positiva , o negativa de los cuerpos. En un metal por ejemplo, las cargas eléctricas que se mueven en su superficie son los electrones y la cantidad de carga eléctrica por unidad de longitud, área o volumen se denominará densidad de carga eléctrica.



▲ **Figura 3.11 B**
Contacto de dos cuerpo metálicos con distinta densidad de carga.

Pero, ¿qué sucede si se ponen en contacto dos cuerpos metálicos con diferente densidad de carga?

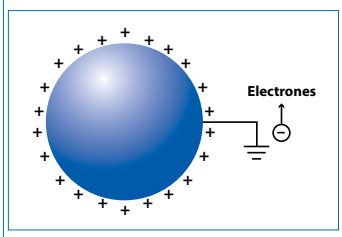
La experiencia muestra que al poner en contacto dichos cuerpos las cargas negativas (electrones) se moverán, tal como lo ilustra la **figura 3.11 B**, desde el cuerpo con mayor densidad de carga negativa hacia aquel con menor densidad de carga negativa.



▲ **Figura 3.11 C**

Ahora, ¿qué sucede con la carga que posee un cuerpo conductor si se conecta a un cuerpo de mayor tamaño denominado tierra? Tal como lo ilustra la **figura 3.11 C**,

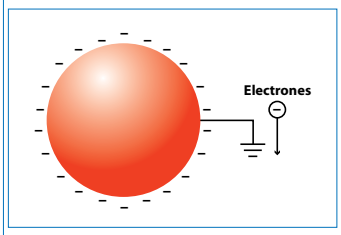
La Tierra es un conductor, y es tan grande que actúa como una fuente prácticamente infinita de electrones adicionales o como un receptor de los electrones no deseados. Por lo que al unir un cuerpo electrizado a la Tierra por medio de un conductor, éste pierde su electrización.



▲ **Figura 3.11 D**

Tal como lo ilustra la **figura 3.11 D**, si conectamos un conductor cargado positivamente a la Tierra, éste se descarga ya que los electrones presentes en ella son atraídos por las cargas positivas del conductor.

Mientras que si un conductor cargado negativamente se conecta a Tierra, éste se descarga ya que los electrones se repelen y desplazan hacia la Tierra (**figura 3.11 E**).



▲ **Figura 3.11 E**

¿CÓMO VAS? actividad

¿Puede desaparecer la carga de un electrón cuando se juntan con el protón en una región del espacio?

Tipos de materiales: conductores, dieléctricos y semiconductores

Desde el punto de vista de la electricidad, ¿cómo crees que se clasifican los cuerpos? La experiencia demuestra que todos los cuerpos se dividen en dos clases:

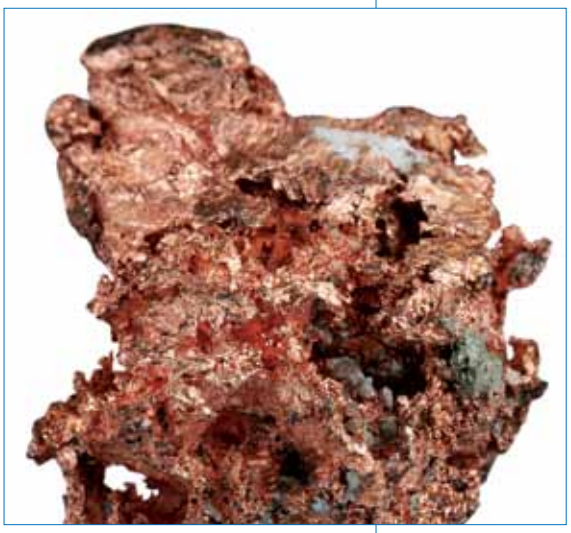


Figura 3.12
Ejemplo de un conductor de primera clase, el cobre

1. **Conductores:** Cuerpos que conducen electricidad.

2. **No conductores:** cuerpos que no conducen electricidad, también llamados aislantes o dieléctricos.

Los conductores se dividen en conductores de primera clase (o conductores electrónicos) y conductores de segunda clase (o electrolíticos). El transporte de cargas eléctricas en los conductores de primera clase no acarrea ninguna **variación en su naturaleza química, ni es sensible en la traslación de las sustancias,** mientras que el transporte de las cargas eléctricas en los conductores de **segunda clase** sí acarrea cambios químicos, los cuales llevan a un desprendimiento de las sustancias componentes en los lugares de contacto con otros conductores. A los de primera clase pertenecen todos los metales (**figura 3.12**), y las sales fundidas, soluciones salinas, ácidas y alcalinas, a los conductores de segunda clase. Los aislantes, en cambio, son los cristales de las sales, los aceites, el aire, el vidrio, la porcelana, la ebonita, el caucho, el ámbar y otras sustancias.



Figura 3.13
Ejemplo de un semiconductor: el selenio (http://www.uhu.es/museovirtualdemineralogia/galerias/clase1/nometales.html)

Además de los conductores, podemos distinguir a **los semiconductores** (**figura 3.13**). Estos son dispositivos compuestos de un material no solo con propiedades aislantes y de conductor, sino también con resistencia que cambia repentinamente cuando cambien otras condiciones, como la temperatura, el voltaje, y los campos eléctricos y magnéticos. Materiales como el silicio y el germanio son ejemplos de semiconductores.

Actualmente, se ha establecido un determinado punto de vista sobre la naturaleza de los conductores y de los aislantes o dieléctricos.

En los metales (conductores de primera clase), parte de los electrones se desplazan libremente por y entre los átomos. En los metales no cargados, las cargas de los electrones que se desplazan libremente se compensan por las cargas positivas, unidas al armazón de la red cristalina del metal. La electrización del conductor se reduce a la variación del número de electrones que entran en él, es decir, en la electrización negativa al conductor se añaden electrones de afuera, mientras que en la electrización positiva se le quita parte de los electrones, lo cual empieza a notarse debido a que en el conductor la cantidad de carga positiva no es compensada con la carga negativa presente en dicho conductor.

En la electrización por inducción (influencia), los electrones, atraídos o repelidos por la carga exterior, se desplazan a un extremo del conductor, extremo en el que se produce un exceso de electrones, lo cual origina la electrización negativa. En el extremo opuesto del conductor, en cambio, debido a la falta de electrones aparece una carga positiva no compensada.

Los electrones de todos los metales son iguales, por eso su desplazamiento no está relacionado con la variación de la composición química del conductor de primera clase. La masa de los electrones es tan pequeña que en las electrizaciones que se consiguen prácticamente no se puede percibir variación alguna de la masa del cuerpo electrizado.

En los conductores de segunda clase no hay electrones libres, pero hay átomos o moléculas con deficiencia o exceso de electrones. Estos átomos o moléculas cargados se denominan iones. El desplazamiento de las cargas en los conductores de segunda clase se debe al traslado de iones, con lo cual se explica que se produzcan en los conductores de segunda clase.

Los dieléctricos, no conductores de electricidad, están presentes en moléculas con igual cantidad de cargas negativas y positivas o de iones que no pueden desplazarse libremente por el interior del dieléctrico. Bajo la acción de las fuerzas eléctricas, las cargas del dieléctrico solamente se desplazan un poco o varían su orientación. Un modelo de este puede ser una sustancia **en que van unidas por parejas cargas de distinto signo** (moléculas polares) orientadas arbitrariamente (**figura 3.14a**), de manera que el dieléctrico, tanto en conjunto como por partes, es neutro. Si se le acerca un cuerpo cargado, las cargas del primero no se desplazan, sino que solamente se orientan de una misma manera (**figura 3.14b**). Esto es: hacia el extremo del dieléctrico, al que se acerca el cuerpo cargado se orientan las cargas del signo contrario, y hacia el extremo opuesto, las del mismo signo que el cuerpo. Este estado se denomina polarización (dieléctrica) y es diferente al de electrización por inducción.

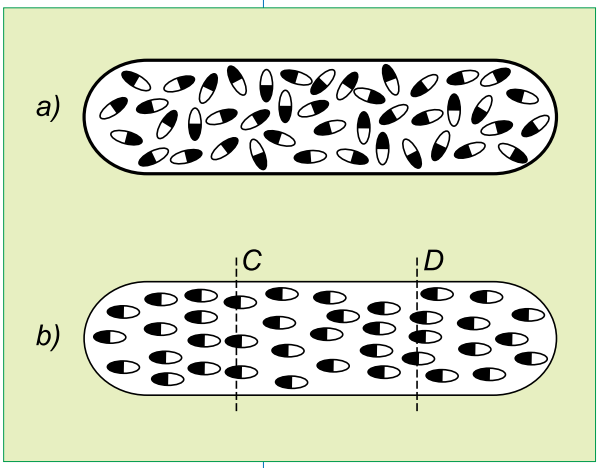


Figura 3.14
a) y b) muestran la polarización de un dieléctrico

Si el dieléctrico polarizado se divide en varias partes, por ejemplo, por las líneas D y C (**figura 3.14a**), cada parte, por separado y en su totalidad, será neutra y solamente en la superficie habrá cargas de uno u otro signo.

Si las fuerzas eléctricas son muy grandes, las moléculas del dieléctrico pueden destruirse y este se hace conductor. Este fenómeno se denomina perforación del dieléctrico, el que también puede ocurrir en condiciones especiales, como las altas temperaturas, para que algunos electrones puedan escaparse de sus órbitas y, de este modo, el aislante se vuelva conductor.

minirresumen

Conductores: Medios materiales en los cuales las cargas eléctricas tienen facilidades de movimiento.

Dieléctricos: Medios materiales en los cuales las cargas no tienen facilidad de movimiento.

¿cómo vas?

actividad

¿Cuál es la diferencia entre un material dieléctrico y un semiconductor?

PARA SABER MÁS

Válvula electrónica

La *válvula electrónica*, también llamada válvula, bulbo o tubo de vacío, es un componente electrónico basado en la propiedad que tienen los metales en caliente de liberar electrones desde su superficie (*Efecto Edison*). De esta forma, se utilizan para amplificar, conmutar, o modificar una señal eléctrica mediante el control del movimiento de los electrones en un espacio "vacío" a muy baja presión, o en presencia de gases especialmente seleccionados.

Fuente: consulta julio 2015 http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/645-v%C3%A1lvula-electr%C3%B3nica

Métodos de electrización

Como aprendiste antes, existen ciertas características que nos permiten clasificar los cuerpos en conductores, semiconductores y dieléctricos. Pero ¿cómo crees que estos se pueden cargar? ¿Puede un cuerpo cargado cargar a uno neutro?

Para cargar un cuerpo se puede partir bien sea de cuerpos previamente cargados o produciendo la ionización de los átomos.

Existen varios métodos para electrizar a los cuerpos, entre los que se cuentan:

a) Electrización por frotación

Si frotamos entre sí dos cuerpos, inicialmente neutros, ocurre entre ellos un intercambio de electrones y, en consecuencia, ambos terminan al final del proceso cargados. Como lo ilustra la **figura 3.15a**, antes de ser frotados, ambos cuerpos eran neutros. Después del roce, **figura 3.15b**, el vidrio se carga positivamente y la lana, negativamente.

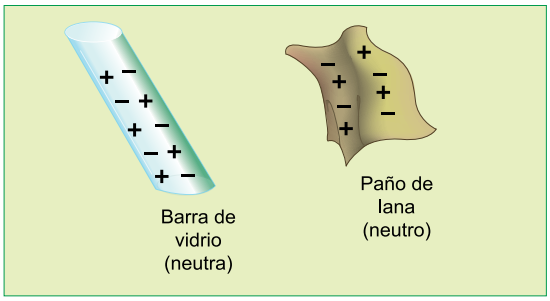


Figura 3.15a
Cuerpos neutros antes de ser frotados

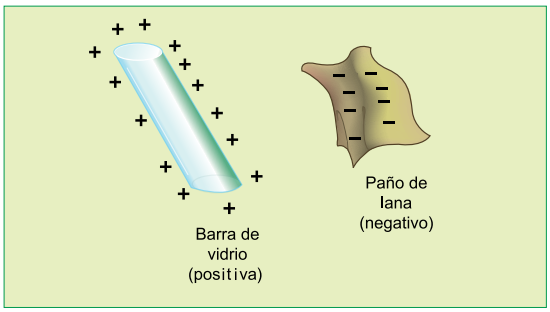


Figura 3.15b
Cuerpos cargados luego de ser frotados

b) Electrización por efecto termoiónico

Como lo ilustra la **figura 3.16**, a altas temperaturas los electrones pueden escapar del cuerpo; por lo tanto, este quedará con carga positiva.

Este fenómeno explica la ionización producida por el calor, cuya principal aplicación es la base de la electrónica de válvulas.

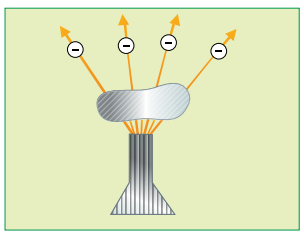


Figura 3.16

c) Electrización por efecto fotoeléctrico

Es la ionización producida por la luz, que, incidiendo sobre una superficie, puede provocar la emisión de electrones (**figura 3.17**).

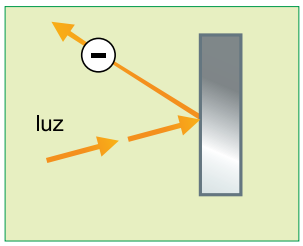
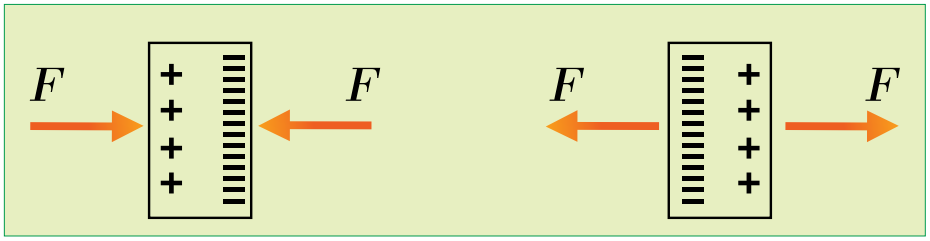


Figura 3.17

d) Electrización por piezoeléctrico

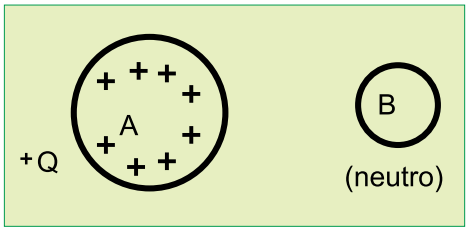
Si se comprimen ciertos cristales, cuarzo por ejemplo, cortados de cierta manera, se produce debido a la disposición de sus átomos, una distribución cargas positivas y negativas sobre sus caras. Tal como lo muestra la **figura 3.18**, los signos de las cargas cambian si en lugar de comprimir se trata de dilatar el cristal.



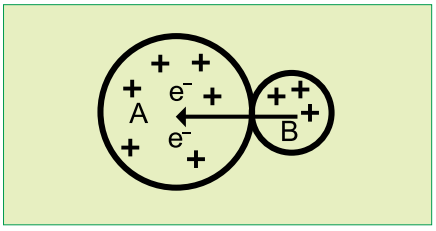
▲ **Figura 3.18**

Inversamente, si se depositan cargas opuestas sobre las caras del cristal, este se contraerá o dilatará.

Este tipo de electrización se utiliza en la grabación y producción del sonido.



▲ **Figura 3.19a**

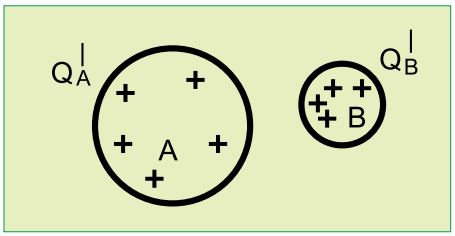


▲ **Figura 3.19b**

e) Electrización por contacto

Este fenómeno se produce cuando dos conductores se tocan, uno cargado y el otro neutro.

Supongamos la situación de la **figura 3.19a**, donde A está cargado positivamente y B es neutro. Si se ponen en contacto, A atraerá electrones desde B y este se electriza positivamente (**figura 3.19b**).



▲ **Figura 3.19c**

Experimentalmente, se verifica que B se electriza con carga de igual signo que A (**figura 3.19c**).

Por otro lado, si A estuviera cargada negativamente, sus electrones en exceso se repelen y pasan en parte a B, que se electrizará negativamente.

Si a los conductores A y B se les aplica el principio de conservación de la carga antes y después del contacto, la carga total permanece constante.

f) Electrización por influencia o inducción eléctrica

Una de ellas (A) deberá estar electrizada (cuerpo inductor) y la otra (B) neutra (cuerpo inducido).

Supongamos, por ejemplo, que el cuerpo (A) esté electrizado negativamente (**figura 3.20a**) y se aproxima al conductor (B) (**figura 3.20b**).

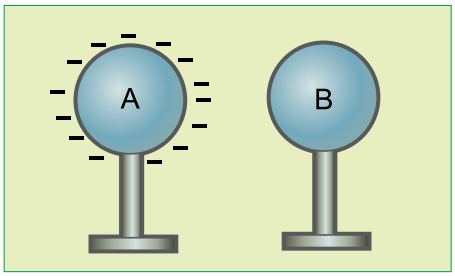


Figura 3.17a
El inductor (A) alejado del cuerpo inducido (B)

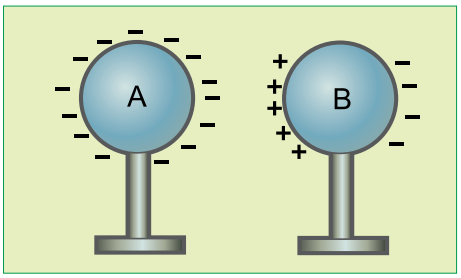


Figura 3.17b
Se aproxima uno al otro y sucede la inducción

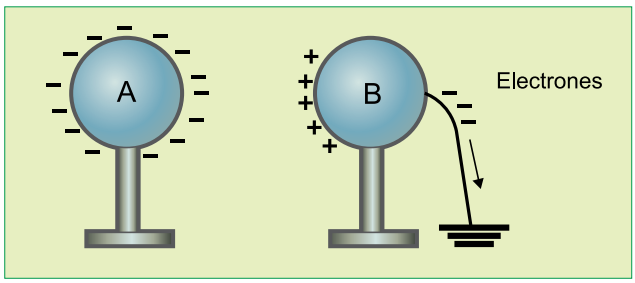


Figura 3.20c
Conectamos el cuerpo inducido (B) a tierra y observamos que los electrones de (B) pasan a tierra

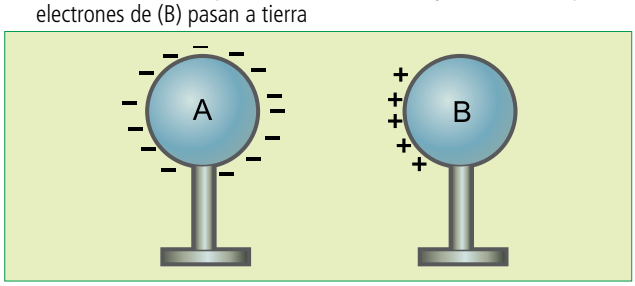


Figura 3.20d
Aún en presencia del inductor (A) deshacemos la conexión a tierra, y el cuerpo inducido (B) queda con carga positiva

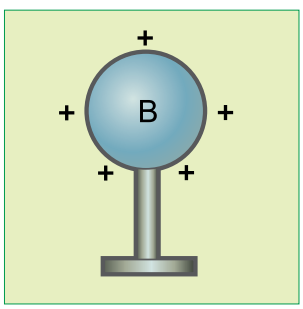


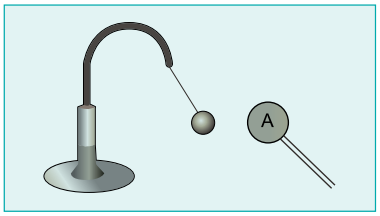
Figura 3.20e
Ahora alejamos el inductor, y las cargas del cuerpo inducido se distribuyen uniformemente por su superficie

¿CÓMO VAS? actividad

¿Se verifica la ley de conservación de la carga eléctrica en cada método de electrización?

Detectores de cuerpos electrizados

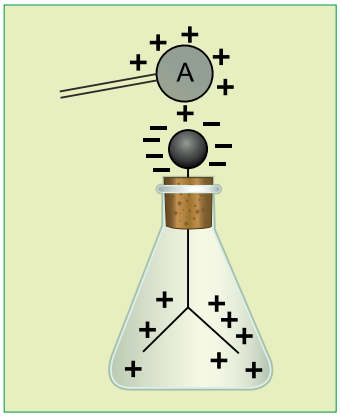
Para poder determinar si los cuerpos poseen carga eléctrica, podemos utilizar los siguientes aparatos:



▲ **Figura 3.21**

El **péndulo eléctrico**: Aparato compuesto por una esferita de médula de sauco, de corcho o de cualquier sustancia liviana que cuelga de un hilo de seda. Para averiguar si el cuerpo está cargado, basta acercarlo a la esferita, que será atraída por los cuerpos que están electrizados. Sin embargo, es imposible determinar su signo (**figura 3.21**).

El **electroscopio**: Es un aparato que permite detectar la presencia de una carga eléctrica; se basa en la acción recíproca de las cargas eléctricas (**figura 3.22**).



▲ **Figura 3.22**

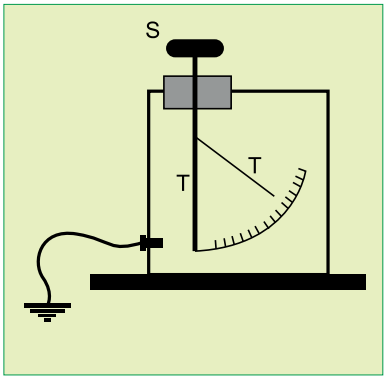
El más simple consiste en una botella cuyo tapón de goma está atravesado por una varilla metálica que termina en dos láminas muy livianas de papel de oro o de aluminio y en el otro extremo finaliza en una esferita metálica.

Al tocar la esfera con un cuerpo cargado, las láminas se cargan **con electricidad del mismo tipo** y se separan. Para descargar el electroscopio, basta tocar la esfera con la mano. Esto significa que a través de nuestro cuerpo se establece contacto con la tierra.

Si a un electroscopio cargado positivamente se le acerca (sin tocarlo) otro cuerpo cargado positivamente, las láminas se separan más (acción de cargas del mismo signo o nombre), y si se acerca un cuerpo cargado negativamente, estas se juntan.

El **electrómetro** es un electroscopio calibrado (**figura 3.23**).

Todos los aparatos no solo acusan la carga eléctrica de un cuerpo, sino también el potencial de un conductor y la diferencia de potencial entre dos puntos por métodos electrostáticos.



▲ **Figura 3.23**

minirresumen

- Cuando un cuerpo gana electrones, está cargado negativamente; en cambio, cuando hay déficit de electrones en el cuerpo, está cargado positivamente.
- Los conductores son medios en los cuales las cargas eléctricas tienen facilidad de movimiento. En cambio, dieléctricos o aislantes son aquellos materiales en que las cargas eléctricas no poseen facilidad de movimiento.
- La forma para poder electrizar un cuerpo recibe el nombre de métodos de electrización. Dentro de estos, podemos nombrar: por frotación, por efecto termoiónico, por efecto fotoeléctrico, por contacto, por inducción, por piezoeléctrico.

minilaboratorio

Objetivo

- Construir un detector de cuerpos cargados.
- Estudiar los métodos de electrización.

Materiales

- papel de aluminio
- 1 m de alambre de cobre
- frasco de vidrio
- corcho o láminas de corcho
- alicate
- globo
- tijera

Procedimiento

1. Corta con la tijeras una lámina de 7 cm de largo y 0,5 cm de ancho.
2. Atraviesa con el alambre de cobre el eje del cilindro formado por el corcho o láminas de corcho.
3. Dobla el extremo del alambre de cobre en forma de "L".
4. Toma la tira de papel de aluminio, dóblala en dos y cuélgala en el gancho de alambre.
5. En el extremo libre, construye una pequeña bolita de cobre.
6. Coloca la lámina de aluminio dentro del frasco y deja la esfera expuesta al medioambiente.

Análisis

1. Infla el globo, frótalo con tu pelo y acércalo al electroscopio. ¿Qué sucede con las láminas de aluminio?
2. De dónde viene esta fuerza. ¿Cómo la llamarías?

TEMA 3: Intensidad del campo eléctrico

AL LEER APRENDERÁS

- El concepto de campo eléctrico.

CONCEPTOS CLAVE

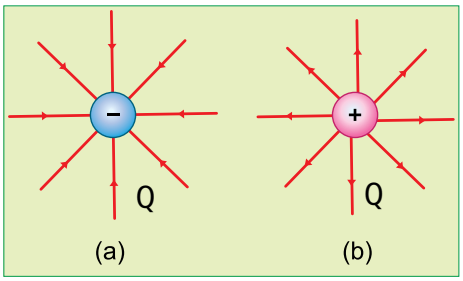
- Campo eléctrico
- Líneas de fuerza
- Reglas para dibujar las líneas de campo

En párrafos anteriores hemos señalado la existencia de un campo eléctrico que se manifiesta en torno a un cuerpo cargado. Pero ¿cuál es la intensidad de dicho campo? ¿Puede existir un campo sin la presencia de un cuerpo cargado? Para describir la interacción electrostática hay dos posibilidades (proposición I y proposición II) que surgen siempre que nos encontremos con una interacción a distancia, como lo es la fuerza eléctrica. La interacción eléctrica, podemos describirla directamente, como ya lo realizamos, mediante la ley de Coulomb (proposición I), o a través de un intermediario al que llamaremos campo (Proposición II).

Sin embargo, la proposición I es equivalente a la proposición II. Analicemos dichas proposiciones:

- **Proposición I:** Si q esta en un punto situado a una distancia r de Q experimenta una fuerza atractiva o repulsiva, según que su signo sea diferente o igual que el de Q.
- **Proposición II.** Esta proposición se expresa de la siguiente forma:

a) Si en un punto del espacio existe una carga *Q*, esta define, en todos los puntos del espacio situados a una distancia *R* de ella, un vector que representamos por $\vec{E}$, que tiene la dirección de la recta que une el punto y la carga *Q*, con sentido hacia la carga *Q* si esta es negativa (**figura 3.24a**) y se aleja de *Q* si es positiva (**figura 3.24b**).

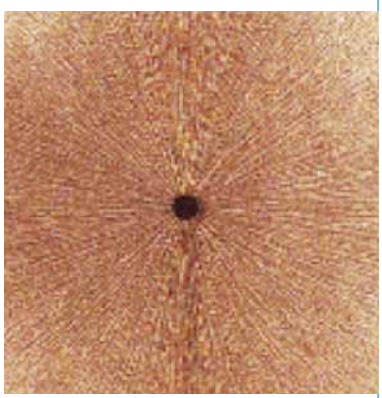


▲ **Figura 3.24**
Campo eléctrico

El vector $\vec{E}$ se conoce como campo eléctrico, que vence la dificultad del concepto de fuerza a distancia desarrollado por el inglés Michael Faraday (1791-1867).

El **campo eléctrico** es una propiedad del espacio adquirida por la presencia de una carga eléctrica (**figura 3.25**).

Desde este punto de vista, podemos definir al campo eléctrico en un punto del espacio que corresponde al vector de posición $\hat{r}$ como la fuerza que experimentaría una carga unitaria positiva si estuviera localizada en ese punto (si su localización no alterara la distribución de cualquiera de las demás cargas en el espacio).
En otras palabras, el campo eléctrico indica la fuerza por unidad de carga.



▲ **Figura 3.25**
En la fotografía se observan las líneas de campo para una carga puntual , la que se han logrado usando un pequeño electrodo cilíndrico que se carga con un generador de Wimshurt, semillas y aceite.

b) La expresión matemática de la ley de Coulomb es

$$\vec{F} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R^2} \cdot \hat{r}$$

De este modo se establece que la fuerza entre dos cuerpos cargados Q y q, a cierta distancia R constante, es directamente proporcional al producto de las cargas.

Ahora, si ordenamos la expresión anterior.

$$\vec{F} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R^2} \cdot \hat{r} = q \cdot \frac{k \cdot Q}{R^2} \hat{r}$$

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la diferencia entre la fórmula $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ y la fórmula $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$?

Obtenemos la expresión $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

donde $\vec{E}$ es un vector que se determina solamente por la carga Q y la distancia R entre las cargas q y Q, sin dependenr de la magnitud de la carga q.

Este vector se denomina intensidad del campo eléctrico y también campo eléctrico creado por la carga Q.

Su magnitud es: $E = \frac{k \cdot Q}{R^2}$

Su unidad en el Sistema Internacional es $\frac{N}{C}$, y va dirigido según la recta que une el punto donde se halla la carga *q* con el punto donde se encuentra la carga *Q*. Se puede decir que la fuerza con que la carga *Q* actúa sobre la carga *q*, es igual al producto de esta carga por la intensidad del campo eléctrico creado por la carga *Q* en el lugar donde se halla la carga *q*.

De esta manera, hemos establecido otra forma de describir la interacción eléctrica.

En lugar de decir que la partícula cargada 1 atrae o repele a la partícula cargada 2, decimos que la primera partícula, al poseer una carga Q_1, crea en el espacio que la rodea un campo especial de fuerzas, campo eléctrico, mientras que la partícula 2 no interactúa directamente con la 1, sino que sobre ella actúa el campo creado por esta.

Pero ¿es posible que el campo eléctrico se manifieste sin existir un cuerpo cargado que lo origine?

Los dos métodos de descripción (a y b) aparecen aquí como con una diferencia puramente formal. En realidad, no es así, y el concepto de campo eléctrico no tiene un carácter formal ni mucho menos. El estudio de los campos eléctricos (y magnéticos) variables con el tiempo demuestra que estos pueden existir sin carga eléctrica y son una realidad física independiente de la misma categoría que las partículas existentes en la naturaleza.

No obstante, estas cuestiones escapan a los límites de las nociones fundamentales de las interacciones de las partículas que se exponen aquí al estudiar las leyes de sus movimientos.

A lo largo de la historia de la física se ha impuesto la posición de la proposición II, que, aunque en principio parece más complicada, resulta muy útil en la descripción de muchos fenómenos.

Esta segunda postura que estamos comentando consiste en asignar a cada punto del espacio que rodea a un cuerpo cargado un vector cuyas características se obtienen a partir de la carga del cuerpo y de la distancia del punto considerado al cuerpo cargado.

Pero ¿cómo se puede detectar si en una región del espacio existe o no un campo eléctrico?

La realidad física observable es que los puntos que rodean a un cuerpo tienen una propiedad diferente en el caso de que el cuerpo esté o no cargado.

Si el cuerpo está cargado, al colocar una carga de prueba cuyo signo es positivo por convención, en uno de los puntos de ese espacio, esta experimenta una fuerza que tiende a acercarla o alejarla del cuerpo cargado según sea el caso. Si esta misma carga de prueba la ponemos en las proximidades de un cuerpo que no está cargado, no detectamos ninguna fuerza sobre ella. Esta es la única experiencia que nos permite afirmar si en ciertos puntos del espacio tenemos o no un campo eléctrico.

TEN PRESENTE

- La carga de pruebas tiene signo positivo por convención y no altera la distribución de las demás cargas.

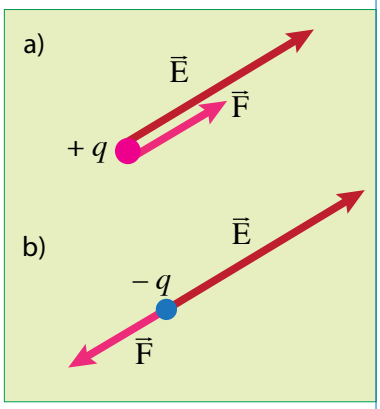


Figura 3.26

TEN PRESENTE

- **Teoría electrónica**

  La teoría electrónica explica los fenómenos eléctricos partiendo de la base de que los átomos son un complejo sistema de materia y energía. La energía está contenida fundamentalmente en los protones y en los electrones.

  El comportamiento eléctrico de la materia depende esencialmente de los electrones.

Por otra parte, si conocemos el sentido de la fuerza, podemos conocer el sentido del campo eléctrico $\vec{E}$.

Como $\vec{F}$ es un vector y q es un escalar, el campo eléctrico también es un vector que tendrá la dirección y sentido de $\vec{F}$ si q es positiva (**figura 3.26a**).

En cambio, si q es negativa, el campo eléctrico tendrá la dirección, pero sentido contrario al de la fuerza (**figura 3.26b**).

Hasta ahora hemos estudiado el campo eléctrico de una partícula cargada, pero ¿cómo es el campo eléctrico creado por muchas cargas eléctricas?

El campo eléctrico creado por muchas cargas eléctricas se determina basándose en la propiedad fundamental de las interacciones eléctricas: la interacción eléctrica entre dos cargas no depende de la presencia de una tercera carga (**figura 3.27**).

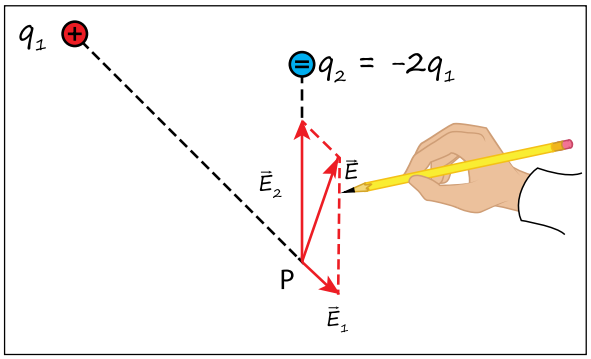


Figura 3.27
Campo eléctrico en el punto P

De esto se puede deducir que si hay muchos cuerpos cargados, el campo creado por ellos es igual a la suma vectorial de los campos eléctricos creados independientemente por cada carga. En otras palabras, los campos eléctricos simplemente se superponen, sin que haya interacción en ello. Esta propiedad excepcional del campo eléctrico se denomina propiedad de superposición.

La **figura 3.28a** ilustra la formación de una línea de campo eléctrico de un dipolo. La **figura 3.28b** ilustra la forma de las líneas de campo eléctrico en el espacio que rodea a un dipolo.

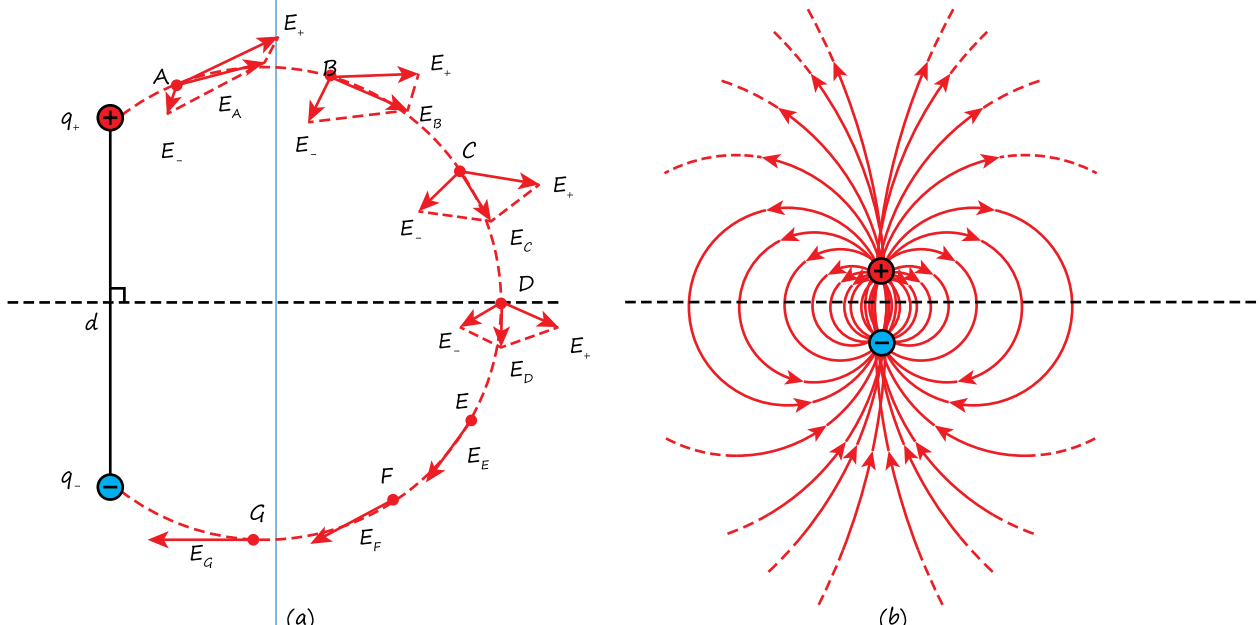
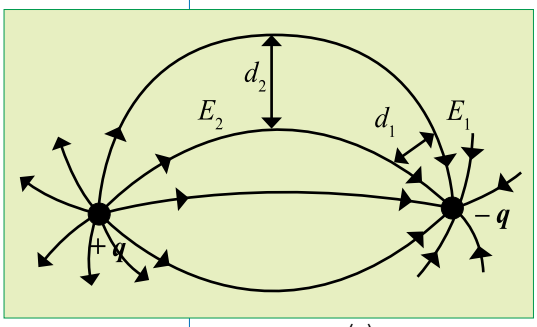


Figura 3.28a y **figura 3.28b**

Líneas de fuerza

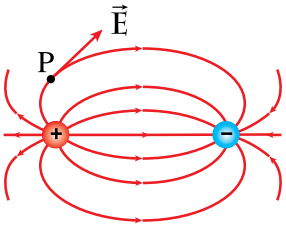
Las línea de fuerza o líneas de campo eléctrico indican las trayectorias que seguiría una carga eléctrica de prueba si se deja libre en un campo eléctrico, además, el campo eléctrico será un vector tangente a la línea de fuerza en el punto donde se coloca la carga de prueba.

En otras palabras, este concepto, introducido por Faraday, permite visualizar la dirección, sentido y, de cierta manera, la magnitud de un campo eléctrico. Para representarlo, se dibujan líneas continuas en cada punto, llamadas líneas de fuerza tangentes, en la dirección del campo eléctrico. Sus características (**figura 3.29a**) son:



(a)

Figura 3.29a
Líneas de fuerza



(b)

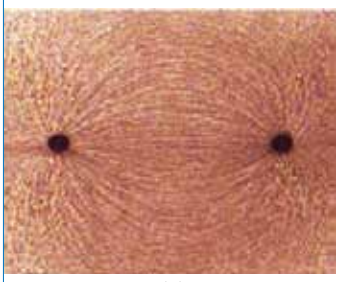
Figura 3.29b
Líneas de campo de un dipolo

1. La tangente a esta línea en un punto da la dirección del campo eléctrico en ese punto. Apuntan alejándose de las cargas positivas y acercándose a las negativas.
2. Las líneas de fuerza empiezan sobre las cargas positivas y terminan sobre las cargas negativas (si tenemos solamente cargas de un solo signo, se supondrá que las cargas de otro signo están en el infinito).
3. La distancia entre dos líneas de fuerza es inversamente proporcional al campo eléctrico medio comprendido entre las dos líneas. En el caso de la **figura 3.29a**, se tiene:

$$E_1 > E_2 \text{ , puesto que } d_1 < d_2$$

4. El número de líneas que emergen o terminan en una carga es proporcional a la magnitud de la carga (**figura 3.29b**).

Es importante anotar que las líneas de fuerza no pueden cruzarse debido a que en cada punto del espacio existe solamente un campo eléctrico, que es la suma de todos los campos eléctricos (**figura 3.29b**).



(c)

Figura 3.29c
En la fotografía se observan las líneas de campo para un dipolo , la que se han logrado usando un pequeño electrodo cilíndrico que se carga con un generador de Wimshurt, semillas y aceite.

Reglas para dibujar las líneas de campo

Las siguientes reglas son útiles para dibujar un modelo de campo:

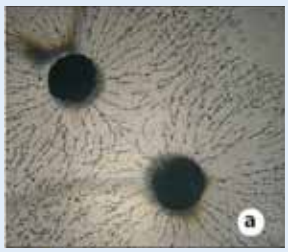
1. Las líneas salen de las cargas positivas y entran en las negativas.
2. El número de líneas que entran o salen es proporcional al valor de la carga.
3. Para partículas cargadas aisladas, las líneas se dibujan en forma simétrica.
4. Las líneas empiezan o terminan en cuerpos cargados.
5. La densidad de líneas es proporcional al valor del campo eléctrico.

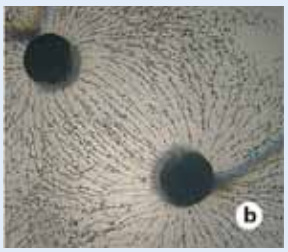
Evaluación individual

actividad

Identificando fuentes de campo eléctrico

En las siguientes imágenes se observan las líneas de campo para una carga puntual, las que se han logrado usando aceite, semillas de pasto y empleando un pequeño electrodo cilíndrico que se carga con el generador de Wimshurt.





a) En la figura a, ¿cuál es el signo de las cargas que generan el campo?

b) En la figura b, ¿cuál es el signo de las cargas que generan el campo?

Ejercicio resuelto N° 3

Situación 1

Calcular la intensidad de campo eléctrico a 50 cm de una carga puntual positiva de $4 \cdot 10^{-6}$ C.

Solución

Identificando la información

Debemos calcular la intensidad del campo eléctrico en el punto indicado.

Conocimiento para resolverlo

Intensidad de campo eléctrico $E = \dfrac{k \cdot Q}{R^2}$

Estrategia

Dado que la carga es positiva, las líneas de campo eléctrico estarán en forma radial y saliendo desde la carga. La intensidad del campo eléctrico estará dada por:

$$E = \frac{k \cdot Q}{R^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6} C}{(0{,}5m)^2} = 1{,}44 \cdot 10^5 \frac{N}{C}$$

AHORA RESUELVES TÚ

Calcula la intensidad de un campo eléctrico a 50 cm de una carga puntual negativa de $1 \cdot 10^{-4}$ C.

Situación 2

¿Cuál es la aceleración de un electrón de carga e y de masa m, situado dentro de un campo eléctrico $\vec{E}$?

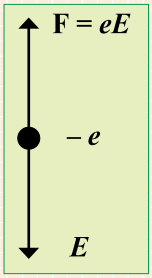


Figura 3.30

Solución

Identificación del problema

Debemos calcular la magnitud de la fuerza; luego, esta magnitud se divide por la masa y se obtiene la aceleración.

Conocimientos para resolverlo

La magnitud de la fuerza electrostática $F = e \cdot E$, y el segundo principio de Newton $F = m \cdot a$.

Estrategia

La figura 3.30 nos da el sentido de la fuerza (hacia arriba) cuya magnitud es $F = e \cdot E$, y aplicando la segunda ley de Newton, tenemos $F = e \cdot E = m \cdot a$, y se deduce $a = \dfrac{e \cdot E}{m}$

AHORA RESUELVES TÚ

Calcula la aceleración de un protón cuya masa es *M* y su carga es *e*, situada dentro de un campo eléctrico *E*.

Situación 3

Se tiene un campo eléctrico uniforme dirigido verticalmente hacia arriba, cuya magnitud es $E = 1 \cdot 10^4$ N/C.

Calcular

a) El módulo de la fuerza ejercida por este campo sobre el electrón.

b) La rapidez que adquirirá el electrón en el campo anterior cuando haya recorrido 1 cm partiendo del reposo. Desprecie el efecto gravitatorio.

c) El tiempo que necesita el electrón para recorrer 1 cm.

d) La energía cinética del electrón en el caso anterior.

Datos: Masa del electrón $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg; carga $q = e = 2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Solución

Identificación del problema

Debemos calcular la magnitud de la aceleración, y luego, utilizando la distancia y las ecuaciones cinemáticas, encontrar la rapidez, el tiempo y, finalmente, la energía cinética.

Conocimientos para resolverlo

La magnitud de la fuerza electrostática F = e · E, el segundo principio de Newton

F = m · a, ecuaciones cinemáticas

($v^2 = 2 \cdot a \cdot d$, $d = \frac{1}{2} a \cdot t^2$, $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$)

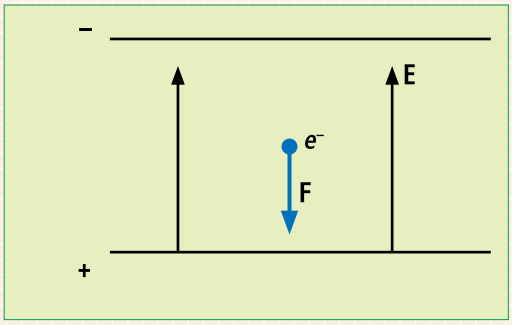


Figura 3.31

Estrategia

a) De la definición de intensidad de campo eléctrico, tenemos $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$. Como la carga es negativa, el vector $\vec{F}$ tiene sentido opuesto al vector $\vec{E}$, (**figura 3.28**). Su magnitud es:

$$F = e \cdot E = 1 \cdot 10^{-19}\ C \cdot 1 \cdot 10^{4}\ \frac{N}{C} = 1 \cdot 10^{-15}\ N$$

b) Aplicando la fórmula

$v^2 = 2 \cdot a \cdot d = 2 \cdot \frac{F}{m} \cdot d = 2 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-15}\ N}{9{,}1 \cdot 10^{-31} kg} \cdot 1 \cdot 10^{-2}\ m = 35 \cdot 10^{12}\ \frac{m^2}{s^2}$; luego, la rapidez es $v \approx 6 \cdot 10^{6}$ m/s.

c) De la fórmula $d = \frac{1}{2} a \cdot t^2$, obtenemos $t = \sqrt{\frac{2 \cdot d}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} m}{1 \cdot 10^{-15}\ \frac{m}{s^2}}} = 3{,}4 \cdot 10^{-9}\ s$

d) De la fórmula $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ kg \cdot 35 \cdot 10^{12}\ \frac{m^2}{s^2} = 1{,}6 \cdot 10^{-17}\ J$

AHORA RESUELVES TÚ

Se tiene un campo eléctrico uniforme dirigido verticalmente hacia arriba cuya magnitud es $E = 1 \cdot 10^{6}$ N/C.

Calcular

a) El módulo de la fuerza ejercida por este campo sobre una partícula alfa.

b) La rapidez que adquirirá la partícula alfa en el campo anterior cuando haya recorrido 1 cm partiendo del reposo. Desprecie el efecto gravitatorio.

c) El tiempo que necesita la partícula alfa para recorrer 1 cm.

d) La energía cinética de la partícula alfa en el caso anterior.

Datos: Masa de la partícula alfa $m = 6{,}68 \cdot 10^{-27}$ kg; carga $q = +2 \cdot e = 2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

minirresumen

- El campo eléctrico es una propiedad del espacio adquirida por la presencia de una carga eléctrica. Las líneas de campo permiten visualizar la dirección y el sentido de un campo. Las líneas se inician en las cargas positivas y terminan en las negativas.

TEMA 4: Potencial electrostático

AL LEER APRENDERÁS

- El concepto de energía potencial y potencial eléctrico.

CONCEPTOS CLAVE

- Energía potencial eléctrica
- Potencial eléctrico

En segundo año medio estudiaste la energía potencial gravitacional de un cuerpo dentro de un campo gravitacional y habrás notado que muchos problemas se simplifican con ayuda de este concepto. Esta idea puedes aplicarla también a los campos eléctricos.

Muchas dificultades, en especial los problemas que surgen por la naturaleza vectorial del campo eléctrico, desaparecen con los conceptos de energía potencial eléctrica y de un nuevo concepto: el potencial eléctrico.

Por otra parte, el potencial eléctrico es fundamental para que puedas comprender la teoría de los circuitos.

Energía potencial eléctrica

La fuerza eléctrica $\vec{F}$, ejercida por un campo eléctrico uniforme $\vec{E}$, es igual a $q\cdot\vec{E}$, cuando la carga produce un desplazamiento $\Delta\vec{s}$ a lo largo de cualquier trayectoria que una los puntos a y b de la **figura 3.32**. El trabajo de esta fuerza es:

$$W = \int_a^b q\cdot\vec{E}\cdot\Delta\vec{s} = \int_a^b q\cdot E\cdot\Delta s\cdot\cos\varnothing$$

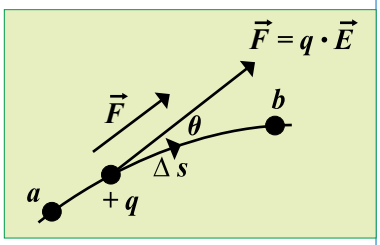


Figura 3.32

Como recordarás, el trabajo de las fuerzas gravitacionales es independiente de la trayectoria recorrida para ir de *a* hacia *b*. Como la fuerza eléctrica entre las cargas eléctricas es matemáticamente análoga a las fuerzas gravitacionales, el trabajo que efectuarán cuando van de *a* hacia *b* será también independiente de la trayectoria recorrida. Diremos, por tanto, que las fuerzas eléctricas son conservativas.

De este modo, podemos expresar el trabajo de tales fuerzas como la diferencia de los valores que una cantidad llamada energía potencial tiene en los dos puntos, o sea:

$$W = U_a - U_b$$

Por lo tanto, la diferencia de energía potencial eléctrica de una carga eléctrica dentro de un campo eléctrico (valor inicial menos el valor final) es igual al trabajo que la fuerza producida por el campo realiza sobre la carga, es decir:

$$W = U_a - U_b = \int_a^b q\cdot\vec{E}\cdot\Delta\vec{s} = \int_a^b q\cdot E\cdot\Delta s\cdot\cos\varnothing$$

Es evidente que la energía potencial en un punto se definirá si elegimos un punto de referencia arbitrario y le asignamos la energía potencial cero.

Ejercicio resuelto N° 4

Situación 1

¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza $\vec{F}$ producida por un campo eléctrico $\vec{E}$ constante, cuya intensidad es de 300 N/C, sobre una carga q de $1\cdot10^{-6}$ C, cuando esta se desplaza a una distancia de 20 cm en dirección del campo?

Solución

Identificación del problema Debemos calcular la intensidad de la fuerza y luego el trabajo realizado.

Conocimiento para resolverlo Intensidad de la fuerza $\vec{F} = e\cdot\vec{E}$, y luego, el trabajo $W = q\cdot\vec{E}\cdot\vec{s}$.

Estrategia

Como el campo es constante, la fuerza $\vec{F}$ también es constante en la dirección del campo eléctrico y, por lo tanto, en la dirección del desplazamiento $\vec{s}$. El trabajo es:

$$W = q\cdot\vec{E}\cdot\vec{s} = 1\cdot10^{-6}\ C\cdot300\ \frac{N}{C}\cdot0{,}2\ m = 3\cdot10^{-5}\ J$$

AHORA RESUELVES TÚ

Calcula el trabajo realizado por la fuerza $\vec{F}$ producida por un campo eléctrico $\vec{E}$ constante, cuya intensidad es de 3000 N/C, sobre una carga q de $1 \cdot 10^{-4}$ C, cuando esta se desplaza formando un ángulo de 60° con la dirección del campo, de una distancia de 30 cm.

Situación 2

¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza $\vec{F}$ producida por un campo eléctrico $\vec{E}$ constante cuya intensidad es de 300 N/C, sobre una carga q de $1 \cdot 10^{-6}$ C, cuando esta se desplaza una distancia de 20 cm en dirección perpendicular al campo?

Solución

Identificación del problema

Debemos calcular la intensidad de la fuerza, usar el ángulo que forma el vector desplazamiento y el campo, y luego el trabajo realizado.

Conocimiento para resolverlo

Intensidad de la fuerza $\vec{F} = e \cdot \vec{E}$, luego el trabajo: $W = q \cdot E \cdot s \cdot \cos\varnothing$

Estrategia

Como el trabajo es un producto escalar entre el campo eléctrico y el desplazamiento de la carga, consideremos el ángulo de 90° formado por ambos vectores; por lo tanto, en la dirección del desplazamiento s, el trabajo es:

$$W = q \cdot E \cdot s \cdot \cos\varnothing = 1 \cdot 10^{-6}\ C \cdot 300\ \frac{N}{C} \cdot 0{,}2\ m \cdot \cos 90° = 1 \cdot 10^{-6}\ C \cdot 300\ \frac{N}{C} \cdot 0{,}2\ m \cdot 0 = 0\ J$$

AHORA RESUELVES TÚ

Calcula el trabajo realizado por la fuerza $\vec{F}$ producida por un campo eléctrico $\vec{E}$ constante, cuya intensidad es de 3000 N/C, sobre una carga q de $1 \cdot 10^{-4}$ C, cuando esta se desplaza a una distancia de 30 cm y forma un ángulo de 60° con la dirección del campo.

Potencial eléctrico

Introduciremos el concepto de energía potencial por unidad de carga, de modo que llamaremos **diferencia de potencial** entre dos puntos a la diferencia de energía potencial de una carga, dentro de un campo eléctrico entre dos puntos divididos por el valor de la carga, o también, al trabajo realizado por la fuerza producida por el campo dividido por la carga, o sea:

$$V_a - V_b = \frac{U_a - U_b}{q} = \frac{W}{q}$$

La diferencia de potencial $V_a - V_b$ se escribe generalmente V_{ab} y se denomina **voltaje** entre a y b; es un escalar y su unidad es $\frac{\text{joule}}{\text{Coulomb}} = \text{Volt}$

Evidentemente que si se conoce la diferencia de potencial V_{ab} entre dos puntos, se puede conocer el trabajo que una carga q puede realizar si se desplaza de *a* hasta b, es decir:

$$W = q \cdot V_{ab}$$

Este trabajo se convierte generalmente en energía cinética de la carga q o si el medio es viscoso y la carga se desplaza con velocidad constante, en calor, debido a los choques con las moléculas del medio.

Finalmente, si remplazamos W por su expresión en función del campo eléctrico

$$W = q \cdot V_{ab} = \int_a^b q \cdot \vec{E} \cdot \Delta\vec{s} = \int_a^b q \cdot E \cdot \Delta s \cdot \cos\varnothing$$

TEN PRESENTE

- Para medir la diferencia de potencial (o voltaje) entre dos puntos separados eléctricamente, se utiliza un dispositivo denominado voltímetro, el cual se conecta entre ambos puntos.

  Este instrumento permite medir, además, el voltaje entre los bornes de una batería o entre dos puntos de un circuito eléctrico.

Obtenemos para un campo eléctrico uniforme $V_{ab} = \int_a^b \vec{E} \cdot \Delta\vec{s} = \int_a^b E \cdot \Delta s \cdot \cos\emptyset$

Como se indicó para la energía potencial, el potencial en un punto será definido si elegimos un punto de referencia arbitrario y le asignamos el potencial cero.

Resumiendo, al igual que la fuerza, la energía potencial U de la carga *q* que se halla en un campo eléctrico cualquiera es proporcional a la magnitud de esta carga, es decir,

$$U = q \cdot V$$

La magnitud V de esta ecuación es la energía potencial por unidad de carga y se denomina potencial eléctrico o potencial del campo eléctrico.

Si realizamos una variación en la energía potencial,

$$\frac{\Delta U}{\Delta s} = q \cdot \frac{\Delta V}{\Delta s}$$

Comparando esta definición con $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, donde $\vec{F}$ es la fuerza que actúa sobre la carga *q* y recordando que la fuerza a lo largo de la trayectoria donde se realiza trabajo es $F_s = -\frac{\Delta U}{\Delta s}$, podemos concluir que $E_s = -\frac{\Delta V}{\Delta s}$. Es muy importante señalar que esta expresión permite determinar E en un potencial eléctrico constante.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la diferencia entre la energía potencial eléctrica y potencial eléctrico?

Potencial producido por una carga puntual

La intensidad del campo eléctrico de una **carga puntual** es $E = \frac{k \cdot q}{r^2}$. Si se toma un Δr en la dirección del campo eléctrico, formando un ángulo de 0° entre el vector $\vec{E}$ y el vector desplazamiento $\Delta\vec{r}$, entonces

$$V_{ab} = \int_a^b \vec{E} \cdot \Delta\vec{r} = \int_a^b \frac{k \cdot q}{r^2} \cdot \Delta r \cdot \cos 0^\circ = \int_a^b \frac{k \cdot q}{r^2} \cdot \Delta r$$

Ahora, dividamos el camino de r_a a r_b en una infinidad de pequeños intervalos $r_1 - r_a$, $r_2 - r_1$, $r_3 - r_2$,..., $r_b - r_n$ (**figura 3.33**) y considerando el campo promedio (media proporcional) constante en cada intervalo, o sea, los campos $\frac{k \cdot q}{r_a \cdot r_1}$, $\frac{k \cdot q}{r_1 \cdot r_2}$, ... y en el primer intervalo, se tiene que $V_{a1} = \frac{k \cdot q}{r_a \cdot r_1}(r_1 - r_a) = k \cdot q\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_1}\right)$ y para los otros $V_{12} = k \cdot q\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$, hasta llegar a $V_{nb} = k \cdot q\left(\frac{1}{r_n} - \frac{1}{r_b}\right)$. Y al sumar todas estas diferencias de potencial elementales obtenemos $V_{ab} = V_{a1} + V_{12} + \cdots + V_{nb} = k \cdot q\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right)$.

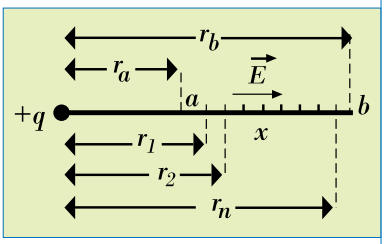


Figura 3.33

minirresumen

- El vector $\vec{E}$ se conoce como campo eléctrico que vence la dificultad del concepto de fuerza a distancia, desarrollado por el inglés Michael Faraday (1791-1867).
- El campo eléctrico es una propiedad del espacio adquirida por la presencia de una carga eléctrica.
- Diferencia de potencial entre dos puntos corresponde a la diferencia de energía potencial de una carga dentro de un campo eléctrico entre dos puntos divididos por el valor de la carga, o también al trabajo realizado por la fuerza producida por el campo dividido por la carga.

Ejercicio resuelto N° 5

Una carga q de $-1 \cdot 10^{-6}$ C se desplaza en dirección de un campo eléctrico $\vec{E}$ constante, cuya intensidad es de 300 N/C, entre los puntos a y b separados por una distancia de 20 cm. ¿Cuál es la diferencia de potencial entre estos puntos?

Solución

Identificando la información

Debemos calcular el trabajo realizado por el campo, y luego el voltaje entre los puntos a y b.

Conocimiento para resolverlo Como el ángulo formado por el campo y el desplazamiento es 0°, el trabajo es:

$$W = q \cdot E \cdot s \text{ y el voltaje entre dichos puntos es } V_{ab} = \frac{W}{q}.$$

Estrategia

Como el campo es constante, el trabajo es:

$$W = q \cdot E \cdot s = -1 \cdot 10^{-6}\ C \cdot 300\ \frac{N}{C} \cdot 0{,}2\ m = -3 \cdot 10^{-5}\ J$$

Ahora la diferencia de potencial es:

$$V_{ab} = \frac{3 \cdot 10^{-5}\ J}{-1 \cdot 10^{-6}\ C} = -6\ V$$

AHORA RESUELVES TÚ

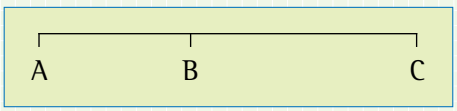
Una carga q de $1 \cdot 10^{-6}$ C se desplaza, en dirección de un campo eléctrico $\vec{E}$ constante, cuya intensidad es de 300 N/C, entre los puntos *a* y *b* separados a una distancia de 20 cm. ¿Cuál es la diferencia de potencial entre estos puntos? Existe una diferencia con el trabajo realizado en el ejercicio anterior.

Evaluación de sección 1

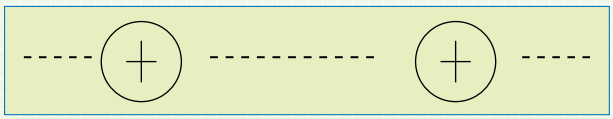
1. ¿Cuáles son las analogías que se presentan entre la interacción eléctrica y la interacción gravitacional?

2. ¿Por qué es necesario introducir el concepto de carga en la interacción eléctrica?

3. En el punto B del esquema existe una partícula móvil de carga eléctrica negativa. En los puntos A y C se encuentran cargas eléctricas fijas de tamaño y signo desconocidos. Se observa que B puede permanecer en reposo en el punto medio si las únicas fuerzas que actúan sobre ella se deben a las cargas A y C. ¿De qué tamaño y signo son las cargas?

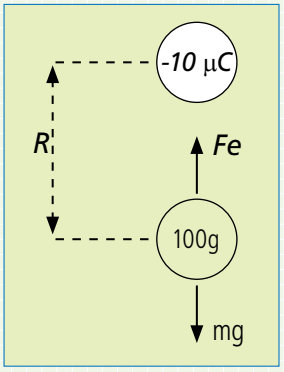


4. La figura muestra dos cargas puntuales fijas Q_1 y Q_2, ambas positivas y tales que $Q_1 > Q_2$. Se desea colocar una carga q (también puntual) en la recta que pasa por Q_1 y Q_2, de manera que esta quede en equilibrio. ¿Dónde debe ubicarse la carga q?



5. En el átomo de hidrógeno neutro, ¿qué interacción tiene mayor intensidad, la eléctrica o la gravitacional?

6. En la siguiente figura, un cuerpo de masa 100 g tiene una carga de 1 μC. ¿A qué distancia por encima de él se debe colocar otro cuerpo cargado con −10 μC para que el primero esté en equilibrio?
Datos: $\mu = 10^{-6}$, $g = 10\ \frac{m^2}{s}$



TEMA 1: Corriente eléctrica

AL LEER APRENDERÁS

- A describir la corriente como un flujo de cargas eléctricas.
- A distinguir entre corriente contínua y corriente alterna.

CONCEPTOS CLAVE

- Naturaleza de la carga eléctrica
- Portadores de carga

¿Qué acciones tomas cuando la compañía eléctrica comunica a la población que se suspende el suministro eléctrico por unas horas? Por otra parte, ¿cómo funcionan los aparatos eléctricos que tienes en tu casa?, ¿enciende una ampolleta si los cables que llegan a ella se cortan? ¿Qué causa que una corriente eléctrica se mueva por un aparato eléctrico cuando lo encendemos?

Como recordarás de la sección anterior, cuando un cuerpo se carga, suceden fenómenos a su alrededor. También recordarás que los cuerpos se pueden clasificar en conductores, semiconductores y dieléctricos.

Pero ¿qué ocurre si se conectan dos conductores cargados por un hilo conductor?, ¿se desplaza la carga?, ¿desaparece el campo eléctrico de una carga que se mueve?

Para que puedas describir una corriente eléctrica, necesitas conocer el concepto de energía potencial eléctrica, el concepto de potencial eléctrico, los conceptos de cinemática (velocidad, aceleración), de dinámica (fuerzas) y, por otra parte, aplicar los principios de Newton en la resolución de problemas, formular explicaciones a situaciones experimentales al identificar y procesar datos.

La temática se centra en la electrodinámica, que es el estudio de las cargas en movimiento. Estudiarás especialmente el movimiento de las cargas en los conductores en cuyo interior se ha establecido un campo eléctrico.

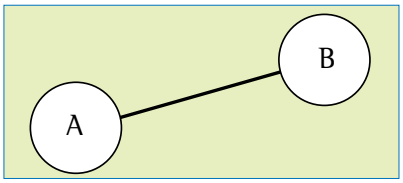
Estos conocimientos te permitirán responder preguntas como la siguiente: ¿por qué brilla intensamente el filamento de un foco, pero no de la misma forma los alambres conectores cuando hay una corriente eléctrica circulando en ellos?

Naturaleza de la corriente eléctrica

En la sección anterior, estudiaste los métodos de electrización (contacto, inducción, fotoeléctrico, entre otros.) que explicaron las formas para que un cuerpo adquiera carga eléctrica.

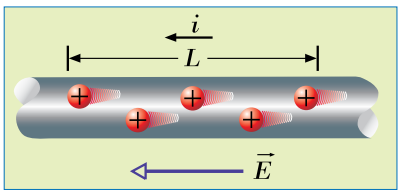
Por otra parte, un conductor cargado produce a su alrededor, en cada punto del espacio, además de un campo eléctrico, un potencial eléctrico.

Pero, ¿Qué sucede si unimos por un hilo de material conductor dos conductores neutros?, ¿cambia el fenómeno si unimos por un hilo conductor dos cuerpos cargados?



▲ Figura 3.34

Si tenemos dos conductores A y B cargados con distinta densidad de carga, éstos tendrán además distinto potencial eléctrico. Si se unen por un hilo de material conductor, se puede observar el movimiento de cargas de un conductor a otro hasta que los potenciales eléctricos de ambos se igualen. (**figura 3.34**).



▲ Figura 3.35

¿Cuál es la causa del movimiento de las cargas? Esto se debe a la diferencia de potencial de los dos cuerpos A y B que estableció en el hilo conductor un campo eléctrico, y este, actuando sobre las cargas del hilo conductor, produjo una fuerza eléctrica de intensidad $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, que los hizo mover (**figura 3.35**).

De este modo, la corriente se atribuye al desplazamiento de cargas eléctricas elementales. Los portadores de estas cargas son los iones libres (positivos o negativos) en los líquidos conductores y en los gases ionizados (**figura 3.36**).

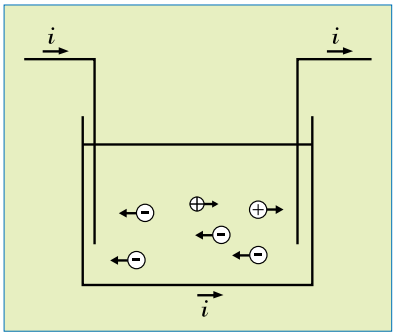


Figura 3.36

En el caso de los conductores sólidos, los que en su mayoría son metales, los portadores de carga son los electrones; por lo tanto, esto es solamente un transporte de cargas negativas (**figura 3.37**).

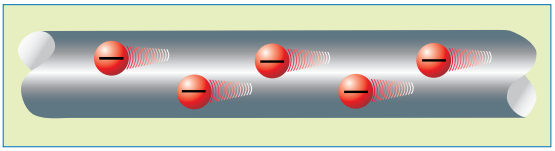


Figura 3.37

¿CÓMO VAS? actividad

¿Qué sucedería si unes dos conductores con un hilo cuyo material es un dieléctrico?

Corriente eléctrica

Si a través de una superficie imaginaria A, como lo muestra la **figura 3.38**, se traslada una carga total distinta de cero, se dice que a través de esta superficie pasa corriente eléctrica.

La corriente puede pasar por los cuerpos sólidos (metales, semiconductores), por los líquidos (electrolitos) y por los gases (una descarga eléctrica).

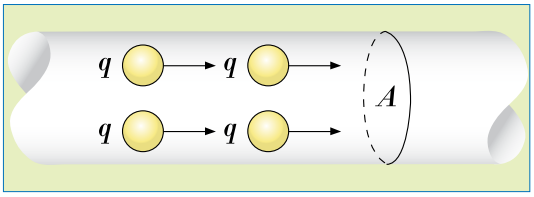


Figura 3.38
Corriente eléctrica a través de una superficie

Como se explicó en los párrafos anteriores, para que la corriente eléctrica pase, es necesario que en el cuerpo (o en el medio dado) existan partículas con carga que puedan desplazarse dentro del límite de todo el cuerpo. Estas partículas se llaman portadores de carga y pueden ser electrones, iones o, finalmente, partículas macroscópicas, portadoras de carga excedente (por ejemplo, partículas de polvo o gotitas con carga).

La corriente se produce, si dentro del cuerpo existe un campo eléctrico. Los portadores de carga participan en el movimiento térmico de las moléculas y, por consiguiente, se mueven con una velocidad aleatoria.

Pero, ¿qué sucede con el movimiento caótico de los portadores cuando se conecta un campo? Cuando se conecta el campo eléctrico, al movimiento caótico de los portadores se superpone un movimiento ordenado con una cierta velocidad de desplazamiento.

Se puede deducir que la corriente eléctrica se puede definir como un movimiento ordenado de las cargas eléctricas.

De este modo, y como característica cuantitativa de la corriente eléctrica, sirve la magnitud de la carga transportada a través de la superficie considerada en la unidad de tiempo. Esta magnitud se llama intensidad de corriente.

TEN PRESENTE

- Superficies equipotenciales son aquellas como la superficie de una esfera de radio R. Todos sus puntos están a una misma distancia de su centro. En cada punto tiene un potencial eléctrico dado por

$$v = k \cdot \frac{q_0}{R},$$

es decir, en un punto A de esta superficie tendremos

$$v_A = k \cdot \frac{q_0}{R_A};$$

en un punto B tendremos

$$v_B = k \cdot \frac{q_0}{R_B}.$$

Como $R_A = R_B$, $V_B = V_A$,

es decir, $V_A - V_B = 0$

y como $W = q \cdot V_{ab}$,

no es necesario efectuar trabajo para trasladar una carga q entre A y B.

Superficies equipotenciales son aquellas cuyos puntos tienen igual potencial.

TEN PRESENTE

- Para medir la intensidad de la corriente que circula en un conductor se utiliza un instrumento llamado amperímetro.

  Para efectuar la medida es necesario que toda la corriente eléctrica pase por el amperímetro. Para ello el conductor se corta en un punto y se intercala el amperímetro de manera que este entre a formar parte del conductor.

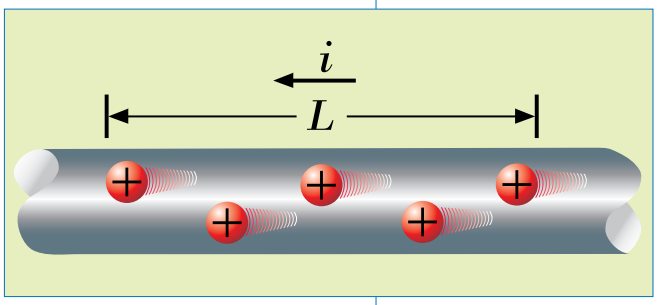
Podemos advertir que la intensidad de la corriente es en esencia el flujo de carga por unidad de tiempo a través de la superficie (de igual forma puedes recordar el concepto de flujo de energía, flujo de líquido, entre otros).

Ahora, si durante un intervalo de tiempo Δt se transporta a través de la superficie una carga Δq, la intensidad de la corriente se define como:

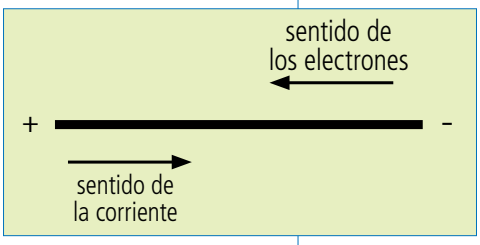
$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Su unidad en el sistema internacional es el ampere; un ampere es la corriente invariable que, si está presente en dos conductores paralelos de longitud infinita y separados por una distancia de un metro en el espacio vacío, provoca que cada conductor experimente una fuerza de exactamente $2 \cdot 10^{-7} \frac{N}{m}$.

Pero ¿podrías estimar el valor de la intensidad de corriente cuando se enciende una linterna, un motor de auto o un televisor? Cuando se enciende una linterna eléctrica, la corriente en el dispositivo es de entre 0,5 y 1 A; la corriente eléctrica en los cables del motor de arranque de un automóvil es de unos 200 A. Las corrientes en los circuitos de radio y de televisión, por lo general, se expresan en miliamperes ($1\ mA = 10^{-3}$ A) o en micro amperes ($1\ \mu A = 1 \cdot 10^{-6}$ A), y las corrientes en los circuitos de un computador se expresan en nanoamperes ($1\ nA = 10^{-9}$ A) o en picoamperes ($1\ pA = 10^{-12}$ A).



▲ **Figura 3.39**



▲ **Figura 3.40**

Sentido de la corriente

En los líquidos y gases conductores, las cargas positivas se mueven del potencial eléctrico más alto al potencial más bajo y las cargas negativas en sentido contrario. Pero ¿cuál es el sentido de la corriente?

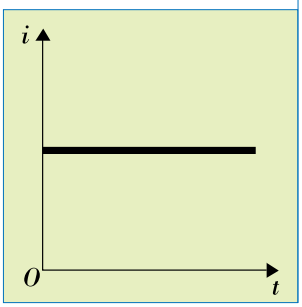
Por convección, el sentido de la corriente coincide con el de los portadores positivos (**figura 3.39**).

En los metales, resulta que el sentido real del desplazamiento de los electrones que constituyen la corriente, está en sentido contrario al sentido convencional de la corriente (**figura 3.40**).

Tipos de corriente

a) **Corriente continua** (cc): Si se mantiene constante la diferencia de potencial entre los puntos A y B dentro de un hilo conductor, la corriente que circula por él es constante. Si esta situación ocurre, diremos que tenemos una corriente continua. En muchos circuitos sencillos, como los de las linternas eléctricas, taladros eléctricos y otros aparatos que usan pilas, se utiliza este tipo de corriente (**figura 3.41**).

b) **Corriente alterna** (ca): Si la diferencia de potencial A y B cambia de sentido con una cierta frecuencia, la corriente que pasa por el hilo conductor cambia de sentido con esta frecuencia y se conoce como corriente alterna.



◀ **Figura 3.41**
Corriente continua

En los aparatos electrodomésticos, como tostadores, refrigeradores, televisores, se utiliza este tipo de corriente (**figura 3.42**).

Pero ¿es posible tener corriente estacionaria (constante en el tiempo)? Solamente si el material conductor forma una trayectoria cerrada, conocida como **circuito completo.** En esta situación estacionaria, la carga total en cada segmento del conductor es constante. Por tanto, la razón del flujo de carga que sale del segmento por un extremo en cualquier instante es igual a la razón del flujo que entre por el otro extremo del segmento, y **la corriente es la misma en todas las secciones transversales del circuito.** Usaremos esta observación cuando analicemos los circuitos eléctricos más adelante de esta sección.

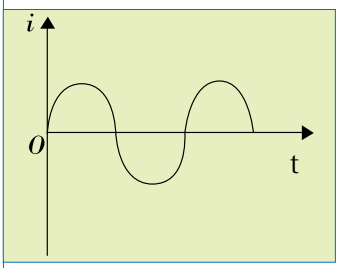


Figura 3.42
Corriente alterna

Ejercicio resuelto Nº 1

APLICANDO EL CONCEPTO DE CORRIENTE ELÉCTRICA

1. Se tiene una corriente de 0,5 A en el foco de una linterna durante 2 minutos. ¿Cuánta carga pasa por el foco en este tiempo? ¿Cuántos electrones son?

Identificando la información. En este problema, la intensidad de corriente (i) y el tiempo (t) son la información importante además, 1 coulomb es igual a $6{,}25 \cdot 10^{18}$ electrones. En resumen, los datos disponibles son:

$$i = 0{,}5\ \text{A} \qquad t = 120\ \text{s} \qquad C = 6{,}25 \cdot 10^{18}\ \text{e}$$

Estrategia. Usando los datos disponibles y la definición de corriente, podemos encontrar la carga q. Luego, la carga puede ser convertida en un número específico de electrones.

Solución

De la ecuación $i = \dfrac{\Delta q}{\Delta t}$, obtenemos

$$q = i \cdot t = 0{,}5\ \frac{C}{s} \cdot 120\ s = 60\ C$$

Ahora, el número de electrones n_e, se calcula por:

$$n_e = q \cdot 6{,}25 \cdot 10^{18}\ \frac{\text{electrones}}{C} = 60\ C \cdot 6{,}25 \cdot 10^{18}\ \frac{\text{electrones}}{C} = 3{,}75 \cdot 10^{20}\ \text{electrones}$$

AHORA RESUELVES TÚ

Muchos instrumentos de laboratorio pueden medir corrientes de nanoamperes (nA). Si un instrumento registra 3 nA durante dos minutos, ¿cuántos electrones son los registrados?

minirresumen

- La corriente eléctrica puede pasar por los cuerpos sólidos (metales, semiconductores), por los líquidos (electrolitos) y por los gases (una descarga eléctrica).
- En los líquidos y gases conductores, las cargas positivas se mueven del potencial eléctrico más alto al potencial más bajo y las cargas negativas en sentido contrario
- En los metales, resulta que el sentido real del desplazamiento de los electrones que constituyen la corriente está en sentido contrario al sentido convencional de la corriente.

TEMA 2: Circuitos y ley de OHM

AL LEER APRENDERÁS

- A verificar experimentalmente y representar gráficamente la ley de Ohm.

CONCEPTOS CLAVE

- Fuerza electromotriz (fem)
- Ley de Ohm
- Resistencia eléctrica

OHM, GEORG SIMON

(1787-1854), alemán, que descubrió la relación existente en un conductor entre la intensidad y la tensión, ley que actualmente lleva su nombre. Entre sus otros trabajos de investigación destacables en electrotecnia, cabe citar su definición de la cantidad de electricidad, de intensidad y de fuerza electromotriz. En 1830, midió por primera vez la tensión en los circuitos eléctricos.



Qué responderías si te preguntaran: ¿cómo se enciende una ampolleta?, ¿cómo funciona un tostador? o ¿cómo un celular puede funcionar con una batería de 3,7 volt?

Seguramente habrás notado que los alambres ubicados en el tendido eléctrico están cubiertos por materiales plásticos. Pero ¿por qué se cubren? o ¿para qué se cubren?

Por otra parte, ¿por qué un hervidor eléctrico puede calentar el agua?, ¿aumenta el consumo de electricidad si conectamos todos los aparatos eléctricos simultáneamente?

Como recordarás de la sección anterior, si se conectan dos conductores que se encuentran a diferente potencial por un hilo conductor, se produce en él una corriente eléctrica.

Pero ¿cómo se puede mantener una corriente eléctrica constante circulando en un conductor?, ¿existirá alguna relación entre el voltaje al que se somete un conductor, la corriente que circula por él y el tipo de material que lo construye?

Para que puedas aplicar la relación entre el voltaje, la intensidad y el tipo de material (resistencia eléctrica), necesitas conocer el concepto de voltaje, corriente, campo eléctrico, la energía y sus diferentes formas.

Todo esto te permitirá encontrar nuevas relaciones o fórmulas como la que halló Ohm a través de su ley (o simplemente ley de Ohm) explicar situaciones experimentales o problemas al identificar y procesar datos.

La temática se centra en el comportamiento de las corrientes en los circuitos eléctricos. Para ello estudiarás las propiedades de las baterías y cómo propician la transferencia de corriente y energía en un circuito.

Estos conocimientos te permitirán responder preguntas como: ¿por qué un alambre de cobre corto, grueso y frío es mejor conductor que un alambre de acero largo, delgado y caliente?

Fuerza electromotriz (fem)

En los párrafos anteriores hemos establecido que si una carga se traslada en un campo eléctrico desde un punto a otro de más bajo potencial, no requiere de un trabajo externo, pues esto lo realizan las fuerzas propias del campo hasta igualar los potenciales.

Entonces, para que la corriente eléctrica perdure será necesario mantener la diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

Pero ¿cómo conseguirlo? La forma de responder a esta pregunta ha dado origen a distintos procedimientos para generar energía eléctrica.

Los generadores, de cualquier tipo, producen esa diferencia de potencial en los extremos de los circuitos conectados a ellos, suministrando la energía necesaria para movilizar las cargas.

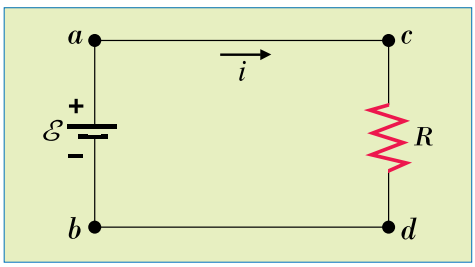


Figura 3.43

El dispositivo o generador, que suministra la energía eléctrica suficiente para que se produzca una corriente estacionaria en un conductor, se llama fuente de fuerza electromotriz (fem), y convierte la energía química o mecánica en energía eléctrica.

Como lo muestra la **figura 3.43**, la fuente de fem realiza trabajo sobre la carga que la atraviesa, elevando su energía potencial en $\Delta q \cdot \varepsilon$.

Este trabajo por unidad de carga es la fem (ε), y su unidad es el **volt**.

Habrás notado que el término fuerza electromotriz está mal empleado, ya que la fem no es una fuerza, es **energía por unidad de carga**.

El movimiento de mano en la **figura 3.44** muestra una analogía mecánica del funcionamiento de la fem en el circuito de la **figura 3.43**.

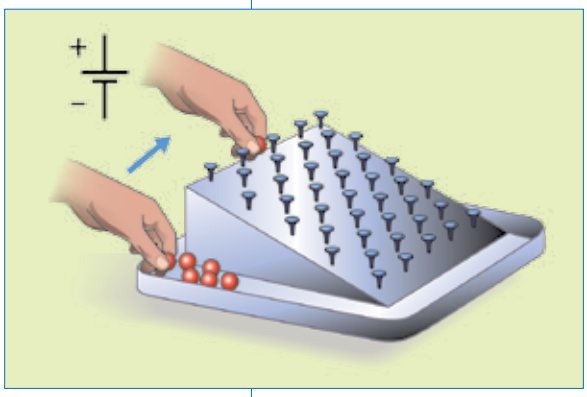


Figura 3.44
Analogía mecánica de un circuito sencillo. Ya que el movimiento de la mano mueve las bolitas desde una zona de menor energía potencial a otra de mayor energía potencial (f.e.m), las cuales al descender (corriente eléctrica) por el plano inclinado chocan con los clavos (resistencia del material).

La fem, como diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito, se mide mediante un instrumento llamado voltímetro, que debe conectarse de tal modo que una mínima parte de la corriente pase por ellos (conexión en paralelo).

Tipos de fem

Cada circuito completo con una corriente estacionaria debe incluir algún dispositivo que proporcione una fem, conocido como fuente de fem: baterías, generadores eléctricos, células solares, células de combustible son ejemplos de fuentes de fem. (**figura 3.45**)

Todos estos dispositivos convierten energía de alguna forma (mecánica, química, térmica, etc.), en energía potencial eléctrica y la transfieren al circuito eléctrico al cual están conectados.

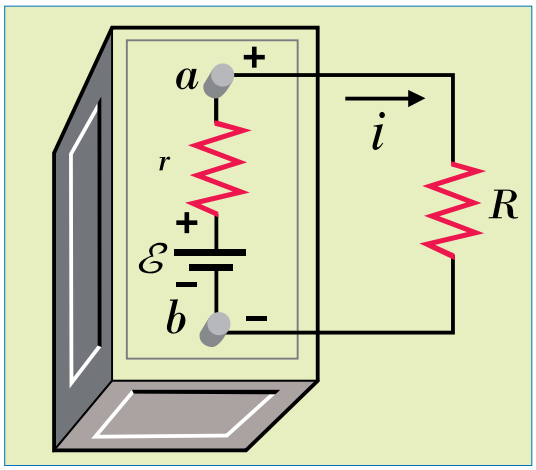


Figura 3.45
Representación de una batería real

Estas fuentes de fem se pueden clasificar en:

- **Fuente de fem ideal**: mantiene constante la diferencia de potencial entre sus bornes (igual a ε), independiente de la corriente que pase por ella. Sin embargo, esta fuente es en realidad un concepto idealizado como el plano sin fricción y la cuerda sin masa.
- **Fuente de fem real**: la diferencia de potencial entre sus bornes disminuye con el aumento de la corriente. La razón es que la carga que se mueve a través del material de cualquier fuente encuentra resistencia, a la que llamamos **resistencia interna** de la fuente y la representamos con la letra r (**figura 3.46**).

En la **figura 3.46** se observa cómo la fem ideal mantiene el voltaje ε a medida que circula la corriente en ella.

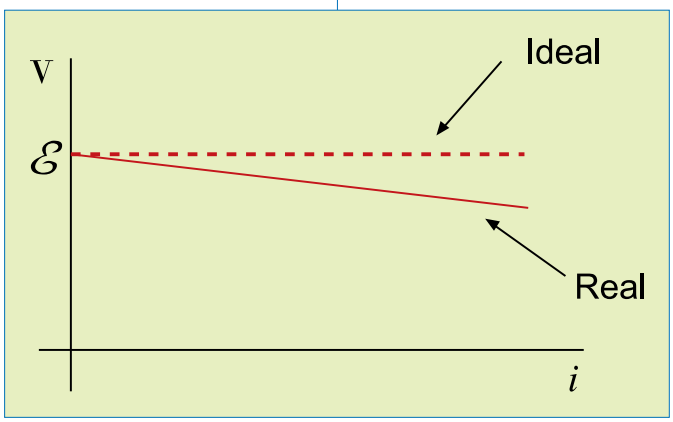


Figura 3.46
Comparación entre una fem real y una ideal

VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA LEY DE OHM

Objetivo

Encontrar la relación entre la diferencia de potencial aplicada a un conductor y la intensidad de corriente que circula por él.

Materiales

- Una fuente de poder regulable cc o 6 pilas alcalinas de 1,5 V.
- 1 resistencia de 18 Z (**figura 3.47**) (o lámpara de 2 W).

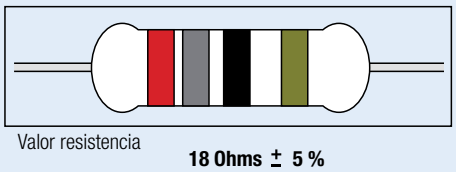


Figura 3.47

- 1 amperímetro cc de 0-1 A
- 1 voltímetro cc de 0 – 10 V
- 1 m de alambre de cobre de 1mm de grosor.

Procedimiento

1. Arma el circuito de la **figura3.48** conectando la resistencia a la fuente de poder (o a las pilas).

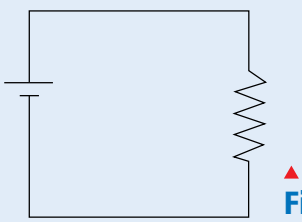


Figura 3.48

2. Conecta el amperímetro (A) y el voltímetro (V) como se muestra en el circuito de la **figura 3.49**. Recuerda que el amperímetro se conecta en serie y el voltímetro debe conectarse en paralelo.

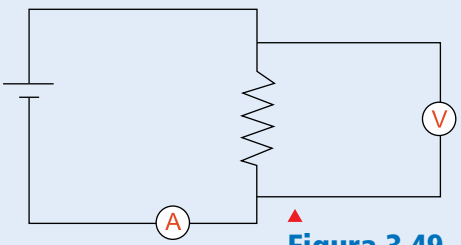


Figura 3.49

3. Varía la diferencia de potencial aplicada a los extremos de la resistencia entre 0 y 10 V, usando la fuente de poder o conectando las pilas en serie

   1 pila = 1,5 V
   2 pilas = 3,0 V
   3 pilas = 4,5 V
   4 pilas = 6,0 V
   5 pilas = 7,5 V
   6 pilas = 9,0 V

4. Mide la intensidad de corriente eléctrica para cada diferencia de potencial aplicada a la resistencia y anota los datos obtenidos en la siguiente tabla.

V (volt)						
A (ampere)						

5. Grafica la diferencia de potencial V en función de la intensidad de la corriente eléctrica I en los extremos de la resistencia.

Análisis

1. ¿Cuál es la relación entre la intensidad de la corriente (A) y el voltaje (V)?
2. Calcula la pendiente de la gráfica obtenida. ¿Qué representa?
3. Compara el valor de la pendiente con la resistencia de 18 Z.
4. ¿Qué concluyes de este experimento?

Ley de Ohm

Cuando aplicamos una diferencia de potencial V a los extremos de un conductor metálico, circula una corriente i por el conductor.

Pero, ¿cuál es la relación entre la intensidad de la corriente (i), el voltaje aplicado (V) y el material conductor?

La actividad **Verificación experimental y representación gráfica de la ley de Ohm** te permitió establecer dicha relación. ¿Cuál fue tu conclusión del experimento?

Ahora, encontremos la relación entre la **intensidad de la corriente** sobre un conductor metálico de sección transversal constante A, que aplica a sus extremos la diferencia de potencial V_{ab} (**figura 3.50**).

La experiencia muestra que la corriente que circula en un alambre metálico es proporcional a la diferencia de potencial (V_{ab}) aplicada a sus dos extremos. Por ejemplo, si a un alambre metálico se conecta a una batería de 6 V, la corriente en él será el doble de la que circularía si estuviera conectado a una batería de 3 V.

Sin embargo, la intensidad de la corriente que circula por un alambre no sólo depende del voltaje, sino también de la resistencia que el alambre posee al flujo de electrones . Cuando mayor sea esta resistencia, para un voltaje dado, menor será la corriente.

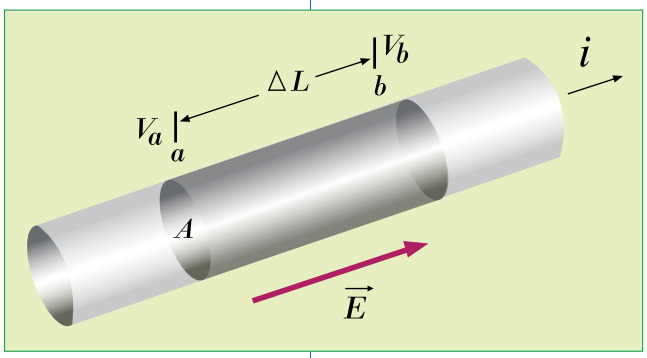


Figura 3.50
El campo eléctrico está dirigido de las regiones de mayor potencial a las de menor potencial

Entonces, podemos definir la resistencia eléctrica de cualquier conductor, como la razón del voltaje a través del éste y la corriente que circula a través de él, es decir,

$$R = \frac{V_{ab}}{i}$$

Donde R, es la resistencia de un alambre conductor u otro dispositivo, I es la corriente que pasa por él y Vab, es la diferencia de potencial que se aplica a través del alambre o dispositivo.

De este modo obtenemos la ley de Ohm: $V_{ab} = R \cdot i$

Se dice que un conductor sigue la ley de Ohm si la corriente es proporcional a la diferencia de potencial o voltaje aplicado, es decir, que la resistencia R es constante.

Para otros conductores, siendo R variable, el conductor no sigue la ley de Ohm.

De este modo, la **resistencia eléctrica** es una medida de la oposición que ejerce un material al flujo de carga a través de él. La unidad de resistencia es el volt/ampere que llamaremos **ohm (Z)**.

Por otra parte, a partir de diversos experimentos se encontró que la resistencia R de cualquier alambre es directamente proporcional a su longitud (L) e inversamente proporcional a su área transversal (A), es decir,

$$R = \rho \cdot \frac{\Delta L}{A}$$

Donde ρ, es la resistividad y depende del material.

¿CÓMO VAS?

¿Cuál es la relación matemática entre el voltaje y la intensidad de corriente si en un experimento el cociente entre estas variables es constante?

Ejercicio resuelto Nº 2

APLICANDO LA LEY DE OHM EN LA INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS DE VOLTAJE VERSUS INTENSIDAD DE CORRIENTE

En un conductor se aplican varios voltajes y se obtienen varias corrientes que se representan en una gráfica como la que muestra la **figura 3.51** ¿Sigue este conductor la ley de Ohm?

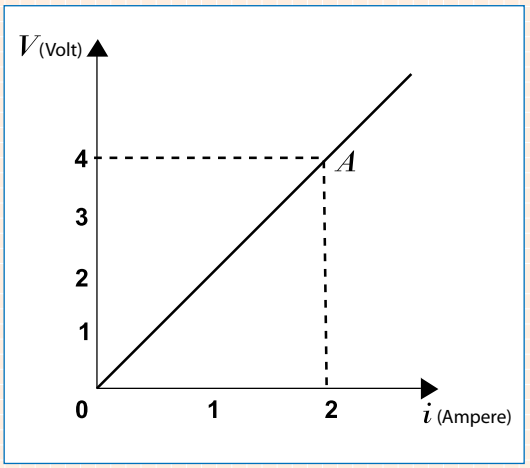


Figura 3.51

Identificar la información

En este gráfico se muestra una recta que pasa por el origen.

Estrategia

Usando el cálculo de la pendiente, se puede encontrar la resistencia del conductor.

Resolución

La gráfica es una recta de la forma $V_{ab} = R \cdot i$

La pendiente de esta recta nos da directamente el valor de R. Escogiendo un punto cualquiera A sobre la recta, se calcula la pendiente, es decir,

$$R = \frac{4V}{2A} = 2Z$$

Por lo tanto, el conductor sí sigue la ley de Ohm y su resistencia es de 2 Z.

AHORA RESUELVES TÚ

a) En un conductor se aplican varios voltajes y se obtienen diversas corrientes que se representan en una gráfica como la que muestra la **figura 3.52**. ¿Sigue este conductor la ley de Ohm?, ¿por qué?

b) En un conductor se aplican varios voltajes y se obtienen variadas corrientes que se representan en una gráfica como la que muestra la **figura 3.53**. ¿Sigue este conductor la ley de Ohm?, ¿por qué?

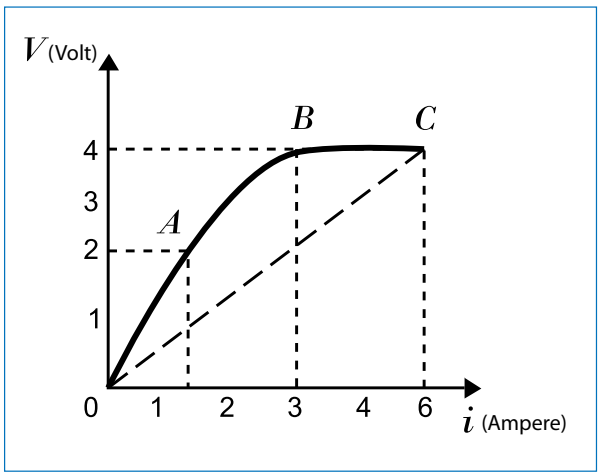


Figura 3.52

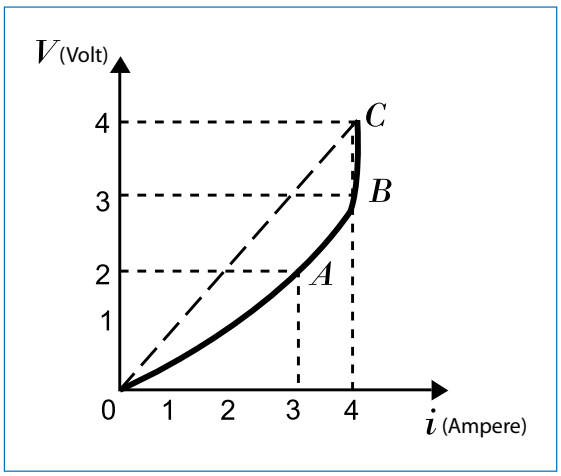


Figura 3.53

Instrumentos para medir magnitudes eléctricas

Cuando encendemos una linterna, una lámpara, un equipo de música o un televisor, hacemos **circular corriente en un circuito** eléctrico.

Pero ¿cómo podríamos representar simbólicamente los elementos que forman un circuito eléctrico?

El ejemplo simple de circuito eléctrico es el de una linterna común, como se ilustra en la **figura 3.54a**.

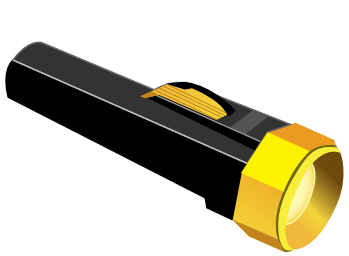


Figura 3.54a

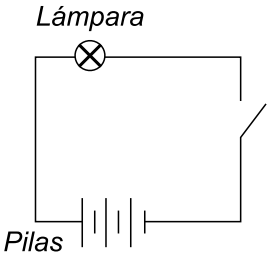
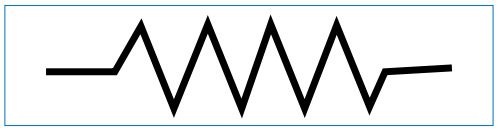


Figura 3.54b

Se compone de una lámpara para producir luz y un interruptor para abrir o cerrar el circuito y las pilas. A estos les llamaremos elementos del circuito. Simbolizaremos cada componente del circuito eléctrico de la linterna por la **figura 3.54b**.

Cada elemento de un circuito tiene asociado un símbolo particular para representarlo. Como se ilustra en la **figura 3.54b**, la conexión entre ellos se simboliza por trazos rectos. Además, la conexión eléctrica anterior se denomina conexión en serie.

Llamaremos resistencia eléctrica a la propiedad de todos los elementos de un circuito que limita la intensidad de corriente en él, y se simboliza:



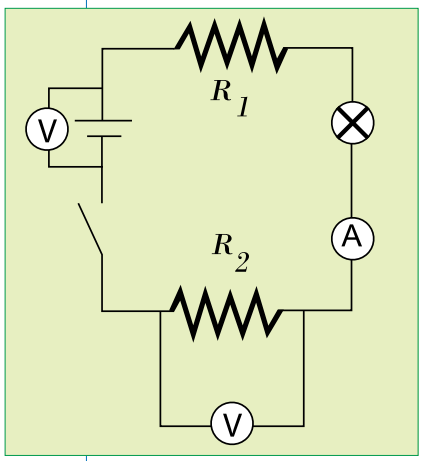


Figura 3.55
En un circuito el amperímetro se conecta en serie y el voltímetro se conecta en paralelo

Instrumentos de medición

Entre los instrumentos de medición podemos nombrar:

Amperímetro: lo simbolizamos en los circuitos eléctricos por el símbolo (A), y es un instrumento que mide la intensidad de corriente eléctrica y siempre se conecta en serie en el circuito.

Voltímetro: su símbolo es (V), y es un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico. Se conecta siempre en paralelo entre los puntos del circuito donde se desea medir la diferencia de potencial.

Multímetro o multitéster: es un instrumento de mediciones eléctricas. En un solo aparato se ofrece la posibilidad de medir intensidad de corriente eléctrica, diferencia de potencial y resistencia eléctrica. Sirve además para corriente continua (cc) y corriente alterna (ca).

La forma de conectar estos instrumentos a un circuito se ilustra en la **figura 3.55**.

TEN PRESENTE

- Es de recordar que la velocidad máxima de la luz es de $300\,000\ \frac{km}{s}$.

Pilas eléctricas

CONEXIONES CON LA SOCIEDAD

Hasta el año 1800, el desarrollo técnico de la electricidad consistía principalmente en producir una carga estática mediante fricción. Pero todo cambió en 1800, cuando Alessandro Volta (1745-1827) inventó la bateria eléctrica, y con ella produjo el primer flujo estable de carga eléctrica, es decir, una corriente eléctrica estable.

Son generadores químicos de fem, es decir, permiten aprovechar la energía producida por las reacciones químicas de las sustancias que las integran para movilizar electrones en un circuito.

Este fenómeno se denomina efecto voltaico en honor al físico italiano Alejandro Volta, que fue su descubridor e inventor. Fundamentalmente, la pila de Volta se construye con un vaso de vidrio de H_2SO_4 diluido y dos placas metálicas, una de cobre (Cu) y otra de cinc (Zn).

El líquido constituye el electrolito y las barras, los electrodos de la pila.

El Cu es el electrodo o polo positivo y el Zn es el electrodo o polo negativo de la pila.

Al poner en contacto los polos mediante un alambre conductor, se establece una corriente continua en el circuito (**figura 3.56**).

actividad grupal analicemos las pilas

1. ¿Qué tipo de batería utilizan los celulares y los notebooks?
2. ¿Cómo funcionan las pilas recargables?
3. ¿Cuál ha sido la utilidad de las pilas en el desarrollo tecnológico de la sociedad?
4. Discutan el impacto ambiental de la acumulación de pilas.
5. ¿Cómo debemos conectar las pilas si queremos aumentar el voltaje en un circuito eléctrico?
6. ¿Cómo debemos conectar las pilas si queremos aumentar la intensidad de la corriente que circula en el circuito?

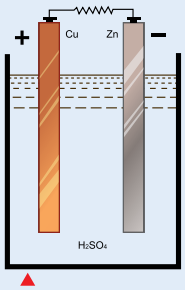


Figura 3.56
Pila de Volta

Resistencia eléctrica

ALESSANDRO GIUSEPPE ANTONIO ANASTASIO VOLTA

(1745-1827) físico italiano, conocido como el inventor de la pila eléctrica y el descubrimiento del metano.



En los párrafos anteriores se estableció que la resistencia de un conductor está dada por

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

Y que su unidad es el Ohm (Z).

Pero ¿cuál es la relación que se establece entre la resistencia de un conductor y su longitud, área o sección transversal y el coeficiente ρ (resistividad)?

Usando la relación anterior, podemos decir que la resistencia de un conductor es inversamente proporcional a su sección (A) y directamente proporcional a su longitud (L) y a su resistividad (coeficiente ρ), cuya unidad es el Z · m.

La resistividad

Es una característica de los materiales determinada por sus propiedades atómicas. La tabla 1, proporciona los valores de resistividad para diferentes materiales. Estos dependen de algún modo de la pureza, el tratamiento térmico, la temperatura, entre otros factores. Su unidad es el Z · m

Como se puede observar, en la tabla 1, la plata tiene la resistividad más baja, lo que la convierte en el mejor conductor, pero a un valor comercial muy alto.

Mientras que el cobre, también tiene resistividad cercana a la plata, pero su valor en el mercado es menor al de esta, por lo que la mayoría de los alambres están hechos de este material.

Por otra parte, en las líneas de trasmisión, el aluminio es preferible al cobre, ya que su densidad es menor, aún cuando tiene mayor resistividad a dicho material.

La **tabla 1** nuestra la resistividad de algunas sustancias.

Resistividad a temperatura ambiente (20°C)				
	SUSTANCIA		**SUSTANCIA**	
	Conductores		**semiconductores**	
Metales	Plata	$1{,}47 \cdot 10^{-8}$	Carbono puro (grafito)	$3{,}5 \cdot 10^{-5}$
	Cobre	$1{,}72 \cdot 10^{-8}$	Germanio puro	0,60
	Oro	$2{,}44 \cdot 10^{-8}$	Silicio puro	2 300
	Aluminio	$2{,}75 \cdot 10^{-8}$	**aislantes**	
	Tungsteno	$5{,}25 \cdot 10^{-8}$		
	Acero	$20 \cdot 10^{-8}$	Ámbar	$5 \cdot 10^{14}$
	Plomo	$22 \cdot 10^{-8}$	Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
	Mercurio	$95 \cdot 10^{-8}$	Lucita	$>10^{13}$
			Mica	$10^{11} - 10^{14}$
Aleaciones	Manganina (Cu, 84 %, Mn, 12 % Ni, 4 %)	$44 \cdot 10^{-8}$	Cuarzo (fundido)	$75 \cdot 10^{16}$
	Constantán (Cu 60 %, Ni 40 %)	$49 \cdot 10^{-8}$	Azufre	10^{15}
	Nicromo	$100 \cdot 10^{-8}$	Teflón	$>10^{13}$
			Madera	$10^{8} - 10^{11}$

El recíproco de la resistividad es la conductividad, y su unidad es el $(\Omega \cdot m)^{-1}$. Los buenos conductores tienen una conductividad mayor que los dieléctricos.

Pero ¿cómo afecta la temperatura a la resistividad de los metales?

La resistividad de un material metálico casi siempre se incrementa con la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, los iones del conductor vibran con mayor amplitud, lo cual hace más probable que un electrón en movimiento choque con un ion, lo que impide el arrastre de los electrones por el conductor y, por tanto, también la corriente.

En un pequeño intervalo de temperaturas (hasta unos 100 °C), la resistividad del metal puede representarse por la ecuación:

$$\rho(T) = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0))$$

Donde ρ_0 es la resistividad a una temperatura de referencia T_0 (0 °C o 20 °C) y $\rho(T)$ es la resistividad a la temperatura T, que puede ser mayor o menor que T_0. El factor α se conoce como coeficiente de temperatura de la resistividad. En la tabla 2 se dan algunos valores representativos de este coeficiente.

Material	Coeficiente de temperatura de la resistividad, α $(°C)^{-1}$
Plata	0,0061
Cobre	0,0068
Oro	0,0034
Aluminio	0,00429
Tungsteno	0,0045
Acero	0,00651
Mercurio	0,0009

¿CÓMO VAS?

Un conductor óhmico, de acero, tiene a 20 °C una longitud de 50 cm y una sección transversal de 1 cm de diámetro, ¿cuál es su resistencia a 80°C?

(¿Te falta información? Está al frente tuyo)

Ejercicio resuelto N° 3

APLICANDO EL CONCEPTO DE RESISTIVIDAD EN ALAMBRE DE PARLANTES

Una persona quiere conectar su equipo de música a unos parlantes lejanos.

a) Si cada alambre debe medir 20 m de largo, ¿qué diámetro de alambre de cobre debe utilizar para mantener la resistencia menor que 0,1 Ω por alambre?

b) Si la corriente en cada bobina es de 4 A, ¿cuál es la diferencia de potencial, o caída de voltaje, a través de cada alambre de cobre?

Identificar la información

En este problema separado en dos partes, el largo (L), la resistencia (R), el tipo de material ($\rho = 1{,}72 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$) y la intensidad de corriente (i) son la información importante.

Los datos disponibles son:

$$L = 20\ m, \qquad R = 0{,}1\ \Omega, \qquad i = 4\ A$$

Estrategia

Se calcula el área usando la ecuación de la resistencia R. A partir de la respuesta, podemos calcular el radio por la fórmula $A = \pi \cdot r^2$. El diámetro es de 2r.

En **b)** usaremos la ley de Ohm $V = i \cdot R$.

Solución

a) De la ecuación $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$, obtenemos:

$$A = \rho \cdot \frac{L}{R} = 1{,}72 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m \cdot \frac{20\ m}{0{,}1\ \Omega} = 3{,}44 \cdot 10^{-6}\ m^2$$

Ahora, el área transversal A de un alambre circular es $A = \pi \cdot r^2$; entonces, el radio debe ser al menos

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{3{,}44 \cdot 10^{-6} m^2}{\pi}} = 1{,}04 \cdot 10^{-3}\ m = 1{,}04\ mm$$

El diámetro es el doble del radio y, por lo tanto, debe ser de al menos 2,1 mm.

b) A partir de número de $V = i \cdot R$ se determina que la diferencia de potencial por medio de cada alambre es

$$V = i \cdot R = 4\ A \cdot 0{,}1\ \Omega = 0{,}4\ V$$

Nota: El voltaje a través de los alambres reduce el voltaje que alcanzan los parlantes desde el equipo de música, lo que reduce un poco el nivel del sonido.

AHORA RESUELVES TÚ

Una persona quiere conectar su equipo de música a unos parlantes lejanos.

1. Si cada alambre debe medir 40 m de largo, ¿qué diámetro de alambre de cobre debe utilizar para mantener la resistencia menor que 0,2Ω por alambre?
2. Si la corriente en cada bobina es de 6 A, ¿cuál es la diferencia de potencial, o caída de voltaje, a través de cada alambre de cobre?

TEMA 3: Energía y potencia en circuitos eléctricos

Seguramente habrás notado que cuando se conecta un televisor a un enchufe este se enciende, luego de presionar el interruptor.

Pero ¿por qué ocurre esto? Fundamentalmente, los circuitos eléctricos son un medio para transportar energía de un medio a otro. Cuando las partículas cargadas se desplazan dentro de un circuito, se transfiere energía potencial eléctrica desde una fuente (una batería o un generador) a un dispositivo en el que dicha energía se almacena o se convierte en otra forma; por ejemplo, en energía sonora en un aparato de sonido, en calor si se trata de un tostador, o en luz si se trata de una ampolleta eléctrica.

Pero ¿cómo podemos estimar la energía que se transforma en un dispositivo eléctrico? Y, ¿cuál es la relación entre el voltaje, la potencia eléctrica y la corriente?

Ahora estudiaremos algunas de las relaciones de energía y potencia en circuitos eléctricos. Para ello usaremos la información que ilustra la **figura 3.57**. El conductor metálico de esta figura, representa un elemento de circuito con diferencia de potencial:

$$V_1 - V_2 = V_{12}$$

Entre sus terminales, pasa una corriente i en la dirección del punto 1 al punto 2. Esta figura podría ser una resistencia, una batería u otra cosa.

Como recordarás de los párrafos anteriores, cuando una carga ΔQ pasa por el elemento de circuito, el campo eléctrico realiza trabajo sobre la carga. El trabajo efectuado sobre una carga ΔQ que pasa por el elemento de circuito es igual al producto de ΔQ y la diferencia de potencial V_{12} (trabajo por unidad de carga).

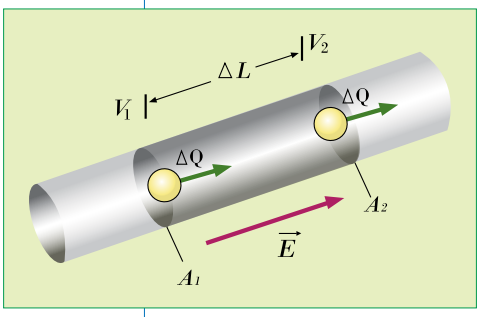


Figura 3.57

Cuando la diferencia de potencial (V_{12}), es positiva, la fuerza que el campo eléctrico produce sobre la carga ΔQ realiza un trabajo positivo $\Delta Q \cdot V_{12}$ sobre la carga, a medida que esta "cae" del potencial V_1 al potencial V_2. Si la corriente es i, entonces, en el intervalo de tiempo Δt pasa una cantidad de carga $\Delta Q = i \cdot \Delta t$. El trabajo ΔW realizado sobre la carga es:

$$\Delta W = V_{12} \cdot \Delta Q = V_{12} \cdot i \cdot \Delta t$$

Este trabajo representa la energía eléctrica transferida hacia adentro de este elemento de circuito. La razón temporal de transferencia de energía se conoce como **potencia** y se representa por P.

Si dividimos la ecuación $\Delta W = V_{12} \cdot i \cdot \Delta t$ por Δt, obtenemos la razón por la cual el resto del circuito entrega energía por unidad de tiempo a este elemento:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = P = V_{12} \cdot i$$

Puede ser que el potencial en 2 sea mayor que en el punto 1; entonces, V_{12} es negativo y existe una transferencia neta de energía hacia afuera del elemento del circuito. El elemento actúa en la ecuación como fuente y entrega energía eléctrica al circuito al que está conectado. Esta es la situación usual de una batería, que convierte energía química en energía eléctrica y la entrega al circuito externo, de igual manera, que un generador convierte energía mecánica en energía eléctrica y la entrega al circuito externo.

AL LEER APRENDERÁS

- A aplicar la relación entre corriente, potencia y voltaje.

CONCEPTOS CLAVE

- Potencia
- Efecto Joule

Por tanto, $P = V_{12} \cdot i$ puede representar ya sea la razón por la cual la energía por unidad de tiempo se incorpora a un elemento de circuito, o bien la razón por la cual la energía por unidad de tiempo es extraída de ese elemento.

La unidad de la potencia eléctrica se puede obtener reemplazando las unidades del Voltaje (V_{12}) y de la intensidad de la corriente (i) en la fórmula $P = V_{12} \cdot i$, de este modo

$$\text{Unidad de la potencia eléctrica} = \frac{J}{C} \cdot \frac{C}{s} = \frac{J}{s} = \text{watt}$$

Recuerda que la unidad de la potencia en el SI es el watt (J/s).

Si el elemento del circuito es una resistencia, la diferencia de potencial es $V_{12} = i \cdot R$ y la potencia eléctrica proporcionada a la resistencia por el circuito es:

$$P = V_{12} \cdot i = i^2 \cdot R = \frac{V_{12}^2}{R}$$

A estas relaciones se les denomina **ley de Joule**, o **efecto Joule.**

En este caso, el potencial en 1 (por donde la corriente entra en la resistencia) es siempre mayor que en 2 (por donde sale la corriente). La corriente entra por el terminal de mayor potencial del dispositivo, y la ecuación $P = V_{12} \cdot i$ representa la razón de transferencia de energía potencial eléctrica, al interior del elemento del circuito.

¿Qué le sucede a esta energía? Las cargas en movimiento chocan con los átomos en la resistencia y transfieren algo de su energía a tales átomos, con lo que aumenta la energía al interior del material, o bien se incrementa la temperatura de la resistencia, o se establece un flujo de calor que sale de este, o suceden las tres cosas. En cualquiera de estos casos, decimos que la energía se disipa en la resistencia a razón de $i^2 \cdot R$.

Cada resistencia tiene una especificación de potencia, que es la máxima potencia que puede disipar el dispositivo sin sobrecalentarse o dañarse.

En aplicaciones prácticas, la especificación de potencia de una resistencia es tan importante como el valor de la resistencia misma. Desde luego, algunos dispositivos, como los calentadores eléctricos, están diseñados para calentarse y transferir calor a sus alrededores. Pero si se sobrepasa la especificación de potencia, estos dispositivos pueden fundirse e incluso explotar.

Ejercicio resuelto N° 4

APLICANDO EL EFECTO JOULE

Un calorímetro (**figura 3.58**) contiene 100 g de agua. Si durante 5 minutos por su resistencia circula una corriente de 2, 5 A, ¿en cuánto varía la temperatura del agua si durante ese tiempo un voltímetro conectado al circuito registra un valor de 6 V (calor específico del agua c = 4186 $\frac{J}{kg \cdot °C}$)

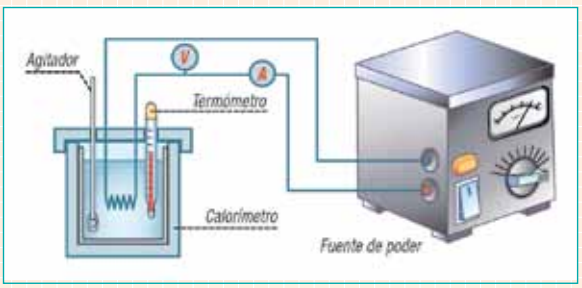


Figura 3.58

Identificando la información

En este problema la intensidad de corriente (i), el voltaje (V), el tiempo (t) y la masa del agua, son la información importante.

En resumen, los datos disponibles son:

$$i = 2{,}5\ \text{A} \qquad V = 6\ \text{V}$$

Estrategia

Durante el intervalo de tiempo en que circula la corriente eléctrica por la resistencia, esta aumenta su temperatura. Como la resistencia y el agua están en contacto térmico, vamos a suponer que no hay pérdida de energía hacia el exterior.

Calculemos la energía transferida desde la resistencia al agua, luego el incremento de energía por $m \cdot c \cdot \Delta T$ y despejaremos la variación de la temperatura.

Recuerda que la cantidad de calor (ΔQ), absorbida o liberada por un cuerpo de masa m y calor específico c, cuando la temperatura cambia en un ΔT, se calcula con la expresión $\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

Resolución

De la ecuación $P = V \cdot i$, obtenemos $E = V \cdot i \cdot t$

$$E = 6\ \text{V} \cdot 2{,}5\ \text{A} \cdot 300\ \text{s} = 4\,500\ \text{J}$$

Esta energía es disipada al agua, la que se calienta.

Por otra parte, usando $m \cdot c \cdot \Delta T$ tenemos $4\,500\ \text{J} = m \cdot c \cdot \Delta T = 0{,}1\ \text{kg} \cdot 4\,186\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot \Delta T$,

despejando

$$\Delta T = \frac{4\,500\ \text{J}}{418{,}6\ \frac{\text{J}}{{}^\circ\text{C}}} = 10{,}8\ {}^\circ\text{C}$$

AHORA RESUELVES TÚ

Un calorímetro contiene 200 g de agua, si durante 10 minutos por su resistencia circula una corriente de 3,5 A. ¿En cuánto varía la temperatura del agua? Si durante ese tiempo, un voltímetro conectado al circuito registra un valor de 6 V (calor específico del agua $c = 4\,186\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}}$)

minirresumen

- Los circuitos eléctricos son un medio para transportar energía de un medio a otro. Cuando las partículas cargadas se desplazan dentro de un circuito, se transfiere energía potencial eléctrica desde una fuente (una batería o un generador) a un dispositivo en el que dicha energía se almacena o se convierte en otra forma.
- Las cargas en movimiento chocan con los átomos en la resistencia y transfieren algo de su energía a tales átomos, con lo que aumenta la energía interior del material, o bien se incrementa la temperatura de resistencia, o se establece un flujo de calor que sale de este, o suceden las tres cosas.

TEMA 4: Combinación de resistencias

AL LEER APRENDERÁS

- A distinguir, en casos simples y de interés práctico, entre circuitos en serie y en paralelo.

CONCEPTOS CLAVE

- Resistencia en serie
- Resistencia en paralelo

¿Cuál sería tu respuesta si te preguntaran por qué cuando se apaga una luz en un sector de la casa no se apaga el refrigerador? ¿Cómo es posible que puedas colocar el equipo de música y cargar tu celular simultáneamente? ¿Por qué cuando una ampolleta del alumbrado público se quema las otras ampolletas no dejan de funcionar?

Como habrás notado en tu televisor, computador o reproductor de música y también debajo del tablero de tu automóvil, tal como lo muestra la **figura 3.59**, hay circuitos complejos, ya sea que estén conectados por cables o estén integrados a chips, semiconductores, etcétera.



▲ **Figura 3.59**

Estos circuitos, incluyen a menudo diferentes fuentes, resistores y otros elementos de circuitos, como capacitores, transformadores y motores interconectados en una red.

En los siguientes párrafos, estudiaremos métodos generales para analizar estas redes, incluyendo la manera de encontrar voltajes, corrientes y propiedades de los elementos del circuito que no se conocen.

Para que puedas distinguir un circuito donde las resistencias se han conectado en serie de otro donde se han conectado en paralelo, necesitas los conceptos de resistencia, voltaje, intensidad de corriente, fem, potencia, instrumentos de medición y la simbología en un circuito.

La temática se centra en los circuitos donde la corriente no cambia con el tiempo, circuitos de corriente continua (cc). Las linternas y los sistemas cableados de los automóviles son ejemplos de circuitos de corriente continua.

Sin embargo, los principios del análisis de redes en los circuitos de corriente continua también se pueden aplicar en los circuitos de corriente alterna (ca), en la cual la corriente oscila alrededor de cierto valor.

Esto te permitirá estudiar los sistemas de cableado doméstico, ya que la potencia eléctrica doméstica se suministra en forma de corriente alterna (ca).

Además, aprenderás a determinar la resistencia equivalente a varias resistencias conectadas dentro de un circuito en serie o en paralelo.

Resistencias conectadas en serie y en paralelo

¿Cómo se identifican las resistencias en un circuito? En un circuito hay todo tipo de resistencias, desde las que se usan en los secadores de pelo y en los calentadores ambientales hasta las que limitan o dividen la corriente o reducen un voltaje.

Los circuitos suelen tener varias resistencias, así que es mejor considerar las combinaciones de estas. Un ejemplo sencillo es la serie de luces de Navidad, donde cada ampolleta actúa como una resistencia y, en términos del análisis de circuitos, la cadena de ampolletas es tan solo una combinación de resistencias.

Supongamos que tenemos tres resistencias, R_1, R_2 y R_3. En la **figura 3.60** se muestran cuatro formas diferentes de conectarlas entre los puntos a y b.

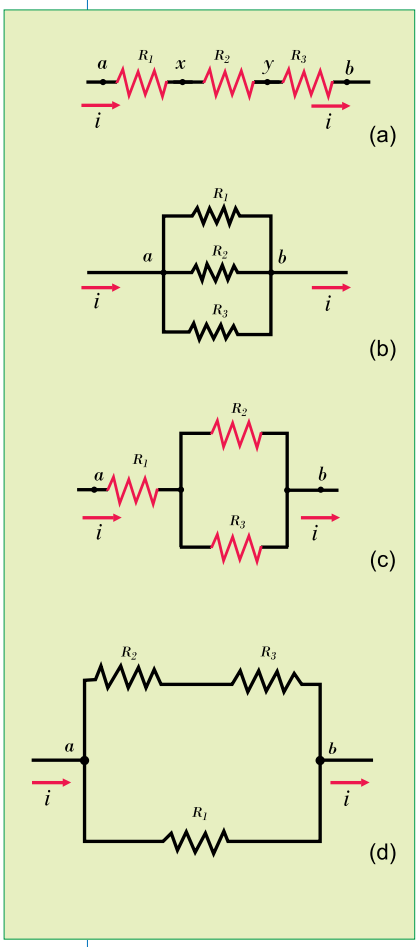
Cuando distintos elementos de un circuito, como resistencias, baterías o motores, se conectan en secuencia, como en la **figura 3.60a**, con una sola trayectoria para la corriente entre los puntos, decimos que están conectados en **serie**.

En cambio, si cada resistencia proporciona una trayectoria alternativa para la corriente, como lo muestra la **figura 3.60b**, se dice que las resistencias están conectadas en paralelo entre los puntos a y b.

Para elementos del circuito que están conectados en paralelo, la diferencia de potencial es igual a través de cada elemento. Mientras que si la conexión es en serie, la corriente que circula por los elementos es constante.

Ahora, si observas la **figura 3.60c**, las resistencias R_2 y R_3 están en paralelo, y esta combinación está en serie con R_1. Mientras que en la **figura 3.60d**, R_2 y R_3 están en serie y esta combinación está en paralelo con R_1.

En resumen, para cualquier combinación de resistencias R_1, R_2 y R_3, siempre podemos encontrar una sola resistencia, que pueda sustituir a cualquier combinación y tener la misma corriente y diferencia de potencial totales.



▲ **Figura 3.60**

Una serie de ampolletas de Navidad podría sustituirse por una sola ampolleta por la que circula la misma corriente y tendría la misma diferencia de potencial entre sus terminales que la serie original. Esta resistencia se conoce como **resistencia equivalente** de la combinación. Si cualquiera de las redes de la **figura 3.60** se sustituye por su resistencia equivalente R_{eq}, podríamos escribir:

$$V_{ab} = i \cdot R_{eq} \text{ ó } R_{eq} = \frac{V_{ab}}{i}$$

Donde V_{ab} es la diferencia de potencial entre los terminales a y b de la red, e i es la corriente en el punto *a* o en el *b*. Para calcular una resistencia equivalente, suponemos una diferencia de potencial V_{ab} a través de la red real, calculamos la corriente eléctrica correspondiente i y tomamos el cociente V_{ab}/i.

¿CÓMO VAS?

actividad

¿Cuál es la relación matemática entre el voltaje y la intensidad de corriente si en un experimento el cociente entre estas variables es constante?

TEN PRESENTE

- **El efecto Joule**

Establece los factores de conversión entre la unidad de la energía mecánica -el Joule- y la de la energía calórica -la caloría-:

Equivalente calórico del joule,

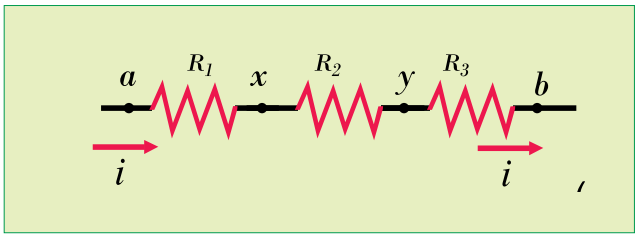
$0{,}24 \ \frac{\text{calorías}}{\text{joule}}$ o sea,

$Q = 0{,}24 \ \frac{\text{cal}}{\text{joule}} \cdot W$

Equivalente mecánico de la caloría,

$4{,}19 \ \frac{\text{joule}}{\text{caloría}}$ o sea

$W = 4{,}19 \ \frac{\text{joule}}{\text{caloría}} \cdot Q$



◂ **Figura 3.61**

Resistencia en serie

Como se explicó en los párrafos anteriores, es posible encontrar una resistencia equivalente cuando las resistencias se conectan en serie en un circuito. ¿Cuál es la fórmula de la resistencia equivalente? Podemos deducir ecuaciones generales para la resistencia equivalente de una combinación de resistencias en serie.

Si las resistencias están en serie, como en la **figura 3.61**, la corriente i debe ser igual en todos ellos (como ya se indicó en los párrafos anteriores, la corriente no se "consume" conforme pasa por un circuito).

Ahora, aplicando $V = i \cdot R$ a cada resistor y, tenemos:

$$V_{ax} = i \cdot R_1, \ V_{xy} = i \cdot R_2, \ V_{yb} = i \cdot R_3$$

No es necesario que las diferencias de potencial a través de cada resistor sean iguales (salvo el caso especial en que las tres resistencias sean iguales). La diferencia de potencial V_{ab} a través de la combinación completa es la suma de estas diferencias de potencial individuales:

$$V_{ab} = V_{ax} + V_{xy} + V_{yb} = i \ (R_1 + R_2 + R_3)$$

Y así,

$$\frac{V_{ab}}{i} = R_1 + R_2 + R_3$$

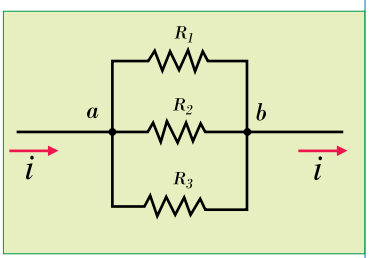
El cociente V_{ab} / i es, por definición la resistencia equivalente R_{eq}. Por consiguiente,

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

Podemos generalizar la expresión anterior a cualquier número de resistencias:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots \text{ (Resistencias en serie)}$$

La resistencia equivalente de cualquier número de resistencias en serie es igual a la suma de sus resistencias individuales. La resistencia equivalente es mayor que cualquiera de las resistencias individuales.



▲ **Figura 3.62**

Resistencias en paralelo

¿ Cuál será la expresión para calcular la resistencia equivalente cuando las resistencias en el circuito se conectan en paralelo?

Si las resistencias están en paralelo, como en la **figura 3.62**, la corriente en cada resistencia no necesariamente es igual, pero la diferencia de potencial entre los terminales de cada resistencia debe ser la misma e igual a V_{ab}. (Recuerda que la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera no depende de la trayectoria entre los puntos).

Sea la corriente en cada resistencia i_1, i_2 e i_3, entonces, de la expresión $i = V/R$, es:

$$i_1 = \frac{V_{ab}}{R_1}, \quad i_2 = \frac{V_{ab}}{R_2}, \quad i_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$

En general, la corriente es distinta en cada resistor; como la carga no se acumula ni se pierde en el punto *a*, la corriente total *i* debe ser igual a la suma de las corrientes en los resistores.

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = V_{ab} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{1}{R_{ab}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Pero por la definición de la resistencia equivalente R_{eq}, $\frac{i}{V_{ab}} = \frac{1}{R_{eq}}$, de modo que en paralelo la resistencia equivalente es:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

De nuevo es fácil generalizar la expresión anterior a cualquier número de resistencias.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots \text{ (Resistencias en paralelo)}$$

Para cualquier número de resistores en paralelo, el recíproco de la resistencia equivalente es igual a la suma de los recíprocos de las resistencias individuales. La resistencia equivalente, para la conexión de resistencias en paralelo, siempre es menor que cualquiera de las individuales.

Caso especial de dos resistencias en paralelo

Para el caso especial de dos resistores en paralelo,

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

como $V_{ab} = i_1 R_1 = i_2 \cdot R_2$

se concluye que $\frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2}{R_1}$ (dos resistencias en paralelo).

Esto muestra que las corrientes que pasan por dos resistores en paralelo son **inversamente proporcionales** a sus resistencias. Pasa más corriente por la trayectoria de menor resistencia.

¿CÓMO VAS?

Actividad

Si comparas la corriente que pasa por una resistencia que tiene conectada, en paralelo, un voltímetro ¿por cuál pasará menor corriente.

Ejercicio resuelto Nº 5

CÁLCULO DE UNA RESISTENCIA

Calcule la resistencia equivalente de la red de la **figura 3.63** y encuentre la corriente en cada resistencia. La fuente de fem tiene una resistencia interna despreciable.

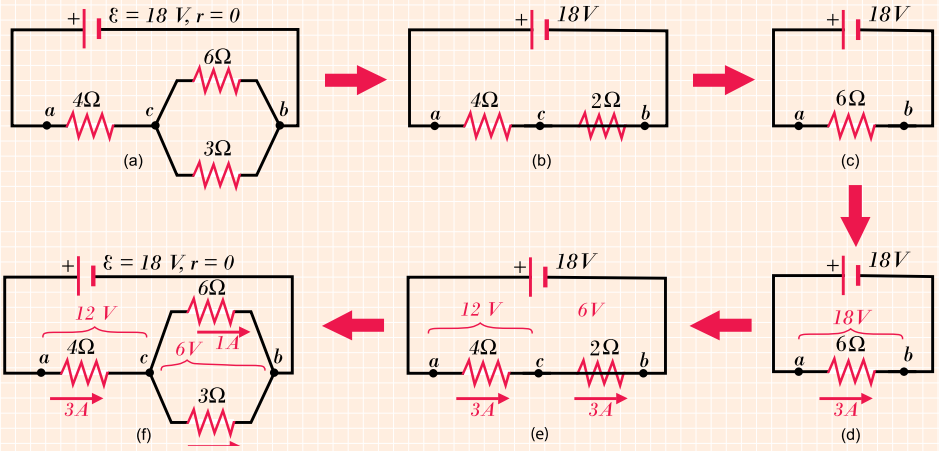


Figura 3.63

Identificando la información

En este problema, por cada resistencia pasa una determinada intensidad de corriente (i), voltaje (V) y se puede encontrar primero la resistencia equivalente y luego la corriente en cada rama.

Estrategia

De la **figura 3.63a** a la **figura 3.63c** se representan las etapas sucesivas en la reducción de la red a una sola resistencia equivalente.

Solución

Por la ecuación $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$, los resistores de 6 Z y de 3 Z conectados en paralelo, **figura 3.63a**, son equivalentes al resistor de 2 Z de la **figura 3.63b**

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{6Z} + \frac{1}{3Z} = \frac{1}{2Z}$$

Ahora usando

Por la ecuación $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$, la combinación en serie de este resistor de 2 Z con el de 4Z es equivalente al resistor de 6 Z de la **figura 3.63c**

Para encontrar la corriente en cada resistor de la red original, invertimos los pasos mediante los cuales redujimos la red.

En el circuito de la **figura 3.63c** (idéntico al de la **figura 3.63c**), la corriente es $i = V_{ab}/R = (18\ V)/(6\ Z) = 3$ A, así que la corriente en los resistores de 4 Z y 2 Z de la **figura 3.63e** también es de 3 A.

La diferencia de potencial V_{cb} a través del resistor de 2 Z es, por consiguiente,

$$V_{cb} = i \cdot R = (3A)(2\ Z) = 6V$$

Esta diferencia potencial también debe ser de 6 V en la **figura 3.63f** (idéntica a en la **figura 3.63a**).

Usando $i = \frac{V_{cb}}{R}$, las corrientes en los resistores de 6 Z y 3 Z de la **figura 3.63 f** son

(6V)/(6 Z) = 1 A y (6V)/(3 Z) = 2 A respectivamente.

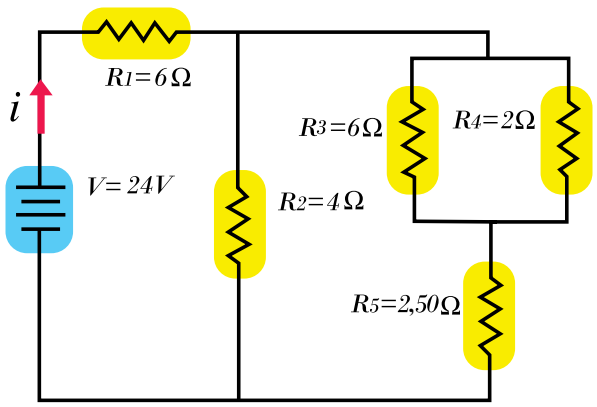
Observa que para las dos resistencias en paralelo entre los puntos *c* y *b* en la **figura 3.63f**, se tiene el doble de corriente en el circuito de 3 Z que en el de 6 Z; pasa más corriente por la trayectoria de menor resistencia de acuerdo con

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Observa también que la corriente total a través de estos dos resistores es de 3 A, igual que la que pasa por el resistor de 4 Z conectado entre los puntos a y c.

AHORA RESUELVES TÚ

Calcula la resistencia equivalente de la red de la **figura 3.64** y encuentra la corriente en cada resistencia. La fuente de fem tiene una resistencia interna despreciable:



▲ **Figura 3.64**

minirresumen

- Los circuitos suelen tener varias resistencias, por lo que es mejor considerar las combinaciones de estas.
- Es posible encontrar una resistencia equivalente cuando las resistencias se conectan en serie en un circuito.
- La resistencia equivalente de conexión de resistencias en serie, es igual a la suma de sus resistencias individuales. La resistencia equivalente es que cualquiera de las resistencias individuales.
- El recíproco de la resistencia equivalente de conexión de resistencias en paralelos se determina a través de las sumas de los recíprocos de las resistencias parciales.

TEMA 5: Circuito doméstico y combinación de resistencias

AL LEER APRENDERÁS

- A describir los componentes y funciones de la instalación eléctrica domiciliaria.

CONCEPTOS CLAVE

- Resistencia en serie
- Resistencia en paralelo

Cuál sería tu respuesta si te preguntaran: ¿los aparatos eléctricos (refrigerador, microondas, equipos de música) están conectados en serie o en paralelo en un circuito doméstico? (**figura 3.65**).

Seguramente has notado que cuando el foco de una lámpara se quema, otros dispositivos eléctricos de la casa siguen funcionando, o si apagas la luz de tu habitación, el resto de las ampolletas siguen funcionando, lo que nos indica que los aparatos eléctricos de una casa están conectados en paralelo. Además, si los dispositivos estuvieran conectados en serie, ninguno de los electrodomésticos tendría sus requeridos 220 V individualmente.



Figura 3.65 ▲

Además, para describir las componentes y funciones de la instalación eléctrica domiciliaria, necesitas conocer las propiedades de una conexión de resistencia en serie, paralela o mixta, y relacionar la potencia generada por un dispositivo eléctrico con la corriente que circula por él.

La temática se centra en los circuitos domésticos, su cableado y la seguridad eléctrica. También es importante considerar el consumo eléctrico que realizan estos aparatos y el valor económico que esto representa.

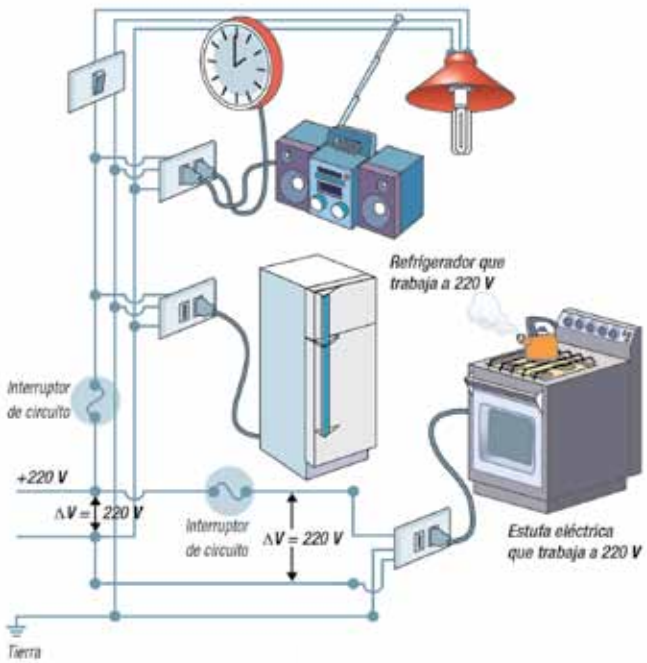
Circuito doméstico

Aunque los circuitos domésticos usan generalmente corriente alterna, ellos incluyen aplicaciones prácticas de algunos de los principios que hemos estudiado en los párrafos anteriores.

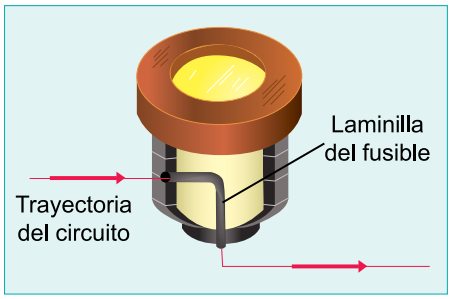
La potencia eléctrica es suministrada a una casa por medio de un sistema de alambres. Existe una diferencia de potencial (ΔV) de 220 V entre un alambre de alto potencial y otro que usualmente se llama alambre neutro, de potencial cero.

De este modo, tal como lo ilustra la **figura 3.66**, las diferencias de potencial de 220 V necesaria para el funcionamiento de los electrodomésticos, se obtiene conectando uno de sus terminales al alambre a tierra y cualquiera de los alambres de alto potencial a otro terminal libre, es decir, ΔV= 220 V- 0 V =220 V.

Por otra parte, grandes dispositivos como hornos y calentadores de agua necesitan 220 V. Aunque la corriente a través de un dispositivo se indica en el electrodoméstico, puede también ser determinada a partir de la potencia eléctrica del aparato (usando $P = i \cdot V$). Por ejemplo, un equipo de música de 1800 W a 220 V extraería una corriente promedio de 8,1 A (usando i = P/V).



▲ Figura 3.66



▲ **Figura 3.67**

Pero ¿cuál es la cantidad máxima de resistencias que se pueden conectar? Hay limitaciones sobre el número de elementos que pueden ser puestos en un circuito y sobre la corriente total en ese circuito, ya que el efecto joule (o pérdida $i^2 \cdot R$) en los alambres debe ser considerado.

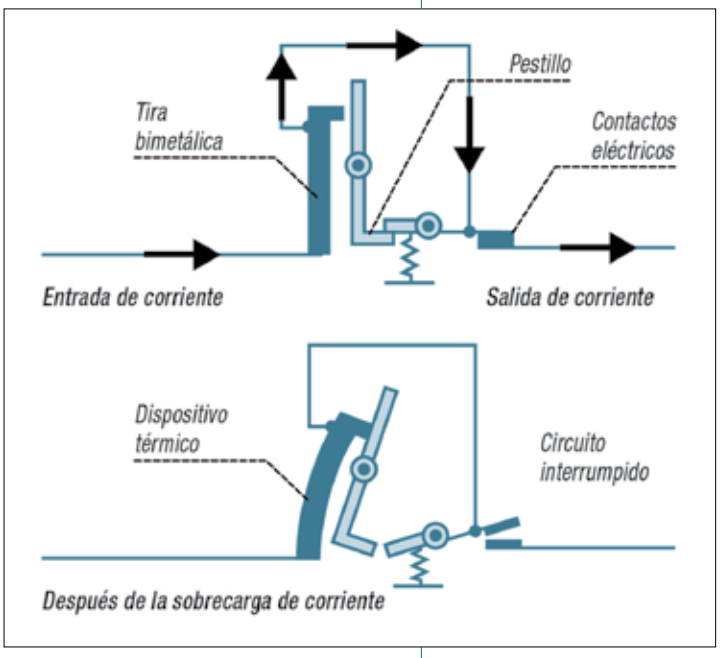
Entre más aparatos (resistencias) conectados en paralelo, menor es la resistencia equivalente del circuito. De este modo, añadir resistencias incrementa la corriente total.

Recuerda que los alambres reales tienen alguna resistencia y pueden quedar sometidos a un considerable calor provocado por el efecto joule si la corriente es suficientemente grande. Por lo tanto, añadiendo demasiados elementos portadores de corriente, es posible sobrecargar un circuito doméstico, de modo que lleve demasiada corriente y produzca excesivo calor en los alambres. Este calor podría fundir el aislante e iniciar un incendio.

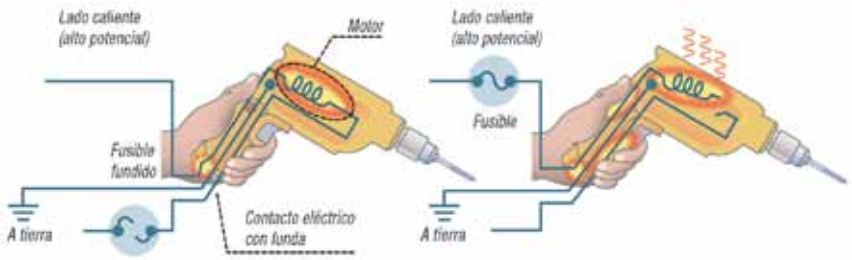
La sobrecarga se previene limitando la corriente en un circuito por medio de dos tipos de dispositivos: fusibles y *breakers*.

Los **fusibles** (**figura 3.67**) son comunes en las casas antiguas. Dentro del fusible se tiene una franja metálica que se funde debido al calor por el efecto joule cuando la corriente es mayor que el valor de clasificación (que es típicamente de 15 A para un circuito de 220 V). El fundido de la franja rompe (o abre) el circuito, y la corriente cae a cero. En efecto, este circuito abierto tiene una resistencia infinita.

Los ***breakers*** son ahora usados exclusivamente en el cableado de casas modernas. Un tipo (**figura 3.68**) usa una franja bimetálica. Cuando aumenta la corriente de la franja, esta se calienta y se flexiona. Al valor de clasificación de las corrientes, la franja se flexionará suficientemente para abrir el circuito. Sin embargo, un fusible quemado o un ***breaker*** desconectado indica que el circuito está trayendo o intentando extraer demasiada corriente.



▲ **Figura 3.68**



(a) (b)

▲ **Figura 3.69**

a) Si los interruptores y fusibles o cortacircuitos son ubicados en el lado del cable neutro, el motor queda conectado a la línea de alto potencial, aun cuando se queme o abra el interruptor.

b) Aun si el fusible o cortacircuito esté conectado a la línea de alto potencial, existe una situación potencialmente peligrosa.

Los **interruptores**, los fusibles y los ***breakers*** se colocan en el cable que provee energía de alto potencial ("positivo"*) de la línea.

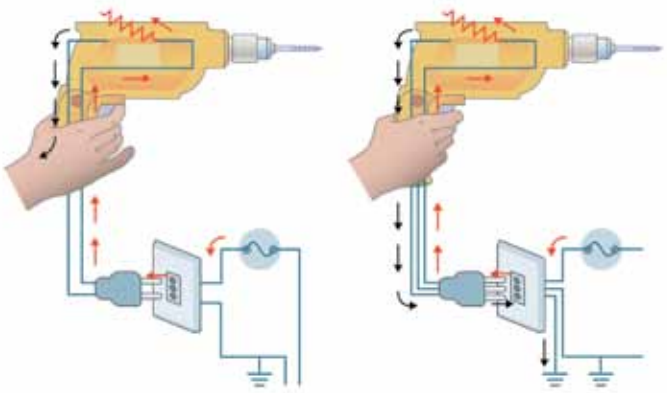
Pueden trabajar en el lado conectado a tierra, pero aun si el interruptor estuviera abierto, el fusible fundido o el ***breaker*** disparado, el circuito y cualquiera de sus elementos seguirían conectados a un potencial elevado, lo cual puede ser peligroso si una persona hace contacto eléctrico (**figura 3.69a**).

Aun con fusibles o ***breakers*** en el lado "positivo" de línea existe la posibilidad de provocar un choque eléctrico por un aparato defectuoso que tenga un mango metálico, como un taladro de mano. Un cable interior puede aflojarse y hacer contacto con el mango, que se calentaría frente a un potencial elevado (**figura 3.69b**). Una persona puede proporcionar una trayectoria a tierra y convertirse en parte del circuito y sufrir un choque eléctrico.

(*) Positivo: denominaremos "positivo" al cable que provee energía.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la diferencia entre un fusible y un *breaker*? ¿En qué zona de la casa se encuentran?



▲ **Figura 3.70**

Para prevenir un choque eléctrico, se agrega al circuito un tercer alambre dedicado que lleva a tierra la carga acumulada en la cubierta metálica de los aparatos o herramientas de potencia (**figura 3.70**). Tal desviación es un tipo de cortocircuito. Este alambre normalmente no lleva corriente. Si un alambre de alto potencial o "positivo" entra en contacto con la cubierta, el circuito es cerrado con este alambre a tierra.

El fusible se funde o el cortacorriente se dispara, ya que la mayor parte de la corriente está en el tercer alambre a tierra (trayectoria de baja resistencia) y no en tu trayectoria (de alta resistencia).

En los enchufes de tres dientes conectados a tierra, el diente redondo del centro se conecta con el cable de tierra. Se pueden utilizar adaptadores entre un enchufe de tres dientes y una toma de corriente de dos dientes. Tales adaptadores tienen una agarradera o un cable que hace tierra (**figura 3.71**).

Estos deben asegurarse a una caja receptáculo con un tornillo de seguridad o con algún otro medio. La caja receptáculo está conectada a tierra por medio del cable que hace tierra. Si la agarradera o el cable del adaptador no están conectados, el sistema queda desprotegido, lo cual frustra el propósito del dispositivo de seguridad dedicado a hacer tierra.

La polarización en el sentido eléctrico es un método de identificar los lados energizados o "positivo" y la línea de tierra, de modo que se puedan hacer conexiones particulares.

Dicha polarización y la toma de corriente son ahora una medida de seguridad común. Los receptáculos de pared están cableados, de manera que la ranura pequeña conecta con el lado "positivo" y la ranura grande con el lado neutral o tierra.

Si se identifica el lado "positivo" en esta forma, el fabricante de un aparato eléctrico puede diseñarlo, de modo que el interruptor siempre esté del lado "positivo" de la línea. Así, todo el cableado del aparato, más allá del interruptor será neutro cuando el interruptor, este abierto y el aparato quede desconectado.

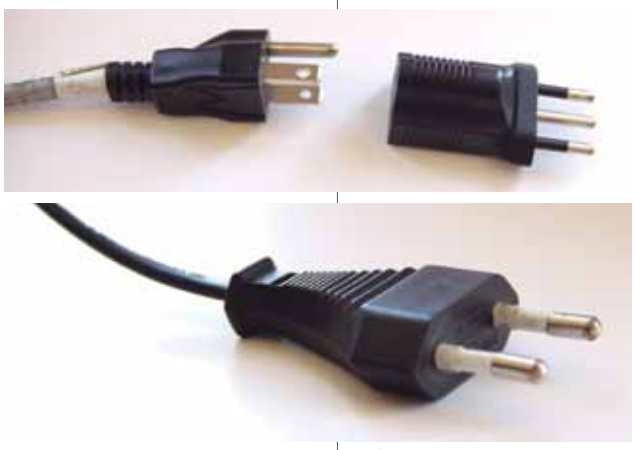


Figura 3.71

Es más, la cubierta del aparato es conectada por el fabricante al lado de tierra por medio de una clavija polarizada, ya que si algún cable "positivo" del aparato se afloja y hace contacto con la cubierta metálica, el efecto será similar al que ocurre en el sistema conectado a tierra, el lado "positivo" será dirigido hacia la tierra, lo cual puede fundir un fusible o disparar un interruptor de circuito.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la diferencia entre un enchufe de tres dientes y otro de dos?

Evaluación de sección 2

1. ¿Qué es la corriente eléctrica?
2. ¿Cuál es la diferencia entre los conceptos de resistencia, voltaje, potencia y energía eléctrica entre un circuito?
3. Dos ampolletas eléctricas idénticas se van a conectar a una fuente con 8 V y resistencia interna despreciable. Cada ampolleta tiene una resistencia de 2 Z. Encuentra la corriente y la diferencia de potencial en cada ampolleta, la potencia transmitida a cada una de las ampolletas y a la red completa si las ampolletas están conectadas:

   a) en serie **figura 3.72a**.

   b) en paralelo **figura 3.72b**.

   c) Supón que una de las ampolletas se quema, es decir, el filamento se rompe y ya no pasa corriente por él ¿Qué sucede con la otra ampolleta si está en serie? ¿Si está en paralelo?

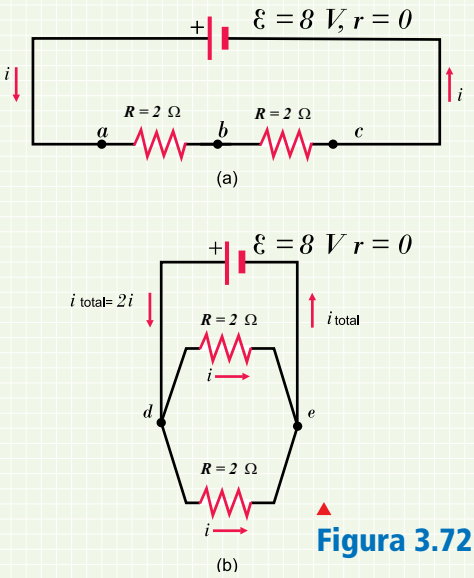


Figura 3.72

CONSUMO ELÉCTRICO EN EL HOGAR

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones, apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel

Antecedentes

En los sistemas de cableado doméstico, los aparatos eléctricos se conectan en paralelo a través de la línea de potencia, que es un par de conductores, uno de alto voltaje y otro neutro. Además, se incluye un cable a "tierra" por seguridad.

La máxima corriente permisible en un circuito está determinada por el tamaño de los cables y de la temperatura que pueden soportar. Por otra parte, los interruptores de un circuito protegen contra corrientes excesivas y los consecuentes riesgos de incendio.

Objetivo

Comprender cómo están conectados en un circuito doméstico los aparatos eléctricos.

Problema

Un tostador de 3300 W, una freidora de 2,42 kW y una lámpara de 100 W están conectados , tal como lo ilustra la **Figura A**, en el mismo circuito de 20 A y 220 V.

a) ¿Qué corriente tiene cada aparato? ¿Cuál es la resistencia en cada aparato?

b) ¿Esta combinación fundirá el fusible?

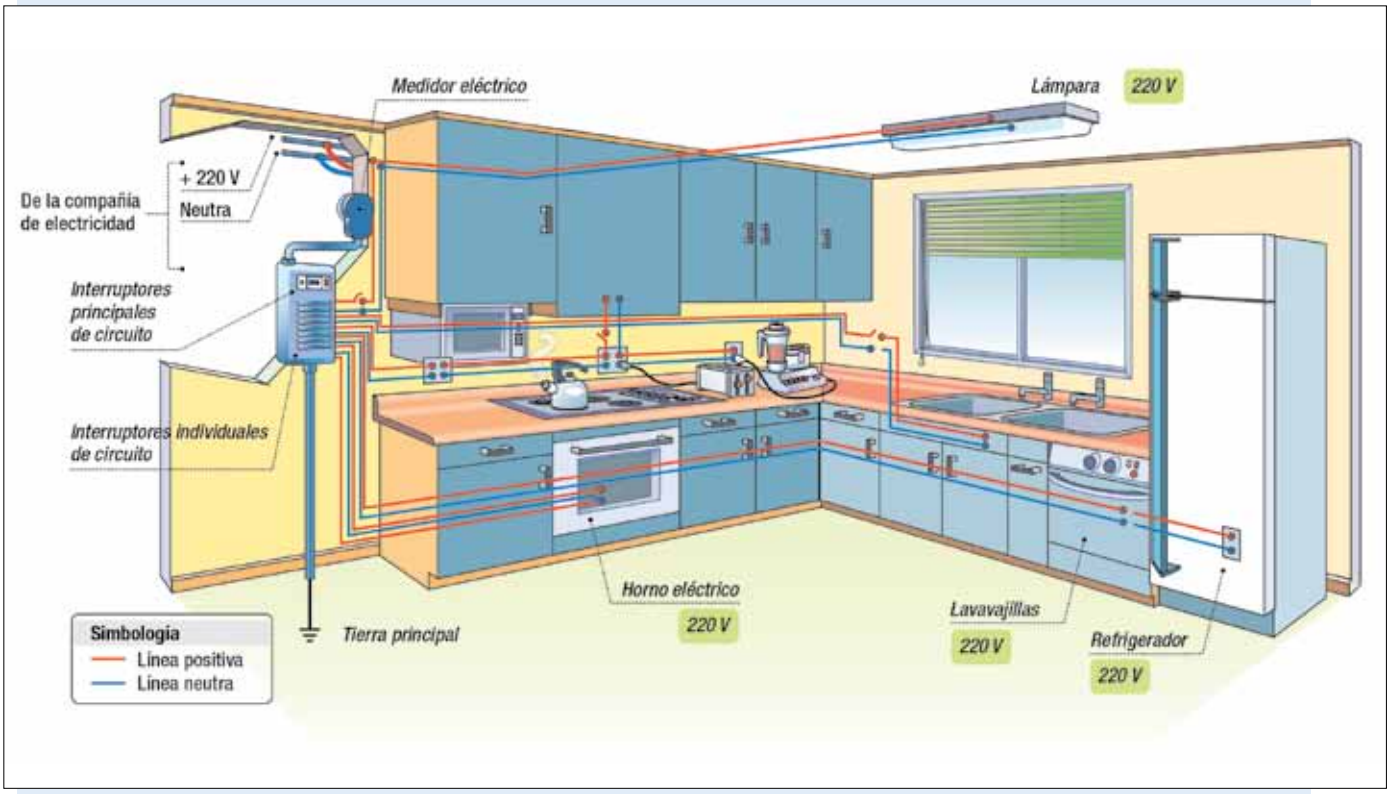


Figura A

Procedimiento

a) Cuando están conectados en el mismo circuito, los tres dispositivos están en paralelo y el voltaje de cada uno es de 220 V.

La potencia suministrada a cada dispositivo es $P = V \cdot I$, donde I es la corriente que se suministra al aparato y R es su resistencia.

Por lo tanto, usaremos: $I = \frac{P}{V}$ y $R = \frac{V^2}{P}$

Por consiguiente:

$$I_{tostador} = \frac{3300\ W}{220\ V} = 15\ A \qquad R_{tostador} = \frac{(220\ V)^2}{3\ 300\ W} = 15\ \Omega$$

$$I_{freidora} = \frac{2420\ W}{220\ V} = 11\ A \qquad R_{freidora} = \frac{(220\ V)^2}{2\ 420\ W} = 20\ \Omega$$

$$I_{lámpara} = \frac{100\ W}{220\ V} = 0{,}45\ A \qquad R_{lámpara} = \frac{(220\ V)^2}{100\ W} = 484\ \Omega$$

De este modo, para un voltaje constante, el dispositivo con menor resistencia (en este caso el tostador) requiere mayor corriente y recibe la mayor potencia.

b) La corriente total a través de la línea es la suma de las corrientes que toman los tres aparatos

$$I = I_{tostador} + I_{freidora} + I_{lámpara} = 15\ A + 11\ A + 0{,}45\ A = 26{,}45\ A = 27\ A$$

Esto excede la estimación de 20 A de la línea, por lo que el fusible se fundirá.

De esta forma, el tostador y la freidora deberían estar conectados en circuitos diferentes para que la corriente estuviera por debajo de los 20 A y el circuito fuera seguro.

Analiza y concluye

1. ¿Por qué se debe modificar la conexión de los aparatos?
2. ¿Por qué el tostador necesita mayor corriente?
3. ¿Cómo se deben conectar el tostador y la freidora para que no se funda el fusible?
4. Demuestra por medio de cálculos matemáticos el circuito propuesto.



Ir más allá

Aunque hablamos de potencia en el análisis anterior, lo que nos vende la compañía de electricidad es energía. La potencia es energía suministrada por unidad de tiempo, de modo que la energía es la potencia multiplicada por el tiempo. La unidad normal de energía que utilizan las compañías de electricidad es el kilowatt-hora (kWh), el cual equivale a

$$1\ kWh = 1000\ W \cdot 3600\ s = 3{,}6 \cdot 10^6\ J$$

Averigua

a) ¿Cuál es el valor de cada kWh que suministra tu compañía de luz?

b) ¿Cuánta energía consume tu hogar en el invierno y en el verano?

c) ¿Cómo disminuirías los costos de tu consumo mensual de energía?

Escribe un artículo científico.

¿Cuál es tu respuesta cuando te preguntan cómo funciona un motor eléctrico o un horno microondas? ¿Qué es una fuerza magnética? ¿Cuál es su naturaleza?

Por otra parte, ¿has observado de qué manera un imán atrae a los clavos y clips, mientras que a otro imán lo puede repeler? (**figura 3.73**).

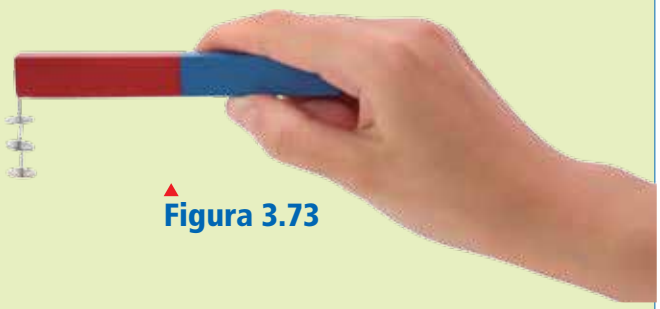


Figura 3.73

Todo nuestro mundo utiliza fuerzas magnéticas, ya que sin ellas no habría motores eléctricos, ni parlantes, ni impresoras, entre otros muchos artefactos. Los aspectos más cotidianos del magnetismo son asociados a imanes permanentes que atraen objetos no magnetizados de hierro y que también pueden atraer o repeler a otros imanes. Un ejemplo de dicha interacción ocurre cuando la aguja de una brújula se alinea con el campo magnético de la Tierra.

La pregunta surge sola: ¿Cuál es la naturaleza del magnetismo?

Para poder identificar la relación cualitativa entre corriente eléctrica y magnetismo, necesitas comprender los conceptos de corriente eléctrica y campo magnético; además, conocer estrategias para resolver problemas y describir investigaciones científicas.

El tema que se desarrollará en esta sección tiene importantes aplicaciones prácticas, ya que la acción de un campo magnético sobre una carga móvil explica el funcionamiento del osciloscopio, el espectrógrafo de masa y los aceleradores de partículas, aparatos que revisten gran importancia en la electrónica y en física nuclear.

AL LEER APRENDERÁS

- A identificar la relación cualitativa entre corriente eléctrica y magnetismo.

CONCEPTOS CLAVE

- Campo magnético
- Electromagnetismo

TEMA 1: Conceptos fundamentales del campo magnético: imanes y corrientes

Desde la Antigüedad se observó que ciertos minerales de hierro, como la magnetita, tenían la propiedad de atraer pequeños trozos de hierro. Esta propiedad, que no se puede explicar por medio de las interacciones gravitacionales o eléctricas, fue denominada magnetismo en honor a la antigua ciudad de Asia Menor, Magnesia, donde se encontraban estos minerales que reciben el nombre de imanes naturales.

Además de los imanes naturales, existen sustancias como el hierro, el cobalto y el níquel que pueden adquirir el magnetismo de una manera artificial, razón por la que reciben el nombre de imanes artificiales.

Una de las propiedades de los imanes rectos (**figura 3.74**) es que tienen dos regiones llamados polos, por lo que los extremos de una piedra imán se denominan polos magnéticos. Para evitar confusiones con la notación de carga eléctrica positiva y negativa, a estos polos se les denomina norte (N) y sur (S), terminología proveniente del primer uso de la brújula magnética, que sirve para determinar la dirección del campo magnético. El polo norte de un imán de brújula se definió históricamente como el extremo que da hacia el norte, el que tiende a apuntar al norte de la Tierra.

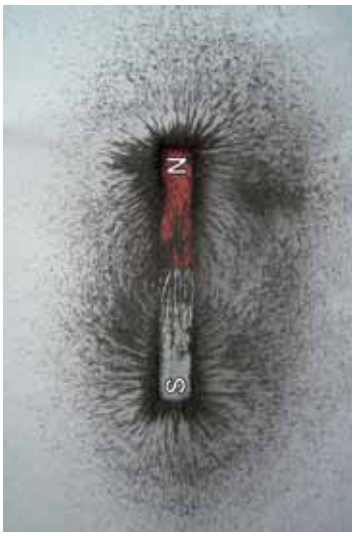


Figura 3.74

Estudios posteriores indicaron que dos polos iguales se rechazan, mientras que dos polos distintos se atraen. (**figura 3.75**).

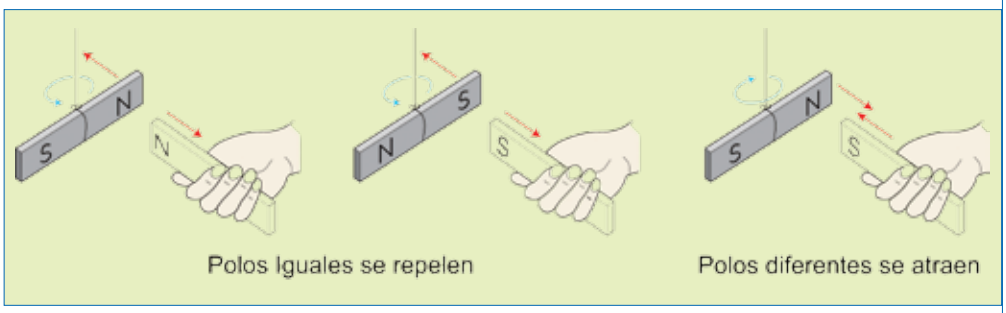


Figura 3.75

Ahora, ¿qué sucedería si cortáramos un imán en dos partes?

Si se intenta separar los polos de un imán partiéndolo en la mitad, el esfuerzo será inútil, ya que el imán se convierte en dos imanes nuevos, cada uno con polos norte y sur.

El concepto de polo magnético puede parecer similar al de carga eléctrica, estudiada en la Sección 1 de este capítulo. De hecho, los conceptos de polo norte y polo sur parecían similares a los de carga positiva y negativa, pero tal analogía es errónea, ya que no hay pruebas experimentales de la existencia de un único polo magnético aislado o monopolo magnético.

Campo magnético

Como recordarás, en electrostática, al actuar un campo eléctrico $\vec{E}$ sobre una carga q en reposo se producía sobre ella una fuerza $\vec{F}$, cuyo módulo es $F = q \cdot E$.

Ahora, cuando esta carga q esta en movimiento en una región donde existe un campo magnético, se produce sobre ella una nueva fuerza, denominada fuerza magnética.

Por otra parte, la definición de campo magnético es más compleja que la de campo eléctrico, ya que está determinado por la magnitud y la dirección de la velocidad de la carga q.

Entonces, ¿cuándo existe un campo magnético? ¿Cuáles son la dirección, el sentido y la magnitud del campo magnético?

Existencia de un campo magnético

Se dice que existe un campo magnético en un punto, si sobre una carga q en movimiento que pasa por dicho punto, se ejerce una fuerza perpendicular a la dirección de la velocidad de esa carga eléctrica (además, de las fuerzas gravitacionales y eléctricas que actúan sobre dicha carga).

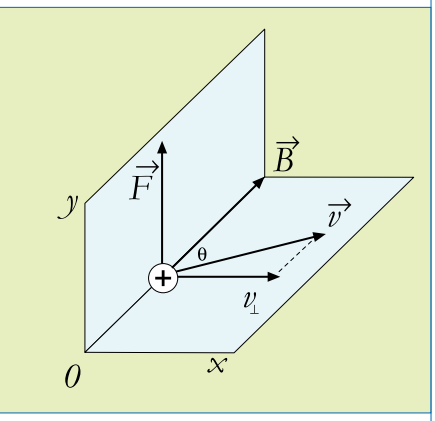


Figura 3.76

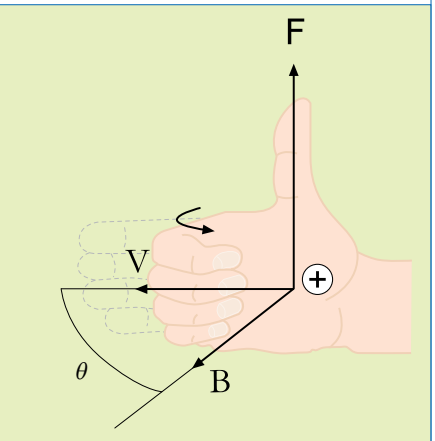


Figura 3.77

Dirección del campo magnético

Si la dirección de la velocidad de la carga que se mueve en el campo magnético cambia, se observa que la fuerza es siempre perpendicular a la velocidad y que su magnitud varía. Pero, para una cierta dirección de la velocidad, la fuerza se anula. Esta dirección se define como la del campo magnético, sin precisar su sentido.

Módulo del campo magnético

Cuando la velocidad ($\vec{v}$) de la carga q es perpendicular a la dirección anterior, la fuerza es máxima y proporcional a $\vec{v}$ y a q.

Esto indica que si $\vec{v}$ no es perpendicular a la dirección del campo magnético, sino que forma un ángulo θ con el campo, el vector velocidad se puede separar en dos componentes (**figura 3.76**): una de ellas en dirección de campo magnético (no produce fuerza, según lo explicado en los párrafos anteriores) y la otra, componente $v_{\perp} = v \cdot \text{sen}\theta$, perpendicular al campo magnético que produce una fuerza proporcional a $v_{\perp}$ y a q.

Así, la magnitud de la fuerza se puede escribir:

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

donde B es una constante que caracteriza en dicho punto al campo magnético, que se denomina inducción magnética, y que se define como:

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

Si F se expresa en newtons y v en m/s, la inducción magnética B se mide en tesla o en weber por metro cuadrado (Wb/m^2).

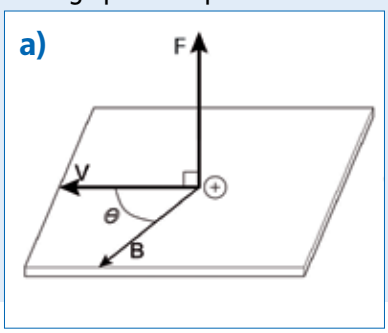
Sentido del campo magnético y la regla de la mano derecha para fuerzas sobre cargas en movimiento

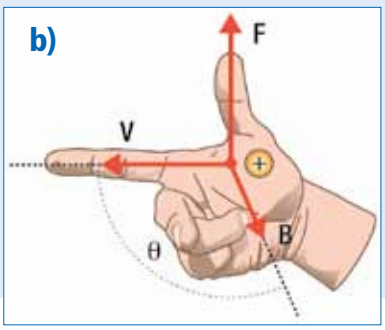
El sentido de la fuerza magnética sobre cualquier partícula cargada en movimiento está determinada por la orientación de la velocidad de la partícula en relación con el campo magnético. Ese sentido se determina con la regla de la mano derecha para fuerzas (**figura 3.77**), la cual establece que los dedos de la mano (índice, medio, anular y meñique) apuntan en la dirección y sentido de la velocidad $\vec{v}$, y se mueven después hacia la palma (en el ángulo menor) hacia el vector $\vec{B}$, mientras que el pulgar extendido apunta en la dirección y sentido de la fuerza $\vec{F}$.

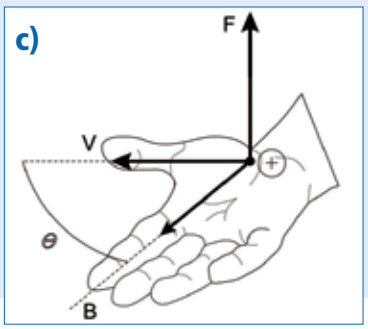
Si la carga es negativa, el sentido de la fuerza se invierte.

¿CÓMO VAS? actividad

Observa las siguientes figura y explica ¿cómo se determina el sentido de la fuerza magnética sobre una partícula con carga positiva que se mueve con velocidad $\vec{v}$?







Ejemplo de aplicación. ¿Qué trayectoria describe una partícula cargada cuando se encuentra al interior de un campo magnético?

Antes de describir la trayectoria, cada vez que trabajemos con vectores perpendiculares es conveniente introducir los siguientes símbolos:

El símbolo X representa la cola de la flecha del vector e indica que el vector es perpendicular al plano y entra en él.

El símbolo ⊙ representa la punta de la flecha y señala a un vector que es perpendicular al plano y sale de él.

Ahora vamos a describir la trayectoria de una partícula cargada en movimiento, que es lanzada desde un punto al interior en el cual existe un campo magnético uniforme $\vec{B}$.

Para ello consideremos lo siguiente: que el campo magnético es uniforme en esta zona y tiene un módulo B y está entrando perpendicularmente en un plano (**figura 3.78**), mientras que la partícula electrizada positivamente con carga *q*, es lanzada desde el punto P con una velocidad $\vec{v}$.

¿Cuál es la dirección, sentido y módulo de la fuerza que actúa sobre la partícula cargada?

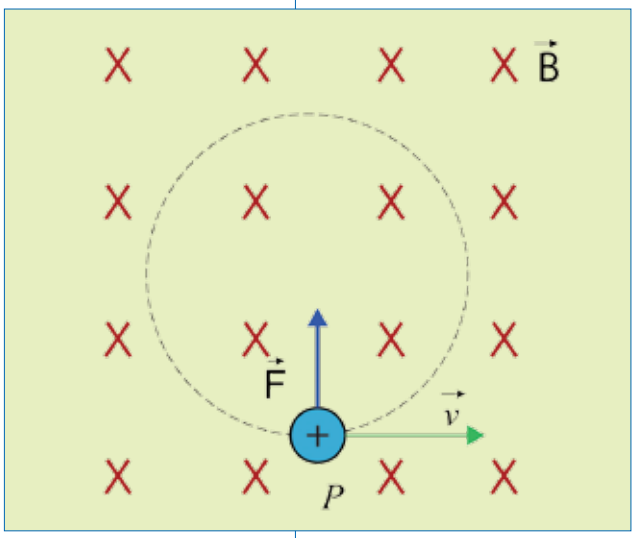


Figura 3.78

Si aplicamos la regla de la mano derecha, encontramos que la fuerza $\vec{F}$ que actúa sobre la partícula en el punto P tiene el sentido mostrado en la **figura 3.78**.

De este modo, en cualquier punto de su trayectoria, la carga *q* está sometida a una fuerza $\vec{F}$, constante en módulo y perpendicular a la velocidad. Es necesario indicar que la fuerza modifica la dirección de la velocidad, pero no su magnitud.

Podemos calcular el módulo de la fuerza $\vec{F}$ aplicando $F = B \cdot q \cdot v \cdot \text{sen}\theta$, pero como el campo magnético uniforme y la velocidad son perpendiculares $\text{sen}90° = 1$, el módulo de la fuerza es:

$$F = B \cdot q \cdot v$$

Como recordarás, al estudiar el movimiento circunferencial de un cuerpo se demostró que la fuerza sobre un cuerpo es constante en magnitud, perpendicular a la velocidad y dirigida hacia el centro, es decir, la fuerza es centrípeta.

Como la situación descrita corresponde a una carga que se mueve perpendicularmente dentro de una zona donde existe un campo magnético uniforme, se deduce que la trayectoria de esta partícula será una circunferencia.

Ahora, ¿cuál es el radio de la circunferencia descrita por la partícula? ¿Depende de la velocidad el tiempo que se demora la partícula en dar la vuelta completa?

Aplicando la segunda ley de Newton, se tendrá que:

$$F = q \cdot B \cdot v = m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

REVISANDO LO QUE SABES

- Como sabemos, la segunda ley de Newton es una de las leyes básicas de la mecánica (rama de la física que estudia los fenómenos relacionados con el movimiento de los cuerpos); se utiliza en el análisis de los movimientos próximos a la superficie de la tierra y también en el estudio de los cuerpos celestes.

Despejando *R*, obtenemos:

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Para calcular el tiempo que emplea la carga en dar una vuelta completa o período (T) aplicamos:

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{v}$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{m \cdot v}{q \cdot B}}{v}$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{q \cdot B}$$

De esta última forma podemos concluir que el tiempo empleado por la partícula en dar una vuelta es independiente de su velocidad.

AHORA RESUELVES TÚ

En la figura **3.79a** y **3.79b**, un campo magnético uniforme apunta hacia afuera y es perpendicular al plano. Dibuja la trayectoria de la partícula q.

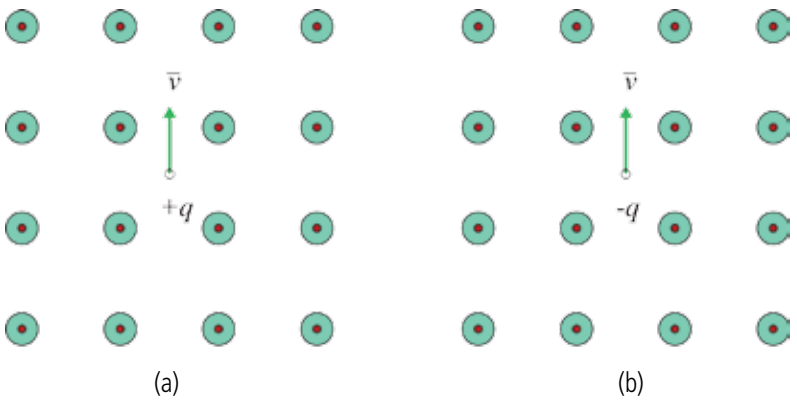


Figura 3.79

Electromagnetismo o relación entre el campo magnético y la corriente eléctrica

En los párrafos anteriores establecimos que en la naturaleza existen imanes permanentes (**figura 3.80a**) que generan un campo magnético a su alrededor. También señalamos que existen los imanes artificiales y que cuando una partícula cargada se mueve al interior de un campo magnético, sobre ella actúa una fuerza magnética (**figura 3.80b**).

¿Existirá alguna relación entre el campo magnético y la corriente eléctrica?

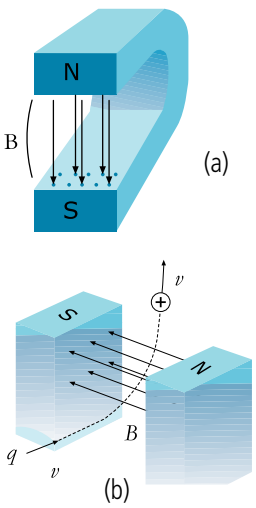


Figura 3.80

Durante mucho tiempo, el estudio de los fenómenos magnéticos se redujo al de los imanes obtenidos de forma natural, sin conocer su relación con los fenómenos eléctricos.

Sin embargo, la relación entre el campo magnético y la corriente eléctrica se descubre con el experimento de Hans Cristian Oersted, físico danés que observó que una corriente eléctrica ejercía una fuerza sobre una aguja imantada próxima.

Si por el conductor no pasa corriente, la brújula se orientará hacia el polo norte (**figura 3.81a**), pero cuando pasa corriente, la brújula tiende a colocarse en forma perpendicular a esta (**figura 3.81b**).

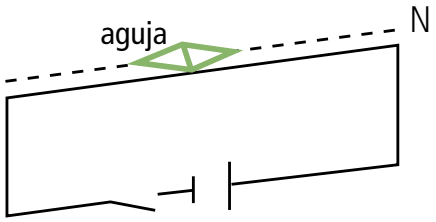


Figura 3.81a

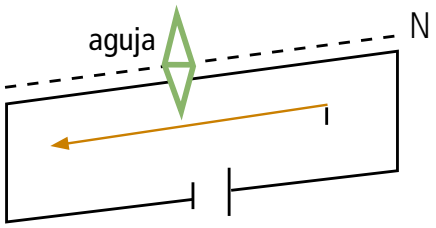


Figura 3.81b

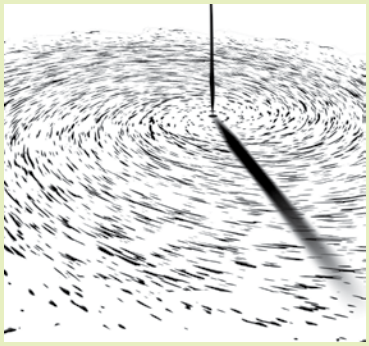


Figura 3.82

Este descubrimiento supuso un gran adelanto científico porque permitió la creación de campos magnéticos sin depender de los imanes naturales como la magnetita, mineral que se había utilizado durante siglos como único agente productor de los campos magnéticos y la única materia prima para fabricar imanes.

Podemos describir de otra manera el descubrimiento de Oersted diciendo que en un conductor eléctrico, una carga móvil o corriente eléctrica, crea un campo denominado campo magnético en el espacio que la rodea.

Las líneas de fuerza magnéticas creadas por un conductor recto que transporta corriente eléctrica son circunferencias concéntricas al conductor (**figura 3.82**). Además, el vector inducción magnética B es tangente a cada una de ellas y disminuye a medida que se aleja del conductor.

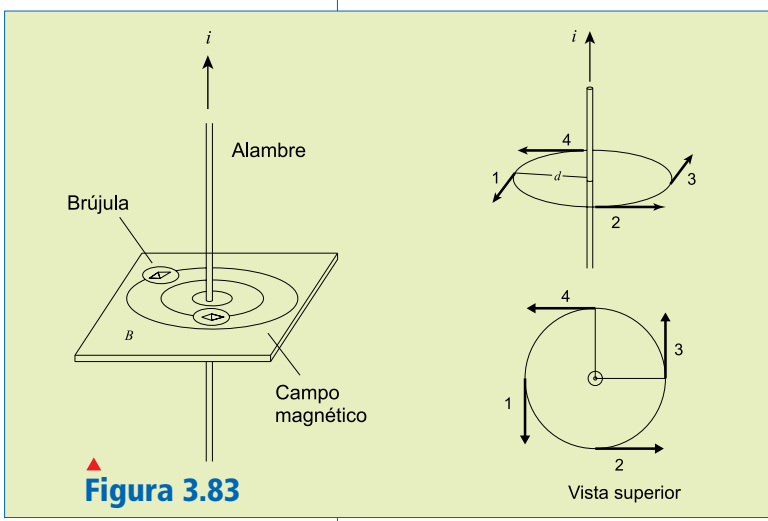


Figura 3.83

La intensidad del vector inducción magnética (**figura 3.83**) es inversamente proporcional a la distancia entre el alambre conductor y el punto donde se desea medir el campo.

Así, tenemos que el módulo del vector inducción magnética ($\vec{B}$) a una distancia R desde un conductor largo y recto de corriente es

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

En donde $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$ es la constante de permeabilidad magnética del vacío.

El sentido del vector $\vec{B}$ se determina por la regla de la mano derecha que se explica a través de la **figura 3.84**.

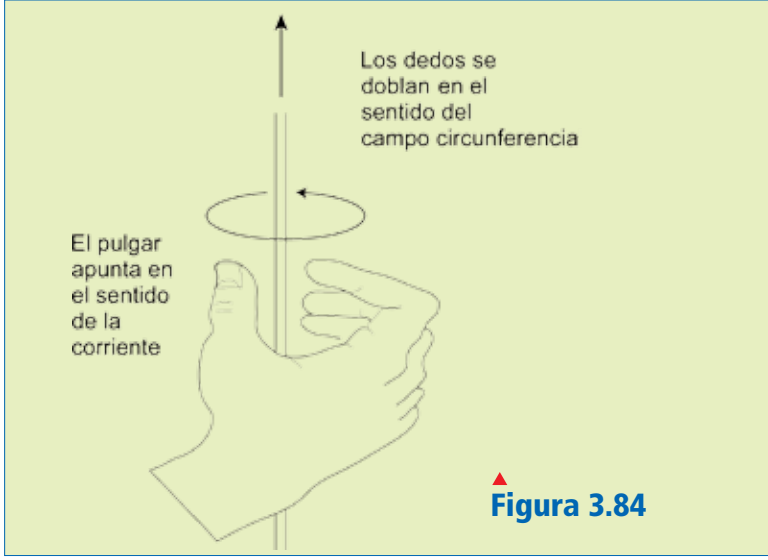


Figura 3.84

¿Cómo vas? actividad

Observa la **figura 3.85** y explica cómo son las líneas del campo magnético.

Habilidades

- Extraer información de un experimento.
- Elaborar explicaciones.
- Contrastar explicaciones.

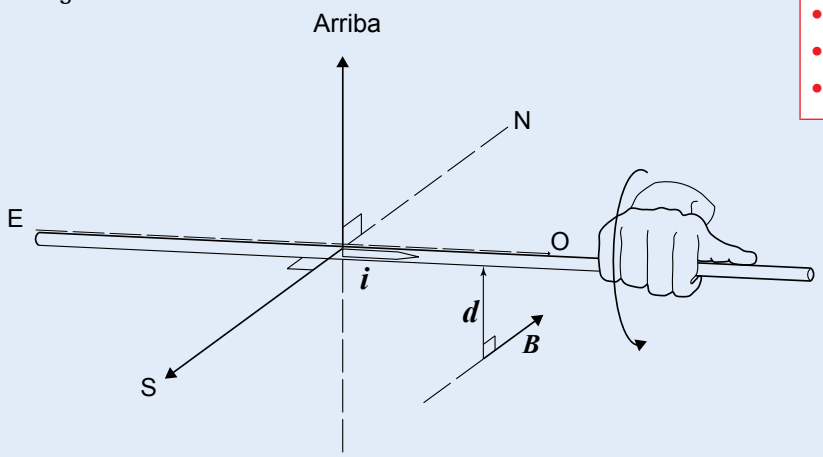


Figura 3.85

minilaboratorio

Objetivo

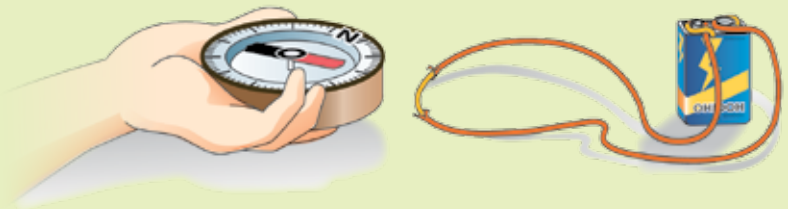
Identificar la relación entre el campo magnético y la corriente eléctrica.

Materiales

- 1 brújula
- 1 metro de alambre
- batería de 9 volts

Procedimiento

1. Con los materiales solicitados, construye el circuito de la figura y haz circular corriente uniendo los polos de la batería por medio del cable de cobre.
2. Ahora, acerca la brújula al cable de cobre y observa con atención la aguja de la brújula.



a) ¿Qué observas?

b) Ahora, cambia de posición la brújula. ¿Qué ocurre con la aguja?

c) ¿Cómo explicarías lo sucedido?

d) ¿Cuál es la relación de este experimento con la experiencia de Oersted?

minirresumen

- Existe un campo magnético en un punto si sobre una carga q en movimiento, que pasa por dicho punto, se ejerce una fuerza perpendicular a la velocidad de la carga independiente de las fuerzas gravitacionales y eléctricas que actúan sobre la carga.
- El sentido de la fuerza magnética sobre cualquier partícula cargada en movimiento está determinado por la orientación de la velocidad de la partícula en relación con el campo magnético.
- El vector inducción magnética B es inversamente proporcional a la distancia entre el alambre conductor y el punto donde se desea medir el campo.
- El sentido del campo magnético generado por una corriente que pasa por un conductor rectilíneo se determina con la regla de la mano derecha.

Campo magnético de algunas configuraciones de corriente eléctrica

¿Es posible calcular el campo magnético de otras formas o configuraciones de corriente eléctrica?

La deducción de ecuaciones para determinar la magnitud del campo magnético cerca de un conductor con corriente eléctrica requiere de métodos matemáticos avanzados.

Sin embargo, Ampere desarrolló un procedimiento matemático, conocido como la ley de Ampere, que permite determinar el campo magnético que producen las diversas configuraciones de corriente eléctrica. Pero dada la complicación de estos desarrollos matemáticos, solo enunciaremos los resultados para algunos casos sencillos y útiles.

Campo magnético en el centro de una espira circular con corriente eléctrica

En el centro de una espira circular plana de radio R y pasando la corriente i por ella, se produce un campo magnético cuyo módulo es:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2 \cdot R}$$

La **figura 3.86a** presenta el campo magnético debido a una espira circular con corriente eléctrica. En ella se muestra el ordenamiento de limaduras de hierro provocado por una espira con corriente. Observa que el campo magnético en el centro de la espira es perpendicular al plano de esta.

La **figura 3.86b** muestra las líneas de campo magnético de una espira circular.



Figura 3.86a

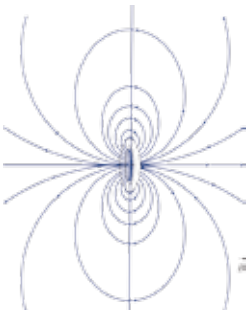


Figura 3.86b

CONSIDERA

- La ecuación de Lorentz

  Como habrás notado, usando la siguiente fórmula

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

  denominada fuerza de Lorentz, podemos calcular la magnitud de la fuerza que actúa sobre una carga que se desplaza a una rapidez v por un campo magnético de magnitud B.

  Sin embargo, esta fórmula se puede escribir también en forma vectorial utilizando la regla de la mano derecha. Es necesario señalar que la fórmula descrita es válida en ausencia de cargas eléctricas. Si éstas se encuentran presentes la fuerza de Lorentz es

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

  Donde $\vec{E}$ corresponde al campo eléctrico produciro por la presencia de cargas eléctricas.

  Esto nos permite trabajar con la fórmula en forma escalar o en forma vectorial dependiendo si usamos o no la regla de la mano derecha.



▲ **Figura 3.87a**
El campo magnético de un solenoide con corriente eléctrica es bastante uniforme cerca de su eje central, como se observa en esta imagen de limaduras de hierro

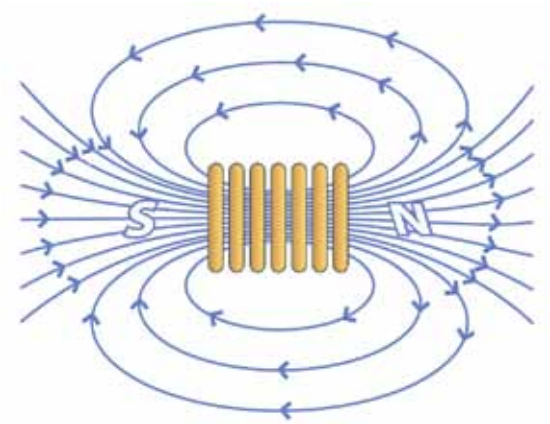
Campo magnético de un solenoide o bobina con corriente

Un solenoide se forma devanando un alambre largo en forma de bobina apretada, o hélice, con muchas espiras o vueltas circulares (**figura 3.87a**).

Si el radio de las espiras es pequeño en comparación con la longitud (L) de la bobina, el campo magnético en el interior es paralelo al eje longitudinal del solenoide y su magnitud es constante **figura 3.87b.**

Si el solenoide tiene N vueltas y conduce una corriente *i*, la magnitud del campo eléctrico en su centro es:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{L} \quad \text{si } n = \frac{N}{L} \quad \text{entonces } B = \mu_0 \cdot n \cdot i$$



◄ **Figura 3.87b**

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer la fuerza magnética ejercida sobre un conductor que porta corriente.

CONCEPTOS CLAVE

- Fuerza magnética sobre conductores con corriente eléctrica
- Torque sobre una espira con corriente
- Motor de corriente continua

TEMA 2: Fuerza magnética sobre un conductor

¿Qué responderías si te preguntaran cómo funciona un motor eléctrico? ¿Es posible que dos alambres por los que circula una corriente eléctrica se atraigan o repelen?

Como recordarás de la sección anterior, si una carga se mueve en una zona donde existe un campo magnético, entonces sobre ella actúa una fuerza. También recordarás que en torno a una corriente se forma un campo magnético.

¿Qué efectos produciría un campo magnético sobre un conductor por donde circula una corriente o sobre un circuito plano capaz de girar en algún eje que lo atraviese? ¿Existirá alguna diferencia si la corriente que circula dentro de un conductor cambia de sentido o si cambió de dirección?

Para que puedas reconocer la fuerza que se ejerce sobre un conductor que porta una corriente, además necesitas conocer el efecto de un campo magnético sobre una partícula cargada, el concepto de corriente eléctrica, las leyes de Newton y el concepto de torque.

Todo esto te permitirá encontrar nuevas relaciones o fórmulas, y comprender cómo funcionan los motores eléctricos como los de la **figura 3.88**.

Finalmente, podrás explicar situaciones experimentales o problemas al identificar y procesar datos.

Fuerza magnética sobre conductores con corriente eléctrica

Consideremos un conductor de largo *L*, recorrido por una corriente *I*, y colocado en un campo magnético $\vec{B}$ que actúa en dirección perpendicular al plano (**figura 3.89**).

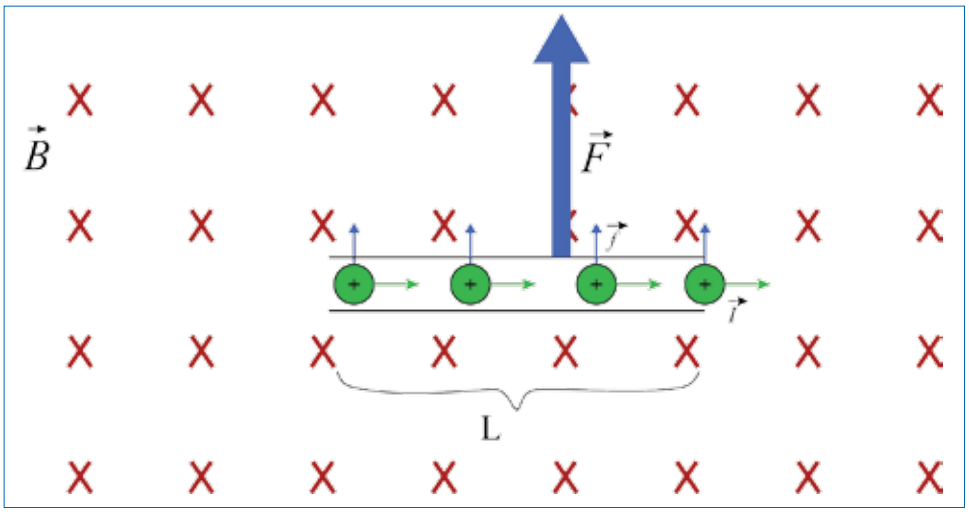


Figura 3.89

Sabemos que la corriente eléctrica para cualquier efecto se considera constituida por cargas eléctricas positivas en movimiento.

En un intervalo de tiempo Δt, una carga eléctrica q_i, en promedio, se movería una longitud.

$$L = v \cdot \Delta t$$

en donde v es el módulo de la velocidad de deriva, y el campo magnético $\vec{B}$ actúa sobre cada una de ellas ejerciendo una fuerza individual $\vec{f}$, cuyo sentido se obtiene mediante la regla de la mano derecha (**figura 3.90**).

Como consecuencia de esta acción del campo magnético sobre las cargas que constituyen la corriente, en el conductor actuará una fuerza total $\vec{F}$, que es la resultante de las fuerzas $\vec{f}$. El módulo de la fuerza f_i que actúa sobre una carga q_i es:

$$f_i = q_i \cdot B \cdot v$$

De este modo, el módulo de la fuerza total F es

$$F = \sum f_i = \sum q_i \cdot B \cdot v$$

Ahora, si sustituimos $v = \frac{L}{\Delta t}$, reordenamos y recordamos que la corriente es $I = \frac{\sum q_i}{\Delta t}$ obtenemos

$$F = \sum q_i \cdot B \cdot \frac{L}{\Delta t} = \frac{\sum q_i}{\Delta t} \cdot B \cdot L$$

$$F = I \cdot B \cdot L$$



Figura 3.88

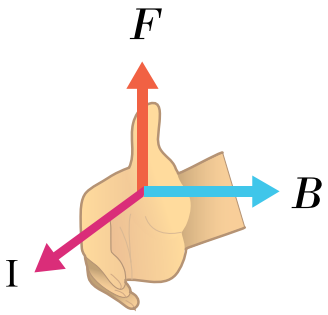


Figura 3.90
La dirección de la fuerza se obtiene apuntando los dedos de la mano derecha en dirección y sentido de la corriente I, y doblándolos a continuación hacia B. El pulgar extendido apunta en dirección y sentido de F

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuáles son las variables físicas presentes en el módulo de la fuerza sobre un conductor? ¿Qué sucede con el módulo de la fuerza si aumenta el largo del cable, pero se mantiene el campo magnético y la corriente que circula en él?

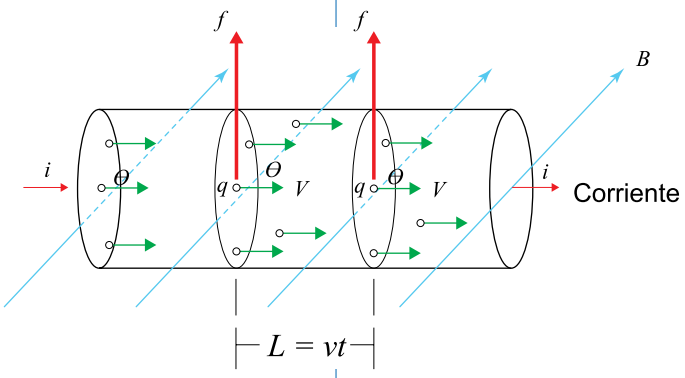


Figura 3.91

¿Cuál es el módulo de la fuerza si la corriente en el conductor forma un ángulo θ con la dirección del campo magnético? **Figura 3.91**.

Si la corriente en un conductor forma un ángulo θ, con respecto al campo, la fuerza magnética sobre el mismo será menor. En general, la fuerza sobre el tramo de un conductor con corriente, dentro de un campo magnético uniforme, es:

$$F = i \cdot B \cdot L \cdot \text{sen}\theta$$

Observa que si la dirección de la corriente y del campo son paralelas, no existe fuerza sobre el conductor de corriente.

Ejercicio resuelto N° 1

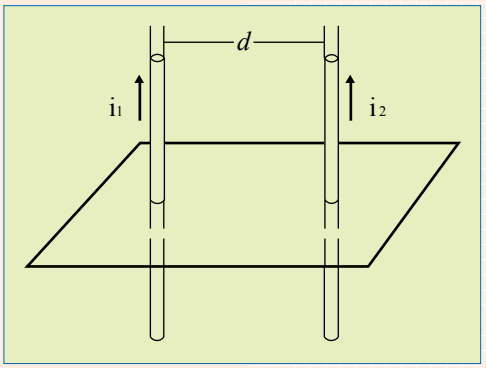


Figura 3.92

Si dos alambres largos y paralelos tienen corrientes en la misma dirección y sentido (**figura 3.92**), responde:

a) ¿La fuerza entre estos dos conductores es de atracción o repulsión?

b) Si por cada conductor pasa la corriente de 5 A, tienen longitudes de 50 cm y la distancia "d" entre ellos es de 3 mm, calcula el módulo de la fuerza sobre cada conductor.

Identificando la información

a) Se debe escoger un conductor y, mediante la regla de la mano derecha, determinar primero el campo magnético y luego aplicar nuevamente esta regla para encontrar la dirección y sentido de la fuerza. Finalmente, aplicamos el tercer principio de Newton.

b) Los datos disponibles para hallar la fuerza son:

$i_1 = i_2 = 5$ A

d = 3 mm = $3 \cdot 10^{-3}$ mm

L = 50 cm = 0,5 m

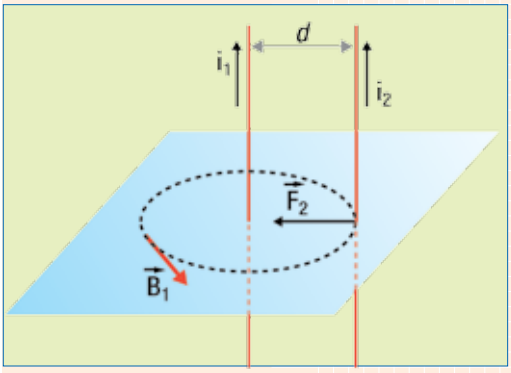


Figura 3.93

Estrategia

Las **figuras 3.93** y **3.94** representan las etapas sucesivas en la determinación de la fuerza sobre los conductores.

Resolución

Se escoge el conductor 1 como la fuente de campo magnético y se determina la dirección y sentido de este en el conductor 2, como lo muestra la **figura 3.93**.

Ahora aplicamos la regla de la mano derecha al conductor 2 para calcular la fuerza sobre el conductor 1 (**figura 3.94**), que resulta ser de atracción.

a) Luego aplicamos el tercer principio de Newton y obtenemos una fuerza de atracción entre el conductor 1 y el 2.

b) Utilizando la ecuación

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

podemos calcular el campo magnético producido por el conductor 1.

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A} \cdot 5\ A}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}5\ m}$$

$$B_1 = 3{,}3 \cdot 10^{-4}\ T$$

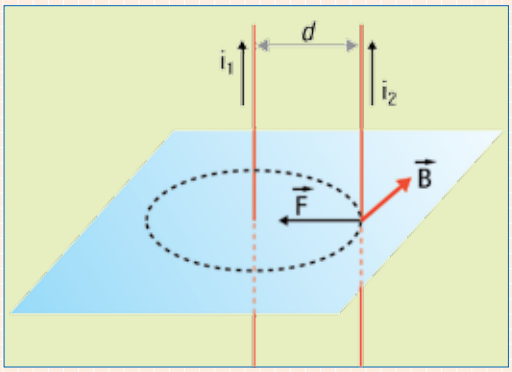


Figura 3.94

Aplicando la ecuación $F = i \cdot B \cdot L$, ya que la dirección del campo magnético y la corriente forman un ángulo de 90°, como lo ilustra la **figura 3.94**:

$$F_2 = i_2 \cdot B_1 \cdot L = 5\ A \cdot 3{,}3 \cdot 10^{-4}\ T \cdot 0{,}5 m$$

$$F_2 = 8{,}3 \cdot 10^{-4}\ N$$

AHORA RESUELVES TÚ

Dos alambres largos y paralelos tienen corrientes en la misma dirección, pero sentidos opuestos. Responde.

a) La fuerza entre estos dos conductores, ¿es de atracción o repulsión?

b) Si por cada conductor pasa la corriente de 5 A, tienen longitudes de 50 cm y la distancia "d" entre ellos es de 3 mm, ¿cuál es el módulo de la fuerza sobre cada conductor?

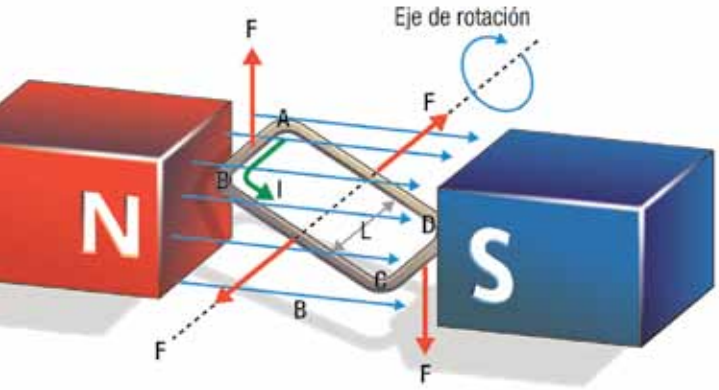


Figura 3.95
Espira conductora de corriente ABCD. En ella no se muestran los conductores que conectan la espira a la fuente de voltaje.

Torque sobre una espira con corriente eléctrica

Un uso importante de las fuerzas magnéticas es el que ejercen sobre una espira conductora de corriente que tiene rotación libre respecto a un eje que pasa por dos lados opuestos (**figura 3.95**).

¿Qué responderías si te preguntaran cuál será el efecto del campo magnético sobre la espira cuadrada de lado L con corriente i?

Como lo habrás notado, sobre los lados que forman la espira se producen fuerzas, cuyo módulo lo podemos calcular resolviendo

$$F = i \cdot B \cdot L$$

Observa que esta espira se puede descomponer en cuatro conductores rectilíneos y sobre cada uno de ellos actúa una fuerza magnética.

El módulo de las fuerzas sobre los conductores rectilíneos (longitud L) AD y BC es igual a $F = i \cdot B \cdot L$, y tienen igual dirección, pero sentido opuesto (que puedes comprobar utilizando la regla de la mano derecha).

De este modo, estas fuerzas se anulan y como están en el plano de la espira, no provocan que esta rote.

En cambio, el módulo de la fuerza sobre los conductores rectilíneos (longitud L) AB y CD, es igual a $F = i \cdot B \cdot L$, y tienen sentido opuesto y dirección paralela. También se anulan, pero provocan un movimiento de rotación en la espira.

Para ilustrar cómo funciona, observemos la **figura 3.96.** La magnitud de la fuerza magnética sobre los conductores rectilíneos (longitud L) es igual a $F = i \cdot B \cdot L$.

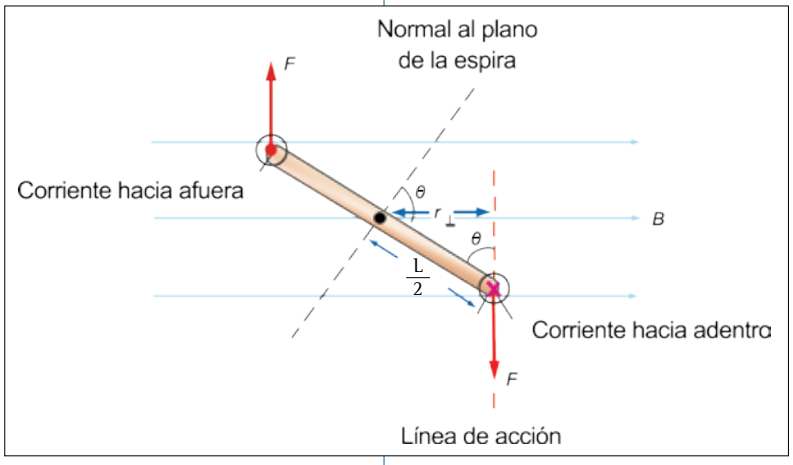


Figura 3.96
Como se observa en la figura, las fuerzas sobre la espira tienen igual dirección, pero sentido opuesto, de modo que se anulan, pero provocan que la espira rote.

Si calculamos el torque sobre la espira

$$\tau = r_{\perp} \cdot F$$

Donde $r_{\perp} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \text{sen}\theta$; L es el lado de la espira cuadrada, y θ es el ángulo que forman la normal al plano de la espira y la dirección del campo magnético. El torque neto sobre la espira, debido a ambas fuerzas, es igual a la suma de los torques individuales.

$$\tau_{neto} = r_{\perp} \cdot F + r_{\perp} \cdot F$$

$$\tau_{neto} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L \cdot \text{sen}\theta \cdot F$$

$$\tau_{neto} = L \cdot \text{sen}\theta \cdot (i \cdot B \cdot L)$$

Pero L · L es el área (S) de la espira. De este modo podemos expresar la magnitud del torque sobre la espira de la siguiente forma:

$$\tau_{neto} = i \cdot B \cdot S \cdot \text{sen}\theta$$

Aunque la fórmula anterior se dedujo para una espira de corriente cuadrada, ésta también es válida para cualquier forma y área.

Ahora, si colocamos una bobina formada por N espiras de igual área (S), obtenemos:

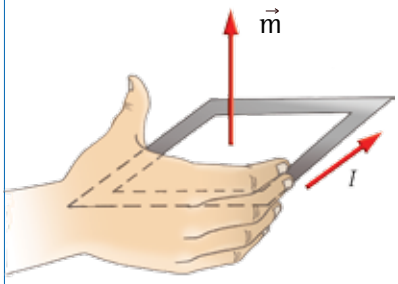
$$\tau_{neto} = N \cdot i \cdot B \cdot S \cdot \text{sen}\theta$$

Definamos el módulo del vector, llamado momento magnético (m) de una espira, como:

$$m = N \cdot i \cdot S$$

Su unidad es Ampere · metro cuadrado (A · m^2), y su dirección se determina doblando en círculo los dedos de la mano derecha, en la dirección de la corriente i (convencional).

El pulgar (**figura 3.97**) apunta en el sentido del vector $\vec{m}$, que siempre es perpendicular al plano de la espira.



▲ **Figura 3.97**

De este modo la fórmula $\tau_{neto} = i \cdot B \cdot S \cdot \text{sen}\theta$, se puede escribir como:

$$\tau_{neto} = m \cdot B \cdot \text{sen}\theta$$

La acción de un campo magnético sobre una espira de corriente, descrito en los párrafos anteriores, explica el funcionamiento de los motores eléctricos.

El motor de corriente continua

Si te pidieran que señalaras la importancia de los motores eléctricos en nuestra sociedad, ¿qué responderías?

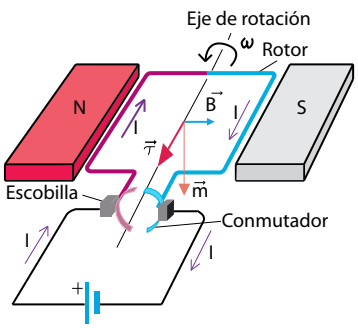
Como se explicó en los párrafos anteriores, cuando una espira de corriente se encuentra en un campo magnético, este ejerce un torque sobre la espira.

De hecho, en un motor, el campo magnético, al actuar sobre una espira conductora por la que circula una corriente, produce un torque, y la energía eléctrica se convierte en energía mecánica.

Revisemos un tipo sencillo de motor de corriente continua (c.c.) cuyo diagrama se muestra en la **figura 3.98**.

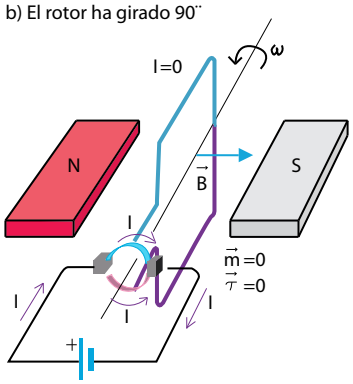
▼ **Figura 3.98 a, b, c**

a) Las escobillas están alineadas con los segmentos del conmutador



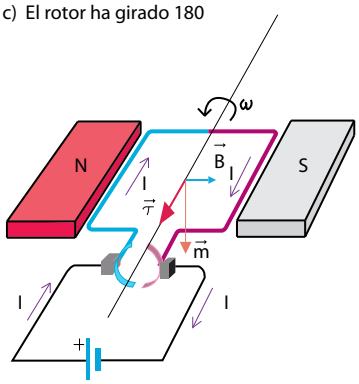
La corriente ingresa por el lado rojo del rotor y sale por el lado azul.
Por lo tanto, el par de torsión magnético hace que el rotor gire en sentido antihorario.

b) El rotor ha girado 90°



Cada escobilla está en contacto con ambos segmentos del conmutador, por lo que la corriente se desvía totalemente del rotor .
Ningún par de torsión magnético actúa sobre el rotor.

c) El rotor ha girado 180



Las escobillas están alineadas otra vez con los segmentos del conmutador . Esta vez la corriente entra por el lado azul del rotor y sale por el lado rojo.
Por lo tanto ,el par de torsión magnético otra vez ocasiona que el rotor gire en sentido antihorario.

Fuente: *Física moderna Vol. 2.* Sear, Zemansky, Young, Freedman: editorial Pearson México. 2005.

La parte móvil del motor es el rotor, que consiste en un segmento de cable con la forma de una espira con los extremos abiertos, que puede girar libremente alrededor de un eje.

Los extremos de los cables del rotor están unidos a segmentos conductores circulares que forman un conmutador.

En la **figura 3.98a,** cada uno de los dos segmentos del conmutador hace contacto con uno de los terminales o escobillas de un circuito externo que incluye una fuente de fem. Esto hace que fluya una corriente por un lado del rotor que se muestra en rojo, y sale por el otro, dibujado en azul. Por consiguiente, el rotor es una espira de corriente con un momento magnético $\vec{m}$.

El rotor se encuentra entre los polos opuestos de un imán permanente, de modo que hay un campo magnético $\vec{B}$ que ejerce un torque $\vec{\tau}$ sobre él. Para la orientación del rotor mostrada en la **figura 3.98a**, el momento de torsión hace que este gire en sentido antihorario, en la dirección en que se alineará $\vec{m}$ con $\vec{B}$.

En la **figura 3.98b**, el rotor ha girado un ángulo recto (90º) con respecto a la orientación que tiene en la **figura 3.98a.** Si la corriente a través del rotor fuera constante, este estaría en su orientación de equilibrio; simplemente oscilaría alrededor de esta orientación.

Pero aquí es donde entra en juego el conmutador. Cada escobilla está ahora en contacto con los dos segmentos de este. No hay diferencia de potencial entre los conmutadores, así es que en ese instante no fluye corriente por el rotor y el momento magnético es cero.

El rotor sigue girando en sentido antihorario debido a su inercia, y la corriente fluye de nuevo como en la **figura 3.98c**, pero ahora la corriente entra por el lado azul y sale por el rojo, al contrario que en la **figura 3.98a.** Cuando la dirección de la corriente se ha invertido con respecto al rotor, este ha girado 180° y el momento magnético $\vec{m}$ está en la misma dirección respecto al campo magnético. Por tanto, el torque $\vec{\tau}$ apunta en la misma dirección en la **figura 3.98c** y en la **figura 3.98a.**

Gracias al conmutador, la corriente se invierte cada 180°, de modo que el momento de torsión apunta siempre en la dirección tal que el rotor gira en el sentido antihorario.

Cuando el motor ha adquirido "rapidez", el torque queda equilibrado por un nuevo torque que se opone al movimiento, debido a la resistencia del aire, la fricción en los apoyos del rotor y la fricción entre el conmutador y las escobillas.

Pero ¿cómo se puede aumentar el momento magnético y el torque?

El motor simple de la **figura 3.98** tiene solo una vuelta de cable en su rotor. En los motores reales **figura 3.99**, el rotor tiene muchas vueltas, lo que aumenta el momento magnético y el torque, de modo que el motor puede girar cargas más grandes.

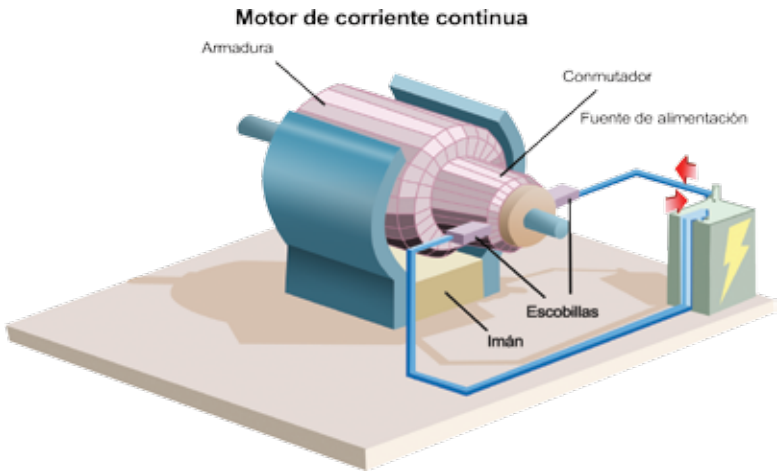


Figura 3.99

También se puede aumentar el torque utilizando un campo magnético más intenso; por esta razón, muchos motores emplean electroimanes en lugar de un imán permanente. Otro inconveniente del sencillo diseño de la figura es la magnitud del torque $\vec{\tau}$ a medida que gira el rotor. Esto se puede remediar haciendo que el rotor tenga varias bobinas independientes orientadas a diferentes ángulos.

Evaluación de sección 3

1. En los esquemas de la **figura 3.100**, los vectores $\vec{v}$, $\vec{F}$ y $\vec{B}$ son perpendiculares entre sí. Dibuja el vector ausente.

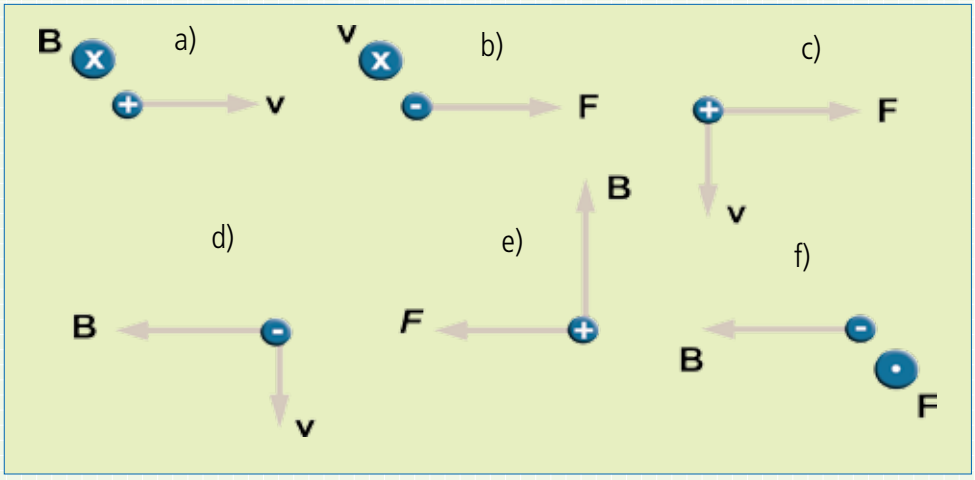


Figura 3.100

2. En las **figuras 3.101** y **3.102**, coloca de manera correcta la regla de la mano derecha.

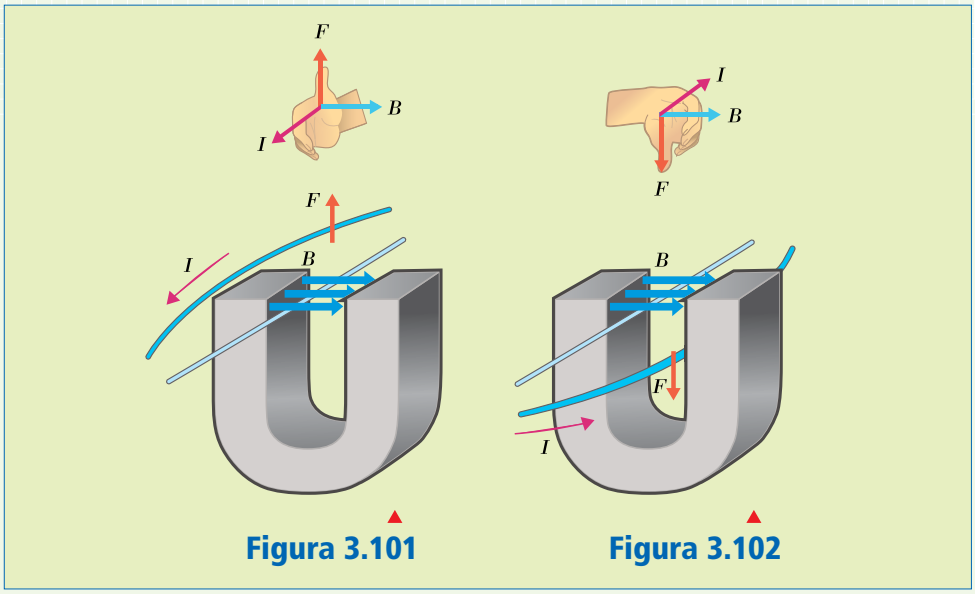


Figura 3.101 **Figura 3.102**



Figura 3.103

¿Qué responderías si te preguntaran cómo se almacena la música en una grabación o cómo se produce la energía eléctrica que llega hasta tu casa?

¿Puede un campo magnético producir una corriente eléctrica en una espira o circuito desprovista de una fuente de voltaje? ¿Cómo almacena la información el disco duro (**figura 3.103**) de una computadora en su interior?

Como lo habrás notado, casi todos los aparatos o máquinas modernas, desde un computador hasta un taladro o microondas, tienen circuitos eléctricos en su interior. En la sección dos aprendiste que se necesita una batería o fem, pero para la gran mayoría de los aparatos modernos que utilizan electricidad, la fuente de fem no es una batería, sino una fuente generadora de electricidad. ¿Cómo se lleva a cabo esta conversión de energía? ¿Cuál es el fenómeno físico que está detrás de la producción de energía eléctrica?

Para poder responder estas preguntas y caracterizar los efectos del movimiento relativo entre un imán y una espira necesitas comprender los conceptos de campo magnético, corriente eléctrica y fem, conocer estrategias para resolver problemas y describir investigaciones científicas.

El tema que se revisa en esta sección, la inducción magnética, fenómeno físico que se descubrió en el año 1830, cumple un papel determinante en la generación de potencia eléctrica, base de nuestra sociedad tecnológica.

AL LEER APRENDERÁS

- A caracterizar los efectos del movimiento relativo entre un imán y una espira.

CONCEPTOS CLAVE

- Inducción electromagnética
- Fuerza electromotriz inducida
- Flujo magnético
- Ley de Lenz y Faraday
- Generador

TEMA 1: Inducción electromagnética

Como recordarás de la sección 2, los dispositivos para producir corrientes eléctricas eran las pilas voltaicas, las cuales producen una corriente eléctrica a partir de una reacción de oxidación-reducción espontánea.

En la sección 3 estudiamos las consecuencias del experimento de Oersted: los conductores con corriente eléctrica producen campos magnéticos.

¿Es posible el efecto contrario? Es decir, ¿puede un campo magnético producir corriente eléctrica sobre un conductor sin corriente eléctrica?

En 1830, los físicos Michel Faraday, en Inglaterra, y Joseph Henry, en Estados Unidos, descubrieron, en forma individual e independiente, que la variación de un campo magnético puede producir una corriente eléctrica, descubrimiento que cambió al mundo, suministrando cada día energía eléctrica a las industrias y alumbrando ciudades por la noche, como nuevas fuentes de electricidad, además de la pila de Volta.

Fuerza electromotriz inducida

La experiencia de Faraday se puede reproducir de la siguiente forma.

En la **figura 3.104** se observa un imán que, mantenido quieto cerca de una espira de alambre conductor, no induce una corriente en ella.

Ahora, si se acerca (**figura 3.105**) o se aleja (**figura 3.106**) el imán a la espira, el galvanómetro (aparato que se emplea para indicar el paso de pequeñas corrientes eléctricas por un circuito y para la medida precisa de su intensidad) detectará el paso de la corriente por la espira mientras el imán esté en movimiento.

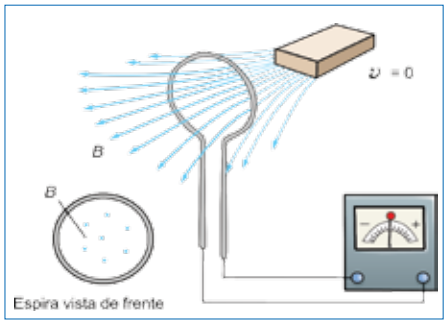


Figura 3.104

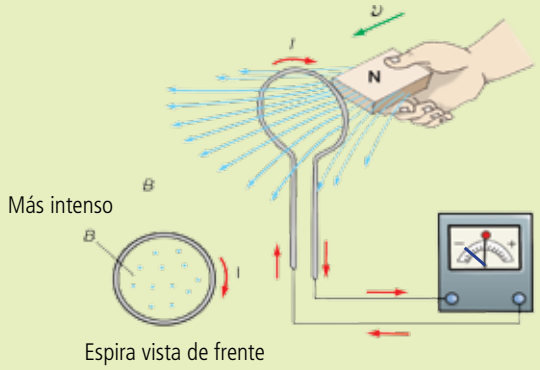


Figura 3.105

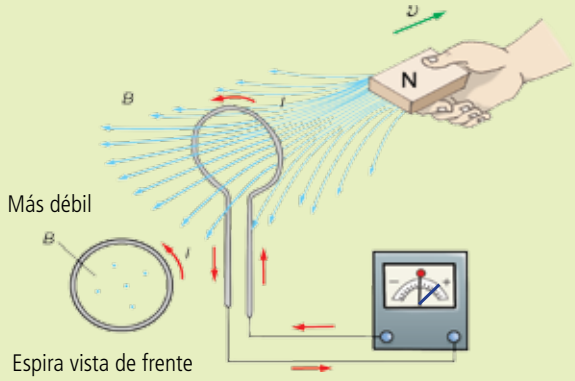


Figura 3.106

Cuando se acerca el imán a la espira el sentido de la corriente es opuesto al sentido que tiene cuando se aleja.

El resultado es el mismo tanto en el caso de mover la espira manteniendo fijo el imán.

Si se sustituye el imán por un solenoide por el que pasa corriente (**figura 3.107**), se obtienen los mismos resultados.

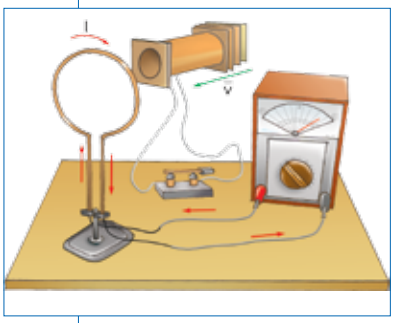
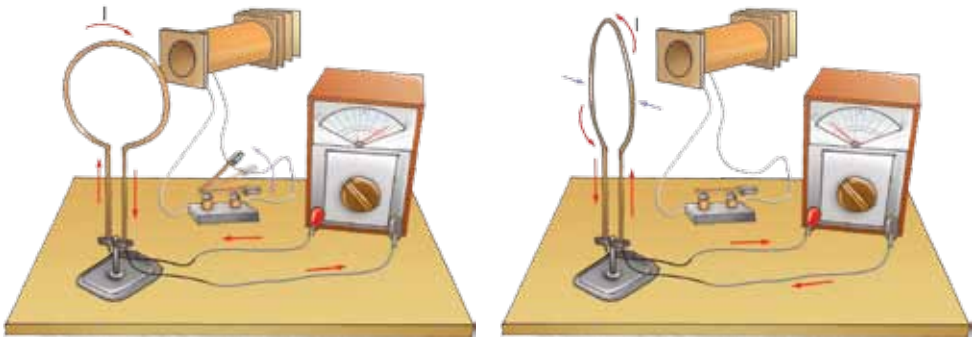


Figura 3.107

Otras experiencias complementarias son las siguientes:

- Si se mantienen fijos tanto la espira como el solenoide, se observa en ellos la producción de una corriente inducida en el momento de abrir o cerrar el interruptor que controla el paso de la corriente del solenoide (**figura 3.108a**).
- Si manteniendo fijos la espira y el solenoide, además, se deforma la espira, también se detecta en ella existencia de una corriente eléctrica inducida mientras se deforma. (**figura 3.108b**).



(a) (b)

Figura 3.108

Por otra parte, Henry descubrió que si un conductor de longitud L se mueve perpendicularmente a un campo magnético **figura 3.109a**, se origina una diferencia de potencial en los extremos del conductor. Esta diferencia de potencial generará una corriente si los extremos del conductor se unen formando un circuito cerrado.

Si se invierte el sentido del movimiento del conductor, se observa un cambio de sentido de corriente (**figura 3.109b**).

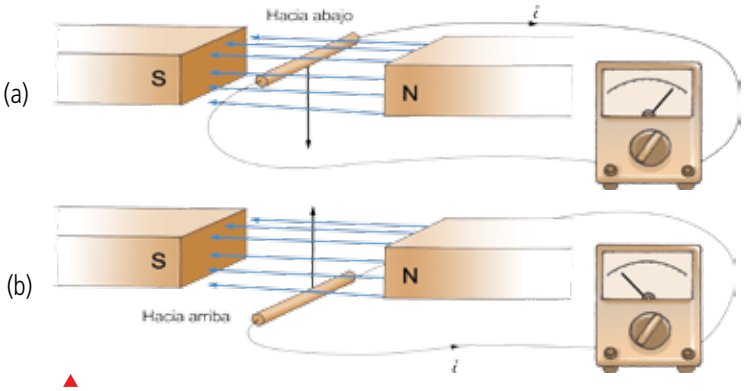


Figura 3.109

En resumen, podemos señalar que Faraday y Henry descubrieron que se puede producir corriente eléctrica en un conductor solo con introducir o sacar un imán en una parte del conductor en forma de bobina.

En otras palabras, no se necesita ninguna fuente de voltaje, solo el movimiento de un imán en una espira de alambre. Descubrieron que el movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético causa o induce un voltaje.

Además, observaron que se induce un voltaje cuando el campo magnético de un imán se mueve cerca de un conductor estacionario o cuando el conductor se mueve cerca de un campo magnético estacionario.

MICHAEL FARADAY

(1791-1867), científico británico que fuera uno de los físicos más destacados del siglo XIX. Basándose en los experimentos del danés Hans Christian Oersted, Faraday logró desarrollar el primer motor eléctrico conocido. En 1831 colaboró con Charles Wheatstone e investigó sobre fenómenos de inducción electromagnética. Observó que un imán en movimiento a través de una bobina induce en ella una corriente eléctrica, lo cual le permitió describir matemáticamente la ley que rige la producción de electricidad por un imán. Posteriores aportaciones resultaron definitivas para el desarrollo de la física, como es el caso de la teoría del campo electromagnético introducida por James Clerk Maxwell, se fundamentaron en la labor pionera que había llevado a cabo Michael Faraday.



minilaboratorio

Movimiento de un imán dentro de un tubo

Objetivo

Identificar la relación entre las fuerzas eléctricas y magnéticas.

Materiales

- Tubo de aluminio o de cobre de unos 40 cm de largo y de diámetro mayor, pero lo más próximo al imán.
- Imán cilíndrico potente de boro, hierro, neodimio (puedes emplear uno de los que vienen con las linternas dínamo de agitar).
- Otros cilindros de aluminio o hierro de las mismas dimensiones de los primeros.





Procedimiento

El tubo de Lenz es un tubo metálico hueco, de un material que es conductor de electricidad, pero sin propiedades magnéticas, por ejemplo, aluminio o cobre.

1. Dispón verticalmente el tubo de cobre e introduce el imán cilíndrico dentro del tubo, dejándolo caer libremente. Observa la imagen.
2. Repite el experimento con la polaridad invertida del imán.
3. Repite el experimento utilizando tubos de otros materiales, tales como: aluminio, hierro o PVC.
4. Anota las diferencias observadas y tabula los resultados para facilitar su comparación.

Análisis

Observa tus resultados y responde: ¿A qué atribuyes los resultados observados? Intenta una explicación por medio del desarrollo de una hipótesis de trabajo que permita generar un diseño experimental para su validación o replanteo.

JOSEPH HENRY

(1797-1878), físico estadounidense, contemporáneo a Faraday. Descubrió el principio de la inducción, probablemente también la autoinducción, incluso antes que Faraday, sin embargo este último publicó con anterioridad el descubrimiento, profundizó en las aplicaciones del electroimán y construyó algunos modelos pequeños de electroimanes. En 1829 el electroimán para hacer rotar rápidamente un disco entre polos magnéticos mientras pasaba la corriente. En 1831 describió el aparato, que era inverso al generador que había inventado Faraday; en el generador, un rotor convierte fuerza mecánica en electricidad; en el dispositivo de Henry se utiliza ese rotor para convertir electricidad en fuerza mecánica. Henry había inventado el motor eléctrico. Tanto los electroimanes como el motor de Henry se siguen utilizando en la actualidad con muy pocas modificaciones sustanciales.



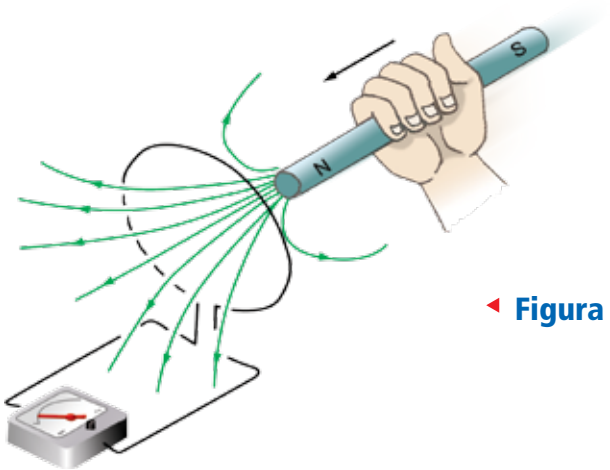


Figura 3.110

¿CÓMO VAS?

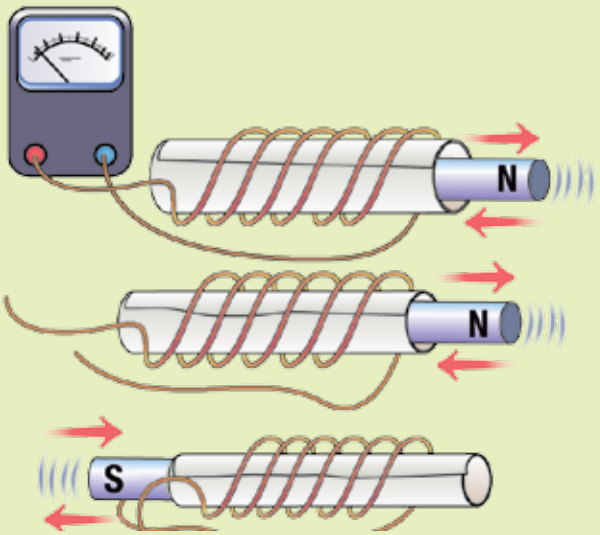
actividad

¿Cuáles son las variables físicas presentes en la experiencia de Henry y en la Faraday?

En la **figura 3.110**, ¿qué fenómeno físico se produce?, ¿por qué?

minilaboratorio

Generación de corriente



Objetivo

- Generar corriente eléctrica.

Materiales

- alambre de cobre
- tubos de cartón de diferentes diámetros
- cartulina
- 1 imán de barra
- 1 multitéster

Procedimiento

1. Fabrica seis bobinas de la siguiente manera: Rodea con alambre de cobre los seis tubos de cartón de distintos diámetros y dale un número distinto de vueltas. Cuida que en cada bobina entre con holgura un imán de barra. Observa la imagen.
2. Con movimientos vigorosos, introduce y luego retira el imán desde dentro de las bobinas.
3. Ajusta el multitéster a una escala sensible y efectúa la medición correspondiente en cada bobina.

Análisis

1. En tu cuaderno, anota tus observaciones en un cuadro y compara el resultado en función de la variable número de vueltas y diámetro.
2. Como una forma de apreciar más claramente tus resultados, haz un gráfico de ellos. Identifica las variables para construirlo.

LABORATORIO GENERACIÓN DE CORRIENTES INDUCIDAS

Generando corrientes eléctricas inducidas

Objetivo

Generar corrientes eléctricas inducidas.

Materiales

- 1 metro de cable conductor para timbre
- 1 imán de gran intensidad
- 1 brújula

Procedimiento

1. Utilizando la brújula, identifica los polos del imán.
2. Enrolla el cable como se indica en A de la **figura 3.111**, de modo que en el centro pueda introducirse un polo del imán.



▲ **Figura 3.111**

3. Une los extremos del cable entre sí y la bobina (A) debe quedar bastante lejos de (B), como muestra la figura. El extremo B debe ser más largo que la brújula.
4. Alinea el extremo del cable sobre la brújula y paralelo a ella. Un compañero debe mantener el extremo B sobre la brújula.
5. Coloca el imán en A con uno de sus polos hacia arriba. Luego, retira rápidamente el imán del interior del arrollamiento y observa simultáneamente la brújula.
6. Pon el imán en A, pero invirtiendo sus polos. Después, retira rápidamente el imán y observa simultáneamente la brújula.
7. Introduce ahora el imán rápidamente, y repite después invirtiendo sus polos.
8. Dejando el imán en reposo, acerca y retira rápidamente el arrollamiento.

Análisis

1. ¿Detecta la brújula una corriente eléctrica cuando el imán está en movimiento respecto al enrollamiento?
2. ¿Detecta la brújula una corriente eléctrica cuando el imán está en reposo en relación con el enrollamiento?
3. ¿Detecta la brújula una corriente eléctrica cuando el imán o el enrollamiento se mueven?
4. ¿Por qué se producen corrientes si no hay una fem conectada en el circuito?

Interpretación de las experiencias de Faraday y de Henry

¿Cómo explicarías la aparición de las corrientes inducidas en un conductor desprovisto de una fem?

Para explicar la aparición de las corrientes inducidas podemos considerar el fenómeno de la inducción como una consecuencia de la fuerza de Lorentz que estudiamos en la sección 3, que establece la fuerza magnética cuando una carga se mueve en un campo magnético, donde las cargas libres que existen en un conductor se mueven en el mismo sentido bajo la acción de esta fuerza, originándose la corriente inducida. Esta hipótesis explica la experiencia de Henry.

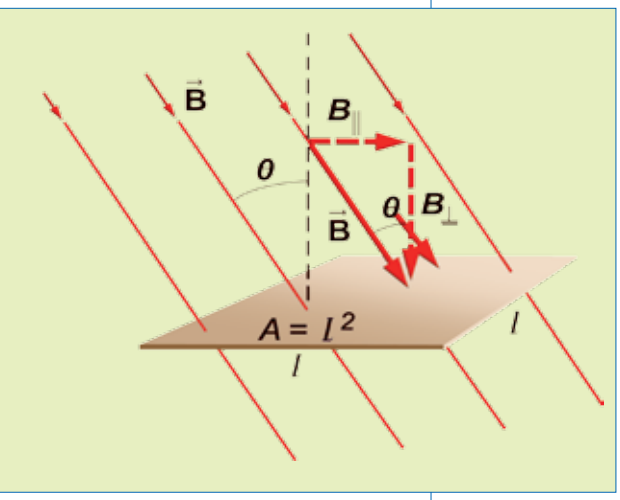


Figura 3.112

Sin embargo, podemos interpretar la aparición de las corrientes inducidas de una forma más sencilla e intuitiva: podemos suponer que la causa de las corrientes inducidas es la variación del flujo magnético que atraviesa el área encerrada por el plano del conductor inducido.

El flujo se puede definir como el número de líneas de campo que pasa a través de una superficie

$$\varphi = B \cdot A$$

La unidad del flujo en el Sistema Internacional es el weber (Wb).

Ahora, si $\vec{B}$ no es perpendicular al área A, sino que forma un ángulo $\perp$ con el campo, el vector $\vec{B}$ se puede separar en dos componentes (**figura 3.112**): una en dirección de campo magnético paralela al área (no produce flujo) y la otra componente $B_{\perp} = B \cdot \cos\theta$ perpendicular al área A.

De este modo, el flujo se puede escribir:

$$\varphi = B_{\perp} \cdot A = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

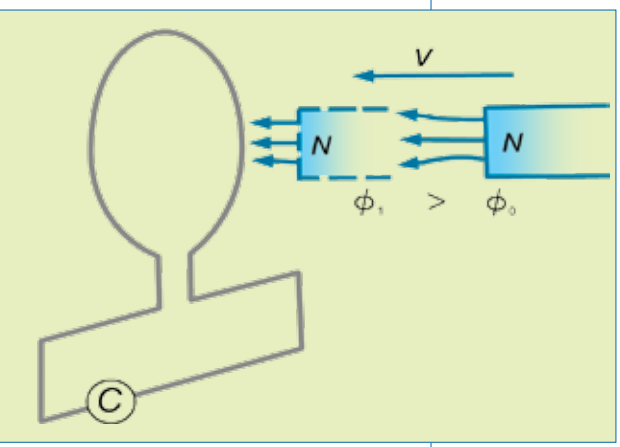


Figura 3.113
Al aproximarse el imán aumenta el flujo

Entonces, el flujo depende del módulo del campo magnético B, del módulo del área de la superficie (A) y de la orientación de esta en el campo magnético.

Como el flujo magnético depende de tres factores, basta que cambie el valor de uno de ellos para que haya variación de flujo.

Fíjate que en todas las experiencias de Faraday que hemos descrito varía el valor del campo magnético y, por tanto, el flujo, ya que cuando el imán se aproxima, aumenta la intensidad del campo en la región de la espira, incrementándose el flujo. Mientras se ha desplazado el imán (**figura 3.113**) se ha producido una variación de flujo.

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$$

Si el imán se detiene, la variación del flujo también lo hace.

Además, aparece corriente inducida en la espira si, dejando fijo el imán, deformamos la espira. En este caso varía el flujo porque se ha modificado el área encerrada por el plano del conductor inducido.

Si la espira gira un ángulo de 90° de manera que la normal a la espira sea perpendicular al eje del imán (**figura 3.114**), el flujo ha experimentado una variación.

$$\Delta\varphi = B \cdot A \cdot \cos 90° - B \cdot A \cdot \cos 0°$$

$$\Delta\varphi = - B \cdot A$$

Y también aparece una corriente inducida.

¿Qué concluimos después de lo que hemos estudiado hasta ahora en esta sección?

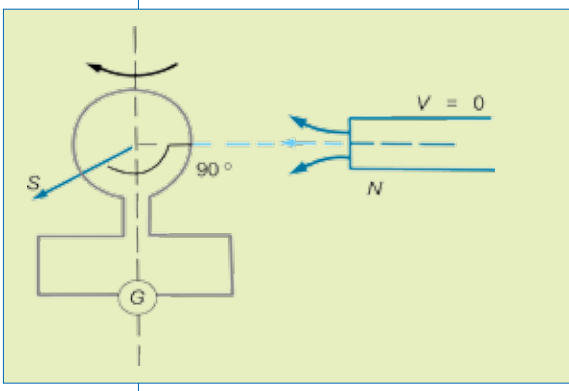


Figura 3.114
Si la espira gira, aparece una corriente inducida

Que la inducción electromagnética se funda en dos principios fundamentales:

1. Toda variación de flujo que atraviesa un circuito cerrado produce en este una corriente inducida.
2. La corriente inducida es una corriente instantánea, pues solo dura mientras persiste la variación de flujo.

Entonces, la inducción electromagnética se rige por dos leyes que estudiaremos en profundidad:

- Una ley cualitativa, que nos da el sentido de la corriente inducida, que corresponde a la **ley de Lenz.**
- Y una ley cuantitativa, que nos da el valor de la corriente, que corresponde a la **ley de Faraday.**

¿CÓMO VAS? actividad

¿Puede haber corriente inducida en la **figura 3.98b** de la sección 3?, ¿por qué?

La ley de Lenz

La fem inducida es un efecto que no puede existir sin una causa.

La relación entre la corriente inducida y la causa que la origina fue estudiada por el físico alemán H. Lenz, quien en 1834 formuló la ley que lleva su nombre y que permite hallar el sentido en el que circulan las corrientes inducidas.

La ley de Lenz dice: *El flujo magnético producido por la corriente inducida se opone a la variación del flujo inductor.*

Es decir, la corriente inducida en un circuito aparece siempre con un sentido tal que el campo magnético que produce tiende a oponerse a la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Es el principio de acción y reacción en electromagnetismo.

Cuando el polo N del imán se aproxima a la bobina (**figura 3.115**) induce una corriente en ella, la que a su vez crea otro campo magnético.

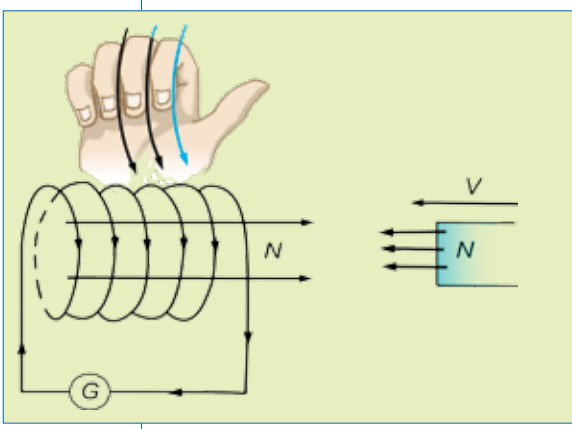


Figura 3.115
El flujo inducido se opone al aumento del flujo inductor

Este campo magnético inducido produce una fuerza que se opone al movimiento del imán. El sentido de la corriente en la bobina debe ser tal que aparezca el polo N de su campo frente al polo N que aproxima. Para que esto ocurra, la corriente debe circular, según indica la **figura 3.115**, aplicando la regla de la mano derecha para un solenoide.

Si el polo N se aleja, debe aparecer en la cara de la bobina un polo S que tienda a oponerse a dicho alejamiento.

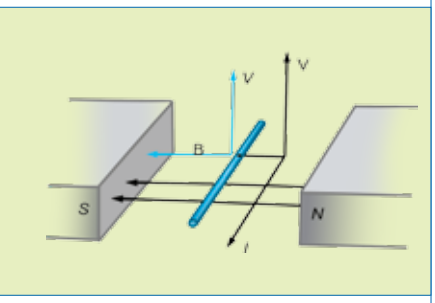


Figura 3.116.
Sentido de una corriente inducida en un conductor en movimiento

Si queremos, hallar el sentido de la corriente inducida en un conductor móvil, experiencia de Henry, utilizamos la regla de la mano derecha para fuerza sobre cargas en movimiento o fuerza de Lorentz.

Por otra parte, la intensidad de la fuerza de Lorentz se puede calcular usando la fórmula

$$F = q \cdot v \cdot B$$

Válida cuando los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$ son perpendiculares.

Se debe señalar que otras situaciones están fuera del alcance de este texto.

Se debe tener en cuenta que la intensidad de la corriente tiene sentido opuesto al movimiento de los electrones (**figura 3.116**).

minilaboratorio

Aplicación de la ley de Lenz

A pesar de que el aluminio no es atraído por los imanes, pero es conductor de la corriente eléctrica, podemos demostrar que es posible conseguir que un imán ejerza una "acción" sobre el aluminio.





Objetivo

- Generar corriente eléctrica indirecta.

Materiales

- 1 pequeño recipiente de aluminio
- 1 imán potente (de parlantes, por ejemplo)
- 1 trozo de hilo fino

Procedimiento

1. Coloca el recipiente flotando en un plato con agua. El objetivo es disminuir el rozamiento y que el recipiente se pueda mover, más o menos, libremente.
2. Cuelga el imán de un hilo y hazlo girar, sobre sí mismo, lo más de prisa posible. Para ello, retuerce el hilo repetidas veces.
3. Acerca el imán hacia el recipiente y observa.

Análisis

4. Ahora responde las siguientes preguntas:
   a) ¿Qué ocurre con el recipiente de aluminio?
   b) ¿Cambia algo cuando aumentas la velocidad de giro del imán?
   c) Plantea una hipótesis que permita explicar el porqué de este fenómeno.

5. Elabora un informe que registre tus observaciones y conclusiones.

La ley de Faraday

Esta ley permite hallar el **valor de la corriente inducida:** La corriente inducida es producida por una fem inducida, directamente proporcional a la rapidez con que varía el flujo y al número de espiras del conductor inducido.

Según esta ley, la fem inducida media será:

$$\varepsilon = -N \cdot \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1} \right) = -N \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

En donde ε tiene unidades de volt, φ en weber y t en segundos; el signo negativo está dado por la ley de Lenz.

Por ejemplo, un flujo magnético que cambia con una rapidez de un Weber por segundo induce una fem de un voltio por cada vuelta de conductor.

Ejemplo de aplicación fem inducida en un conductor móvil

Supongamos que un conductor de largo L se mueve en un campo magnético como indica la **figura 3.117.**

En este caso, la fem inducida se explica, como dijimos anteriormente, mediante la ley de Lorentz.

Las cargas libres del conductor están sometidas a una fuerza $F = q \cdot B \cdot v$ (ya que el campo magnético y la velocidad del conductor son perpendiculares).

Esta fuerza hace que las cargas se muevan a lo largo del conductor.

Ahora calculemos el trabajo realizado por unidad de carga que representa la fem inducida:

$$\varepsilon = \frac{\text{Trabajo mecánico}}{\text{carga}} = \frac{F \cdot L}{q} = \frac{q \cdot B \cdot v \cdot L}{q}$$

$$\varepsilon = B \cdot v \cdot L$$

Siendo los vectores $\vec{B}$, $\vec{v}$ y $\vec{L}$ perpendiculares entre sí.

En el caso de que la velocidad del conductor formara un ángulo θ con el campo magnético, la fem inducida sería:

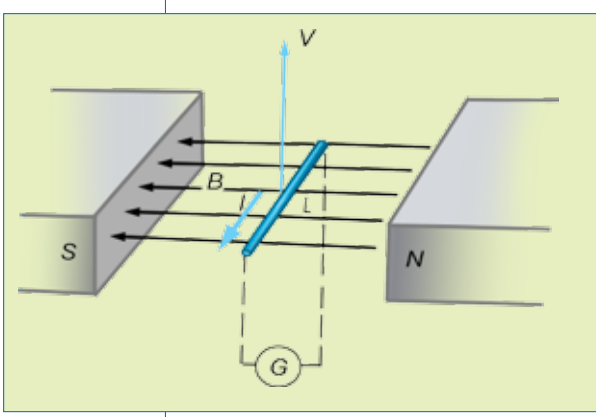
$$\varepsilon = B \cdot v \cdot L \cdot \text{sen}\theta$$

HEINRICH FRIEDRICH EMIL LENZ

(1804-1865), físico ruso conocido por formular la ley de Lenz en 1833. Estudió química y física en la Universidad de Tartu. Trabajando en la Universidad de San Petersburgo, donde posteriormente sirvió como Decano de Matemática y Física desde 1840 a 1863, comenzó a estudiar el electromagnetismo en 1831. Además de la ley nombrada en su honor,

Lenz también descubrió independientemente la ley de Joule en 1842; para hacer honor a sus esfuerzos en el problema, los físicos rusos siempre usan el nombre: "ley de Joule-Lenz".





▲ **Figura 3.117**
Fem inducida en un conductor en movimiento en un campo magnético

Ejercicio resuelto N° 1

Una bobina de 50 espiras, de 200 cm^2 cada una, gira alrededor de un eje contenido en su plano, con una rapidez constante de 300 RPM, perpendicularmente a un campo magnético uniforme de B = 0,5 T. Hallar la fem inducida.

Solución

Identificando la información

En este problema, el número de espiras (N), el módulo del campo magnético (B), la frecuencia (f) y el área (A) constituyen la información importante.

En resumen, los datos de que disponemos son:

$$N = 50, \quad B = 0{,}5\ T, \quad f = 300\ RPM = 5\ rps, \quad A = 0{,}02\ m^2$$

Estrategia

Debemos calcular la fem inducida, y para ello necesitamos conocer la variación del flujo y el tiempo que se demora en variar este.

Resolución

Supongamos que en un instante dado el plano de la bobina es perpendicular al campo magnético; por lo tanto, el flujo será:

$$\varphi_0 = B \cdot A \cdot \cos 0° = 0{,}5\ T \cdot 0{,}02 m^2 = 10^{-2}\ Wb$$

Cuando haya girado un cuarto de vuelta, el plano de la bobina será paralelo al campo, y, por consiguiente, el flujo será nulo:

$$\varphi_1 = B \cdot A \cdot \cos 90° = 0\ Wb$$

La variación del flujo habrá sido

$$\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_0 = -10^{-2}\ Wb$$

Esta variación se produce en un tiempo igual a un cuarto del período de revolución

$$t = \frac{T}{4} = \frac{\frac{1}{5}}{4} = \frac{1}{20}$$

Luego, la fem inducida es:

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = -50 \cdot \frac{-10^{-2}\ wb}{\frac{1}{20}} = 10\ V$$

AHORA RESUELVES TÚ

Una bobina de 100 espiras de 400 cm^2 cada una gira alrededor de un eje contenido en su plano con una rapidez constante de 420 RPM, perpendicularmente a un campo magnético uniforme de B = 1 T. Hallar la fem inducida.

Generadores eléctricos

¿Qué responderías si te preguntaran qué es un generador o si existirá alguna diferencia entre el motor eléctrico y un generador eléctrico?

Un generador eléctrico es un aparato que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Básicamente, el funcionamiento de un generador es lo contrario del funcionamiento de un motor, ya que este último transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Como se indicó en la sección 2, una sencilla pila o batería química produce corriente continua (cc), lo cual significa que la polaridad del voltaje y el sentido de la corriente no cambian.

¿Qué tipo de corriente produce un generador?

La mayoría de los generadores producen corriente alterna (ca), que como recordarás de la sección 2, se llama así porque la polaridad del voltaje y el sentido de la corriente cambian en forma periódica.

Así, la energía eléctrica que usas en tu hogar y en la industria se entrega en forma de voltaje y corriente alternos.

Otro nombre que recibe un generador de ca es el de alternador. En la **figura 3.118** se muestran los elementos de un generador sencillo de ca.

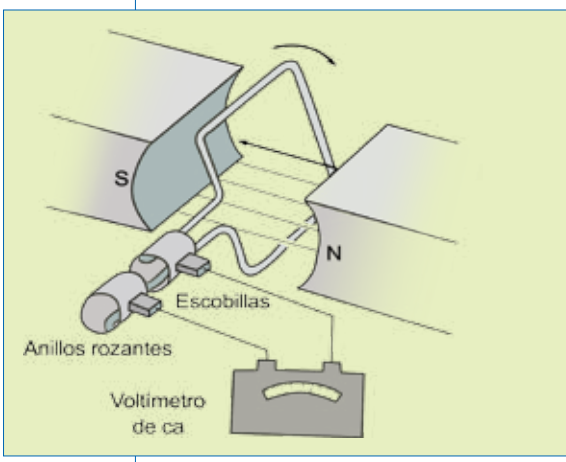


Figura 3.118
Elementos de un generador de ca

Una espira de alambre, llamada armadura, se hace girar mecánicamente dentro de un campo magnético con propulsión externa, como una corriente de agua o con vapor que pase por los álabes de una turbina. La rotación de la espira hace que cambie el flujo magnético que la atraviesa, y se induzca en ella una corriente.

Los extremos de la espira se conectan a un circuito externo mediante anillos rozantes y escobillas. En la práctica, los generadores tienen muchas espiras o devanados en sus armaduras.

Cuando la espira se hace girar a una velocidad angular $\vec{\omega}$ constante, el ángulo θ que forman los vectores campo magnético (perpendicular al plano de la espira) y área de la espira cambia con el tiempo.

Así, la relación entre el ángulo θ y el módulo de la velocidad angular $\vec{\omega}$ es $\theta = \omega \cdot t$ (suponiendo que $\theta = 0°$ cuando t = 0 segundos).

La cantidad de líneas de campo magnético que pasan por la espira cambia con el tiempo, causando una fem inducida. De acuerdo con la ecuación $\varphi = B \cdot A \cdot \cos\theta$, el flujo para una espira (**figura 3.119**) es:

$$\varphi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

$$\varphi = B \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

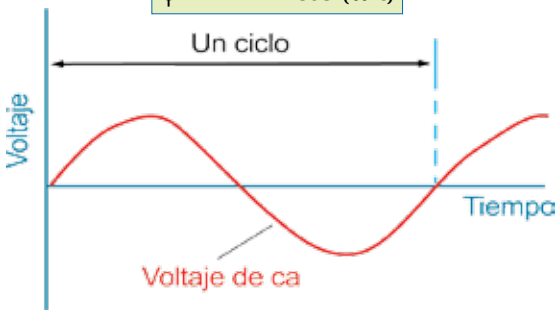


Figura 3.119
El voltaje que sale y su polaridad se invierte cada medio ciclo. Este voltaje alterno origina una corriente alterna si la espira de alambre se conecta a un circuito completo

Según la ley de Faraday, la fem inducida también varía en función del tiempo. Para bobina giratoria de N espiras, la ley de Faraday es:

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta \varnothing}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = -N \cdot B \cdot A \cdot \left(\frac{\Delta \cos(\omega \cdot t)}{\Delta t} \right)$$

En esta ecuación se han separado B y A, porque son constantes. Aplicando métodos que salen del alcance de este libro, se puede demostrar que el término entre paréntesis se puede escribir en la forma:

$$\frac{\Delta \cos(\omega \cdot t)}{\Delta t} = -\omega \cdot \operatorname{sen}(\omega \cdot t)$$

Así, la fem inducida se puede expresar como sigue:

$$\varepsilon = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \operatorname{sen}(\omega \cdot t)$$

Observa que el producto de los términos $N \cdot B \cdot A \cdot \omega$ representa la magnitud de la fem máxima, lo cual sucede siempre que $\operatorname{sen}(\omega t)=\pm 1$. Si se sustituye $N \cdot B \cdot A \cdot \omega$ por ε_0, el valor máximo de la fem, entonces la ecuación anterior se puede reformular en la forma más compacta:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \operatorname{sen}(\omega \cdot t)$$

La dirección de la corriente producida por esta fem alterna inducida también cambia en forma periódica. En las aplicaciones cotidianas se acostumbra manejar la frecuencia f de la armadura, en hertz o rotaciones por segundo, y no la frecuencia angular ω. Como se relacionan por la ecuación $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, se puede reformular como sigue la ecuación:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \operatorname{sen}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

En otras palabras, la frecuencia de la ca determina el voltaje que se suministra a una casa o industria.



Figura 3.120. Turbina que hace rotar un generador eléctrico y que es impulsada por vapor de agua en una central termoeléctrica.

Aplicaciones de los generadores eléctricos y la producción de energía eléctrica a gran escala

La energía eléctrica se produce a gran escala en las centrales eléctricas. En ellas, la energía obtenida de una fuente primaria se convierte en energía eléctrica. El elemento básico de una central eléctrica es el alternador, a cuyo eje se acopla una turbina, **figura 3.120** para hacerla girar.

La turbina es una máquina cuyo eje gira y transforma la energía cinética de un fluido que incide sobre sus álabes en energía de rotación.

Este eje, acoplado al del alternador, por inducción electromagnética, da lugar a la producción de una corriente alterna.

El conjunto turbina-alternador suele denominarse grupo turbogenerador de la central. Existen turbinas de diferentes tipos: de agua, de vapor, de gas o eólicas, nucleares, etc.

Todas las centrales eléctricas tienen en común el aprovechamiento de una energía primaria para hacer girar el eje de la turbina. El criterio de clasificación se basa en la fuente de energía utilizada.

Central termoeléctrica clásica

Una central termoeléctrica clásica produce energía eléctrica a partir de la energía desprendida en la reacción química de combustión que tiene lugar al quemar un combustible fósil (carbón, gasóleo, gas). El combustible se quema en los quemadores y la energía desprendida se utiliza para convertir agua en vapor. En la caldera, el vapor de agua obtenido mueve la turbina y, posteriormente, es condensado para volver a esta en estado líquido (**figura 3.121**).

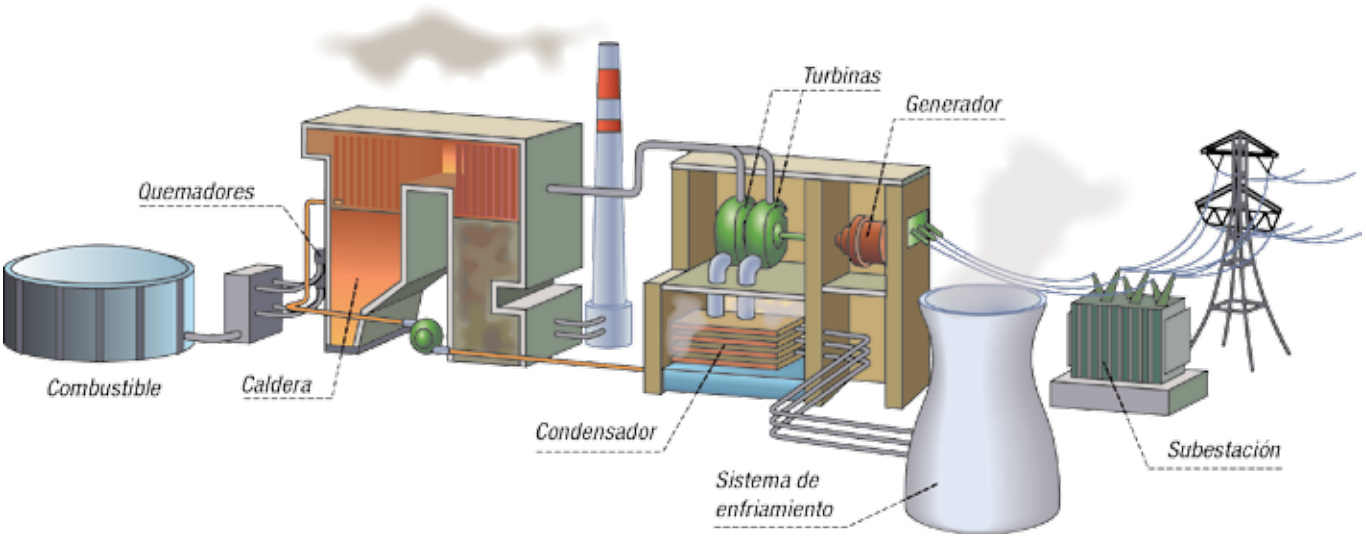
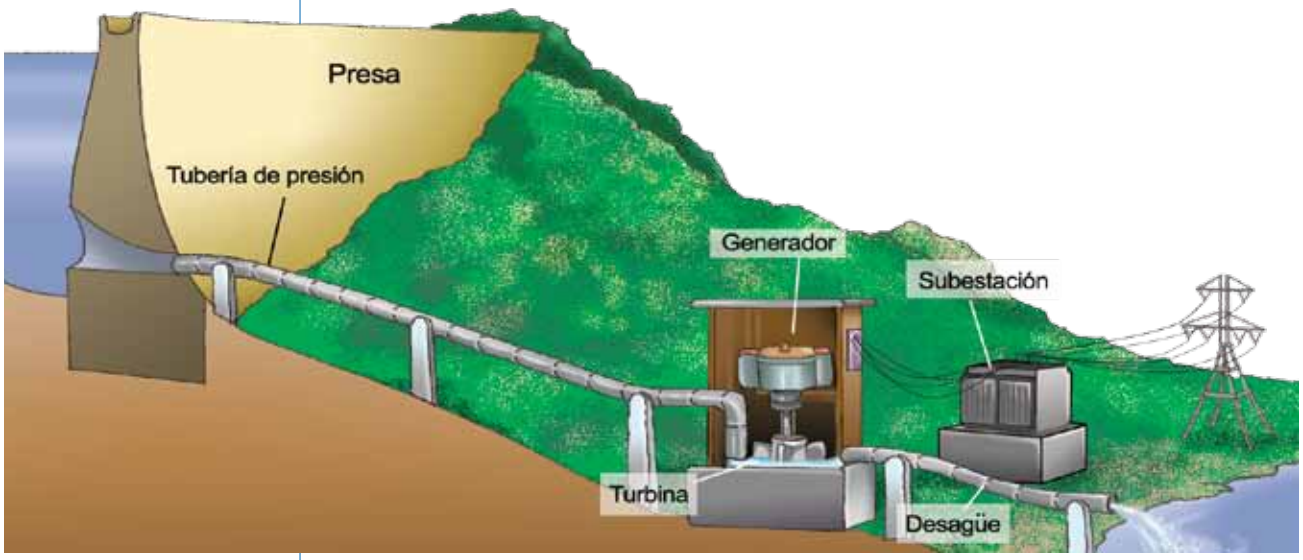


Figura 3.121

Central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica aprovecha, mediante un desnivel, la energía potencial del agua que transporta un río. Las turbinas son movidas por el agua que cae (**figura 3.122**).

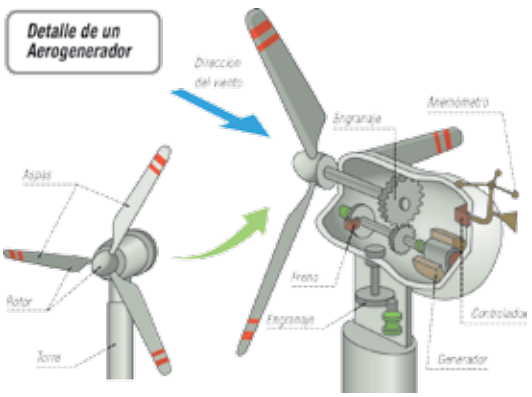


▲ **Figura 3.122**

Otros tipos de centrales eléctricas

Existen además otros tipos de centrales eléctricas que utilizan diversas fuentes de energía denominadas renovables: eólicas (energía del viento), maremotrices (energía de las mareas), térmicas solares (energía solar) y geotérmicas (energía del subsuelo).

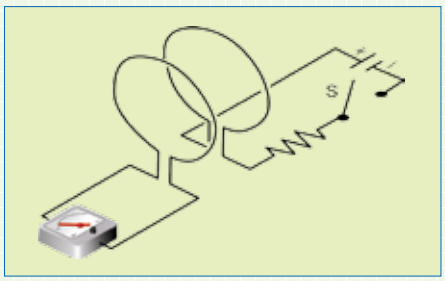
Los parques eólicos, por ejemplo, constan de múltiples aerogeneradores que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica. El movimiento de giro producido por el viento en las palas del aerogenerador se transmite al generador eléctrico (**figura 3.123**).



▲ **Figura 3.123**

Evaluación de sección 4

1. ¿Qué sucedería en el galvanómetro si se conectara el interruptor de la **figura 3.124**?
2. ¿Cuál es la diferencia entre la ley de Lenz y la ley de Faraday?
3. Calcula el flujo magnético que atraviesa el área de la espira que se indica en la **figura 3.125**. La magnitud del campo magnético es de 0,5 T, el largo "x" es de 50 cm y el ancho "L" de 30 cm.



▲ **Figura 3.124**

4. ¿Cuál es efecto del movimiento relativo entre una espira desprovista de fem y un imán?

5. ¿Cuál es la diferencia entre un generador eléctrico y un motor eléctrico?

6. Una bobina de alambre con 1 500 vueltas, cada una de 20 cm de radio, que giran sobre la armadura del generador, a 60 Hz, dentro de un campo magnético. Para obtener un promedio de 120 V, debe generar una fem máxima de 170 V. ¿Cuál debe ser la magnitud del campo magnético en el generador?

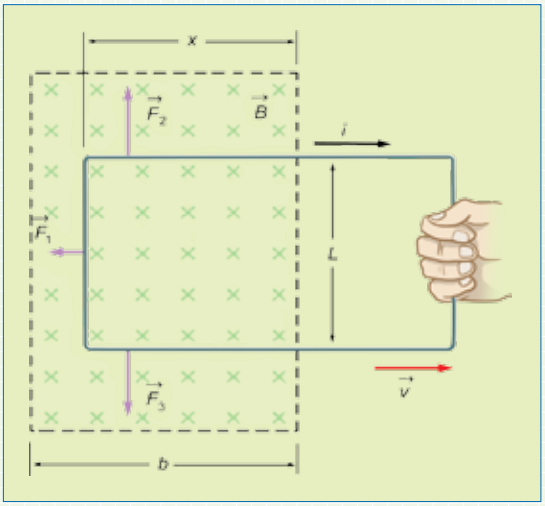


Figura 3.125

minirresumen

- Cuando una espira con corriente se encuentra en un campo magnético, este ejerce un torque sobre la espira.
- En un motor, el campo magnético, al actuar sobre una espira conductora por el que circula una corriente, produce un torque, y la energía eléctrica se convierte en energía mecánica.
- Faraday y Henry descubrieron que se puede producir corriente eléctrica en un conductor solo con introducir o sacar un imán en una parte del conductor en forma de bobina.
- la inducción electromagnética se rige por dos leyes:
  - Una ley cualitativa que nos da el sentido de la corriente inducida, que corresponde a la **ley de Lenz.**
  - una ley cuantitativa, que nos da el valor de la corriente, que corresponde a la **ley de Faraday.**
- La **ley de Lenz** dice: *El flujo magnético producido por la corriente inducida se opone a la variación del flujo inductor.*
- Un generador eléctrico es un aparato que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Básicamente, el funcionamiento de un generador es lo contrario del funcionamiento de un motor, ya que este último transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Cierre Capítulo REPASO IDEAS PRINCIPALES

Sección 1 La interacción eléctrica

- Semejanzas y diferencias entre la ley de Coulomb y la Ley de gravitación de Newton.

	Fórmula	Descripción	Semejanzas	Diferencias
Ley de Coulomb	$\vec{F} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R^2}\ \hat{r}$	Expresa la fuerza que una carga Q ejerce sobre otra carga q.	1. Actúan a distancia. 2. Ambas son de inverso al cuadrado. 3. Ambas son proporcionales a una cualidad del cuerpo: masa para la fuerza gravitatoria, carga para la fuerza eléctrica.	1. La fuerza eléctrica es atractiva o repulsiva. 2. La fuerza gravitatoria es solo atractiva. 3. La carga eléctrica puede ser positiva o negativa. 4. La masa es una cantidad positiva. 5. La fuerza eléctrica entre cargas es inmensamente superior que la fuerza gravitacional, por ejemplo, entre un protón y un electrón en el átomo de hidrógeno.
Ley de gravitación de Newton	$\vec{F} = \frac{-G \cdot M \cdot m}{R^2}\ \hat{r}$	Expresa la fuerza que una masa m_1 ejerce sobre otra masa m_2.		

- Existen dos clases de carga: positiva y negativa.
- Cargas del mismo signo se repelen, mientras que cargas de signos opuestos se atraen.
- Los métodos de electrización (contacto, frotación, inducción, entre otros) permiten que un cuerpo adquiera carga eléctrica.
- Los conductores son materiales que permiten que la carga eléctrica se mueva fácilmente dentro de ellos.
- Los aislantes son aquellos materiales en los que la carga eléctrica tiene dificultad para moverse.
- El campo eléctrico es una entidad física real de carácter vectorial.
- Las líneas de campo dan una representación gráfica de los campos eléctricos.

Sección 2. Cargas en movimiento

- La corriente es la cantidad de carga que fluye a través de una superficie específica por unidad de tiempo.
- La unidad de la corriente eléctrica es el ampere.
- La resistencia eléctrica (R) de un alambre conductor es inversamente proporcional a su área de sección transversal A y directamente proporcional a su longitud L y a la resistividad (ρ) del material de que está hecho.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- Para los materiales que siguen la ley de Ohm, la diferencia de potencial es directamente proporcional a la corriente.
- Cuando las resistencias están conectados en serie, la corriente que pasa a través de cada una de ellas es la misma. La resistencia equivalente es:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3.$$

- Cuando las resistencias están conectadas en paralelo, el voltaje es constante en cada una de ellas. El inverso a la resistencia equivalente es:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Sección 3 Magnetismo y Fuerzas entre cargas en movimiento

- Polos magnéticos opuestos se atraen y polos iguales se repelen.
- El campo magnético $\vec{B}$ se expresa en unidad de tesla.
- Los campos magnéticos pueden ejercer fuerza sobre partículas cargadas en movimiento.
  El módulo de la fuerza magnética sobre una partícula cargada es $F = B \cdot q \cdot v \cdot \text{sen}\theta$.
  El módulo de la fuerza magnética sobre un conductor con corriente es $F = I \cdot B \cdot L \cdot \text{sen}\theta$.
- En un motor de cc un campo magnético ejerce un torque sobre la espira que se encuentra en su interior. Permite transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

Sección 4 Movimiento relativo y fuerzas electromagnéticas

- La ley de Faraday establece que la fem inducida en una espira cerrada es igual al valor negativo de la razón temporal de cambio de flujo magnético a través de la espira.

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

- La ley de Lenz establece que la corriente inducida en un circuito aparece siempre con un sentido tal que el campo magnético que produce, tiende a oponerse a la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito.
- El generador eléctrico es un dispositivo que permite transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

Aplicaciones

Sección 1 - 2

1. Considere dos esferas, Ay B, idénticas y aisladas eléctricamente. Las esferas A y B poseen cargas 3 μC y 1 μC, respectivamente. Si colocamos las dos esferas en contacto, ¿cuál es el número de electrones transferidos de la esfera A a la esfera B?
2. Se envuelven sobre un cilindro de 6 cm de diámetro 40 espiras de un hilo de 1mm de diámetro y de resistividad $30 \cdot 10^{-8}$ Z · *m*. ¿Cuál es la resistencia de esta configuración?

Sección 3 - 4

3. ¿Cuál debe ser la diferencia de potencial que acelera a un electrón de carga "e" y de masa "m" que parte del reposo para que al entrar dentro de un campo magnético de magnitud "B" perpendicular describa un círculo de radio "R"?
4. Si un conductor de 20 cm se desplaza a 5 m/s dentro de un campo magnético de 3 T, ¿cuál será la fem máxima inducida y la corriente inducida si el circuito en este momento una resistencia de 1,5 Z?

Bibliografía recomendada

- *Fundamentos de física, vol. 2.* Resnick, Robert; Walker, Jearl Alay. Ediciones SL, 2001.
- *Fundamentos de física conceptual.* Hewitt, Paul. Prentice Hall, Pearson Addison-Wesley, 2009.
- *Física para ciencia y la tecnología, vol. 2.* Tipler, Paul; Mosca, Gene. Editorial Reverté.

Sitios webs

- http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=133188 (estudiantes)
- http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/
- http://www.matematicasypoesia.com.es/ProbElecyMag/ProbEyMPreg.htm (problemas)

EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LAS CORRIENTES

Habilidades

- Describir la conexión lógica entre hipótesis, conceptos, procedimientos, datos recogidos, resultados y conclusiones extraídas en investigaciones científicas clásicas o contemporáneas, comprendiendo la complejidad y coherencia del pensamiento científico

Las diferencias de potencial y las corrientes eléctricas juegan un papel vital en el sistema nervioso de los animales. La conducción de impulsos nerviosos es básicamente un proceso eléctrico, aunque el mecanismo de la conducción es mucho más complejo que en los materiales simples de los metales. Una fibra nerviosa, o axón, a lo largo de la cual puede desplazarse un impulso eléctrico, tiene una membrana cilíndrica con un fluido conductor dentro y otro fuera (**figura 1.a**). En la condición de reposo, los únicos cuerpos cargados que pueden cruzar la membrana son los iones positivos de potasio que salen del axón hacia los alrededores. Esto deja en la parte interna del axón una carga negativa neta y un potencial de unos -70 mV (-0,07 V) con respecto al fluido externo. Cuando se aplica un estímulo eléctrico al axón, la membrana se vuelve temporalmente más permeable a otros iones que hay en los fluidos, lo cual provoca un cambio local en la diferencia de potencial (**figura 1.b**). Esta perturbación, conocida como potencial de acción, se propaga a lo largo de la membrana como un pulso, con una rapidez del orden de 30 m/s. El pulso entero pasa por un punto dado del axón en unos cuantos milisegundos, después de lo cual la membrana se recupera y la diferencia de potencial vuelve a su valor inicial (**figura 1.c**).

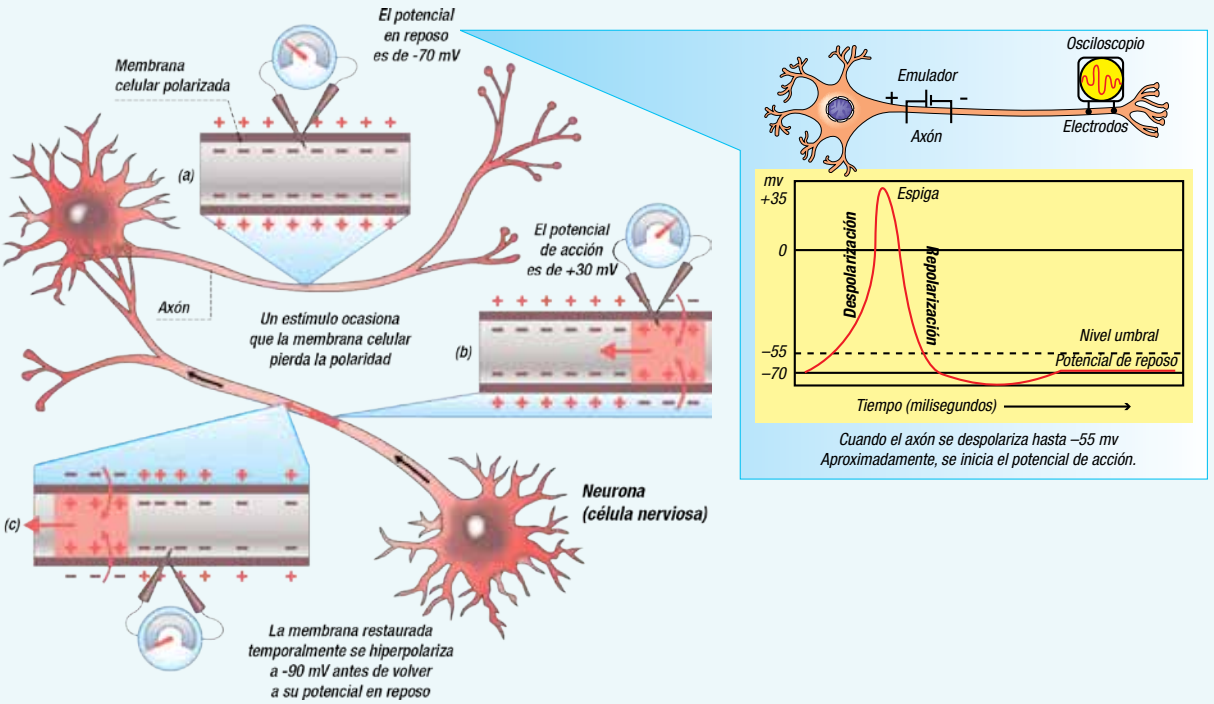
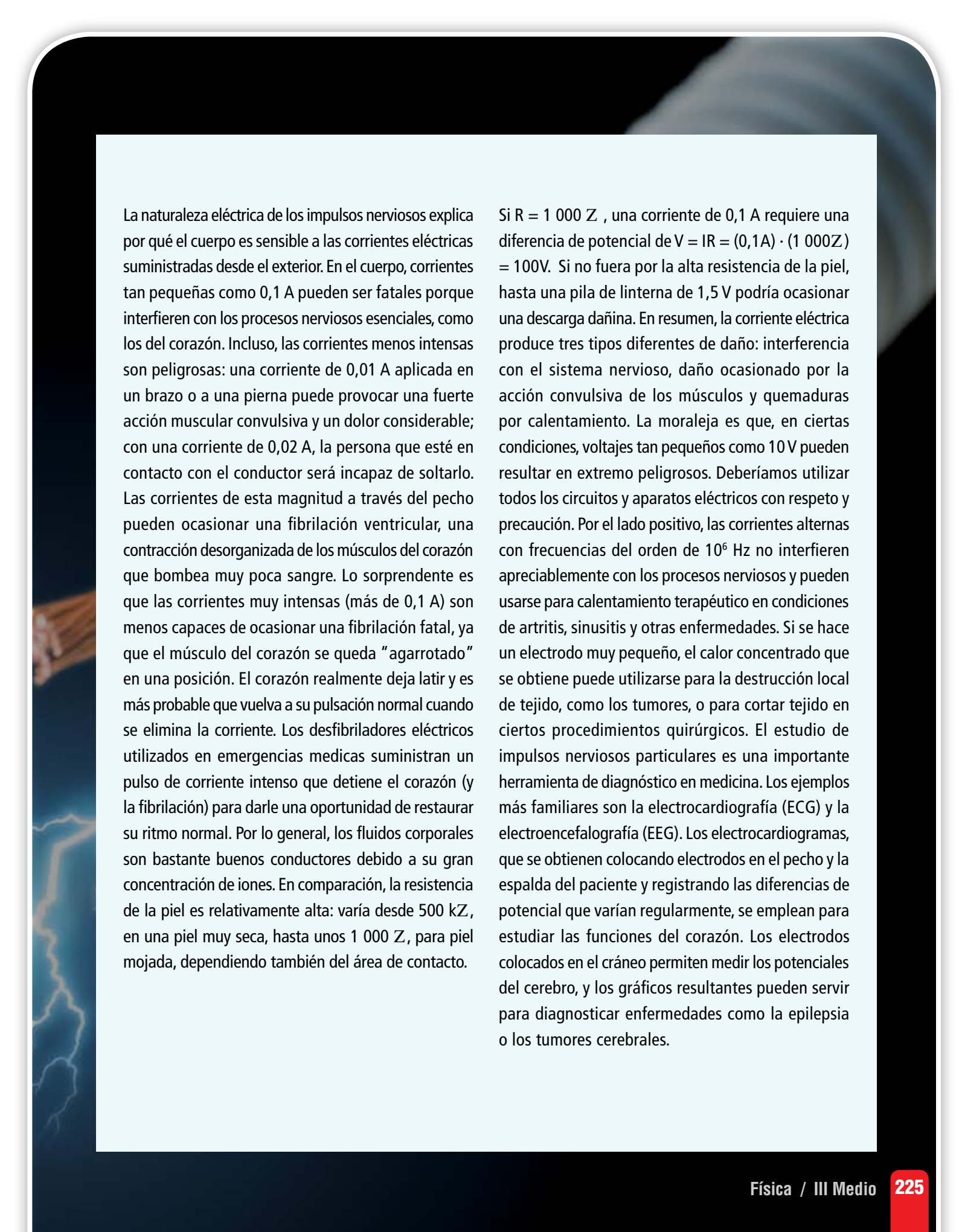


Figura 1. (a) La membrana celular que rodea al axón mantiene una diferencia de potencial en reposo de unos –70 mV entre fluidos internos y externos. (b) Un estímulo eléctrico elimina la polarización de la membrana y la diferencia de potencial aumenta de súbito a unos +30 mV. (c) El cambio de diferencia de potencial, conocido como potencial de acción, se propaga a lo largo del axón. Después de que el pulso pasa, la diferencia de potencial baja a casi –90mV y luego recupera su valor original.



La naturaleza eléctrica de los impulsos nerviosos explica por qué el cuerpo es sensible a las corrientes eléctricas suministradas desde el exterior. En el cuerpo, corrientes tan pequeñas como 0,1 A pueden ser fatales porque interfieren con los procesos nerviosos esenciales, como los del corazón. Incluso, las corrientes menos intensas son peligrosas: una corriente de 0,01 A aplicada en un brazo o a una pierna puede provocar una fuerte acción muscular convulsiva y un dolor considerable; con una corriente de 0,02 A, la persona que esté en contacto con el conductor será incapaz de soltarlo. Las corrientes de esta magnitud a través del pecho pueden ocasionar una fibrilación ventricular, una contracción desorganizada de los músculos del corazón que bombea muy poca sangre. Lo sorprendente es que las corrientes muy intensas (más de 0,1 A) son menos capaces de ocasionar una fibrilación fatal, ya que el músculo del corazón se queda "agarrotado" en una posición. El corazón realmente deja latir y es más probable que vuelva a su pulsación normal cuando se elimina la corriente. Los desfibriladores eléctricos utilizados en emergencias medicas suministran un pulso de corriente intenso que detiene el corazón (y la fibrilación) para darle una oportunidad de restaurar su ritmo normal. Por lo general, los fluidos corporales son bastante buenos conductores debido a su gran concentración de iones. En comparación, la resistencia de la piel es relativamente alta: varía desde 500 kZ, en una piel muy seca, hasta unos 1 000 Z, para piel mojada, dependiendo también del área de contacto.

Si R = 1 000 Z , una corriente de 0,1 A requiere una diferencia de potencial de V = IR = (0,1A) · (1 000Z) = 100V. Si no fuera por la alta resistencia de la piel, hasta una pila de linterna de 1,5 V podría ocasionar una descarga dañina. En resumen, la corriente eléctrica produce tres tipos diferentes de daño: interferencia con el sistema nervioso, daño ocasionado por la acción convulsiva de los músculos y quemaduras por calentamiento. La moraleja es que, en ciertas condiciones, voltajes tan pequeños como 10 V pueden resultar en extremo peligrosos. Deberíamos utilizar todos los circuitos y aparatos eléctricos con respeto y precaución. Por el lado positivo, las corrientes alternas con frecuencias del orden de 10^6 Hz no interfieren apreciablemente con los procesos nerviosos y pueden usarse para calentamiento terapéutico en condiciones de artritis, sinusitis y otras enfermedades. Si se hace un electrodo muy pequeño, el calor concentrado que se obtiene puede utilizarse para la destrucción local de tejido, como los tumores, o para cortar tejido en ciertos procedimientos quirúrgicos. El estudio de impulsos nerviosos particulares es una importante herramienta de diagnóstico en medicina. Los ejemplos más familiares son la electrocardiografía (ECG) y la electroencefalografía (EEG). Los electrocardiogramas, que se obtienen colocando electrodos en el pecho y la espalda del paciente y registrando las diferencias de potencial que varían regularmente, se emplean para estudiar las funciones del corazón. Los electrodos colocados en el cráneo permiten medir los potenciales del cerebro, y los gráficos resultantes pueden servir para diagnosticar enfermedades como la epilepsia o los tumores cerebrales.

CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO

Objetivo

- Construir un motor eléctrico

Habilidades

- Organizar e interpretar datos, y formular explicaciones, apoyándose en las teorías y conceptos científicos en estudio

Motor Eléctrico

Como recordarás, los motores eléctricos son máquinas que al originar un movimiento transforman la energía eléctrica, obtenida de una fuente de tensión o pila, en energía mecánica. El experimento consiste en la atracción y repulsión entre dos imanes, uno natural y uno electromagnético, inducido por la corriente de la pila, lo que provoca el movimiento.

El campo electromagnético inducido en la bobina se debe a la corriente que circula por la espira. Así obtenemos un "imán artificial". En el imán, dicho magnetismo es propio del material debido a su naturaleza magnética.

Materiales:

- una pila alcalina de tipo D (**figura 2**)
- cinta adhesiva
- dos clips de papel (cuanto más grandes mejor)
- un imán rectangular (como los que se usan en las neveras)
- cable de cobre esmaltado grueso (no con funda de plástico)
- un tubo de cartón de papel higiénico o de cocina (de poco diámetro)
- papel de lija fino
- pegamento, bloque pequeño de madera para la base, alicates planos o de punta (opcional)

Instrucciones para la construcción:

1. Enrolla el cable de cobre alrededor del tubo de cartón, diez o más vueltas (espiras paralelas), dejando al menos 5 cm de cada extremo sin enrollar y perfectamente recto. Retira el tubo, ya que solo se utiliza para construir la bobina. También puedes enrollar el cable con cualquier objeto cilíndrico, por ejemplo, la misma pila del tipo D.

   Los extremos deben coincidir, es decir, quedar perfectamente enfrentados (**figura 1**), ya que serán los ejes de nuestro motor. Se puede utilizar una gota de pegamento entre cada espira o dar dos vueltas del cable de los extremos sobre la bobina para evitar la deformación de esta.

Figura 1



2. Empleando la lija, retira completamente el esmalte del cable de uno de los extremos de la bobina, dejando al menos 1 cm sin lijar en la parte más próxima a la bobina (**figura 1**).
3. Coloca la bobina sobre una superficie lisa y lija el otro extremo del cable, simplemente por uno de los lados (por ello no hay que dar la vuelta a la bobina). Deja al menos 1 cm sin lijar de la parte más próxima a la bobina.
4. Fija el imán a uno de los lados de la pila utilizando el pegamento (**figura 2**).

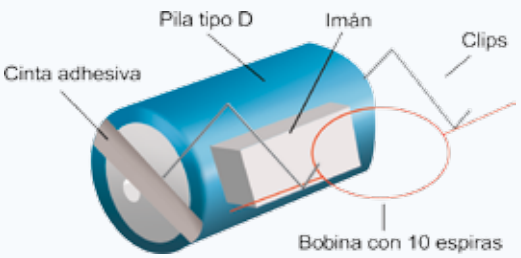


Figura 2

En caso de no contar con un cilindro de mayor grosor puedes utilizar una de las pilas, pero recuerda que cuanto más delgado sea el cilindro, mayor número de vueltas debes realizar.

5. Empleando los clips, deja dos ganchos en cada uno de los extremos con un ángulo de 90° entre ellos (**figura 2**). Unos alicates planos o de punta fina pueden resultar muy útiles.
6. Usa la cinta adhesiva para fijar el clip de papel a cada uno de los extremos de la pila, situando dichos extremos en el mismo lado que el imán.
7. Cuelga la bobina sobre los extremos libres de los clips (**figura 2**). Si la bobina no gira inmediatamente, debemos ayudarla levemente.

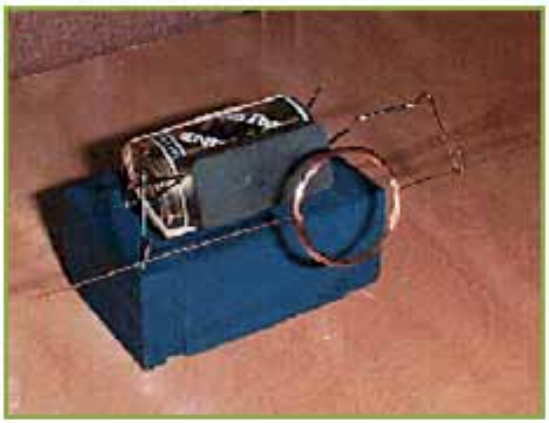


Figura 3

Finalmente

Con las cintas adhesivas, fija los clips a los bornes de la pila y pega el imán a la superficie de la pila haciendo coincidir el eje de la estructura del cable con el centro de este (**figura 3**).

laboratorio elementos electromagnéticos actividad

En 1819, el físico danés Hans Cristian Oersted observó que una corriente eléctrica ejercía una fuerza sobre una aguja magnética mostrando una conexión entre electricidad y magnetismo.

Previamente

Investigar brevemente las características de los materiales diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos y algunas de sus aplicaciones.

Objetivos

- Comprender la relación existente entre las fuerzas magnéticas y las fuerzas gravitacionales.
- Identificar la relación entre fuerzas eléctricas y fuerzas magnéticas.

Materiales

- 2 imanes de Neodimio
- tubos de plástico y cobre de 102 cm de largo
- brújula
- cronómetro
- bobina de alambre
- amperímetro

Procedimiento Parte I

1. Desliza, como lo muestra la **figura 1**, el imán a lo largo de un tubo inclinado de plástico y registra el tiempo de su desplazamiento.

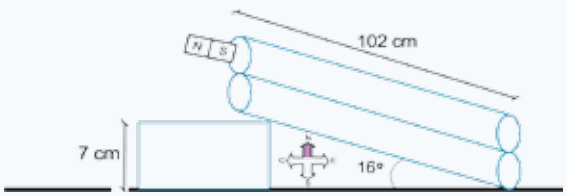


Figura 1

2. Coloca una brújula debajo del tubo inclinado y observa el efecto que produce el imán sobre la brújula al arrojar el imán con distintas polaridades.
3. Repite el experimento utilizando un tubo de cobre y observa las diferencias.

Análisis

1. ¿En qué tubo se desliza más rápido el imán?
2. ¿Qué efecto se produce en la brújula?
3. Calcula experimentalmente utilizando el D.C.L.
   a) La aceleración en ambos tubos.
   b) Fuerza gravitacional que produce el movimiento en ambos tubos.
   c) Fuerza magnética en el tubo de cobre.

Procedimiento Parte II

1. Pasa el imán con cierta polaridad cruzando el centro de la bobina (**figura 2**), confeccionada con alambre de cobre. Observa el efecto que se produce en la medición de la corriente. Regresa el imán a su posición inicial cruzando nuevamente el centro de la bobina.
2. Repite el experimento utilizando el imán en distinta polaridad.
3. Repite el experimento variando la velocidad del movimiento del imán.

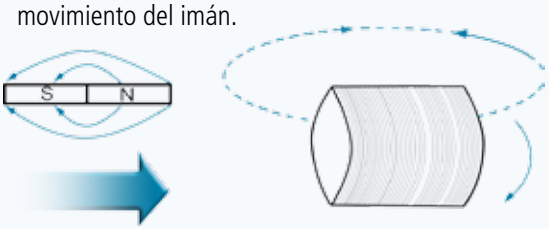




Figura 2

Análisis

1. ¿Cuál es el efecto producido en el amperímetro al acercar y alejar el imán?
2. ¿Qué diferencias se presentan al variar la polaridad del imán? ¿Y al variar la velocidad con que se mueve el imán?

Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS?

Sección 1

1. ¿Por qué la fuerza gravitacional no predomina sobre las fuerzas eléctricas entre las partículas del núcleo?
2. ¿Cuál es la carga neta de un átomo?
3. ¿Cuál son las semejanzas de la ley de Coulomb con la ley de Gravitación de Newton? ¿En qué se diferencian?
4. ¿Cómo se comportan las líneas de campo eléctrico en un sistema de dos cargas eléctricas puntuales de igual carga y distinto signo?
5. Cuando se carga un globo, este posee gran cantidad de energía. Explica por qué.
6. ¿Cuál sería la carga eléctrica neta de un cuerpo con 1 millón de electrones en exceso?
7. Una barra de vidrio que se frota con seda adquiere una carga de $8 \cdot 10^{-10}$ C. ¿La carga en la seda es positiva, negativa o nula?
8. En una molécula orgánica, los núcleos de dos átomos están separados 0,3 nm. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza de repulsión eléctrica entre ellos?
9. Dos cargas se unen hasta que están a una distancia de 100 cm, de manera que la fuerza eléctrica entre ellas aumenta exactamente por un factor de 5. ¿Cuál era su separación inicial?
10. Determina la fuerza gravitacional y eléctrica entre el electrón y el protón en el átomo de hidrógeno suponiendo que están a una distancia de $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m. ¿Cuál es la razón entre las magnitudes de la fuerza eléctrica y la fuerza gravitacional?

Item selección única

11. Una varilla de vidrio al ser frotada con un paño pierde $3 \cdot 10^{16}$ electrones. ¿Cuál será la carga que aparece en la varilla y en el paño?

a) q varilla $= 3{,}2 \cdot 10^{-3}$ C y q paño $= -3{,}2 \cdot 10^{-3}$ C.

b) q varilla $= -3{,}2 \cdot 10^{-3}$ C y q paño $= 3{,}2 \cdot 10^{-3}$ C.

c) q varilla $= 4{,}8 \cdot 10^{-3}$ C y q paño $= -4{,}8 \cdot 10^{-3}$ C.

d) q varilla $= -4{,}8 \cdot 10^{-3}$ C y q paño $= 4{,}8 \cdot 10^{-3}$ C.

e) q varilla $= -3{,}8 \cdot 10^{-3}$ C y q paño $= 3{,}8 \cdot 10^{-3}$ C.

Sección 2

12. De las cinco ampolletas que se describen a continuación, ¿cuál de ellas presenta mayor resistencia eléctrica cuando está funcionando correctamente?

A) Ampolleta 1: De automóvil, para 12 volt, 75 watt.

B) Ampolleta 2: Doméstica, para 220 volt, 100 watt.

C) Ampolleta 3: Doméstica, para 220 volt, 40 watt.

D) Ampolleta 4: Industrial, para 380 volt, 500 watt.

E) Ampolleta 5: De camión, para 24 volt, 120 watt

13. La potencia de un sistema disipada por 5 resistencias iguales conectadas en serie a la red pública chilena es de 2 200 W. Al conectarlas en paralelo a la misma red, la potencia disipada por el sistema es:

A) 1 kW

B) 30 kW

C) 1 200 [W]

D) Menor de 1 200 [W]

E) Mayor de 1 200 [W]

Sección 3

14. ¿De qué manera se relaciona la electricidad con el magnetismo? Explica con tus propias palabras.
15. La dirección del campo eléctrico que rodea a una carga puntual es radial. ¿Ocurre lo mismo con el campo magnético que rodea a un alambre que conduce corriente?
16. ¿Qué pasa con la dirección del campo magnético en torno a un alambre que conduce corriente eléctrica cuando se invierte la dirección de esta corriente?
17. Un conductor recto de 50 cm de longitud transporta una corriente de 4 A, dirigida verticalmente hacia arriba. Si sobre el conductor actúa una fuerza de $1 \cdot 10^{-2}$ N en dirección al este, que se debe a un campo magnético en ángulo recto con el tramo de alambre, ¿cuál es la magnitud y dirección del campo magnético?

A) $10 \cdot 10^{-3}$ T de norte a sur.

B) $5 \cdot 10^{-3}$ T de sur a norte.

C) $5 \cdot 10^{-3}$ T de norte a sur.

D) $10 \cdot 10^{-3}$ T de sur a norte.

E) $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ T de sur a norte.

Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo

En el formulario KPSI que se presenta a continuación, se han formulado preguntas con el objetivo de indagar sobre tu nivel de aprendizaje. Dependiendo de tu desempeño, podrás:

reforzar conceptos, habilidades y procedimientos débiles.

resolver nuevas situaciones problemáticas o fenomenológicas, como desafío de profundización

Categorías

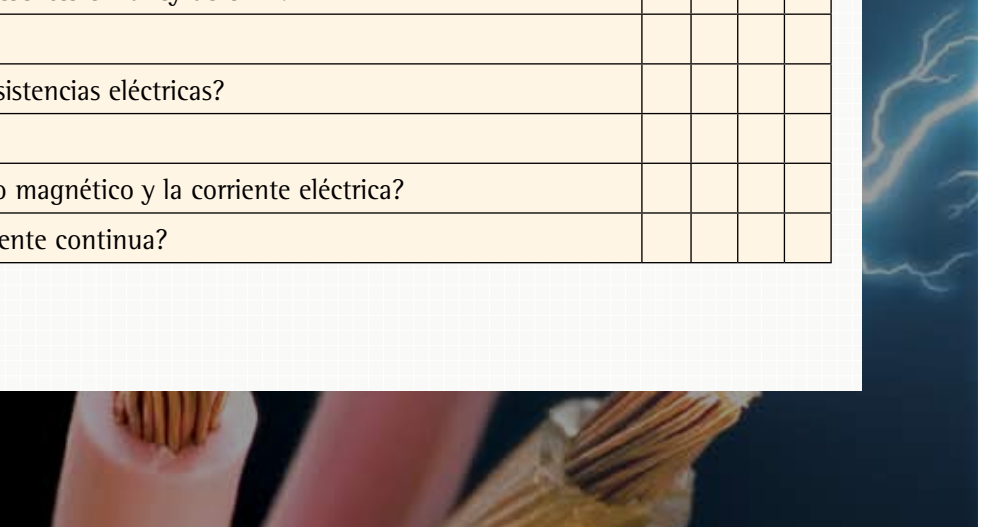
1. No lo sé
2. No lo entiendo
3. Creo que lo sé
4. Se lo podría explicar a mis compañeros

Utilizando las categorías anteriores, marca con una X en el recuadro que corresponda.

Objetivo del capítulo

Comprender leyes y conceptos básicos de la electricidad y el magnetismo, la relación que existe entre ambos, y su rol en fenómenos de la vida diaria y el funcionamiento de diversos dispositivos tecnológicos.

Enunciados /conceptos o temas	1	2	3	4
¿Cuáles son las semejanzas entre la ley de Coulomb y la ley de gravitación? ¿Cuáles son sus diferencias?				
¿Cuáles son las variables físicas que describen la ley de Coulomb?				
¿Cuáles son los principios de la electrostática?				
Desde el punto de vista de la electricidad, ¿cómo se clasifican los materiales?				
¿Cuáles son los métodos de electrización?				
¿Qué es el campo eléctrico?				
¿Qué son las líneas de fuerza?				
¿Qué es el potencial electrostático?				
¿Qué es la corriente eléctrica?				
¿Qué es la fuerza electromotriz?				
¿Cuáles son las variables físicas presentes en la ley de Ohm?				
¿Qué es el efecto Joule?				
¿Cómo se pueden combinar las resistencias eléctricas?				
¿Qué es el campo magnético?				
¿Cuál es la relación entre el campo magnético y la corriente eléctrica?				
¿Cómo funciona el motor de corriente continua?				



¿Qué es la fuerza electromotriz inducida?				
¿Qué fenómeno físico explica la ley de Lenz?				
¿Qué fenómeno físico explica la ley de Faraday?				
¿Cómo funciona un generador de corriente?				
¿Cuál es la relación que existe entre los generadores eléctricos y la producción de energía eléctrica?				
Subtotal				
Procedimientos y método de trabajo				
Puedo seguir las instrucciones dadas en una actividad.				
Puedo reconocer las semejanzas y diferencias entre la ley de Coulomb y la ley de gravitación universal de Newton: ámbitos de aplicabilidad, magnitudes relativas y analogías formales entre ambas leyes.				
Puedo verificar experimentalmente y representar gráficamente la ley de Ohm.				
Puedo aplicar la relación entre corriente, potencia y voltaje en el cálculo de consumo doméstico de energía eléctrica.				
Puedo describir la corriente como un flujo de cargas eléctricas distinguiendo entre corriente continua y alterna.				
Puedo describir los componentes y funciones de la instalación eléctrica domiciliaria (conexión a tierra, fusibles, interruptores, enchufes, etc.) y distinguir, en casos simples y de interés práctico, entre circuitos en serie y en paralelo.				
Puedo identificar la relación cualitativa entre corriente eléctrica y magnetismo.				
Puedo reconocer la fuerza magnética ejercida sobre un conductor que porta corriente: el motor eléctrico de corriente continua.				
Puedo caracterizar los efectos del movimiento relativo entre una espira y un imán: el generador eléctrico y sus mecanismos de acción por métodos hidráulicos, térmicos, eólicos.				
Subtotal				
Actitudes				
Logré cumplir con los objetivos propuestos en cada sección, tema del capítulo.				
Logré explicar con mis palabras los diferentes temas tratados.				
Pude expresar las ideas principales en presentaciones.				
Pude compartir las ideas con mis compañeros.				
Pude cambiar mi opinión sobre algún tema a partir de la explicación de mis compañeros.				
Subtotal				
Total general				

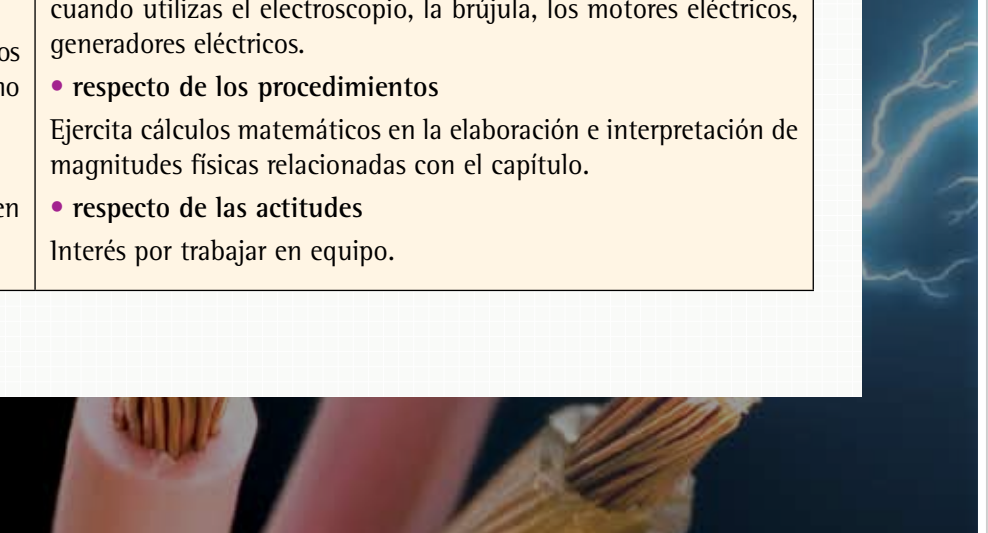
Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo

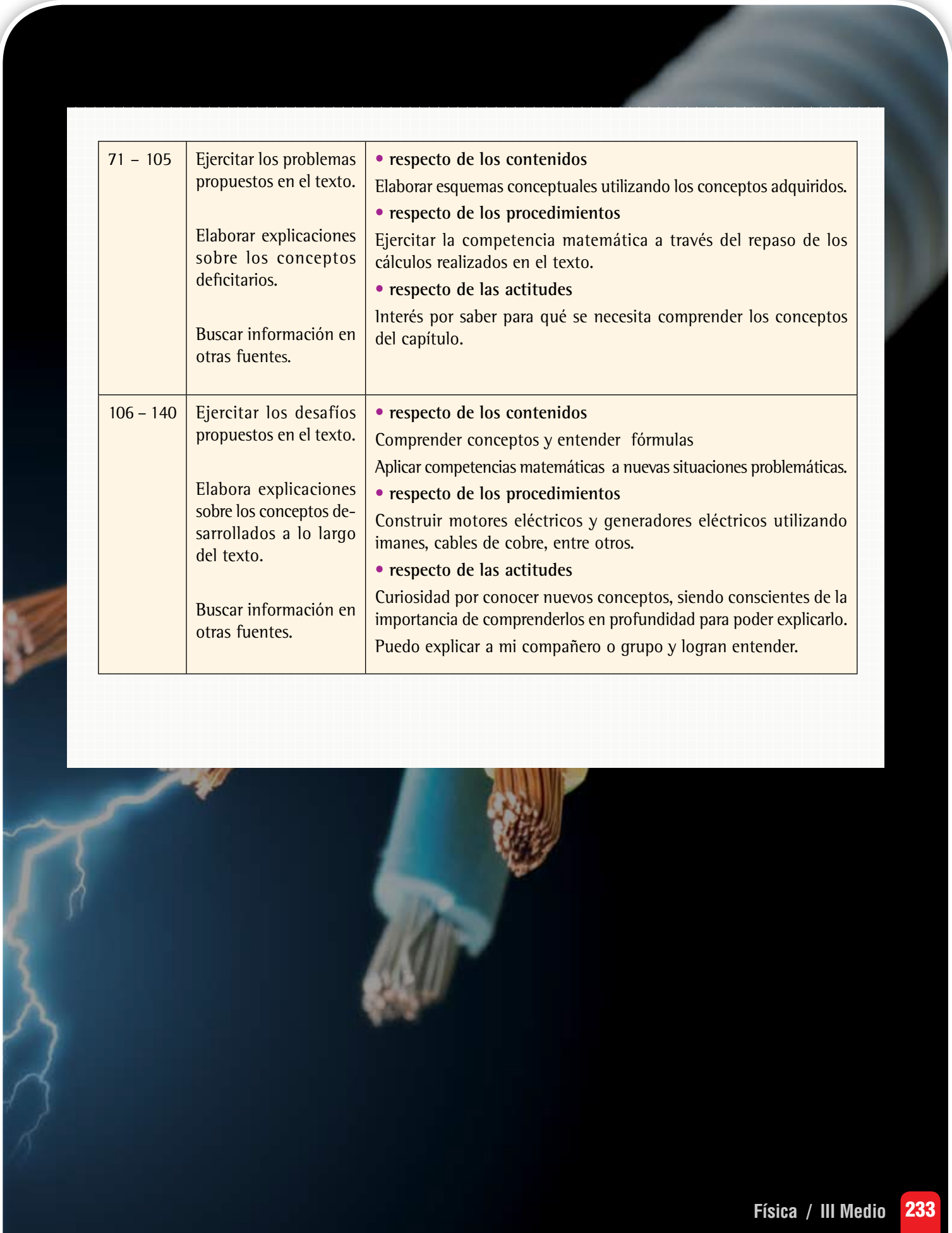
Ahora suma los subtotales y obtén el total general.

Con ayuda de los subtotales notarás tu avance en relación con el manejo de conceptos, el desarrollo de tus habilidades, procedimientos y actitudes referidas a tus aprendizajes del capítulo. Los resultados te orientarán sobre tus logros, por lo que te sugerimos preguntarte: ¿Qué debo reforzar para superar el déficit? ¿Qué puedo hacer para avanzar más? ¿Qué puedo hacer para saber más?

Utiliza la siguiente tabla para guiar tus remediales

Puntos	Acción	Algunas tareas sugeridas
0 - 35	Leer detenidamente los contenidos del capítulo. Identificar las ideas y conceptos que no puede explicar. Buscar información en otras fuentes bibliográficos y/o internet.	• **respecto de los contenidos** Busca situaciones cotidianas relacionadas con contenidos del texto; por ejemplo: el tipo de carga que adquiere una persona que arrastra los pies en una alfombra, la acción de un peine sobre los papeles luego de frotarlo con el pelo de la cabeza, la resistencia eléctrica que tiene una ampolleta de 100 W, la potencia eléctrica que poseen los electrodomésticos, la utilidad de los fusibles de seguridad, la fuerza que se produce al acercar dos imanes naturales, el campo magnético generado por las configuraciones de alambres con corriente, la fuerza que sienten dos alambres por donde circula corriente, los motores eléctricos presentes en la sociedad, el funcionamiento de la guitarra eléctrica, los generadores y la producción de la energía eléctrica. • **respecto de los procedimientos** Realizar cálculos sencillos relacionados con las magnitudes que describen la ley de Coulomb, la ley de Ohm, la resistencia equivalente en conexiones en serie, en paralelo y en conexión mixta, la ley de Henry. • **respecto de las actitudes** Interés por entender los conceptos, fijándote metas.
36 - 70	Leer los contenidos del capítulo que no ha logrado entender. Reconocer los conceptos aprendidos y los que no ha entendido. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Conocer la aplicación de los conceptos adquiridos en situaciones cotidianas relacionadas con contenidos del texto; por ejemplo: cuando utilizas el electroscopio, la brújula, los motores eléctricos, generadores eléctricos. • **respecto de los procedimientos** Ejercita cálculos matemáticos en la elaboración e interpretación de magnitudes físicas relacionadas con el capítulo. • **respecto de las actitudes** Interés por trabajar en equipo.





71 – 105	Ejercitar los problemas propuestos en el texto. Elaborar explicaciones sobre los conceptos deficitarios. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Elaborar esquemas conceptuales utilizando los conceptos adquiridos. • **respecto de los procedimientos** Ejercitar la competencia matemática a través del repaso de los cálculos realizados en el texto. • **respecto de las actitudes** Interés por saber para qué se necesita comprender los conceptos del capítulo.
106 – 140	Ejercitar los desafíos propuestos en el texto. Elabora explicaciones sobre los conceptos desarrollados a lo largo del texto. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Comprender conceptos y entender fórmulas Aplicar competencias matemáticas a nuevas situaciones problemáticas. • **respecto de los procedimientos** Construir motores eléctricos y generadores eléctricos utilizando imanes, cables de cobre, entre otros. • **respecto de las actitudes** Curiosidad por conocer nuevos conceptos, siendo conscientes de la importancia de comprenderlos en profundidad para poder explicarlo. Puedo explicar a mi compañero o grupo y logran entender.

Capítulo 4

¿CÚAL ES LA CONEXIÓN ENTRE LA ESTABILIDAD DE LA MATERIA Y EL NÚCLEO ATÓMICO?

FÍSICA AL INTERIOR DEL NÚCLEO ATÓMICO

La física atómica y nuclear ha jugado un papel clave durante el siglo XX en el desarrollo de instrumentación, teorías y técnicas aplicadas en diversos campos de investigación, como la medicina, reactores nucleares, etc.

En este capítulo vas a estudiar los modelos atómicos, el núcleo atómico y la estabilidad de la materia.

Comenzamos nuestro estudio con los modelos atómicos de Thompson, Rutherford, Bohr, los que te permitirán estudiar la estructura de los átomos. Posteriormente estudiarás las propiedades del núcleo atómico, las fuerzas nucleares que mantiene nunidos a los protones y neutrones en el núcleo, los modelos nucleares, los factores que determinan la estabilidad del núcleo atómico y, por lo tanto, de la materia.

Lo que estudiarás

- La importancia de las fuerzas nucleares y electromagnéticas a nivel del núcleo atómico para explicar diversos de fenómenos.

Lo que debes saber

- Los modelos atómicos y la teoría atómica.
- La participación de las fuerzas eléctricas en fenómenos a nivel atómico.

Actividad exploratoria

I. ¿Es posible con un CD construir un patrón de interferencia?

Habilidades

- Observar un fenómeno
- Argumentar las razones posibles de resultados contradictorios

Los CD o discos compactos son algunos de los dispositivos de almacenamiento masivo más utilizados en el mundo. Este tipo de disco utiliza una capa metálica con un revestimiento que le permite almacenar una gran cantidad de datos binarios con mayor calidad de audio y video que los sistemas tradicionales analógicos.

Realiza el siguiente laboratorio y observa:



1. Quítale la cubierta que lleva pegada en uno de sus lados el CD.
2. Tras separar la cubierta, corta un trozo del disco con las tijeras.
3. A una caja de cartón de zapatos con su tapa, hazle una pequeña ranura de unos 5 cm de largo y 2 mm de ancho en una de las caras de la caja e incrusta el CD en su interior, de modo que por la ranura llegue luz al CD.
4. Haz un agujero en la tapa para poder ver el trozo de CD desde arriba. Coloca la tapa en la caja.
5. Con una linterna enfoca luz por la ranura. Observa por el agujero de la tapa lo que sucede.

II. Mecánica clásica

A través de esta actividad, queremos ayudarte a recordar algunas de las principales características de la mecánica clásica, ya que sus principios nos dan cuenta de las observaciones que se establecen a nivel microscópico cuando nos adentramos en la estructura y funcionamiento del átomo.

1. Junto con un compañero o compañera, lean la siguiente información:
   La mecánica clásica es una formulación de la mecánica para describir el movimiento de sistemas de partículas físicas de dimensiones macroscópicos. Algunos postulados básicos de la mecánica clásica son:
   a) La existencia de un tiempo absoluto, cuya medida es igual para cualquier observador, independiente de su tipo de movimiento.
   b) El estado de una partícula queda completamente determinado si se conoce su cantidad de movimiento y posición, siendo estas simultáneamente medibles.
2. Considerando la lectura, explica si estos presupuestos básicos son suficientes para explicar todos los fenómenos luminosos observados.

SECCIONES

1 FÍSICA EN EL ÁTOMO

2 ESTABILIDAD DE LA MATERIA Y FUERZAS NUCLEARES

FÍSICA EN EL ÁTOMO

Cuál sería tu respuesta si un alumno de nivel menor, algún familiar o cualquier persona te preguntara ¿cuáles son los constituyentes que forman a un árbol, una nube o una persona?, ¿qué es la materia? o ¿qué es un átomo?, ¿se puede ver?

Seguramente, de los cursos anteriores y de los cursos de Química, recordarás que la materia está hecha de átomos y cuyo modelo está representado por la **figura 4.1**

Pero ¿cómo podemos estudiar objetos que no podemos ver?¿de qué están hechos?¿son estables o se desintegran con facilidad?

Para poder identificar los modelos atómicos, necesitas comprender los principios físicos que sustentan a cada modelo, resolver problemas, procesar e identificar datos y formular explicaciones a nuevas situaciones teóricas o experimentales.

Los temas que se tratarán durante el desarrollo de la sección, te darán a conocer las evidencias que han permitido el desarrollo de las diferentes teorías que permiten comprender la naturaleza del átomo.

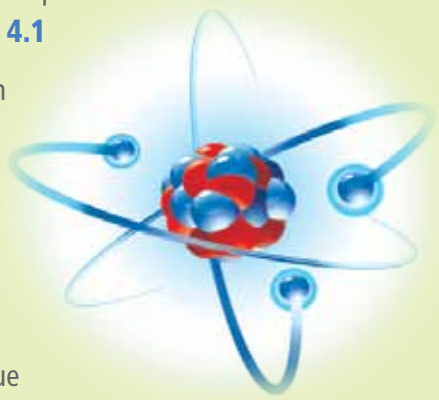


Figura 4.1 Modelo de átomo

AL LEER APRENDERÁS

- A identificar los modelos atómicos

CONCEPTOS CLAVE

- Estructura de la materia
- Modelo de átomo
- Núclidos

TEMA 1: Estructura de la materia

Como recordarás de las clases de Ciencias Naturales y de Química de niveles anteriores, cualquier sustancia de la naturaleza, independientemente de su forma, propiedades o estado de agregación, está constituida por unos componentes fundamentales llamados átomos, o por grupos de átomos llamados moléculas.

Si una sustancia está constituida por un solo tipo de átomos, se le llama elemento. Los elementos no pueden descomponerse en otros elementos más sencillos utilizando los medios químicos habituales. Existen en la naturaleza alrededor de 92 elementos naturales: oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, carbono, aluminio, hierro, cobre, etcétera. Además, hay otros elementos artificiales, como el plutonio, americio, californio, etc.

Ahora, si una sustancia está formada por átomos de diferentes elementos, se la denomina compuesto químico. Estas sustancias también se pueden considerar como la unión de dos o más elementos en proporciones invariables, que pueden descomponerse en ellos mediante procedimientos químicos. Además, las propiedades de los compuestos son diferentes a la de los elementos que los constituyen, ya que su formación lleva asociada una absorción o un desprendimiento de energía. Son compuestos, por ejemplo, el agua (H_20), la sal común (NaCl), la glucosa ($C_6H_{12}O_6$), entre otros.

En la naturaleza, la mayor parte de las sustancias son mezclas que se forman a partir de dos o más compuestos en proporción variable, conservando estos sus propiedades específicas y pudiéndose separar por procedimientos físicos. Las mezclas pueden ser homogéneas (donde se distingue solo una fase), o heterogéneas (donde se distingue más de una fase).

La **figura 4.2**, resume lo que hemos descrito:

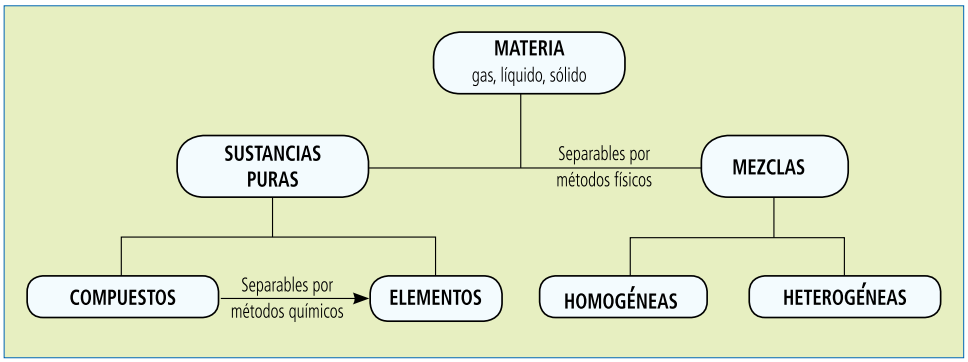


Figura 4.2
Clasificación de la materia

También se ha observado que cuanta más energía se precise para constituir un átomo, una molécula o un compuesto, mayor será su estabilidad y mayor será también la energía que haya que suministrar para su descomposición.

Partículas fundamentales del átomo

Un átomo de cualquier elemento está formado, principalmente, por tres partículas fundamentales: electrones, protones y neutrones.

El electrón fue descubierto por J. J. Thomson (1897) en el curso de sus estudios sobre los rayos catódicos, confirmando que estos consisten en partículas cargadas negativamente. Si estas partículas habían de ser iguales para toda la materia, la relación entre su carga específica e y su masa m debía ser constante, y calculó un valor para esa constante de $1{,}76 \cdot 10^8$ C/g

Años más tarde, en 1910, Millikan, con su experimento de la gota de aceite, determinó el valor de la carga del electrón: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C.

De este modo, si relacionamos la constante $1{,}7 \cdot 10^8$ C/g con la masa del electrón, resulta:

$$\frac{e}{m_e} = 1{,}76 \cdot 10^8 \frac{C}{g}$$

y la masa del electrón será $m_e = \dfrac{1{,}602 \cdot 10^{-19}}{1{,}76 \cdot 10^8}$ g $= 9{,}102 \cdot 10^{-31}$kg.

El protón es la partícula elemental que forma parte del núcleo de todos los elementos. Su carga eléctrica es idéntica a la del electrón en valor absoluto, pero de signo contrario. Su masa en reposo es: $m = 1{,}6725 \cdot 10^{-27}$ kg.

El neutrón, descubierto por **James Chadwick**, es la otra partícula constitutiva del núcleo de un átomo. No es portador de carga eléctrica y su masa en reposo es $m = 1{,}6748 \cdot 10^{-27}$ kg, sensiblemente igual a la del protón.

Se puede observar que la masa del electrón es, aproximadamente, 1836 veces menor que la masa del protón y del neutrón.

SIR JAMES CHADWICK

(1891-1974), físico inglés laureado con el Premio Nobel gracias a su descubrimiento de la partícula neutrón en el núcleo del átomo. Chadwick allanó el camino hacia la fisión del uranio 235 y hacia la creación de la bomba atómica. Como premio por su descubrimiento se le otorgó la Medalla Hughes de la Royal Society en 1932 y el Premio Nobel de física en 1935. También descubrió el tritio.



JOSEPH JOHN THOMSON

(1856 -1949), físico británico, que investigó la naturaleza de los rayos catódicos y demostró que los campos eléctricos podían provocar la desviación de éstos. Profundizó su investigación sobre dicha desviación, bajo el efecto combinado de campos eléctricos y magnéticos, buscando la relación existente entre la carga y la masa de las partículas, proporcionalidad que se mantenía constante aun cuando se alterase el material del cátodo. Su gran descubrimiento fue la partícula electrón y el primero que identificó partículas subatómicas, y llegó a importantes conclusiones sobre estas partículas cargadas negativamente. Estableció un nuevo modelo de la estructura del átomo que resultó incorrecto, pues suponía que las partículas cargadas positivamente se encontraban mezcladas homogéneamente con las negativas.

Thomson recibió el premio Nobel de Física en 1906 por sus estudios acerca del paso de la electricidad a través del interior de los gases.

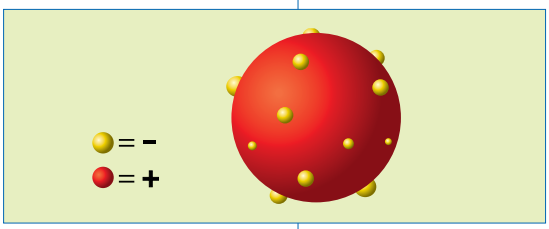


Pero ¿cómo se distribuyen estas partículas fundamentales en el átomo? ¿Qué modelos atómicos se han desarrollado para explicar la forma de un átomo?

Para explicar la forma del átomo y cómo se encuentran dispuestas las partículas dentro del mismo se propusieron distintos modelos atómicos: Thomson, Rutherford, Bohr.

TEMA 2: Modelos atómicos

Figura 4.3
Modelo atómico de Thomson



A fines del siglo XX, J.J. Thomson (1856-1940) sugirió un nuevo modelo del átomo consistente en una esfera de superficie positiva, con electrones de carga negativa incrustados en la superficie (**figura 4.3**).

En 1911, Geiger y Marsden, bajo la supervisión de Ernest Rutherford (1871-1937), demostraron mediante de un experimento notable que el modelo de Thomson no era correcto.

Utilizando una fuente de partículas alfa bombardearon una placa metálica (**figura 4.4**). Como resultado de este bombardeo, la mayoría de las partículas alfa (núcleos de Helio) pasaron a través de la lámina como si viajaran en el vacío. Otras se desviaban desde sus posiciones de incidencia con ángulos de dispersión muy diversos, incluso algunas partículas eran dispersadas en dirección contraria a la dirección de incidencia, como "reflejadas" en un espejo.

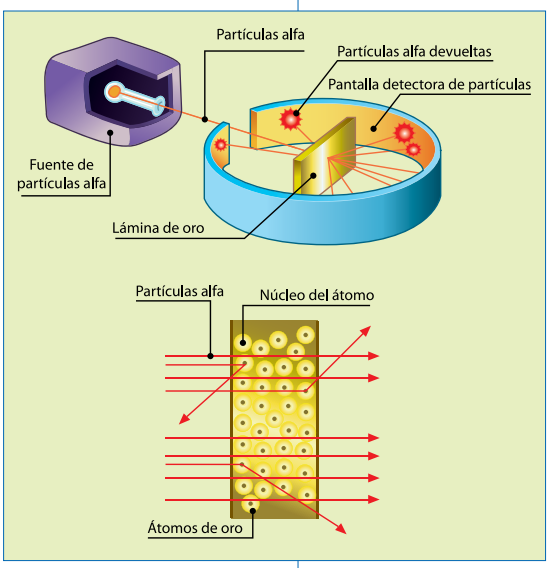


Figura 4.4
Experimento de Rutherford

Esta evidencia experimental no coincidía con el modelo de Thomson, en el cual una partícula alfa nunca se acercaría tanto a otra carga positiva de mayor magnitud causando ángulos tan diversos de dispersión.

Entonces, ¿cuál fue la explicación frente a esta evidencia experimental?

Rutherford explicó estas observaciones asumiendo que la carga positiva del átomo estaba confinada a una región muy pequeña, relativa al tamaño del átomo, que denominó **el núcleo.**

Además, asumió que cualquier concentración de carga electrónica se encontraría fuera del núcleo ocupando un volumen mayor.

Pero ¿por qué los electrones no se mueven al núcleo donde se ubicaría esta concentración de carga positiva?

Para explicar por qué los electrones de esta región del átomo no se movían por interacción de Coulomb hacia el núcleo, Rutherford postuló que estas partículas se movían en órbitas alrededor del núcleo positivo de la misma manera que los planetas orbitan el Sol.

Sin embargo, existen dos dificultades básicas con el modelo planetario de Rutherford. En primer lugar, los átomos emiten sólo algunas frecuencias discretas características de radiación electromagnética.

En segundo lugar, los electrones de Rutherford están sometidos a una aceleración centrípeta, y de acuerdo a los postulados de Maxwell, estas cargas deben irradiar ondas electromagnéticas, por lo que el radio disminuye, aumenta la frecuencia de la radiación emitida. Con la radiación, los electrones perderían su energía, lo que conduciría en último término a su caída sobre el núcleo.

De este modo, según la electrodinámica clásica el átomo sería inestable, lo que no corresponde a la realidad.

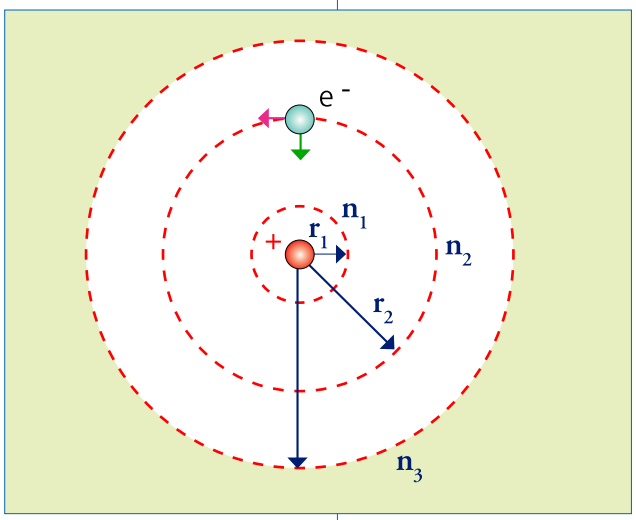
¿CÓMO VAS?

¿Qué tipo de interacción existe entre un electrón y un protón en el átomo?

El átomo de Bohr

Este modelo de átomo fue concebido por Bohr y es un intento para explicar su estructura y estabilidad.

El modelo contiene elementos clásicos como también postulados más avanzados que no se podrían justificar desde el punto de vista de la física clásica (**figura 4.5**).



▲ **Figura 4.5**
Átomo de Bohr

Las presunciones básicas del átomo de Bohr aplicadas al átomo de hidrógeno son las siguientes:

1. El electrón se mueve en una trayectoria circunferencial alrededor del protón debido a la interacción de Coulomb, que proporciona la fuerza centrípeta necesaria.

2. Mientras el electrón en el átomo de hidrógeno se mantenga en una órbita, no emite radiación, y, por lo tanto, la energía total del átomo permanece constante. En estas condiciones, la mecánica clásica puede describir el movimiento del electrón.

3. Cuando el electrón "salta" de un estado de mayor energía a otro de menor energía, se emite radiación electromagnética (fotones). Este "salto" no se puede tratar clásicamente. La frecuencia de la radiación emitida está relacionada con el cambio de energía del átomo y es independiente del movimiento orbital del electrón.

   La frecuencia de la radiación emitida viene dada por

$$E_i - E_f = h \cdot f$$

   donde E_i y E_f son los valores inicial y final de la energía del electrón del átomo; f, la frecuencia de la radiación emitida o absorbida por el átomo, y h, la constante de Planck, cuyo valor es:

$$h = 6{,}6252 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$$

TEN PRESENTE

$\hbar$: Constante reducida de Planck. Relaciona la energía E de los fotones con la frecuencia de una onda lumínica.

4. El tamaño de las órbitas permitidas están condicionadas por la cantidad de movimiento angular (L) del electrón alrededor del núcleo, siendo estas múltiplos enteros de $\hbar$, donde

$$\hbar = h / 2\pi$$

   Es decir:

$$m \cdot v \cdot R = n \cdot \hbar \qquad \text{con } n = 1, 2, 3...$$

   Con estas presunciones podemos calcular las energías permitidas y los radios permitidos por el átomo de hidrógeno.

a) Cálculo de energías permitidas: usando el modelo esquemático de Bohr, en el cual el electrón orbita circunferencialmente alrededor del protón con un radio R y rapidez v, tenemos que la energía potencial eléctrica del átomo es

$$U_e = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{R} = -\frac{K \cdot e^2}{R} \quad \text{donde} \quad K = 9 \cdot 10^9 \ \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Ahora, supongamos que el núcleo se encuentra en reposo; la energía total del átomo es la suma de la energía cinética y la energía potencial del electrón

$$E_{total} = K_e + U_e = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - \frac{K \cdot e^2}{R}$$

Supongamos aplicable la ley de Coulomb y las leyes de Newton para el electrón que orbita a una distancia R:

$$F_e = m \cdot a$$

Donde a es la aceleración centrípeta y F_e es la fuerza eléctrica

$$\frac{K \cdot e^2}{R^2} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Reescribiendo la igualdad, al dividir por dos ambos miembros,

$$\frac{K \cdot e^2}{2 \cdot R} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = K_e$$

Donde K_e, es la energía cinética del electrón que orbita al núcleo.

Entonces, remplazando en la expresión de la energía total y restando, tenemos

$$E_{total} = -\frac{K \cdot e^2}{2 \cdot R}$$

b) Ahora calculemos el radio de la órbita más cercana al núcleo atómico.

Si despejamos v de $m \cdot v \cdot R = n \cdot \hbar$

$$v = \frac{n \cdot \hbar}{m \cdot R}$$

Y remplazando en $\frac{K \cdot e^2}{R^2} = \frac{m}{R} \cdot v^2$

Obtenemos $\frac{K \cdot e^2}{R^2} = \frac{m}{R} \cdot \frac{n^2 \cdot \hbar^2}{m^2 \cdot R^2}$

Simplificando, obtenemos la relación para determinar radios orbitales

$$R_n = \frac{n^2 \cdot \hbar^2}{m \cdot K \cdot e^2}$$

Esta ecuación se basa en la presunción de que el electrón solo puede existir en ciertas órbitas permitidas, determinadas por el número cuántico principal n.

La órbita más cercana al núcleo es cuando n=1

$$R_1 = \frac{1^2 \cdot \hbar^2}{m \cdot K \cdot e^2}$$

Si remplazamos los valores para las constantes ħ, m, k, e, obtenemos para n = 1

$$R_1 = 5{,}2 \cdot 10^{-11}\ m = 0{,}052\ nm$$

llamado radio de Bohr (órbita con menor radio)

$$a_0 = 0{,}052\ nm$$

Energía de los estados cuánticos

Utilizando las expresiones $E_{total} = -\frac{K \cdot e^2}{2 \cdot R}$ y $R_n = \frac{n^2 \cdot \hbar^2}{m \cdot K \cdot e^2}$

Remplazando R_n en E_{total}

$$E_n = -\frac{m \cdot K^2 \cdot e^2}{2 \cdot n^2 \cdot \hbar^2}$$

Si sustituimos valores numéricos en la expresión anterior, obtenemos

$$E_n = -\frac{21{,}859 \cdot 10^{-19}}{n^2}\ J$$

Que es la expresión que permite calcular las energías permitidas del átomo de Bohr.

El estado de energía más bajo corresponde al estado base y se obtiene cuando n = 1

$$E_1 = -\frac{21{,}859 \cdot 10^{-19}}{1^2}\ J$$

El estado siguiente corresponde a n = 2

$$E_2 = -\frac{21{,}859 \cdot 10^{-19}}{2^2}\ J = -5{,}46 \cdot 10^{-19}\ J$$

De esta manera, se pueden obtener los estados cuánticos energéticos del hidrógeno.

En resumen, Bohr postula la existencia de niveles discretos de energía para los electrones, que se mueven en órbitas circunferencial alrededor del núcleo; solo se emite energía cuando los electrones pasan de una de mayor nivel de energía a otra de menor nivel energético.

La energía liberada al caer un electrón de una órbita a otra más próxima al núcleo se emite en forma de un impulso, cuya frecuencia viene dada por la relación:

$$E_i - E_f = h \cdot f$$

¿CÓMO VAS?

¿Cuál es el radio en el átomo de hidrógeno cuando n = 3?

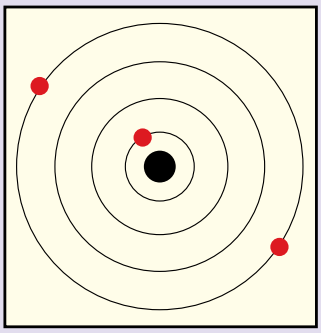
NIELS HENRIK BOHR

(1885-1962). Físico danés que realizó importantes contribuciones para la comprensión de la estructura del átomo y la mecánica cuántica. Basándose en las teorías de Rutherford, publicó su modelo atómico en 1913, introduciendo la teoría de las órbitas cuantificadas, que consiste en que, en torno al núcleo atómico, el número de electrones en cada órbita aumenta desde el interior hacia el exterior. En su modelo, además, los electrones podían caer (pasar de una órbita a otra) desde un orbital exterior a otro interior, emitiendo un fotón de energía discreta, hecho sobre el que se sustenta la mecánica cuántica. En 1922 recibió el Premio Nobel deFísica por sus trabajos sobre la estructura atómica y la radiación.

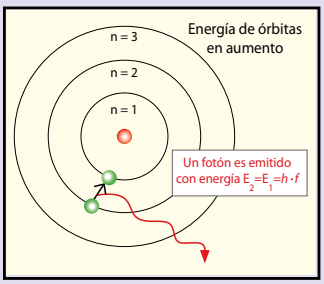


REVISANDO LO QUE SABES

- ¿Recuerdas algunos de los postulados de Bohr? Aquí te entregamos dos de ellos.



Postulado N°2:
Órbitas estacionarias



Postulado N°3:
Electrón emitiendo un fotón.

Pero ¿se puede extender el modelo atómico de Bohr a sistemas atómicos más complejos?

A pesar de los esfuerzos por extender la teoría de Bohr a otros sistemas atómicos más complejos, los resultados fueron infructuosos.

Sin embargo, **Arnold Sommerfeld (1868-1951)** extendió el trabajo de Bohr.

Sommerfeld concibió su modelo atómico, generalizando las órbitas circunferenciales a órbitas elípticas, donde el núcleo del átomo ocuparía uno de los focos.

Posteriormente, Luis de Broglie estableció la hipótesis de que los electrones enlazados al núcleo deben comportarse como una onda, por lo tanto, al tener este comportamiento, podrá describirse como una función de onda. Lo importante de dicha función, denominada ecuación de ondas de Schrodinger, es que al resolverla se obtienen una serie de soluciones, cada una de las cuales describe un posible estado de energía para los electrones en el átomo.

Cada solución viene dada por los valores de tres números cuánticos que describen un orbital atómico, concepto equivalente al de orbital atómico y al de órbita en el modelo de Bohr.

El movimiento de cada electrón viene determinado por cuatro condiciones, expresadas por los llamados **números cuánticos:**

- El **principal** (n), que cuantifica la energía y el radio de la órbita.
- El **orbital** (l) , que cuantifica el momento angular.
- El **magnético** (m), que cuantifica la orientación de la órbita en el espacio.
- El **magnético de spin (m_s)** indica las únicas posibles orientaciones que puede adoptar un electrón en presencia de un campo magnético.

Sin embargo, debes recordar que según el principio de **exclusión de Pauli**, en el mismo átomo, no pueden existir dos electrones con los valores de los cuatro números cuánticos iguales.

Átomo neutro

En el átomo neutro, el número de protones existentes en su núcleo es igual al de electrones que giran a su alrededor.

Al número de protones que contiene el núcleo se le denomina **número atómico**, y se designa con la letra Z.

Número másico es el número total de protones y neutrones **(nucleones)**, y se designa por A.

El número de neutrones, N, se podrá calcular, por tanto, mediante

$$N = A - Z$$

Los átomos cuyos núcleos poseen el mismo número de protones, Z, pertenecen al mismo elemento químico. Este número atómico Z representa también su posición en el Sistema Periódico.

Elemento	Símbolo	Número de protones	Número de neutrones	Número de electrones
Hidrógeno	H	1	0	1
Helio	He	2	2	2
Carbono	C	6	6	6

Tabla 4.1

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la diferencia entre los modelos atómicos de Böhr y Sommerfeld?

Núclidos

El núcleo de un átomo de cualquier elemento queda caracterizado por el número de neutrones y de protones que posee. Variando cualquiera de ellos, se tendrá una especie atómica distinta.

Se llama núclido a *los distintos núcleos atómicos que existen en la naturaleza o que pueden producirse artificialmente*. Por cada posible combinación que resulta de fijar el número de protones y de neutrones, se obtiene un núclido.

Para representar un núclido, se necesita conocer el elemento de que se trate, su número atómico y su número másico. Llamando X al símbolo químico del elemento, el núclido se escribe

$$^{A}_{Z}X$$

Así, los núclidos representados en la **tabla 4.1** se escribirán

$$^{1}_{1}H,\ ^{4}_{2}He,\ ^{12}_{16}C$$

Análogamente, las partículas fundamentales del núcleo se notarán así:

$$\text{Protón } ^{1}_{1}p \qquad \text{Neutrón } ^{1}_{0}n$$

ARNOLD SOMMERFELD

(1868-1951), físico alemán que introdujo la constante de la estructura fina en 1919. Su primer trabajo versó sobre la teoría matemática de la difracción, su trabajo en este tema contiene una teoría importante de ecuaciones diferenciales. Otros trabajos importantes abarcaron el estudio de la propagación de las ondas electromagnéticas en cables y el estudio del campo producido por un electrón en movimiento. Su aporte hizo cambiar las órbitas circulares del átomo de Niels Bohr por órbitas elípticas. También introdujo el número cuántico magnético, y en 1916, el número cuántico interno.



WOLFGANG ERNST PAULI

(1900-1958), físico austríaco, nacionalizado suizo y luego estadounidense.

En 1931, propuso la existencia de una partícula eléctricamente neutra y de masa nula, denominada con posterioridad, neutrino por Enrico Fermi.

En 1940, por la Segunda Guerra Mundial se trasladó a Estados Unidos para hacerse cargo de la cátedra de física en Princeton. En 1945 recibió el Premio Nobel de Física por su descubrimiento del Principio de Exclusión. Finalizado el conflicto mundial regresa a Zúrich.



Unidades de masa y energía en física atómica

En Física atómica, para expresar las masas de los átomos y de las partículas que los constituyen, se adopta la llamada unidad de masa atómica (u), que equivale a una fracción de la masa del átomo de carbono más abundante en la naturaleza. La masa atómica de este carbono será, por consiguiente, exactamente 12.

El valor de esta pequeñísima unidad de masa, expresado en kilogramos, es:

$$1u = 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ kg$$

Las masas del protón y del neutrón, en unidades de masa atómica, son muy próximas a la unidad:

$$m_p = 1{,}0073\ u$$
$$m_n = 1{,}0086\ u$$

Y la masa del electrón en reposo resulta ser:

$$m_e = 4{,}49 \cdot 10^{-4}\ u$$

También, para medir energías, se emplea en Física atómica una unidad especial, el **electronvolt** (eV) y sus múltiplos, el kiloelectronvolt (1 keV = $1 \cdot 10^3$ eV) y el megaelectronvolt (1 MeV = $1 \cdot 10^6$ eV).

Se define el electronvolt como la *energía cinética que posee un electrón, inicialmente en reposo, después de ser acelerado al someterlo a la diferencia de potencial de un volt.* Se trata también de una unidad muy pequeña, siendo su valor, expresado en joule.

$$1e\ V = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J$$

Por ejemplo, para las energías permitidas en el átomo de Bohr, expresadas en joule,

$$E_n = -\frac{21{,}859 \cdot 10^{-19}}{n^2}\ J$$

Se expresa en electronvolt

$$E_n = -\frac{13{,}6}{n^2}\ eV$$

Así, el estado de energía más bajo (n =1) corresponde a

$$E_1 = -\frac{13{,}6}{1^2}\ eV$$

$$E_1 = -13{,}6\ eV$$

Ejercicio resuelto N° 1

Aplicando unidades de masa atómica

El cloro tiene dos núclidos naturales. El 75,53 por 100 de los átomos de una muestra son $^{35}_{17}Cl$, cuya masa es de 34,96 u y el 24,47 por 100 restante de $^{37}_{17}Cl$, de masa 36,96 u. Calcular la masa atómica del cloro.

Identificar la información

En este problema la masa atómica se debe calcular considerando la contribución de cada núclido.

En resumen los datos disponibles son

$$\text{Masa de } {}^{35}_{17}Cl = 34{,}96 \text{ u}$$

$$\text{Masa de } {}^{37}_{17}Cl = 36{,}96 \text{ u}$$

Estrategia

La contribución de cada núclido en la masa atómica es la abundancia de cada uno (expresada en tanto por uno), multiplicada por su masa.

Resolución

Calculemos la masa atómica

$$\text{Masa atómica} = 0{,}7553 \cdot 34{,}96 \text{ u} + 0{,}2447 \cdot 36{,}96 \text{ u}$$

$$\text{Masa atómica} = 26{,}41\text{u} + 9{,}04 \text{ u}$$

$$\text{Masa atómica} = 35{,}45 \text{ u}$$

Del enunciado se deduce que aproximadamente las tres cuartas partes de los átomos son de cloro-35 y tan solo una cuarta parte es de cloro-37. Por esta razón, la masa atómica está más próxima a 35 que a 37.

AHORA RESUELVES TÚ

El boro tiene dos núclidos naturales. El 19,6 por 100 de los átomos de una muestra son $^{10}_{5}B$, cuya masa es de 10,012 uma y el 80,4 por 100 restante de $^{11}_{5}B$, de masa 11,009 uma. Calcular la masa atómica del boro.

Evaluación de sección 1

1. ¿Cuáles son los modelos atómicos que se han desarrollado para explicar los fenómenos que ocurren a nivel atómico?

2. ¿Cuáles fueron las consecuencias del experimento de Rutherford?

3. ¿Cuáles son los postulados del átomo de Bohr?

4. Calcula la energía del nivel n = 2 en el átomo de Bohr y exprésala en electronvolt.

¿Cómo estimarías el tamaño del núcleo atómico?; por otra parte, ¿cómo pueden los protones del núcleo de helio mantenerse unidos si hay una fuerza de repulsión eléctrica entre ellos?

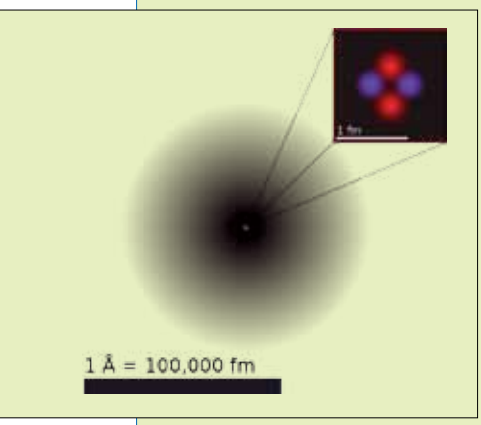


Figura 4.6
Átomo de helio
fuente http://en.wikipedia.org/wiki/File:Helium_atom_QM.svg

Como recordarás de la sección anterior, las partículas fundamentales que se encuentran en el átomo son: el protón, neutrón y electrón. Según las experiencias de Rutherford, los protones y neutrones se encontrarían en el núcleo atómico, mientras que el electrón se mueve alrededor del núcleo.

Los protones y neutrones se encuentran en el centro del átomo, a una distancia que debe ser más pequeña que el radio de Bohr; de hecho, su diámetro es del orden de 10^{-14} m (**figura 4.6**).

Pero ¿por qué la repulsión eléctrica no desintegra el núcleo atómico?, ¿existirá una nueva interacción entre las partículas que forman el núcleo atómico?, ¿qué sucede si el núcleo atómico se desintegra?

Para que puedas describir las fuerzas nucleares y electromagnéticas que mantienen unidos a los protones y neutrones, necesitas conocer la naturaleza de las fuerzas que existen en la naturaleza, los fenómenos físicos que fundamentaron a los modelos atómicos, también debes formular explicaciones a situaciones teóricas o experimentales al identificar y procesar datos.

La temática se centra en la física nuclear, cuyas aplicaciones han tenido efectos sobre la humanidad, algunos benéficos, otros catastróficos.

Estos conocimientos son importantes, porque te permitirán comprender la desintegración nuclear y la estabilidad del núcleo.

AL LEER APRENDERÁS

- A describir las fuerzas nucleares y electromagnéticas que mantienen unidos a los protones y neutrones en el núcleo para explicar la estabilidad de la materia.

CONCEPTOS CLAVE

- Propiedades del núcleo atómico
- Energía de enlace nuclear
- Fuerza nucleares
- Modelos nucleares
- Estabilidad del núcleo

Capítulo 4

TEMA 1: Propiedades de los núcleos atómicos

Los núcleos de cada átomo, excepto el hidrógeno más liviano (protio), contienen los dos tipos de partículas, protones y neutrones. Rutherford encontró que el tamaño del núcleo era extraordinariamente pequeño y concentrado en el centro del átomo.

Desde sus experimentos iniciales, se han efectuado muchos experimentos de dispersión usando partículas de alta energía, como protones, electrones, neutrones y partículas alfa.

Estos experimentos muestran que podemos modelar el núcleo como una esfera de radio R (**figura 4.6**) que depende del número total de nucleones (neutrones y protones) en el núcleo y cuyo diámetro oscila entre $2{,}6 \cdot 10^{-15}$ m para el hidrógeno hasta $1{,}6 \cdot 10^{-14}$ m para el uranio. El radio medio de un núcleo es aproximadamente

$$R = R_o \cdot A^{1/3}$$

donde A es el número total de nucleones o número másico y R_o es una constante que tiene un valor de $1{,}2 \cdot 10^{-15}$ m.

Al ser este radio proporcional a la raíz cúbica, cuando la masa atómica se aproxima al entero más próximo, su magnitud es similar al número másico A del núclido. Resulta que el volumen de los núcleos es directamente proporcional a su masa, lo que significa que, prácticamente, todos los núcleos atómicos tienen la misma densidad. Un hecho crucial para entender la estructura nuclear.

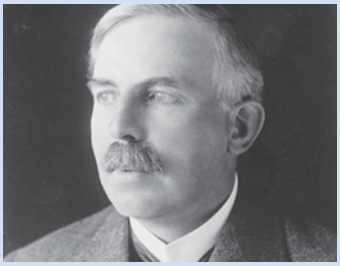
Debido al tamaño del núcleo, esta densidad es enormemente elevada, calculándose, aproximadamente, en $1{,}3 \cdot 10^{14}$ g/cm^3.

Pero ¿qué significa esta magnitud? Para dimensionar la densidad de un núcleo, considera que una cabeza de alfiler formada por una materia que tuviera la densidad del núcleo pesaría unas 100 000 toneladas.

Ahora, si tenemos en cuenta que las dimensiones de los átomos son, por término medio, de unos 10^{-8} cm, resulta que el núcleo es unas diez mil veces más pequeño que el átomo al que pertenece. Esto implica la existencia de enormes espacios vacíos entre los átomos constituyentes de la materia.

ERNEST RUTHERFORD

(1871 - 1937), físico y químico británico considerado el padre de la física nuclear. Descubrió la radiación alfa y beta, y que la radiactividad iba acompañada por una desintegración de los elementos, lo que le valió ganar el Premio Nobel de Química en 1908. También se le debe el descubrimiento de la existencia de un núcleo atómico, en el que se reúne toda la carga positiva y casi toda la masa del átomo.



Espines y momentos magnéticos

Al igual que los electrones, los nucleones (protones y neutrones) también son partículas de espín. Los nucleones también tienen un momento angular orbital asociado con sus movimientos dentro del núcleo y asociado a un momento angular nuclear, hay un momento magnético.

Ejercicio resuelto Nº1

Densidad del núcleo de Hierro

El tipo más común de núcleo de hierro tiene un A= 56. Encuentre el radio, la masa y densidad aproximadas del núcleo de hierro.

Identificar la información

En este problema se debe usar la unidad de masa atómica (u), calcular el volumen y luego la densidad.

En resumen, los datos disponibles son $R_0 = 1{,}2 \cdot 10^{-15}$ m
A =56 $\quad 1u = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg

Estrategia

Calculamos el volumen y la masa total del núcleo de hierro, finalmente su densidad.

Resolución

Calculemos el radio

$R = R_0 \cdot A^{1/3}$

$R = (1{,}2 \cdot 10^{-15}\ \text{m}) \cdot 56^{1/3}$

$R = 4{,}6 \cdot 10^{-15}\ \text{m} = 4{,}6\ \text{fm}$

La masa

$m = 56 \cdot u = 56 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}\text{kg} = 9{,}3 \cdot 10^{-26}\text{kg}$

El volumen

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (4{,}6 \cdot 10^{-15}\ \text{m})^3 = 4{,}1 \cdot 10^{-43}\ \text{m}^3$$

La densidad es

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9{,}3 \cdot 10^{-26}\ \text{kg}}{34{,}1 \cdot 10^{-43}\ \text{m}^3} = 2{,}3 \cdot 10^{17}\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

La densidad del hierro sólido es de 7 000 kg/m^3, observemos que la densidad del núcleo es 10^{13} veces más densa que el material macroscópico. Densidades de esta magnitud se encuentran en las estrellas de neutrones, que son similares a núcleos gigantescos formados de neutrones.

AHORA RESUELVES TÚ

El boro tiene un número másico de 10. Calcula su radio.

REVISANDO LO QUE SABES

- Isótopos del hidrógeno (Z = 1)



INVESTIGA

- Investiga usos y aplicaciones de los radioisótopos en medicina.

Sugerencia web: (Consulta junio 2014) – http://goo.gl/tCVc2

Isótopos

Como ya se ha indicado, todos los átomos que tienen el mismo número de protones en su núcleo pertenecen al mismo elemento.

Por ejemplo, todos los átomos que tienen seis protones en su núcleo son del carbono. Pero el número de neutrones puede variar de unos átomos de carbono a otros.

Se llaman **isótopos** a aquellos átomos que teniendo el mismo número atómico (igual número de protones) poseen, sin embargo, distinto número másico, porque difieren en el número de neutrones.

Todos los isótopos tienen las mismas propiedades químicas, pero distintas propiedades nucleares. Así, unos se desintegran espontáneamente, es decir, son radiactivos y otros no. A los isótopos radiactivos de cualquier elemento se les denomina **radioisótopos**.

Los elementos químicos que se encuentran en la naturaleza están constituidos por una mezcla de algunos de sus isótopos. Otros isótopos pueden ser producidos artificialmente en los reactores nucleares y son radiactivos.

Otros tipos de núclidos

Ya se ha visto que variando el número de protones y neutrones del núcleo atómico se obtienen distintas especies atómicas. Además de los isótopos, existen otros núclidos:

- **Isóbaros:** son núclidos de igual número másico, pero de distinto número atómico. Es decir, tienen distinto número de protones y de neutrones, aunque su suma coincide para todos ellos. Estos núclidos son químicamente distintos entre sí.

  Ejemplos

  $^{60}_{30}Zn$, $^{60}_{29}Cu$, $^{60}_{38}Ni$

- **Isótonos:** son núclidos con igual número de neutrones, pero con diferente número atómico y número másico.

  Ejemplos

  $^{57}_{26}Fe$, $^{58}_{27}Co$, $^{59}_{28}Ni$

- **Isómeros:** igual número de protones y también de neutrones, pero tienen diferentes propiedades químicas, debido a una disposición diferente de los nucleones.

  Su energía es también distinta, debido a que uno de ellos se encuentra en estado excitado (se representa por $^{A}_{Z}X$).

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la diferencia entre los diferentes núclidos?

Equivalencia entre masa y energía

Como recordarás, todos los fenómenos de la física y de la química clásicas se rigen por dos leyes fundamentales: el principio de conservación de la masa (la masa total del sistema permanece constante en cualquier transformación física o química) y el principio de conservación de la energía (la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma).

En 1905, Einstein publicó su primer resultado sobre la teoría de la relatividad y en él aparecía el principio de convertibilidad de la masa en energía, y viceversa, de acuerdo con la ecuación

$$E = m \cdot c^2$$

donde *m* es la masa que puede convertirse en la energía *E*, y *c* es la velocidad de la luz en el vacío ($3 \cdot 10^8$ m/s).

En los procesos contemplados en la física nuclear, las fracciones de la masa de las partículas que se convierten en energía son muy significativas. Por ejemplo, al fisionarse un gramo de uranio -235 desaparece, aproximadamente, la milésima parte de su masa, que se convierte en una cantidad de energía equivalente a la que se libera en la combustión de tres toneladas de carbón. Por tanto, los principios de conservación de la masa y de la energía han de fundirse en un único principio más exacto que cada uno de ellos por separado.

La suma de la energía y de la energía equivalente a la masa, en un sistema aislado, permanece constante.

La energía equivalente a la unidad de masa atómica se calcula así

$$E = m \cdot c^2 = 1{,}66 \cdot 10^{-27}\text{Kg} \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$E = 1{,}49 \cdot 10^{-10}\,\text{J}$$

Como la energía es muy pequeña se utiliza la unidad electronvolt.

Un electronvolt (eV), se define como la energía cinética que posee un electrón, inicialmente en reposo, después de ser acelerado al someterlo a la diferencia de potencial de un volt, por lo tanto

$$1\ \text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{C} \cdot 1\,\frac{\text{J}}{\text{C}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

Por lo que la energía, $E = 1{,}49 \cdot 10^{-10}$ J, expresada en eV es

$$E = 1{,}49 \cdot 10^{-10}\,\text{J} \cdot \frac{1\text{eV}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{J}} = 931250000\ \text{eV}$$

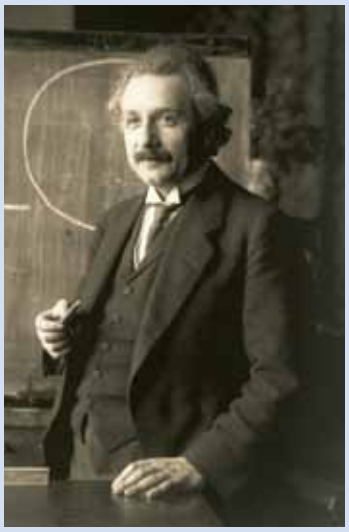
$$E = 931250000\ \text{eV}$$

ALBERT EINSTEIN

(1879-1955). Físico alemán nacionalizado estadounidente, que desde muy joven mostró una curiosidad excepcional por la naturaleza y una capacidad notable para entender los conceptos matemáticos más complejos. A los doce años ya conocía la geometría de Euclides. A la edad de 15 años, Einstein abandonó la escuela retomando, un año más tarde los estudios secundarios en el Instituto Politécnico Nacional de Zurich.

Uno de sus primeros escritos están referidos a la teoría de la relatividad especial, otros estudios permitirían sentar las bases para la física estadística y la mecánica cuántica. Su inagotable producción lo llevó a ser merecedor en 1921 al Premio Nobel de Física.

Famoso por ser el autor de las teorías general y restringida de la relatividad y por sus hipótesis sobre la naturaleza corpuscular de la luz. Es probablemente el científico más conocido del siglo XX.



¿CÓMO VAS? Actividad

Si comparas la energía equivalente entre el protón y el neutrón ¿Cuál es mayor?

REFLEXIONA

- Si los protones y neutrones aislados tienen masas mayores que 1 uma, ¿por qué 12 de ellas en un núcleo de carbono no tienen una masa combinada mayor que 12 uma?

Energía de enlace nuclear

Como lo habrás notado, hay que agregar energía a un núcleo para separarlo en sus protones y neutrones individuales, por lo que la energía total en reposo E_0 de los nucleones separados es mayor que la energía en reposo del núcleo.

La energía que debe agregarse para separar los nucleones se llama energía de enlace E_B que es la magnitud de la energía con que los nucleones están unidos entre sí. Es así como se define el defecto de masa: la relación entre energía de enlace y la velocidad de la luz al cuadrado

$$\Delta m = \frac{E_B}{c^2}$$

La energía de enlace para un núcleo que contiene Z protones y N neutrones se define como:

$$E_B = (Z \cdot M_p + N \cdot m_n - {}^{A}_{Z}M) \cdot c^2$$

Como ejemplo, calculemos la energía de enlace del deuterio, que tiene un protón y un neutrón en su núcleo, sabiendo que su masa núclear es de 2,0141 (u)

donde ${}^{A}_{Z}M$ es la masa del átomo neutro y $c^2 = \dfrac{913\ MeV}{u}$

$$E_B = (1 \cdot 1{,}0073\ u + 1 \cdot 1{,}0086\ u - 2{,}0141\ u)\ \frac{913\ MeV}{u}$$

(Datos de la página 244)

$$E_B = 1{,}6434\ MeV_{me}$$

Entonces, para separar el protón y el neutrón del núcleo de deuterio, se requieren 1,6434 MeV.

Energía de enlace por nucleón

Esta energía representa la cantidad necesaria para extraer del núcleo una de estas partículas.

Se obtiene *dividiendo la energía de enlace del núcleo entre el número de nucleones que lo constituyen (número másico)*

$$\textit{Energía por nucleón} = \frac{E_B}{A}$$

Para el deuterio, la energía de enlace por nucleón es

$$\textit{Energía por nucleón} = \frac{1{,}6434\ MeV}{2} = 0{,}8217\ MeV$$

Pero ¿cuál es la utilidad de la energía por nucleón?

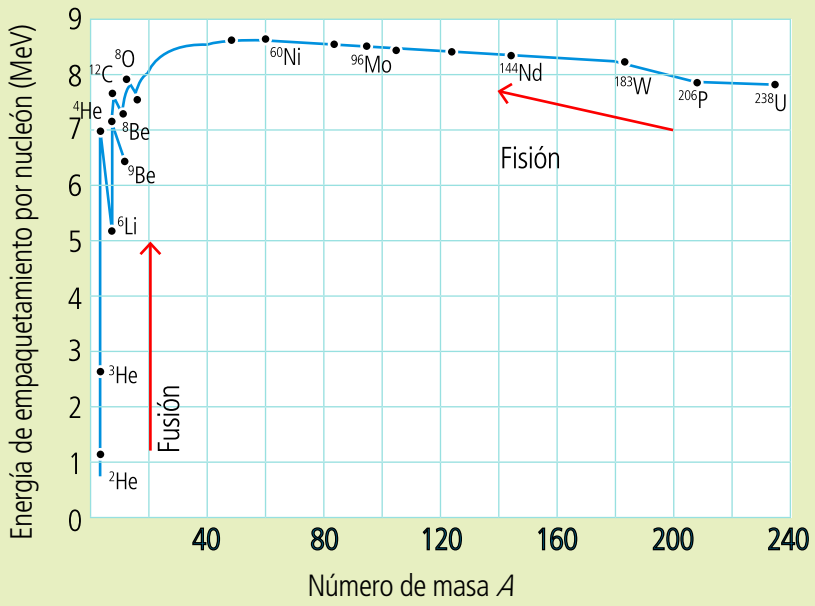
La energía por nucleón es un buen indicador de la estabilidad de un núcleo atómico.

Nos permite, además, comparar la estabilidad de las diferentes combinaciones de nucleones, por ejemplo, 2 protones y 2 neutrones organizados como $^{4}_{2}\mathrm{He}$, o como 2 $^{2}_{1}\mathrm{He}$.

En la **figura 4.7** se representa la energía de enlace por nucleón en función del número másico A mostrando su valor para varios núcleos.

Además, se observa que la energía por nucleón aumenta rápidamente en la zona de los elementos más ligeros, hasta un máximo de unos 9 MeV. Luego, disminuye lentamente hasta casi llegar a 7 MeV en la zona de los elementos más pesados. La principal conclusión que podemos obtener es que los núcleos de mayor estabilidad en la naturaleza deben ser aquellos donde la energía por nucleón esté en las cercanías del máximo de la curva.

Figura 4.7



Energía de enlace por núcleo en función del número másico

Esta tendencia indica que los núcleos con número de masa intermedio están unidos más fuertemente (y son más estables) que los de número de masa más pequeños o más grandes.

Pero ¿cuál es la consecuencia de esta tendencia?

Esta tendencia tiene dos consecuencias importantes:

a) Los núcleos pesados ganan estabilidad y, por consiguiente, desprenden energía si se fragmentan en dos núcleos de tamaño mediano. Este proceso se llama fisión y se utiliza para generar energía eléctrica en las centrales nucleoeléctricas.

b) Se liberan cantidades aun mayores de energía cuando los núcleos muy ligeros se combinan o fusionan unos contra otros para formar núcleos de mayor masa. Este proceso de fusión es el fundamental en la producción de energía en el Sol.

TEMA 2: Fuerzas nucleares

AL LEER APRENDERÁS

- A identificar las propiedades de las fuerzas nucleares.

CONCEPTO CLAVE

- Fuerza nuclear

¿Cuáles son las propiedades de las fuerzas nucleares? Resumamos las propiedades de las fuerzas nucleares, algunas ya han sido mencionadas.

La fuerza nuclear es de corto alcance

El que la fuerza nuclear tenga corto alcance significa que es apreciable solo cuando las partículas que interactúan están muy cerca unas de otras, a una distancia del orden de 10^{-15} m o menos.

La fuerza nuclear es despreciable a distancias mayores. Podemos inferir que la fuerza nuclear es de corto alcance teniendo en cuenta que a distancias mayores de 10^{-14}m (que corresponden a las dimensiones nucleares), la interacción que regula la dispersión de nucleones y el agrupamiento de los átomos en moléculas es electromagnética.

Si la fuerza nuclear entre los núcleos atómicos fuera de largo alcance, sería fundamental en el estudio de la formación de las moléculas, dominando a la fuerza electromagnética, que es más débil, del mismo modo que la interacción electromagnética domina a la interacción gravitacional, aun más débil, en la formación de átomos y moléculas.

Pero ¿cómo se puede determinar el alcance de una fuerza nuclear?

Se puede determinar directamente por medio de experimentos de dispersión.

La fuerza nuclear es independiente de la carga eléctrica

Esto significa que las interacciones nucleares entre dos protones, dos neutrones o un protón y un neutrón son básicamente iguales.

Los siguientes hechos indican que la interacción nuclear es independiente de la carga:

a) los núcleos livianos están compuestos de igual número de protones y neutrones.

b) la energía de ligadura por nucleón es aproximadamente constante.

La diferencia de energía coulombiana en los núcleos reflejados (núcleos que tienen el mismo A impar, pero con el N y Z intercambiados) puede, ella sola, dar cuenta de la diferencia de masa de los mismos. Es por esta propiedad que los neutrones y los protones son considerados equivalentes en lo que a la fuerza nuclear respecta. Por ello, como ya se dijo, se les designa con el nombre común de nucleones.

La fuerza nuclear depende de la orientación relativa de los espines de los nucleones interactuantes

Este hecho ha sido confirmado por medio de experimentos de dispersión y de análisis de niveles de energía nucleares. Se ha descubierto que la energía de un sistema de dos nucleones en el que ambos tienen sus espines paralelos es diferente a la energía del mismo sistema cuando uno de los nucleones tienen espín hacia arriba y el otro hacia abajo, es decir, antiparalelos.

A pesar de toda esta información acerca de las fuerzas nucleares, aun no se conoce bien la expresión correcta de la energía potencial para la interacción nuclear. Se han propuesto varias expresiones correctas de la energía potencial para la interacción nuclear. Una de ellas, es el *potencial de Yukawa* propuesta en 1935 por el físico japonés Heideki Yukawa.

La Tabla 4.2, indica el valor relativo y el ámbito de manifestación de la fuerzas

NOMBRE	VALOR RELATIVO	ÁMBITO DE MANIFESTACIÓN
Nuclear fuerte	1	Entre protones - neutrones
Electromagnética	10^{-2}	Entre cargas eléctricas
Nuclear débil	10^{-12}	En desintegraciones nucleares
Gravitatoria	10^{-38}	Entre masas

TEMA 3: Modelos nucleares

AL LEER APRENDERÁS

- A describir los modelos nucleares

CONCEPTOS CLAVE

- Modelo de gota
- Modelo de capas

Como lo habrás notado los intentos de creación de la teoría del núcleo tropiezan con dos serias dificultades:

- la insuficiencia de conocimiento sobre las fuerzas que actúan entre los nucleones.
- la extraordinaria complejidad del problema cuántico de muchos cuerpos (un núcleo de número másico A representa un sistema de A cuerpos).

Estas dificultades obligan a ir por el camino de la creación de modelos nucleares, los cuales permiten describir un cierto conjunto de propiedades del núcleo con ayuda de medios matemáticos relativamente simples.

Ningún modelo puede dar una descripción completa del núcleo, por esto se hace necesario utilizar varios modelos, cada uno de los cuales describe cierto conjunto de propiedades del núcleo y cierto círculo de fenómenos.

Cada modelo contiene parámetros arbitrarios, cuyos valores se eligen de forma tal que se obtenga concordancia con el experimento.

En los marcos del curso de física general es imposible describir todos los modelos del núcleo existentes. Nos vemos obligados a limitarnos a un breve estudio de solo dos de ellos, el de gota y el de capas.

Modelo de gota

Este modelo fue propuesto por Y. Frenkel en el año 1939 y desarrollado luego por N. Bohr y otros científicos.

Frenkel se dio cuenta de la similitud entre el núcleo del átomo y una gota de líquido, para ello piensa que la saturación de las fuerzas nucleares llevan al núcleo a adoptar una forma esférica, la cual sería equivalente a una tensión superficial.

LISA MEITNER

(1878-1968). Física sueca de origen austríaco. Estudió física en Viena. En Berlín, trabajó como ayudante de Planck y midió las longitudes de onda de los rayos gamma. En 1917 fue profesora de física en la Universidad de Berlín.

Fue una de las figuras más importantes de la física moderna y junto con el químico Hahn trabajaron en el descubrimiento de la fisión nuclear. Recibió cinco doctorados honoris causa y varias condecoraciones: medalla de oro Max Plank, en 1949; el premio Otto Hahn de Física y Química, en 1955; y el premio Enrico Fermi, en 1966. Luchó toda su vida por el uso pacífico de la energía atómica.

Meitner y Frisch fueron los primeros en articular una teoría de cómo el núcleo de un átomo podía ser dividido en partes más pequeñas. Meitner también se dio cuenta de que la famosa ecuación, $E = m\,c^2$ explica el origen de la enorme liberación de energía atómica vista en decadencia por la conversión de la masa-energía.



Además, la densidad prácticamente igual de la sustancia en núcleos diferente muestra la compresibilidad extremadamente pequeña de la sustancia nuclear. Los líquidos también poseen una compresibilidad igualmente pequeña. La semejanza señalada dio el fundamento para comparar el núcleo con una gota de un líquido cargada electrónicamente.

El modelo de gota permitió deducir la fórmula para la energía de enlace de las partículas en el núcleo.

Además, este modelo ayudó a explicar muchos otros fenómenos, en particular, el proceso de fisión de los núcleos pesados. Por ejemplo, cuando el núcleo se fisiona da lugar a núcleos más pequeños, también esféricos, tal como ocurre cuando se fracciona una gota de mercurio.

Modelos de capas

El modelo capas del núcleo fue desarrollado por María Geoppert Mayer y otros científicos. En este modelo, los nucleones se consideran en movimiento, independiente unos de otros, en un campo simétrico centrado promediado.

En correspondencia con esto, existen niveles energéticos discretos (semejantes a los de los electrones del átomo) ocupados por nucleones en concordancia con el principio de Pauli (recordemos que el espín de los nucleones es igual a ½).

Estos niveles se agrupan por capas, en cada una de los cuales puede encontrarse una cantidad determinada de nucleones. Una capa ocupada por completo constituye una formación especialmente estable.

De acuerdo con la práctica, especialmente estables son aquellos núcleos que poseen un número de protones o de neutrones (o ambos números) igual a:

2, 8, 20, 28, 50, 82, 126

Estos números fueron denominados mágicos.

Los núcleos que tienen un número de protones Z o de neutrones N mágico (o sea, núcleos especialmente estables) también se denominan mágicos.

Mientras que los núcleos para los cuales tanto Z como N son mágicos se llaman doblemente mágicos.

Solo se conocen cinco núcleos doblemente mágicos:

$^{4}_{2}\mathrm{He}$ (Z = 2, N = 2) $^{16}_{8}\mathrm{O}$ (Z = 8, N = 8)

$^{40}_{20}\mathrm{Ca}$ (Z = 20, N = 20) $^{48}_{20}\mathrm{Ca}$ (Z = 20, N = 28)

$^{208}_{82}\mathrm{Pb}$ (Z = 82, N = 126)

Estos núcleos son especialmente estables. En particular, la gran estabilidad del núcleo del helio se manifiesta en que es la única partícula constituyente emitida por los núcleos pesados durante la desintegración radiactiva (la misma que se ha denominado partícula α).

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la diferencia entre el modelo de la gota y de capas?

TEMA 4: Estabilidad nuclear

Luego de describir las fuerzas nucleares, podemos indicar que la estabilidad de un núcleo en particular está determinada por la competencia entre la fuerza nuclear atractiva (entre los protones y neutrones) y las interacciones eléctricas repulsivas de los protones.

Se conocen más de 2 mil isótopos; de ellos, 274 son núcleos estables y los restantes son isótopos inestables, considerando los naturales y los sintéticos y los restantes son isótopos. Ya se ha dicho que de los más de mil núclidos diferentes conocidos, solo alrededor de 300 son estables (no sufren alteraciones en largos períodos de tiempo); el resto son núclidos inestables o radiactivos.

Un análisis de los 274 núclidos estables permite establecer que para los núcleos mas livianos se cumple que $A \approx 2Z$. En cambio, sobre $Z = 20$, $A > 2Z$, es más marcada la desigualdad, en la medida que los núcleos son más pesados. La **figura 4.8** muestra gráficamente esta realidad.

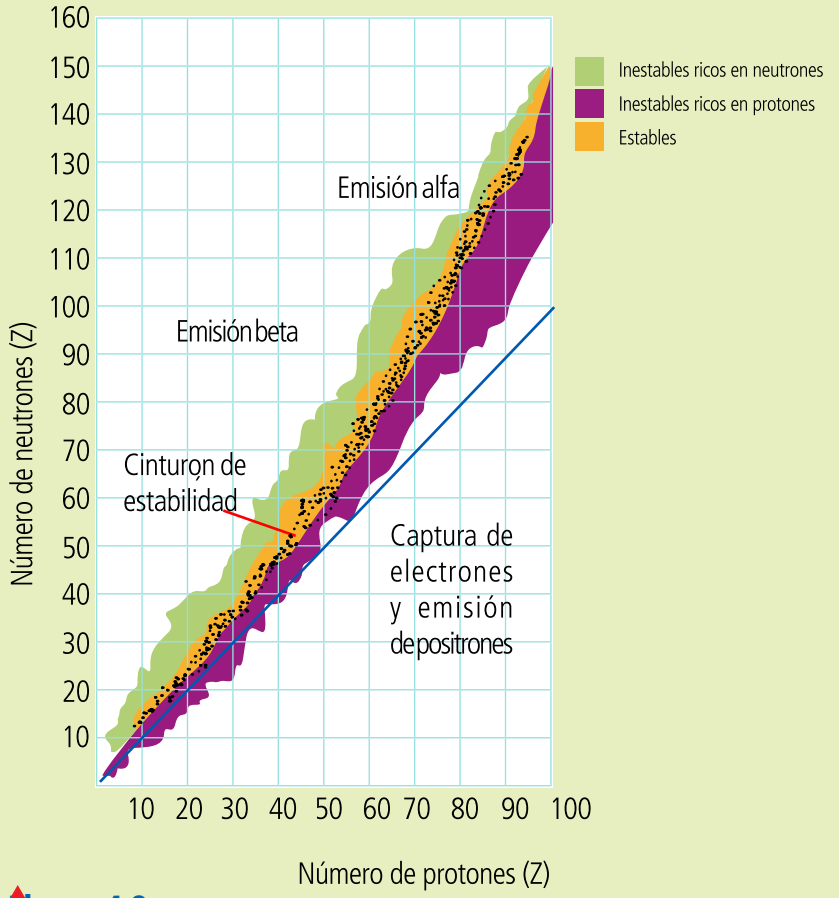


Figura 4.8
Relación entre los protones y neutrones en núclidos estables

Los isótopos estables están simbolizados por los puntos en negro y de colores diferentes las zonas de isótopos inestables.

El conjunto de los núclidos negros configura un cinturón o zona de estabilidad nuclear, cuyo conocimiento es muy útil, especialmente para determinar a priori el tipo de decaimiento radiactivo de los isótopos inestables.

Observa que para los núcleos con $Z > 20$, los que son estables tienen más neutrones que protones.

En la **figura 4.8** se puede observar que para un determinado valor de Z, es decir, para un elemento dado, en la parte central están los isótopos estables (en color naranja) y hacia arriba (en color verde) y abajo (en color violeta) los isótopos radiactivos.

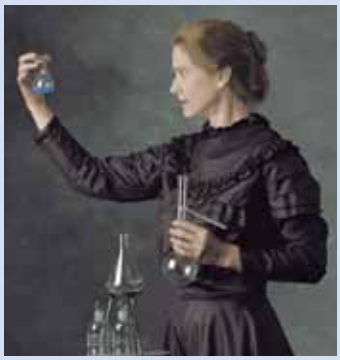
De este modo, si un núcleo con Z protones tiene exceso o deficiencia de neutrones, es inestable.

Por ejemplo, el estaño con $Z = 50$ posee 10 isótopos estables que contienen un número de neutrones comprendidos entre 62 y 74. Los isótopos con una cantidad menor o mayor a estos extremos son especies radiactivas.

MARIE CURIE

(De soltera Maria Sklodowska) (1867-1934). Científica francesa de origen polaco Marie Curie

Fue la primera persona que obtuvo dos premios Nobel: el de Física en 1903, por su descubrimiento de la radiactividad natural (junto con su esposo Pierre Curie y Henri Becquerel), y el de Química, en 1911, el cual logró en solitario.



TEN PRESENTE

- Que los usos de la radioactividad en la medicina son muchos, tanto en el diagnóstico médico como en la terapia. Se debe destacar la importancia que también tienen las aplicaciones de la radioactividad en las vacunas, conservación de alimentos, la hidrología, la industria, entre otros.

  Investiga algunos usos en cada una de las áreas mencionadas.

  Consulta web (junio 2014)

  – http://nuclear.fis.ucm.es/becarios/archivos/fisica-nuclear-medicina.pdf

  – http://www.buenastareas.com/ensayos/Usos-De-La-Radiactividad-En-La/1920253.html

Radiactividad natural

Un año después del descubrimiento de los rayos X por Roentgen, en 1896, H. Becquerel observó que los compuestos de uranio ennegrecían las placas fotográficas.

Al principio se pensó que el uranio era la única sustancia radiactiva, pero dos años más tarde, en 1898, el matrimonio Curie descubrió un nuevo elemento radiactivo, al que llamaron polonio.

En ese mismo año fue descubierto otro elemento radiactivo, el radio, que parecía emitir más radiación por unidad de masa que cualquiera de los otros elementos radiactivos. Desde entonces se han descubierto muchas más sustancias radiactivas, es decir, sustancias que espontáneamente emiten radiación.

Según los estudios experimentales de Rutherford y colaboradores, las sustancias radiactivas emiten principalmente: radiación alfa, radiación beta (electrones) y radiación gamma. Pero también hay especies que emiten positrones.

En el experimento representado en la **figura 4.9** se indica cómo distinguir estas radiaciones. En el fondo de un contenedor construido de un bloque de plomo, se coloca una pequeña cantidad de sustancia radiactiva. Esta sustancia emite una radiación que se somete a un campo magnético. A cierta distancia se coloca una placa fotográfica. Al revelar la placa, se observan tres manchas bien diferenciadas.

La radiación desviada ligeramente a la derecha está formada por partículas cargadas positivamente, y se llama radiación α.

La radiación desviada fuertemente hacia la izquierda está formada por partículas muy pequeñas cargadas negativamente, y se llama radiación β.

Las radiaciones que no sufren desviación son de naturaleza eléctrica neutra, y se llaman rayos γ.

Posteriormente se ha descubierto que las partículas α consisten en núcleos de helio, mientras que las partículas β son electrones, y las γ son simples radiaciones de tipo electromagnético.

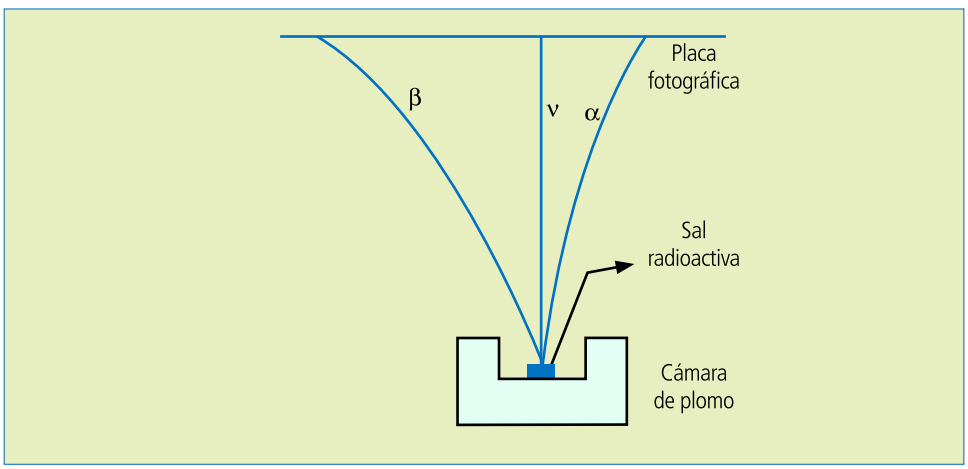


Figura 4.9

actividad grupal

Determinación de los núcleos estables e inestables

Objetivo

Comparar valores de N con Z de diferentes núcleos y establecer cuáles son estables y cuáles no lo son.

Procedimiento

1. Determina la cantidad de neutrones para los siguientes núcleos estables:

$$^{20}_{10}\text{Ne},\ ^{56}_{26}\text{Fe},\ ^{88}_{38}\text{Sr},\ ^{112}_{48}\text{Cd},\ ^{139}_{57}\text{La},\ ^{152}_{62}\text{Sm},\ ^{209}_{83}\text{Bi}$$

2. Confecciona una tabla con las entradas Z, A, N y N/Z. Observa cómo cambian los valores de N/Z con el aumento de Z.
3. Grafica N versus Z y une los puntos correspondientes. Un método alternativo para construir la gráfica puede ser N/Z versus Z.
4. Aplica las etapas 2 y 3 a los núclidos:

$$^{25}_{14}\text{Si},\ ^{50}_{20}\text{Ca},\ ^{52}_{24}\text{Cr},\ ^{64}_{30}\text{Zn},\ ^{183}_{72}\text{Hf},\ ^{197}_{79}\text{Au}$$

5. Incorpora en el gráfico los puntos correspondientes a cada una de las especies indicadas en el punto 4.

Análisis

1. ¿Cuál puede ser la hipótesis de esta actividad? ¿Es posible que un núcleo estable tenga N/Z inferior al valor 1?
2. Si los núclidos del punto 5 se encuentran 4 neutrones sobre y bajo la línea de los isótopos estables, ¿puedes suponer que se trata de núcleos radiactivos?
3. Comenten con su profesor los resultados del análisis.

Evaluación de sección 2

1. ¿Cuál es la diferencia entre núcleo, núclido y nucleón?

2. ¿Cuál es la diferencia entre la radiación alfa, beta y gamma?

3. ¿Qué fenómeno físico explica la estabilidad nuclear?

4. ¿Qué es la energía de enlace nuclear?

5. ¿Cuáles son las hipótesis que permiten explicar el modelo nuclear de la gota?

Cierre Capítulo REPASO IDEAS PRINCIPALES

Sección 1

- La materia está formada de átomos, cada átomo está constituido de protones, neutrones y electrones.
- Para explicar la forma del átomo y cómo se encuentran las partículas distribuidas en él, se propusieron los modelos atómicos de Thomson, Rutherford y Bohr.
- El modelo atómico del átomo del hidrógeno propuesto por Bohr postula la existencia de niveles discretos de energía para los electrones que se mueven en órbitas circunferenciales en torno al núcleo.
- 1 uma = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg
- Radio de Bohr (órbita con menor radio) $a_0 = 0{,}052$ nm
- El estado de energía más bajo en el átomo de hidrógeno (n =1) corresponde a $E_1 = -13{,}6eV$

Sección 2

- Los núcleos atómicos están compuestos de nucleones (protones y neutrones).
- Todos los núcleos tienen casi la misma densidad.
- Las masas atómicas se miden en unidades de masa atómica.
- Los nucleones tienen momento angular y magnético.
- La masa del núcleo es menor que la masa de los neutrones y protones que hay en él.
- La energía de enlace se puede calcular por medio de

$$E_B = (Z \cdot M_p + N \cdot m_n - {}^{A}_{Z}M) \cdot c^2$$

- La fuerza nuclear es de corto alcance.
- Un núcleo es inestable si A o Z es muy grande, sin embargo, existen elementos estables como Bi-209, U-238 y Th-232.
- Dos modelos ampliamente usados para el núcleo son el de la gota y el de capas, este último es análogo a la aproximación de campo central en la estructura atómica.

Aplicaciones

Sección 1 - 2

1. Un protón puede capturar un meson (μ–), cuya masas es de $207 \cdot m_e$, para formar un átomo mésico. Determina una relación para los radios orbitales de Bohr.
2. Calcula la energía de enlace del tritio, sabiendo que su masa nuclear es de 3,016049 u.

Bibliografía recomendada

- *Física para ciencias e ingeniería con física moderna*, Volumen 2, Giancoli, Douglas C. 4ª ed., Pearson, 2009.
- *Física conceptual*, 9ª ed., Hewitt, Paul G. Pearson Educación, México, 2004.

Sitios web

- http://www.cchen.cl/
- http://www.ugr.es/~bosca/WebFCenRed/

LECTURA CIENTÍFICA La física nuclear y el diagnóstico por imagen

Habilidades

- Evaluar las implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales en controversias públicas que involucran ciencia y tecnología, utilizando un lenguaje científico pertinente

Hoy en día se denomina imagen nuclear (o exploración con radioisótopos) a la obtención de imágenes mediante la detección de la radiación emitida por fármacos marcados con emisores radioactivos desde el interior del paciente. Por tanto, con esta definición, el tradicional CT de rayos X y la imagen por resonancia magnética o MRI, aunque basados en principios y desarrollos de Física Nuclear, no entran en la categoría de Imagen nuclear.

La imagen nuclear es un excelente medio diagnóstico porque, a diferencia de otras modalidades de imagen médica como el CT de rayos X y la resonancia magnética, revela no solo la anatomía (estructura) de un órgano o parte del cuerpo, sino también la función de dicho órgano.

Esta información funcional permite diagnosticar algunas enfermedades y varias condiciones médicas mucho antes que otras modalidades de imagen médica, ya que se puede apreciar el trastorno (cáncer, tejido infartado, mal funcionamiento cerebral) antes de que haya dado lugar a alteraciones de la estructura (tumor, cicatrices).

Podemos explicar la diferencia entre imagen funcional e imagen estructural con el siguiente ejemplo: la imagen estructural (MRI o CT) confirma que tienes cerebro pero con la imagen funcional (PET o SPECT) sabemos si lo estás usando o no.

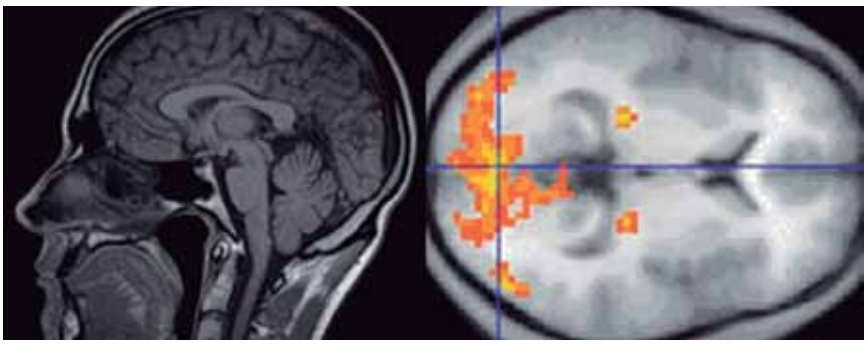
Imagen por resonancia magnética (MRI)

La medida de la resonancia del momento magnético de los núcleos de haces moleculares en un campo magnético externo fue propuesta por Isaac Rabi (premio Nobel de Física en 1940) en 1938 para medir dichos momentos magnéticos nucleares.

En 1946 Felix Bloch y Edward M. Purcell (premio Nobel de Física en 1952) refinaron la técnica de resonancia magnética nuclear (RMN) para poder ser usada en líquidos y sólidos. Herman Y. Carr utilizó en 1952 gradientes magnéticos para obtener información espacial y obtuvo unas primeras imágenes rudimentarias, pero no fue hasta 1970 tras los trabajos de, entre otros, Sir Peter Mansfield y Paul Lauterbur (premio Nobel de Fisiología y Medicina en 2003), que la técnica de RMN pudo ser usada para obtener imágenes similares a lo que hoy se conoce por sus siglas en inglés: magnetic resonance imaging (MRI). El MRI se utiliza un campo magnético estático muy potente (en equipos modernos superior a 10 teslas), con el que se alinean los espines de los núcleos bajo estudio. En el caso de núcleos de hidrógeno (o cualquier núcleo cuyo estado fundamental tenga espín ½ como ^{1}H, ^{13}C, ^{31}P, ^{19}F y ^{15}N), el campo magnético externo rompe la degeneración del espín del estado fundamental, al separar los dos valores posibles de la tercera componente del espín ($+½$ y $-½$) de acuerdo a su alineamiento o desalineamiento con el campo magnético externo. En estas condiciones, los núcleos pueden absorber cuantos de radiación correspondiente a la diferencia de energía entre ambos niveles (normalmente en el rango de la radiofrecuencia o las microondas), que serán posteriormente reemitidos.

Al superponer pequeños gradientes tridimensionales con el campo estático principal, la detección de esta radiación reemitida permite localizar espacialmente los núcleos de hidrógeno. Como los núcleos están rodeados de electrones que también son partículas cargadas que se mueven y apantallan en parte el campo magnético nuclear, la frecuencia exacta de esta absorción de radiofrecuencia depende del entorno de estos núcleos, es decir, de la estructura de la molécula a la que pertenecen. Esto tiene inmediata aplicación en espectroscopía RMN para la identificación no destructiva de pequeñas cantidades de materiales y en imagen por resonancia magnética (MRI), porque permite distinguir al hidrógeno que forma parte del agua, del hidrógeno integrado en la grasa, por ejemplo. En general, la técnica MRI proporciona una imagen estructural mucho más completa que las de los escáneres de rayos X (**figura 1**) con mayor contraste entre tejidos de composición diferente e incluso, en condiciones adecuadas, permite distinguir tejido sano de tejido inflamado o con edema.

La disponibilidad de imanes superconductores cada vez más potentes ha abierto el camino hacia la imagen funcional por RMN (f-MRI). Por ejemplo, en la imagen de la derecha (**figura 1**) se muestra en color naranja la activación de la zona del cortex visual del cerebro del sujeto obtenida con f-MRI. En f-MRI se distingue la hemoglobina desoxigenada (paramagnética) de la oxigenada (diamagnética). Los escáneres tomográficos de rayos X al ser mucho más rápidos y más baratos que la MRI, son hoy en día más habituales.



Fuente Facundo Ballester y José Manuel Udías. Física nuclear y medicina. 2008. Universidad Complutense de Madrid. España. http://nuclear.fis.ucm.es/becarios/archivos/fisica-nuclear-medicina.pdf

Figura 1

EMISIÓN DE LUZ

Si se inyectara energía a una antena metálica de forma tal que los electrones libres vibraran algunos cientos de miles de veces por segundo, se emitiría una onda de radio.

Ahora, si estos electrones vibraran un billón de billón de veces por segundo, se emitiría una onda de luz visible.

Pero dicha luz no se produce en las antenas metálicas por la oscilación de los electrones en los átomos.

Entonces, ¿cómo los átomos pueden emitir luz?

En los detalles de la emisión de luz por los átomos intervienen las transiciones de los electrones, de estados de mayor energía a uno de menor energía dentro del átomo. Este proceso de emisión se puede entender usando el modelo planetario del átomo que examinamos durante la sección uno de este capítulo.

Como cada elemento se caracteriza por la cantidad de electrones que ocupan las capas que rodean su núcleo atómico, también cada elemento posee su distribución característica de capas electrónicas o estados de energía. Dichos estados solo se encuentran a ciertos radios y a ciertas energías.

Por lo tanto, podemos distinguir entre los cuerpos que emiten luz de los que la reflejan, refractan dispersan y difractan.

Excitación



Figura 1

Un electrón más alejado de su núcleo tiene mayor energía potencial eléctrica respecto del núcleo, que uno más cercano. Se dice entonces que el electrón más distante está en un estado de energía mayor, o más elevado.

Cuando un electrón se eleva por cualquier medio a un estado de energía mayor, se dice que el átomo o el electrón están excitados.

La luz que emiten los letreros luminosos es un resultado muy conocido de excitación (**figura 1**). Los diversos colores en el letrero corresponden a la excitación de diferentes gases, aunque se acostumbran llamar a todos ellos de "neón". Solo la luz roja es la de neón.

Por otra parte, los colores de varias llamas se deben a la excitación. Los átomos en ella emiten colores característicos. Por ejemplo, cuando se coloca la sal común en una llama, se produce el color amarillo característico del sodio.

La excitación también se puede apreciar en las auroras boreales. Los electrones de alta velocidad que se originan en el viento solar chocan contra los átomos y las moléculas de la atmósfera superior.

Incandescencia

La luz que se produce como consecuencia de altas temperaturas tiene la propiedad de incandescencia (palabra latina que quiere decir "calentarse"). Puede tener un tinte rojizo, como el de una resistencia de tostador; o un tinte azulado, como el de una estrella muy caliente. También puede ser blanco, como la lámpara incandescente común. Lo que hace que la luz incandescente sea distinta de la luz de un tubo de neón o de una lámpara de vapor de mercurio es que contiene una cantidad infinita de frecuencias, repartidas uniformemente en todo el espectro.

Fluorescencia

Un átomo puede excitarse al absorber un fotón de luz de alta frecuencia, como la ultravioleta, que está fuera del espectro visible.



Figura 2

Muchos materiales que son excitados por luz ultravioleta, al desexcitarse, emiten luz visible. Esta acción en los materiales se llama fluorescencia.

Los colorantes fluorescentes se usan en pinturas y telas para hacerlos resplandecer al ser bombardeados con fotones ultravioleta de luz solar. (**figura 2**)

Los detergentes que afirman dejar las prendas "más blancas que el blanco" usan el principio de la fluorescencia. Contienen un colorante fluorescente que convierte la luz ultravioleta del Sol en luz visible azulada, y así las prendas teñidas en esta forma parecen reflejar más luz azul de la que deberían. Es lo que hace que las prendas se vean más blancas.

Investiga

1. ¿Qué es la fosforescencia?
2. ¿Cuál es la diferencia entre un espectro de emisión y otro de absorción?
3. ¿Cómo funciona un láser?

Procedimiento de la investigación

1. Lee e investiga, en diversas fuentes (libros, textos, revistas e internet, entre otras) confiables, sobre la fosforescencia, espectro de emisión y absorción y el funcionamiento del láser.

2. La investigación debe responder a:

a) **Explica**, ¿en qué consiste la fosforescencia?

b) **Identifica**, ¿cuál es la diferencia entre un espectro de absorción y de emisión?

c) **Explica**, ¿cómo funciona el láser?

3. Usa la siguiente rúbrica para evaluar tu desempeño.

	Indicadores	SI	NO
1	Formulé predicciones basadas en el conocimiento científico.		
2	Validé predicciones a partir de procedimientos e investigaciones científicas.		
3	Diseñe procedimientos de investigación no experimental o documental.		
4	Seleccione información necesaria para desarrollar la investigación y resolver diversos problemas.		
5	Extraje y registre las ideas principales que se exponen en artículos o textos.		
6	Comunique los resultados de la investigación.		

RADIACIÓN NATURAL

El proceso de desintegración radiactiva explica la existencia de muchos elementos radiactivos en el medioambiente. De hecho, hasta la invención del tubo de rayos X, en 1895, la única radiación que existía era la natural.

El ser humano vive en un mundo con radiactividad natural: recibe la radiación cósmica, procedente del espacio, y la radiación del radón, procedente de la Tierra; ingiere a diario productos naturales y artificiales que contienen sustancias radiactivas (en cantidades muy pequeñas). En sus huesos hay polonio y radio radiactivos; en sus músculos, carbono y potasio radiactivos, y en sus pulmones, gases nobles y tritio, también radiactivos.

El conjunto de radiaciones naturales integra la radiación de fondo, que depende de numerosos factores: el lugar donde se vive, la composición del suelo, los materiales de construcción, la estación del año, la latitud y, en cierta medida, las condiciones meteorológicas.

Los esfuerzos y esperanzas puestos en el diseño del reactor ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) en Japón, en el que participan varios países de la comunidad internacional europea, son muy alentadores si el dispositivo proyectado funciona como los científicos y técnicos involucrados esperan.

De la radiación cósmica, que procede del espacio, solo llega al suelo una fracción, ya que en su mayor parte es detenida por la atmósfera. En consecuencia, la latitud es determinante de la dosis recibida, de forma tal que en la cima de una montaña o viajando en un avión se recibe mayor cantidad de radiación cósmica que al nivel del mar: por ejemplo, las tripulaciones aéreas pasan gran parte de su vida en altitudes en las que la radiación cósmica es 20 veces mayor que la radiación media de fondo.

La radiación de fondo debida al gas radón, procedente de la desintegración del metal radio contenido en algunas rocas, fundamentalmente graníticas, también varía sustancialmente, dependiendo de la localización. El radón surge por emanación de las rocas, lo que posibilita, por ejemplo, que se formen grandes concentraciones en el interior de las viviendas construidas en determinados sitios o con ciertos materiales, sobre todo si la ventilación es insuficiente. En estos casos, la concentración de radón puede ser cientos de veces superior a la del exterior.

Cuando un núcleo se va desintegrando, emite radiación y da lugar a otro núcleo distinto, también radiactivo, el que emite nuevas radiaciones. El proceso continuará hasta que aparezca un núcleo estable, no radiactivo. Todos los núcleos que proceden del inicial (núcleo padre) forman una serie o cadena radiactiva. Se conocen cuatro series o familias radiactivas.

Series radiactivas

Elemento	Isótopo inicial	Vida media (años)	Final de la serie (elemento estable)
Uranio	$^{238}_{92}U$	$4{,}47 \cdot 10^{9}$	$^{206}_{82}Pb$
Actinio	$^{227}_{89}Ac$	21 772	$^{207}_{82}Pb$
Torio	$^{232}_{90}Th$	$1{,}41 \cdot 10^{10}$	$^{208}_{82}Pb$
Neptunio	$^{237}_{93}Np$	$2{,}14 \cdot 10^{6}$	$^{205}_{81}Tl$

Laboratorio un símil de espectroscopía

Actividad

¿Podemos identificar los diversos tipos de cuerpos por el color de la llama que emiten al quemarlos?

Cuando un electrón en un átomo se mueve por cualquier medio a un estado de energía mayor, se dice que el átomo o el electrón están excitados.

Ahora, cuando la luz atraviesa una muestra de un elemento, este deja también una especie de huella dactilar característica.

Estas huellas nos permiten identificar elementos químicos.

Habilidades

- Organizar e interpretar datos, y formular explicaciones, apoyándose en las teorías y conceptos científicos en estudio

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones, apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel.

Objetivo

- Reconocer la presencia de un elemento por el color de la llama que emite al colocarlo en la llama del mechero.

Materiales

- hilo de nicromo
- mechero Bunsen
- espátula
- cápsulas de porcelana
- ácido clorhídrico concentrado
- sales (por ejemplo, nitratos o cloruros) de sodio, potasio, estroncio, bario y cobre.

Procedimiento



1. Pon en una cápsula de porcelana de 10 a 15 mL de ácido clorhídrico.
2. Con una espátula, añade una pequeña cantidad del compuesto de sodio disponible.
3. Humedece el extremo de un hilo de nicromo en la disolución anterior y acércalo a la llama de mechero Bunsen. Procura que dicha llama sea lo más incolora posible.
4. Anota el color que adquiere la llama.
5. Limpia el hilo de nicromo introduciéndolo en otra cápsula que contenga únicamente ácido clorhídrico concentrado.
6. Repite los tres pasos anteriores con cada uno de los otros compuestos suministrados.
7. Completa la tabla siguiente:

Compuesto	Color de la llama
Compuesto de sodio	
Compuesto de potasio	
Compuesto de estroncio	
Compuesto de bario	
Compuesto de cobre	

Análisis

1. ¿Cuál es proceso físico que explica el color de la llama?
2. ¿Por qué es importante limpiar cuidadosamente el hilo de nicromo antes del nuevo ensayo?
3. ¿Cómo se podría detectar la presencia de algunos elementos anteriores en una muestra desconocida?
4. ¿Cuál es la diferencia entre el color de la llama y la del mismo color emitido por un cuerpo incandescente?
5. Investiga las frecuencias de las ondas electromagnéticas en el espectro visible e identifícalas con el color de cada llama.
6. Calcula la energía asociada a cada color de la llama.

Conclusiones

Comparte tus conclusiones con las de tus compañeros.

Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS?

1. Determina para el átomo de hidrógeno:

A) la energía para el primer nivel, n = 1.
B) la energía para el segundo nivel, n = 2.
C) la diferencia de energías entre el primer nivel de energía y el segundo.

2. Un electrón del átomo de hidrógeno en un estado excitado salta desde el segundo nivel de energía al primer nivel de energía. Determina:

A) la energía del fotón emitido.
B) la frecuencia del fotón emitido.
C) la longitud de onda del fotón emitido.

3. De acuerdo al modelo de Bohr del átomo de hidrógeno, ¿cuántas veces mayor es la órbita del segundo nivel comparada con la órbita del primer nivel?

4. Encuentra los radios de las órbitas del átomo de hidrógeno para los niveles de energía del segundo, tercero y cuarto nivel.

5. Calcula la energía del segundo, tercero y cuarto nivel de energía en el átomo de hidrógeno.

6. Si existen 18 estados con el número cuántico n = 3, ¿cuántos estados existirán con el número cuántico principal n = 4?

7. ¿Cuáles son las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza?

A) Fuerte; gravitacional; electro débil; nuclear.
B) Nuclear; débil; gravitacional; electro débil.
C) Nuclear; electromagnética; débil; gravitacional.
D) Fuerte; electromagnética; electro débil; gravitacional.
E) Nuclear; electromagnética; débil; electro débil.

8. ¿Cuál de las siguientes sentencias no corresponde a las evidencias experimentales?

A) La fuerza nuclear es la más poderosa respecto a las otras tres.
B) La fuerza electromagnética es de largo alcance.
C) La fuerza nuclear a cortas distancias cambia de atractiva a repulsiva.
D) La fuerza electromagnética a muy cortas distancias es solo repulsiva.
E) La fuerza gravitacional es la más débil respecto a las otras tres.

9. La masa del protón es aproximadamente $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg.

A) Encuentra la equivalencia energética de la masa del protón en Joules.
B) Convierte el valor de tu respuesta a) en eV.

10. El isótopo ${}^{12}_{6}C$ tiene una masa nuclear de 12(u). Calcula su energía de ligadura en MeV.

11. ¿Qué fuerza es responsable de mantener a los electrones en sus órbitas alrededor del núcleo en el modelo atómico de Rutherford?

A) Fuerza gravitacional.
B) Fuerza nuclear.
C) Fuerza atómica.
D) Fuerza eléctrica.
E) Fuerza débil.

12. La fosforescencia ocurre debido a que:

A) la materia ha sido iluminada con luz ultravioleta.
B) los electrones del material se encuentran en su estado base.
C) los electrones excitados permanecen mayor tiempo en estados de mayor energía.
D) los fotones incidentes sobre la materia depositan lentamente su energía.
E) la materia ha sido iluminada con la luz infrarroja.

Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo

En el formulario KPSI que se presenta a continuación, se han formulado preguntas con el objetivo de indagar sobre tu nivel de aprendizaje. Dependiendo de tu desempeño podrás: reforzar conceptos, habilidades y procedimientos débiles; resolver nuevas situaciones problemáticas o fenomenológicas, como desafío de profundización.

Categorías:
1. No lo sé
2. No lo entiendo
3. Creo que lo se
4. Se lo podría explicar a mis compañeros

Utilizando las categorías anteriores, marca con una X en el recuadro que corresponda.

Objetivo del capítulo

Comprender la importancia de las fuerzas nucleares y electromagnéticas a nivel del núcleo atómico, para explicar diversos de fenómenos.

Enunciados /conceptos o temas	1	2	3	4
¿Cuál es la estructura de la materia?				
¿Cuáles son las partículas fundamentales del átomo?				
¿Cuáles son los principales postulados del modelo atómico de Bohr?				
¿Cuál es la diferencia entre el modelo atómico de Rutherford y Bohr?				
¿Qué son los núclidos?				
¿Cuáles son las unidades de masa y energía en física atómica?				
¿Qué son las propiedades de los núcleos atómicos?				
¿Qué son los isótopos?				
La energía de un cuerpo, ¿tiene un equivalente energético?				
¿Qué es la energía de enlace por nucleón?				
¿Cuáles son las propiedades de la fuerza fuerte?				
¿Cuál es la diferencia entre el modelo de gota y de capas del núcleo atómico?				
¿Qué es la estabilidad nuclear?				
¿Qué es la radiactividad natural?				
Subtotal				
Procedimientos y método de trabajo				
Puedo seguir las instrucciones dadas en una actividad.				
Puedo describir de manera elemental las fuerzas nucleares y electromagnéticas que mantienen unidos los protones y neutrones en el núcleo atómico para explicar la estabilidad de la materia y otros fenómenos.				
Subtotal				
Actitudes				
Logré cumplir con los objetivos propuestos en cada sección, tema del capítulo.				
Logré explicar con mis palabras los diferentes temas tratados.				
Pude expresar las ideas principales en presentaciones.				
Pude compartir las ideas con mis compañeros.				
Pude cambiar mi opinión sobre algún tema a partir de la explicación de mis compañeros.				
Subtotal				
Total general				

Ahora suma los subtotales y obtén el total general.

Con ayuda de los subtotales, notarás tu avance en relación con el manejo de conceptos, al desarrollo de tus habilidades, procedimientos y actitudes referidas a tus aprendizajes del capítulo.

Dependiendo de los resultados, te orientarán sobre tus logros, por lo que te sugerimos preguntarte ¿Qué debo reforzar para superar el déficit?¿Qué puedo hacer para avanzar más? ¿Qué puedo hacer para saber más?

Utiliza la siguiente tabla para guiar tus remediales

Puntos	Acción	Algunas tareas sugeridas
0-21	Leer detenidamente los contenidos del capítulo. Identificar las ideas y conceptos que no puede explicar. Buscar información en otras fuentes bibliográficos o Internet	• **respecto de los contenidos** Busca situaciones cotidianas relacionadas con contenidos del texto como los usos de la radiactividad, la datación de fósiles como los dinosaurios, el uso de los isótopos. • **respecto de los procedimientos** Realizar cálculos sencillos relacionados con radio atómico, las unidades de masa. • **respecto de las actitudes** Interés por entender los conceptos, fijándote metas.
22- 42	Leer los contenidos del capítulo que no has logrado entender. Reconocer los conceptos aprendidos y los que no has entendido. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Conocer la aplicación de los conceptos adquiridos en situaciones cotidianas relacionas con contenidos del texto como los dispositivos de auto luminiscencia, como los letreros, los cuadrantes de los aviones donde se utiliza tritio. • **respecto de los procedimientos** Ejercitar cálculos matemáticos en la elaboración e interpretación de las unidades de masa, de energía de enlace por nucleón, determinar algunos radios atómicos y magnitudes relacionadas con el capítulo. • **respecto de las actitudes** Interés por trabajar en equipo.
43 – 63	Ejercitar los problemas propuestos en el texto. Elaborar explicaciones sobre los conceptos deficitarios. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Elaborar esquemas conceptuales utilizando los conceptos adquiridos. • **respecto de los procedimientos** Ejercitar la competencia matemática a través del repaso de los cálculos realizados en el texto. • **respecto de las actitudes** Interés por saber para qué se necesita comprender los conceptos del capítulo.
64 – 84	Ejercitar los desafíos propuestos en el texto. Elaborar explicaciones sobre los conceptos desarrollados a lo largo del texto. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Comprender conceptos y entender fórmulas. Aplicar competencias matemáticas a nuevas situaciones problemáticas. • **respecto de los procedimientos** Calcular la energía de enlace para un núcleo que contiene Z protones y N neutrones. • **respecto de las actitudes** Curiosidad por conocer nuevos conceptos, siendo consiente de la importancia de comprenderlos en profundidad para poder explicarlo. Puedo explicar a mi compañero o grupo y logran entender.

Evaluación de Unidad: camino a la educación superior

Encierra en un óvalo la única alternativa correcta.

A. Referidas al capítulo 1

1. Una pelota de 0,2 kg de masa se mueve con movimiento circunferencial uniforme de radio 1 m dando 15 giros en 2 minutos. Su aceleración centrípeta, es en m/s^2.
   A) $\pi^2/16$
   B) $\pi^2/8$
   C) $\pi/16$
   D) $\pi/8$
   E) $\pi/4$

2. Si una partícula se mueve con movimiento circunferencial uniforme, ¿qué sucede con la fuerza centrípeta si la rapidez de la partícula se duplica?
   A) Se mantiene constante.
   B) Se duplica.
   C) Se triplica.
   D) Se cuadruplica.
   E) Se quintuplica.

3. ¿Cuál es la fuerza que causa que una lanzadera espacial orbite alrededor de la Tierra?
   A) Centrífuga.
   B) Magnética.
   C) Gravitacional.
   D) Fricción.
   E) Ninguna de las anteriores.

4. ¿Cuál es la fuerza que te permite girar andando en una bicicleta sobre un pavimento plano horizontal?
   A) Gravitacional.
   B) Peso.
   C) Roce.
   D) Normal.
   E) Ninguna de las anteriores.

5. Un pequeño objeto atado a una cuerda se mueve con movimiento circunferencial uniforme con un período de 0,2 s y un radio de 0,1 m. La rapidez angular del objeto en rad /s es:
   A) 5π
   B) 7π
   C) 8π
   D) 10π
   E) 15π

B. Referidas al capítulo 2

1. ¿Cuál de las siguientes definiciones corresponde al principio de Pascal?
   A) La presión que se ejerce sobre un líquido se propaga en todas direcciones.
   B) La fuerza que se ejerce sobre un líquido se propaga en todas direcciones.
   C) La presión decrece cuadráticamente con la profundidad.
   D) La presión crece exponencialmente con la profundidad.
   E) La presión permanece constante con la profundidad.

2. Si un cuerpo se sumerge en agua, podemos decir correctamente que sobre el cuerpo la presión:
   A) decrece linealmente con la profundidad.
   B) crece linealmente con la profundidad.
   C) decrece cuadráticamente con la profundidad.
   D) crece exponencialmente con la profundidad.
   E) permanece constante con la profundidad.

3. Dos partículas están sumergidas en agua (densidad 1 g/cm^3) a profundidades de 1 m y 3 m respectivamente. Determina la diferencia de presión entre ellos. (Considera $g = 10\ m/s^2$)
   A) 1 000 Pa
   B) 2 000 Pa
   C) 3 000 Pa
   D) 10 000 Pa
   E) 20 000 Pa

4. ¿Cuál de las siguientes definiciones corresponde al principio de Arquímedes, respecto de un cuerpo sumergido totalmente en un fluido?
   A) El empuje es igual, en módulo, al peso del fluido desplazado.
   B) El empuje es igual, en módulo, a la masa del fluido desplazado.
   C) El empuje es igual, en módulo, al volumen del fluido desplazado.
   D) El empuje es igual, en módulo, al peso del objeto sumergido.
   E) El empuje es igual, en módulo, al peso del cuerpo más el peso del fluido desplazado.

C. Referidas al capítulo 3

1. Se tiene un electroscopio cargado positivo al que se le acerca una barra con carga negativa. Entonces, se podría afirmar sobre los filamentos que:
   A) se separan, debido a la llegada de cargas negativas a ellos.
   B) se separan, debido a la llegada de cargas positivas a ellos.
   C) se juntan, debido a la llegada de cargas negativas a ellos.
   D) se juntan, debido al abandono de sus cargas positivas.
   E) vuelven a quedar juntos, pues se descarga el electroscopio.

2. A un electroscopio neutro se le acerca un cuerpo cargado, observándose una separación de los filamentos. Podemos afirmar que:
   A) el cuerpo estaba cargado positivamente.
   B) el cuerpo estaba cargado negativamente.
   C) el electroscopio se cargó positivamente.
   D) el electroscopio se cargó negativamente.
   E) no se puede afirmar ninguna de las alternativas anteriores.

3. La corriente eléctrica en nuestros domicilios es alterna. Físicamente, esto significa que:
   A) se turna para ser ocupada por cada artefacto eléctrico que esté funcionando.
   B) tiene valores distintos para cada época del año.
   C) puede variar la fuente de donde se obtuvo la energía.
   D) la pueden utilizar distintos artefactos al mismo tiempo.
   E) permite que oscile entre valores máximos y mínimos.

4. Una familia consume en un mes 100 kWh y el siguiente mes consume 150 kWh, entonces, lo más correcto es afirmar que:
   A) aumentó su consumo de energía eléctrica.
   B) aumentó su consumo de potencia eléctrica.
   C) aumentó su intensidad de corriente.
   D) aisminuyó su voltaje.
   E) disminuyó su potencial eléctrico.

5. Sobre la unidad de medida Watt, es correcto afirmar que es:
   A) una medida de carga eléctrica.
   B) equivalente a multiplicar un Ampere por un ohm.
   C) equivalente a dividir un ohm al cuadrado por un Ampere.
   D) equivalente a multiplicar un Ampere al cuadrado por un ohm.
   E) equivalente a dividir un ampere al cuadrado por un Volt.

D. Referidas al capítulo 4

1. Encontrar la razón entre la carga y la masa de un rayo catódico.
   A) $1{,}8 \cdot 10^{11}$ C/kg
   B) $1{,}6 \cdot 10^{10}$ C/kg
   C) $1{,}4 \cdot 10^{8}$ C/kg
   D) $1{,}2 \cdot 10^{7}$ C/kg
   E) $1{,}9 \cdot 10^{7}$ C/kg

2. Dado que el radio del átomo de hidrógeno es $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m y su masa es $1{,}682 \cdot 10^{-27}$ kg, ¿cuál es la razón entre la densidad del átomo de hidrógeno y la densidad del agua?
   A) 7,6 B) 4,3 C) 2,7
   D) 1,8 E) 9,9

3. Un estudiante decide construir un modelo físico del átomo. Si diseña el núcleo del tamaño de una pelotita de goma de 1 cm de diámetro, ¿a qué distancia aproximada en metros se encontrarían los electrones más exteriores?
   A) 200 m B) 300 m C) 400 m
   D) 500 m E) 600 m

4. ¿Qué diferencia de energía deben tener dos niveles atómicos para producir un rayo X de frecuencia 10^{18} Hz?
   A) 4,1 keV
   B) 410 keV
   C) 4 100 keV
   D) 41 000 keV
   E) 410 000 keV

unidad 2

TIERRA Y UNIVERSO

¿Qué evidencias les han permitido a los científicos estudiar el universo?

Mecanismos fisicoquímicos y la acción humana que afectan a la Tierra



Capítulo 1 3° Medio

El universo está continuamente cambiando. Existen diversas evidencias que este se expande a cada momento y cambia en cada instante, es más, desde que comenzaste a leer estas líneas, el universo se ha expandido y ya no es el mismo universo que era hace algunos instantes, aunque tú no lo hayas percibido. Este fenómeno en el espacio exterior se manifiesta por el alejamiento de las galaxias, de las estrellas, sistemas planetarios, etc., entre ellos.

También las estrellas que observas en el cielo están evolucionando constantemente, ya que nacen, crecen y mueren. Como consecuencia de este proceso, se sintetizan los elementos químicos que al final de cada ciclo estelar, son expulsados al universo.

Por otra parte, nuestro planeta está en un constante cambio, de la interacción de la atmósfera e hidrosfera se derivan las condiciones del clima. Simultáneamente, en el medioambiente que te rodea se desarrollan diversos ciclos geoquímicos en los cuales existe un flujo constante de materia y energía en todos los niveles de la geosfera. Dichos ciclos son aprovechados por el ser humano para sus actividades, se espera que los recursos disponibles sean utilizados con la responsabilidad apropiada, de manera tal de no contaminar el planeta, para ello, en diversas partes del mundo, los investigadores trabajan arduamente en la investigación de materias primas y energías de bajo impacto ambiental.

Nuestro universo



Capítulo 2 4° Medio

Capítulo 1

¿Cuál es la conexión entre acción humana en el planeta y la dinámica de la atmósfera, hidrosfera y litosfera?

MECANISMOS FISICOQUÍMICOS Y LA ACCIÓN HUMANA QUE AFECTAN A LA TIERRA

Los huracanes y las corrientes marinas son un claro ejemplo de las múltiples interacciones que tienen lugar entre las dos capas fluidas presentes en nuestro planeta, la hidrosfera y la atmósfera, que en conjunto forman parte de la máquina climática que posee nuestro planeta.

Toda acción sobre el medio natural, por puntual que esta sea, arrastra tras de sí una serie de repercusiones en cadena sobre el medioambiente, así, el empleo de los combustibles fósiles, como base de nuestro modelo de desarrollo, ha contribuido al incremento de la contaminación atmosférica, cuyos efectos a largo o a corto plazo ya son evidentes.

Por lo tanto, y en vista de los problemas que implica la utilización de las fuentes energéticas actuales, se están buscando otras de menor efecto ambiental.

Lo que estudiarás

- Los efectos nocivos que la acción humana puede provocar sobre la atmósfera, litosfera e hidrosfera y la necesidad de emplear eficientemente los recursos energéticos para atenuar dichos efectos.

Lo que debes saber

- Cómo las capas que conforman la Tierra pueden ser alteradas en su estructura y composición por la acción humana y que estas modificaciones impactan en el desarrollo de la vida.
- Los mecanismos y efectos de la erosión sobre la superficie de la Tierra.
- El impacto social y tecnológico de la energía eléctrica en el mundo moderno a través de algunas de sus aplicaciones y la necesidad de emplearla eficientemente, identificando las principales fuentes que permiten generarla.



Actividad exploratoria

Habilidades

- Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones, apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel

¿Es posible detectar si el agua contenida en un vaso está contaminada?

El agua incolora que sacamos de un río puede contener materia orgánica en descomposición o ciertos olores. Supongamos que tenemos un vaso de agua que parece ser transparente. ¿Significa que está libre de contaminación?

Realiza el siguiente laboratorio



1. Vierte 150 mL de agua en un frasco grande de vidrio.
2. Agrega 0,05 mL de témpera de color azul y revuelve.
3. Agrega otros 150 mL de agua y revuelve.
4. Repite el paso 3 hasta que no se pueda ver la témpera al interior del frasco.
5. Calcula la concentración de la témpera en el frasco cada 150 mL de agua adicional.

   ¿Qué sucede con la concentración?

SECCIONES

1 FACTORES FISICOQUÍMICOS QUE AFECTAN A LA TIERRA

2 EMPLEO EFICIENTE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Actualmente, estás rodeado de noticias tales como la escasez de agua, incendios forestales, el agujero de la capa ozono, el cambio climático, etc. Es decir, nuestro **medioambiente** está siendo afectado. Pero ¿qué es el medioambiente?, ¿cómo podemos estudiarlo?, ¿ha aumentado el problema ambiental con la actividad humana?

En la actualidad, podemos definir el **medioambiente** como:



Figura 1.1

"el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas", acepción que fue acuñada en la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Humano celebrada en Estocolmo en el año 1972.

El estudio de los mecanismos físicos presentes en fenómenos ambientales nos permite entender los cambios que está sufriendo el planeta a nivel de la atmósfera, hidrosfera y litosfera (**figura 1.1**).

Tema 1: Mecanismos fisicoquímicos en la regulación del clima terrestre

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer los mecanismos físicos presentes en fenómenos que afectan a la atmósfera.

PRERREQUISITOS

- Tipos de rocas.
- Capas de la Tierra.
- Fenómenos naturales.
- Ciclo del agua.

CONCEPTOS CLAVE

- Medio ambiente
- Efecto dominó
- Erosión del suelo
- Contaminación
- Efecto invernadero
- Máquina climática

El conjunto de mecanismos y de componentes físicoquímicos (atmósfera, hidrosfera y geosfera), biológicos (los seres vivos o biosfera) y sociales (la humanidad) se estudian de manera conjunta, de forma que unos componentes actúan sobre los otros, es decir, interactuando, causando efectos directos o indirectos sobre los seres vivos y sobre las actividades humanas. Debido a ello, cualquier intervención en el medio natural, por puntual que esta sea, arrastra tras de sí una serie de repercusiones en cadena sobre todos los componentes del medio ambiente, lo que se conoce como efecto dominó.

Por ejemplo, si en tu comunidad se talan los bosques para obtener madera, no solo se agotará este recurso, sino que, además, provocará:

- erosión del suelo.
- disminución de los recursos hídricos de la región.
- aumento del CO_2 atmosférico y alteraciones en la fauna.

Así, por ejemplo, si pretendes reducir el consumo de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), caminando o transportándote en bicicleta, no solo ahorrarás dinero, sino también contribuirás a disminuir el agotamiento de este recurso, reducirás la contaminación del aire, el efecto invernadero y el problema de los residuos.

¿Cómo vas? actividad

¿Cuáles son las repercusiones que se pueden producir en un bosque cuando se produce un incendio y cuando se extrae madera?

Para comenzar el estudio de los mecanismos físicos que permiten explicar algunos fenómenos que afectan a la atmósfera, hidrosfera o litosfera, piensa en la Tierra como un sistema cerrado donde entra y sale energía sin cambios en la cantidad de materia (no consideremos la entrada de materia procedente de los meteoritos, dada su poca masa relativa).

La energía que entra a nuestro planeta es radiación electromagnética proveniente del Sol. La energía sale como radiación reflejada y como radiación infrarroja (calor), procedente de la superficie terrestre, previamente calentada por el Sol.

La Tierra, además, posee un sistema físico, que llamaremos la **máquina climática**, **figura 1.2**, que regula el clima planetario y que está formado por la interacción de un conjunto de subsistemas terrestres: atmósfera (A), hidrosfera (H) (océanos y ríos), geosfera (G) (parte sólida y mineral de la Tierra), biosfera (B) (seres vivos terrestres y acuáticos) y criosfera (C) (hielos).

De este modo, nuestro planeta es un sistema en equilibrio dinámico desde el punto de vista térmico, ya que autorregula su temperatura, manteniéndola, en promedio, a unos 15°C.

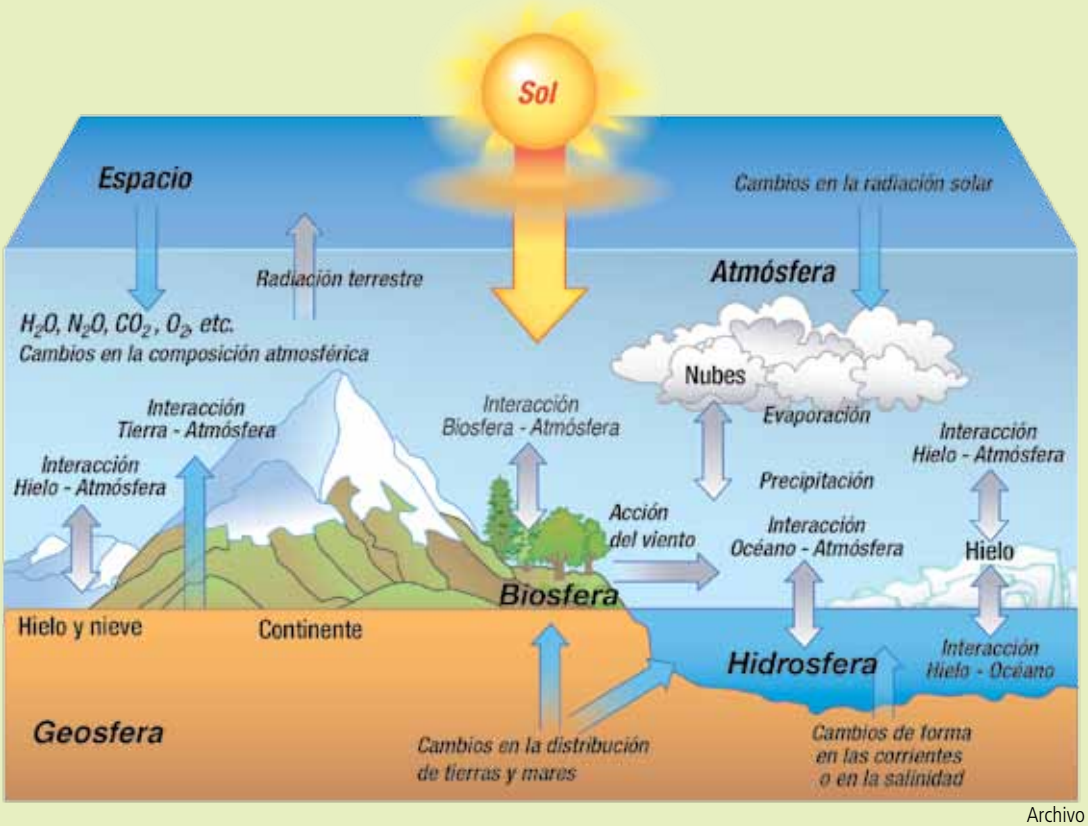
Para estudiar, desde el punto de vista físico, el posible comportamiento y evolución del clima terrestre o sistema climático (S), se miden variables macroscópicas, como presión, temperatura, volumen, caudal, etc., de cada uno de los subsistemas (A, H, G, B, C) que están interactuando en la máquina climática, es decir:

$$S = A \cup H \cup G \cup B \cup C$$

El símbolo U representa la interacción o acoplamiento entre los subsistemas.

Sistema en equilibrio dinámico: cualquier cambio en uno de sus componentes requerirá un cambio de los demás para restablecer dicho equilibrio

Figura 1.2



Archivo Editorial.

Por ejemplo, para hacer predicciones meteorológicas a muy corto plazo (horas o días), basta que estudies las variaciones del primero de los subsistemas o atmósfera (S = A), es decir, debes tener en cuenta las principales variables atmosféricas: presión, humedad, temperatura y velocidad del viento.

Si se trata de predicciones de cambios de clima más lentos, como los que tardan en producirse entre 1 y 10 años, se analizan las interacciones entre la atmósfera, hidrosfera y geosfera (S = A U H U G), es decir, la evolución de corrientes atmosféricas y oceánicas superficiales y el efecto de las erupciones volcánicas sobre el clima.

Para las predicciones a largo plazo (de 10 a 100 años), junto con las variaciones en la atmósfera, hidrosfera o geosfera, se incluyen los cambios ambientales propiciados por la variación en la concentración de los gases atmosféricos, los cambios en las corrientes oceánicas profundas, los cambios debidos a la acción de los seres vivos y los cambios originados por la ampliación o reducción de la superficie cubierta de hielo (S = A U H U G U B U C).

Mientras que las predicciones a un plazo más largo (miles o millones de años) resultan mucho más difíciles de realizar, porque dependen de la desigual distribución de las tierras y mares, y de las variaciones de la órbita terrestre en torno al Sol.

Actividad de análisis de imágenes

1. Observa las siguientes fotografías que corresponden a paisajes de Chile y escribe sobre cada una las letras **ZN**, si pertenece a la zona norte; **ZC**, si pertenece a la zona central, o **ZS**, si pertenece a la zona sur de nuestro país.








a) ¿Cuáles son los mecanismos físicos presentes en los constituyentes de estos subsistemas?

b) ¿Cuál ha sido nuestra responsabilidad al alterar la naturaleza y funcionamiento de estos constituyentes de la máquina climática?

2. ¿Cuáles son los climas que presenta nuestro país?

3. El parque nacional Fray Jorge es un bosque tipo valdiviano en una zona desértica costera. ¿Cuál es el rol de la camanchaca o neblina costera en la existencia de este bosque?



¿Cómo vas? actividad

¿Qué sucedería con la radiación reflejada si no existiera la atmósfera terrestre? ¿Qué consecuencia tendría sobre la máquina planetaria si uno de los subsistemas desapareciera?

Mecanismos fisicoquímicos en los fenómenos que afectan a la atmósfera e hidrosfera

Como recordarás de cursos anteriores, todos los estudios que los geólogos llevan a cabo para determinar la estructura de la Tierra coinciden en que está organizada en una serie de capas que se diferencian por la densidad de los materiales que las componen.

Así, las capas más ligeras, la atmósfera y la hidrosfera, se localizan en el exterior. En cuanto a las capas más densas, que constituyen la llamada geosfera, se disponen hacia el interior de la esfera planetaria según un patrón de densidad creciente.

Llamamos capas fluidas a la atmósfera y a la hidrosfera, porque ambas están constituidas por fluidos, aire y agua, respectivamente. Pero ¿cuáles son las consecuencias de la interacción de estas capas fluidas? La atmósfera y la hidrosfera son dos subsistemas terrestres relevantes para el funcionamiento del sistema climático. Ambos constituyen la máquina climática vista en páginas anteriores.

Uno de los ejemplos más claros de las múltiples interacciones que tienen lugar entre las dos capas fluidas son los huracanes. La fuerte insolación que incide en los océanos situados sobre el ecuador terrestre origina una intensa evaporación que forma un conjunto de nubes que giran en torno a un eje central, originando el denominado ojo del huracán.

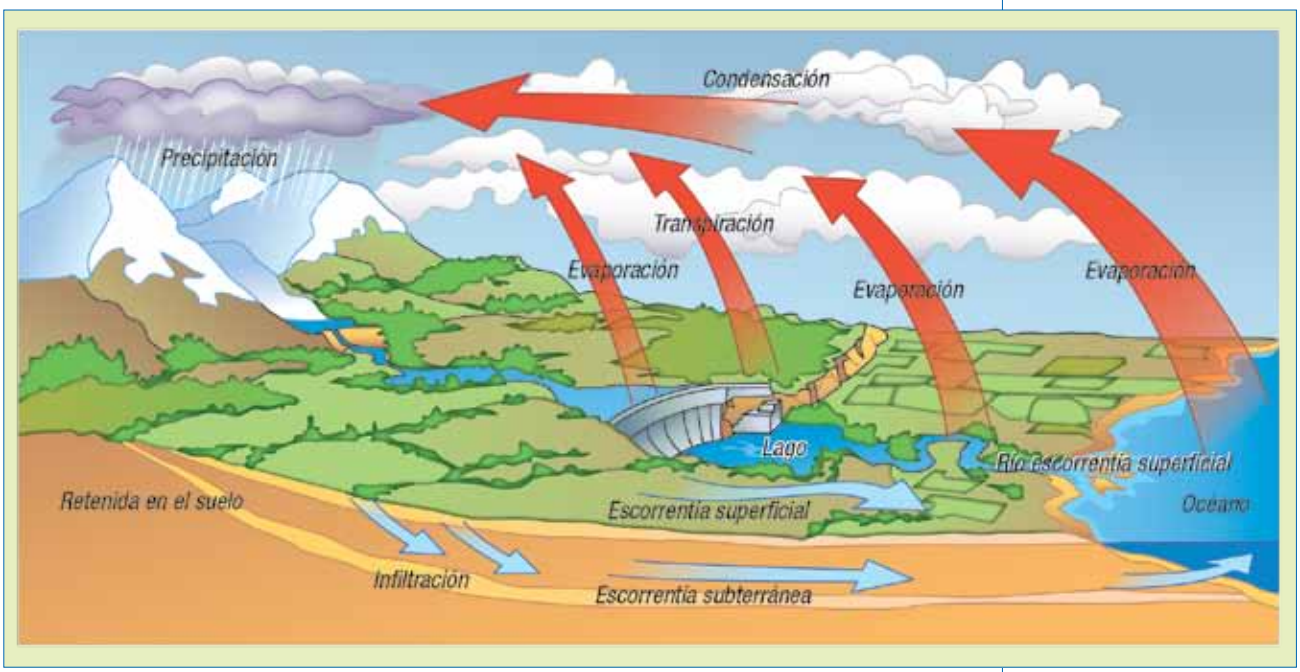
Un ejemplo de ello es la formación del huracán Santa Isabel, **figura 1.3**, que se origina en el hemisferio norte y tiene lugar en el océano Atlántico, junto a la costa africana. Posteriormente, se desplaza hacia el oeste, hasta alcanzar las costas caribeñas y las de Florida, en las que descarga toda su fuerza.



▲ **Figura 1.3**
Imagen del Huracán Santa Isabel
¿Cuáles son las fuerzas presentes en el ojo del huracán? Descríbelas usando la información de los capítulos anteriores

Funcionamiento y mecanismos físicos de la máquina climática

Podríamos afirmar que el ciclo del agua constituye la interacción más importante dentro de la máquina climática, como muestra la **figura 1.4**

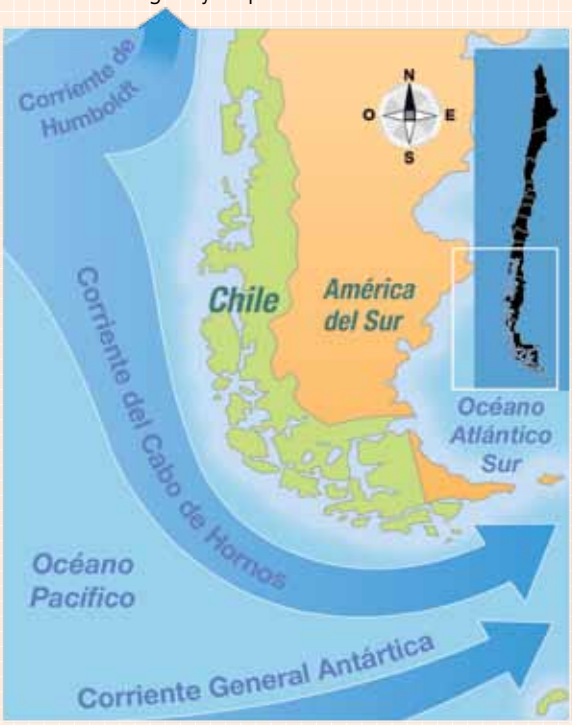


▲ **Figura 1.4**

Archivo Editorial.

Actividad de análisis de imágenes

Observa la figura y responde.



Archivo Editorial.

1. ¿Cuáles son las consecuencias de las corrientes marinas sobre el clima de nuestro país?
2. ¿Qué tipos de energía se pueden obtener del viento y de las corrientes marinas?

Como recordarás del curso de séptimo básico, en el ciclo del agua, esta pasa de la hidrosfera a la atmósfera por evaporación.

La máquina climática es un sistema muy complejo, por lo que su estudio debe realizarse a partir de modelos, ya que es la única manera de comprender su intrincado funcionamiento que, en esencia, se basa en los movimientos generados debido a la existencia de un gradiente entre dos puntos. Se denomina gradiente a la diferencia existente entre dos puntos en alguno de los parámetros atmosféricos (temperatura, humedad o presión).

La existencia de un gradiente o diferencia en los valores de presión, temperatura, humedad o densidad, entre dos puntos situados a una cierta distancia (tanto en sentido vertical como horizontal), en el interior de la atmósfera o de la hidrosfera, va a generar un movimiento de circulación del fluido mediante el cual se tiende a amortiguar las diferencias entre un extremo y otro.

En el caso de la atmósfera, el transporte entre los dos puntos lo realiza el viento, mientras que en la hidrosfera corresponde a las corrientes oceánicas.

Como es lógico, cuanto mayor sea el gradiente entre dos puntos, más vigorosa será la circulación del viento o de las corrientes oceánicas; el flujo cesa en el momento en que los barómetros se igualan, con lo que el gradiente se reduce a cero.

Por ejemplo, cuando existe un gradiente térmico determinado por una diferencia de temperatura entre dos puntos, se producirá un movimiento mediante el cual se transporta calor de un extremo a otro.

El comportamiento de la atmósfera y de la hidrosfera es distinto debido a sus diferencias en:

- la densidad de aire, que es 773 veces inferior a la del agua.
- el agua, que es poco compresible en comparación a la del aire.
- el aire, que es de más fácil movilidad.
- la hidrosfera, que tiene mayor capacidad de almacenar una gran cantidad de la radiación solar en la forma de energía térmica.
- el agua, que tiene una mayor capacidad de conducción del calor que el aire.

Pero ¿cómo regula la atmósfera la temperatura de la Tierra? ¿Cuál es la importancia de la hidrosfera como regulador de la temperatura superficial? ¿Puede la contaminación del aire o de las aguas alterar el funcionamiento de las capas fluidas y de la máquina climática?

Para responder estas preguntas, te invitamos a leer las siguientes páginas de la sección.

¿Cómo vas? actividad

¿Por qué el ciclo del agua es importante en el funcionamiento de la máquina climática? ¿De qué partes del ciclo del agua obtenemos el agua como recurso?

¿Cuáles son los mecanismos físicos presentes en el movimiento de los vientos y en las corrientes marinas?

Dinámica atmosférica: la atmósfera como filtro protector

El término atmósfera procede de las palabras griegas *atmós*, que significa "vapor", y *sphaira*, que significa "esfera". La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea a la Tierra. Se originó en los primeros momentos de la Tierra, cuando esta sufría el llamado bombardeo meteorítico hace unos 4 500 millones de años. En los impactos meteoríticos se alcanzaban altas temperaturas que favorecían el desprendimiento de gases; después las emanaciones volcánicas también aportaron más componentes a la atmósfera.

El componente mayoritario de la atmósfera es un gas inerte, el nitrógeno, con un 78 % del total. El segundo en importancia es el oxígeno (21 %), un gas muy activo que reacciona fácilmente con otros elementos y los oxida. Con la larga historia de la Tierra, ha habido tiempo suficiente para que se perdiera todo el oxígeno en reacciones de oxidación; sin embargo, sus niveles se mantienen constantes, ya que es continuamente producido por los vegetales en la fotosíntesis.

El siguiente gas es al argón (0,93 %), un gas noble, inerte, procedente de la desintegración del potasio y liberado a la atmósfera a través de los volcanes.

La cantidad de vapor de agua es pequeña y depende de la temperatura del aire, ya que el aire caliente admite mayor proporción de vapor de agua.

Tabla 1

¿Cuáles serían las posibles consecuencias de un aumento en el CH_4, en el CO y en el óxido nitroso en la atmósfera?

Gases reactivos (en ppm)	
CO	0,1
CH_4	1,7
Hidrocarburos	0,02
Monóxido de nitrógeno (NO)	0,0020-0,0002
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	0,0040-0,0005
NH_3	0,020-0,006
SO_2	0,013-0,00003
O_3	0,05-0

Gases no reactivos (en ppm)	
He	5,2
Ne	18,0
Kr	1,1
Xe	0,086
H_2	0,5
Óxido nitroso (N_2O)	0,25

Los restantes componentes del aire están presentes en cantidades muy reducidas, por lo que se miden en partes por millón (ppm). Por su importancia, destaca, entre estos últimos, el dióxido de carbono (CO_2), con 390 ppm del aire seco, ver **tabla 1**.

Capas de la atmósfera y su estructura térmica

La composición del aire por debajo de 90-100 km es bastante homogénea, por lo que esta zona se denomina homosfera; por encima se encuentra la heterosfera, en la que se producen reacciones químicas que alteran la composición del aire. Sin embargo, homosfera y heterosfera son términos poco utilizados.

Lo habitual es dividir la atmósfera en capas concéntricas, haciendo coincidir los límites entre capas con cambios de temperatura, como se mostró en la página 93 del libro.

Troposfera

La troposfera abarca desde la superficie terrestre hasta unos 12-17 km de altura. En ella se produce una disminución paulatina de la temperatura, desde unos 15 °C en la superficie hasta -70 °C en su parte superior. En la troposfera, la disminución de temperatura tiene un valor medio de 0,65 °C cada 100 metros y se denomina gradiente vertical de temperatura.

SABÍAS QUE...

El hermoso fenómeno de luminiscencia atmosférica, conocido como aurora boreal, se produce cuando los componentes del viento solar inciden sobre el campo magnético de la Tierra, ubicándose en ambos polos. Como consecuencia, surge una luz difusa proyectada en la ionosfera terrestre, compuesta de partículas que difunden el color.



CIENCIA EN RED

Si deseas profundizar sobre el tema, te sugerimos la siguiente página web:

– http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=GISS_TA_M

Consulta junio 2014.

En esta capa se concentra el 80 % de los gases atmosféricos. La mayor concentración de estos gases junto con la superficie hace que la presión atmosférica descienda bruscamente, desde unos 1013 milibares (mb) en su parte baja hasta unos 200 mb en la parte superior de la troposfera.

La troposfera es responsable del efecto invernadero originado por la presencia de ciertos gases que absorben la radiación infrarroja procedente del Sol y de la propia Tierra. Esta capa se caracteriza también por la gran movilidad del aire, lo que origina los fenómenos meteorológicos que conocemos: formación de vientos, nubes y precipitaciones.



▲ **Figura 1.5**

Nube de cumulonimbus sobre África: Formaciones de nubes (*cumulonimbus*), debido a la convección de aire caliente, húmedo e inestable. Los altos niveles de energía de estos sistemas de tormentas normalmente los hacen peligrosos debido a la precipitación asociada a relámpagos, vientos de alta velocidad y posibles tornados. La imagen, fue tomada mientras que la Estación Espacial Internacional se encuentra sobre el oeste de África, cerca de la frontera entre Senegal y Malí, muestra una nube yunque totalmente formado con numerosas torres cumulonimbus pequeños levantamiento cerca de él.

Fuente: Estación espacial Internacional NASA. Imagen: ISS016-E-27426, 2008.

Tropopausa

La tropopausa se sitúa entre la troposfera y la estratosfera y se caracteriza porque la temperatura del aire no varía con la altitud y se mantiene a unos –56^0 C en promedio.

Esto significa que una nube ya no puede crecer en la dirección vertical. Una vez que llega a la tropopausa, las corrientes de convección que la alimentaban dejan de subir y se topan con una "pared de cristal". Esta situación térmica evita la convección del aire y confina de esta manera el clima a la troposfera. La **figura 1.5** muestra lo que sucede con una nube de gran altura que topa con la tropopausa. Nota que la nube no sube más, sino que se expande hacia los lados.

Estratosfera

La estratosfera abarca desde la tropopausa hasta la estratopausa, a unos 50 km de altitud. A diferencia de la capa anterior, la temperatura de la estratosfera aumenta con la altitud hasta alcanzar unos 10 ^{0}C; este aumento de temperatura se debe a la absorción de radiaciones ultravioleta por las moléculas de ozono.

El ozono es una molécula triatómica de oxígeno (O_3) que es especialmente abundante entre 15 y 30 km de altitud, en una región llamada ozonosfera o capa de ozono. La importancia del ozono radica en su capacidad para absorber los rayos ultravioleta e impedir que lleguen a la superficie terrestre, ya que son perjudiciales para la mayoría de las formas de vida.

Mesosfera

La mesosfera se caracteriza por una fuerte disminución de la temperatura, que alcanza los –80 ^{0}C. Acaba a una altitud de 80 km (mesopausa).

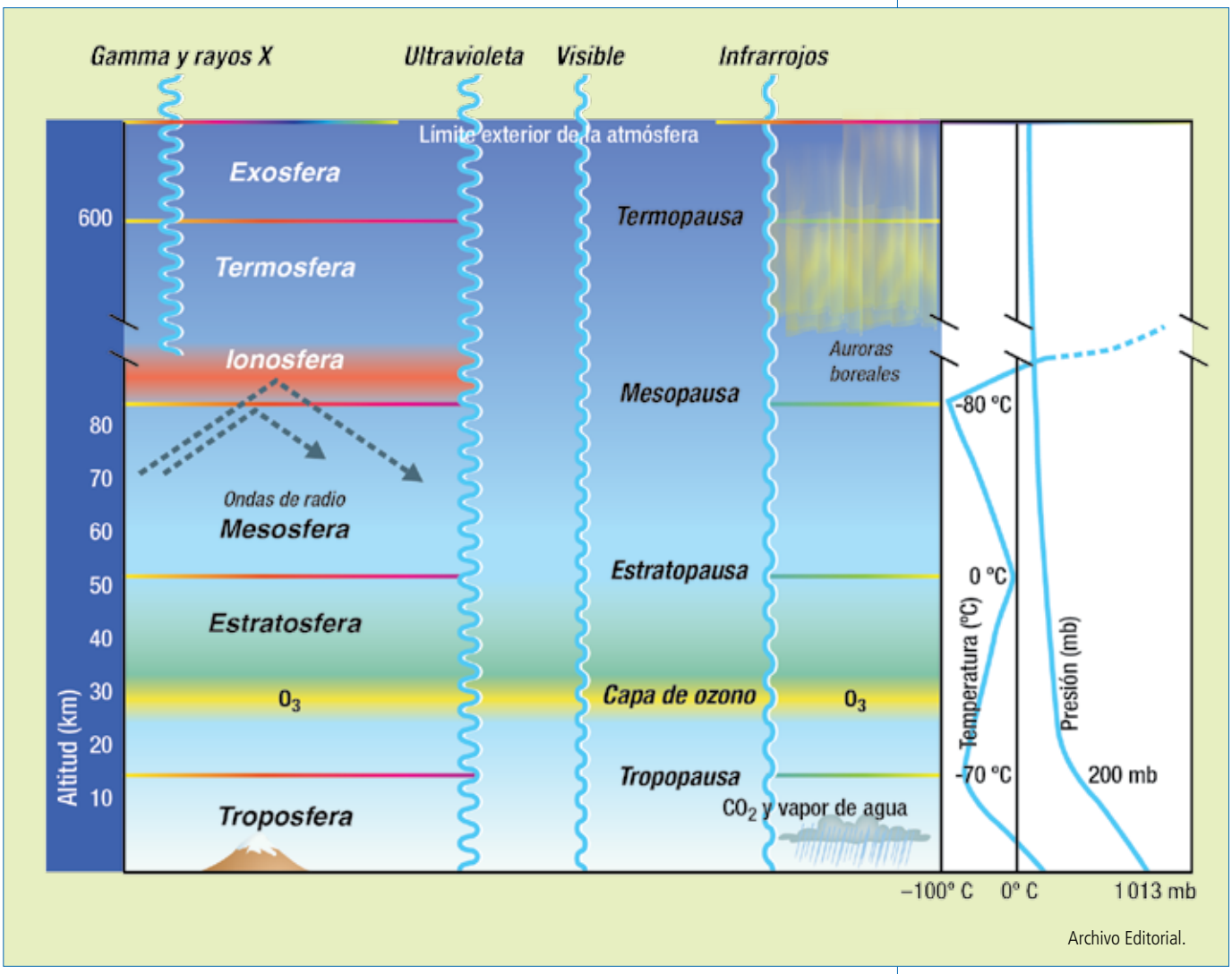
Termosfera o ionosfera

Consideraremos la termosfera como la última capa de la atmósfera, aunque algunos autores añaden una quinta capa o exosfera. La palabra termosfera hace alusión a que en ella la temperatura vuelve a aumentar con la altitud y alcanza 1000 ^{0}C a 800 km de altura. Este calor se debe a la absorción de radiaciones de onda corta (rayos X y rayos gamma) por parte de las moléculas de nitrógeno y oxígeno. Esta es la capa de la atmósfera en la que operan los transbordadores espaciales.

También se denomina ionosfera, porque las moléculas están ionizadas: las radiaciones de onda corta arrancan electrones y las moléculas se transforman en iones de carga positiva. La interacción de estas moléculas ionizadas con los electrones procedentes del Sol origina espectaculares manifestaciones de luz y color, sobre todo en zonas polares (auroras boreales). Otra particularidad de la ionosfera es que en ella rebotan algunas ondas de radio, haciendo posible las comunicaciones.

La cantidad de radiación incidente sobre la Tierra o balance de radiación solar depende de la estructura física y de la composición química de la atmósfera, que dan lugar a las condiciones térmicas especiales de nuestro planeta que, a diferencia de los planetas vecinos, lo hacen apto para la vida. Vamos a estudiar el balance de radiación solar y la función reguladora del clima terrestre ejercido por la atmósfera a partir de la comprensión del efecto invernadero.

Pero ¿cómo la atmósfera interactúa con la radiación solar? Observa la **figura 1.6**.



▲ **Figura 1.6**

Actividad de comprensión lectora

1. Lee la siguiente noticia y responde:

Ley de Protección de la capa de ozono

Ahora los trabajadores que laboran expuestos al implacable Sol no solo se protegen con filtros solares, sino también con una ley.



Tal como les hemos venido informando, la radiación solar en estos tiempos es un real problema de salud para los chilenos.

Especialmente en las regiones I - II - III - VI - VII - XI - XII y Metropolitana.

Es por este motivo que con fecha 23 de marzo del año 2006 se promulgó la Ley N° 20 096 sobre "protección de la capa de ozono", la que en su Artículo N°19 dice: "Los empleadores deberán adoptar las medidas necesarias para proteger eficazmente a los trabajadores cuando puedan estar expuestos a radiación UV". El contrato de trabajo o el reglamento interno deberá especificar "el uso de los elementos protectores".

En relación con la medición del índice UV, el Artículo 18 de esta ley señala: "Los organismos públicos y privados que midan radiación ultravioleta lo harán de acuerdo con los estándares internacionales y entregarán la información necesaria a la Dirección Meteorológica de Chile para su difusión. Estos informes deberán expresar el índice de radiación ultravioleta según la tabla que establece para estos efectos la Organización Mundial de la Salud, e indicarán, además, los lugares geográficos en que se requiera de protección especial contra los rayos ultravioleta".

a. ¿Cuál es la importancia de esta noticia?
b. ¿Cómo se relaciona esta noticia con lo planteado en esta página?
c. ¿Cuáles serían las medidas que deben tomar los empleados con sus trabajadores?
d. ¿Qué efectos podría tener la exposición prolongada de la radiación UV en las personas?
e. Nombra las regiones afectadas por la radiación UV.

Efecto invernadero y la interacción de la radiación solar con la atmósfera

La radiación que nos llega del Sol lo hace mediante las únicas ondas que pueden propagarse en el vacío: las ondas electromagnéticas. Esta energía llega distribuida en diferentes longitudes de onda, y forma un espectro que se denomina espectro solar extraterrestre, el que abarca desde 0,2 a 2,4 μm. Estas radiaciones se dividen en tres grupos, atendiendo a su longitud de onda:

- Las **radiaciones de onda corta**, con una longitud de onda menor a 0,1 μm, incluyen rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma. En general, son radiaciones muy perjudiciales para la salud. Afortunadamente, la atmósfera se comporta como filtro frente a la mayoría de estas radiaciones.
- Las **radiaciones de onda media**, con una longitud de onda comprendida entre 0,1 y 1 μm, se corresponden fundamentalmente con la luz visible.
- Las **radiaciones de onda larga**, con una longitud de onda superior a 1 μm, incluyen la radiación infrarroja (responsable del calentamiento de la atmósfera), las ondas de radio y las microondas.

La energía por unidad de superficie se denomina intensidad de la radiación. Sobre la superficie exterior de la atmósfera, esta intensidad se llama constante solar y ha sido medida por la NASA mediante globos, sondas, aviones y satélites. Su valor es de Ge = 1 367 W/m^2 y corresponde a la potencia por unidad de área que llegaría a la superficie de la Tierra de no haber atmósfera. Este organismo ha determinado también que dicha energía se ajusta bastante bien al espectro emitido por un cuerpo negro a la temperatura de 5 762 K.

La atmósfera es bastante permeable a la luz visible, por lo que la mayor parte puede llegar al suelo. No obstante, una parte es reflejada por las nubes, que se comportan como un espejo, devolviendo la radiación visible al espacio exterior.

Este fenómeno de reflexión se denomina albedo (**figura 1.7**) y no sucede únicamente con las nubes, sino también el suelo puede reflejar parte de la luz, sobre todo las superficies nevadas y las zonas continentales desprovistas de vegetación; los mares y los bosques tienen un menor efecto albedo, porque resultan más oscuros vistos desde el espacio. Es decir, el albedo varía en función del color de la superficie reflectora. Cuanto más clara sea esta, mayor cantidad de luz reflejará, mayor será su albedo y, por tanto, menor será la temperatura.

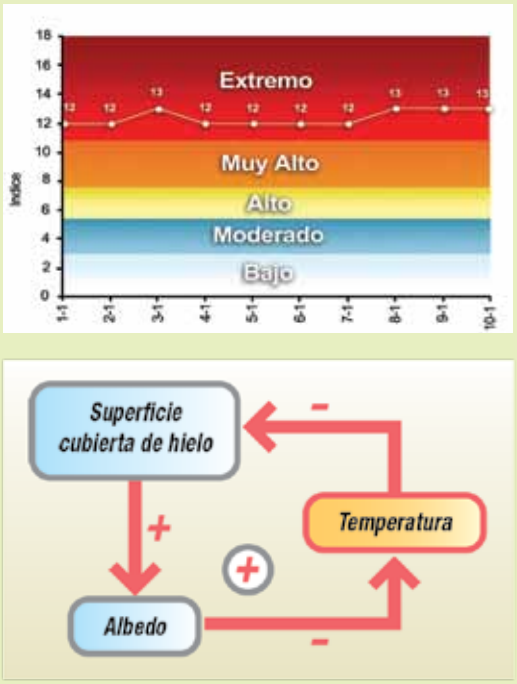
Las capas superiores de la atmósfera reflejan aproximadamente un 22,5 % de la radiación solar incidente, devolviéndola al espacio, y el resto está filtrado por la atmósfera antes de llegar a la superficie terrestre. Los absorbentes de la radiación son gases que se encuentran en la atmósfera en su composición normal, siendo los principales **el ozono** (O_3), que absorbe en la banda ultravioleta; **el vapor de agua** (H_2O) y **el oxígeno** (O_2), que absorben en la banda infrarroja inferior a 1,5 μm. En la banda infrarroja, desde 1,5 a 2 μm, los absorbentes son de nuevo el vapor de agua y el dióxido de carbono (CO_2).

CIENCIA EN RED

Si quieres profundizar sobre el efecto invernadero y las variaciones que podrían producirse en los ecosistemas de Chile, visita la siguiente página web:

Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático en Chile.

http://www.mma.gob.cl/1304/articles-50880_docomunicadoCambioClimatico.pdf Consulta, julio 2015.



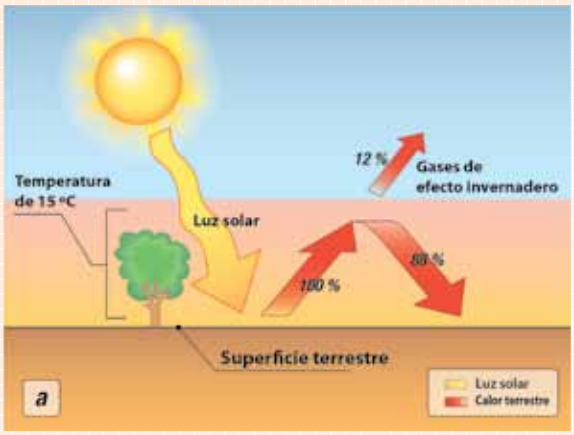
Archivo Editorial.

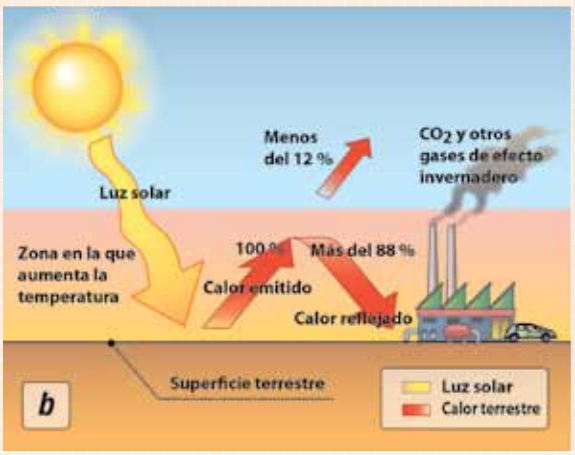
Figura 1.7

¿Qué sucede con el albedo y la temperatura superficial si la superficie cubierta de hielo disminuye?

Actividad de comparación

Compara las siguientes imágenes y responde:





Archivo Editorial.

¿Qué sucede con la temperatura superficial si aumenta la concentración de los gases del efecto invernadero?

Por su parte, la Tierra emite energía en la banda infrarroja, que va aproximadamente desde los 2 μm a los 60 μm.

Si consideramos la temperatura superficial promedio de la Tierra de 15 °C, el máximo de emisión se encuentra en 10 μm.

La salida de esta radiación al espacio exterior también es filtrada por la atmósfera. Pero, en esta región, la atmósfera es muy absorbente y solo deja unas pequeñas ventanas de escape, situadas en las bandas aproximadamente de 2 a 2,5 μm, de 4 a 4,5 μm y de 8 a 15 μm.

En la banda de 2,5 a 4 μm, los gases absorbentes son el **vapor de agua, el dióxido de carbono** (CO_2) y el **metano** (CH_4); en la banda de 4,5 a 8 μm son el **vapor de agua**, el **dióxido de carbono** (CO_2) y el **óxido nitroso** (N_2O); a partir de 15 μm, el **vapor de agua** y el **dióxido de carbono**.

Esta energía absorbida por los gases de la atmósfera es reirradiada y retorna a la superficie terrestre, aumentando la temperatura ambiente.

En otras palabras, la transferencia de energía radiante entre el Sol y la superficie terrestre, y entre esta y el espacio exterior, está condicionada por la transparencia de la atmósfera a las diferentes longitudes de onda. Este fenómeno se denomina **efecto invernadero**, gracias al cual se mantiene una temperatura de equilibrio en la superficie terrestre, lo que facilita en gran medida la llegada de la radiación solar y condiciona fuertemente la salida de la radiación emitida por la Tierra, que hace posible el desarrollo de la vida tal y como la conocemos.

De no existir la atmósfera y, por tanto, el efecto invernadero, la temperatura media sobre la superficie terrestre se estima que sería de unos 40 °C inferior a la actual, es decir, estaría en torno a los −25 °C, lo que evidentemente haría imposible la vida en el estado actual.

Las nubes y su acción sobre el clima

Las nubes, que se encuentran en la troposfera, ejercen sobre el clima unos efectos difíciles de analizar, ya que tienen una doble acción: por una parte, incrementan el albedo, reflejando parte de la radiación solar, y por otra, devuelven a la superficie terrestre radiación infrarroja, incrementando el efecto invernadero.

¿Cómo vas? actividad

¿Cuáles son los gases que participan en el efecto invernadero? Clasifícalos de acuerdo a la banda de absorción?
¿Cuáles son los mecanismos físicos presentes en el efecto invernadero y en el efecto albedo?

Estudios muy recientes parecen afirmar que la acción ejercida de manera predominante dependerá de la altura a la que se encuentre la nube; si la altura es baja, aumentará el albedo y, si es alta, incrementará el efecto invernadero.

Pero ¿cómo funciona la máquina climática si consideramos, por el momento, el efecto albedo, las nubes y el efecto invernadero?

Se asumirá que el flujo de radiación solar es constante, es decir, no se consideran los cambios en la inclinación del eje de la Tierra, la excentricidad de la órbita terrestre o la posición de la Tierra en perihelio o afelio.

Con las tres variables estudiadas hasta el momento (nube, efecto albedo, efecto invernadero), podemos elaborar un modelo sencillo del funcionamiento del clima terrestre.

De acuerdo a la **figura 1.8**, nos encontramos ante dos retroalimentaciones positivas (la del efecto albedo y la del efecto invernadero) enfrentadas como dos espadas en tensión que empujan por igual, hecho que propicia un estado de equilibrio dinámico que podría peligrar por un cambio brusco (catastrófico) de las condiciones ambientales, que inclinaría la balanza en uno y otro sentido, siendo casi imposible retornar a la situación de equilibrio dinámico.

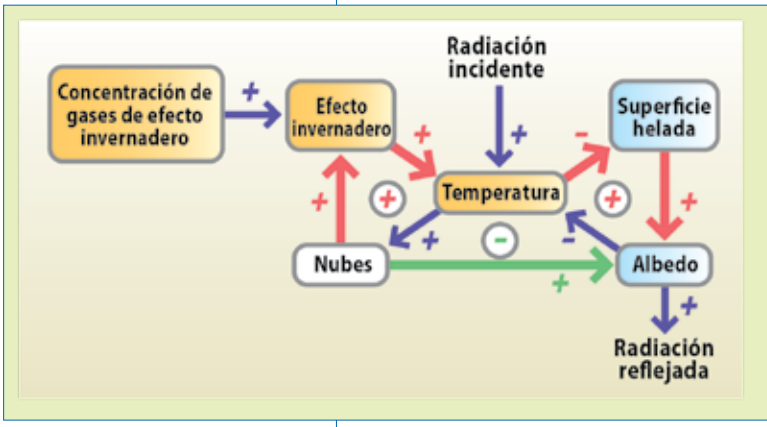
Esto fue lo que debió ocurrir en los planetas más próximos y similares al nuestro: Marte y Venus. Marte evolucionó hacia un clima más frío (–10 °C de media, pudiendo llegar a los –160 °C en los polos), por lo que toda el agua y todo el dióxido de carbono se congelaron. Aún existen las marcas de ríos en su superficie (los famosos canales de Marte), lo que nos hace pensar que en alguna época anterior pudo parecerse a la Tierra. Al estar más lejos del Sol, su temperatura es menor, y al carecer de efecto invernadero, ningún factor puede aumentar su temperatura.

Polvo atmosférico y sus consecuencias

Gracias a las emisiones de los volcanes, el impacto de meteoritos, los incendios, la contaminación del aire o una explosión nuclear, se inyectan en la atmósfera enormes cantidades de polvo y partículas, que permanecerán en suspensión durante años.

Como consecuencia, la luz del Sol no puede atravesar la capa de polvo atmosférico y se refleja hacia el espacio. Al incidir una menor cantidad de radiación solar, se origina un enfriamiento del planeta, por lo que disminuye su temperatura, que, en el caso de ser cercana a cero, detendría la fotosíntesis y provocaría un colapso de las cadenas alimentarias y, por tanto, de la vida.

Figura 1.8



Archivo Editorial.

Actividad de análisis



1. ¿Cuál es la consecuencia del efecto albedo sobre la Tierra?
2. ¿Cuál es la consecuencia del efecto invernadero sobre la Tierra?
3. ¿Cuáles serían las consecuencias de una ruptura del equilibrio entre el efecto invernadero y el efecto albedo?
4. Los glaciares de la Tierra han disminuido muy deprisa debido al incremento del efecto invernadero. De seguir así, ¿qué sucedería con el efecto albedo y el equilibrio del clima terrestre?

¿Cómo vas? actividad

¿Qué sucede con el efecto invernadero si aumenta el polvo atmosférico?

Tema 2: Impacto ambiental

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer la responsabilidad humana en los fenómenos ambientales.

CONCEPTOS CLAVE

- Impacto ambiental
- Cambio climático
- Agujero de la capa de ozono
- Lluvia ácida
- Smog
- Huella ecológica

Hasta ahora, no hemos considerado la acción del hombre sobre el medioambiente que le rodea y las posibles consecuencias de su interacción con los subsistemas que forman parte de la máquina climática.

Como sabes de los cursos de Historia y Ciencias Sociales, a lo largo de la historia de la humanidad, el ser humano ha pasado de sobrevivir con lo que el entorno le ofrecía a **sobreexplotar** los recursos naturales y a **originar graves impactos** sobre el medio.

Son múltiples las causas que nos llevan a visualizar una crisis ambiental. Por mencionar algunas:

- El crecimiento desmesurado de la población y la concentración de la misma en las grandes ciudades.
- El progresivo agotamiento de los recursos.
- La acumulación de residuos, que conduce a graves problemas de contaminación.

Una solución posible para todos los problemas citados pasa por la adopción de unos modos de vida más sostenibles con el medioambiente. Pero ¿qué es el impacto ambiental?, ¿cómo se clasifica?, ¿cuál es su acción sobre la máquina climática?

Se entiende por impacto ambiental cualquier modificación, tanto en la composición como en las condiciones del entorno introducida por la acción humana (**figura 1.9**), por la cual se transforma su estado natural y resulta dañada, por lo general, su calidad inicial.



Figura 1.9
Observa la siguiente figura y responde: ¿cuál crees tú que fue el impacto en la biodiversidad al construirse esta comunidad humana?

Las causas más frecuentes de los impactos ambientales son:

- **Cambios en los usos del suelo:** agricultura, ganadería, industria, deforestación, urbanización.
- **Contaminación:** emisión de sustancias a la atmósfera, vertidos a las aguas, residuos al suelo, ruidos, cambios térmicos, radiaciones.
- **Cambios en la biodiversidad:** introducción de especies foráneas (propias de otros lugares).
- **Sobreexplotación:** sobrepastoreo, extracciones masivas de recursos naturales, caza y pesca abusivas.
- **Abandono de actividades humanas:** al emigrar a la ciudad, los campesinos abandonan sus tierras que, por falta de cuidado, se deterioran por erosión, también se altera un territorio cuando se abandona la explotación de una mina o bosque sin llevar a cabo un proceso de rehabilitación posterior.

¿cómo vas? actividad

¿Qué relación existe entre la contaminación atmosférica y el efecto invernadero?

Compara tu respuesta con el ¿cómo vas? de la página 283 y explica, ¿qué factores afectan la al efecto invernadero?

Clasificación de los impactos ambientales

En función del sistema que se ve afectado por ellos, los impactos ambientales más frecuentes están representados en el esquema siguiente (**figura 1.10**):

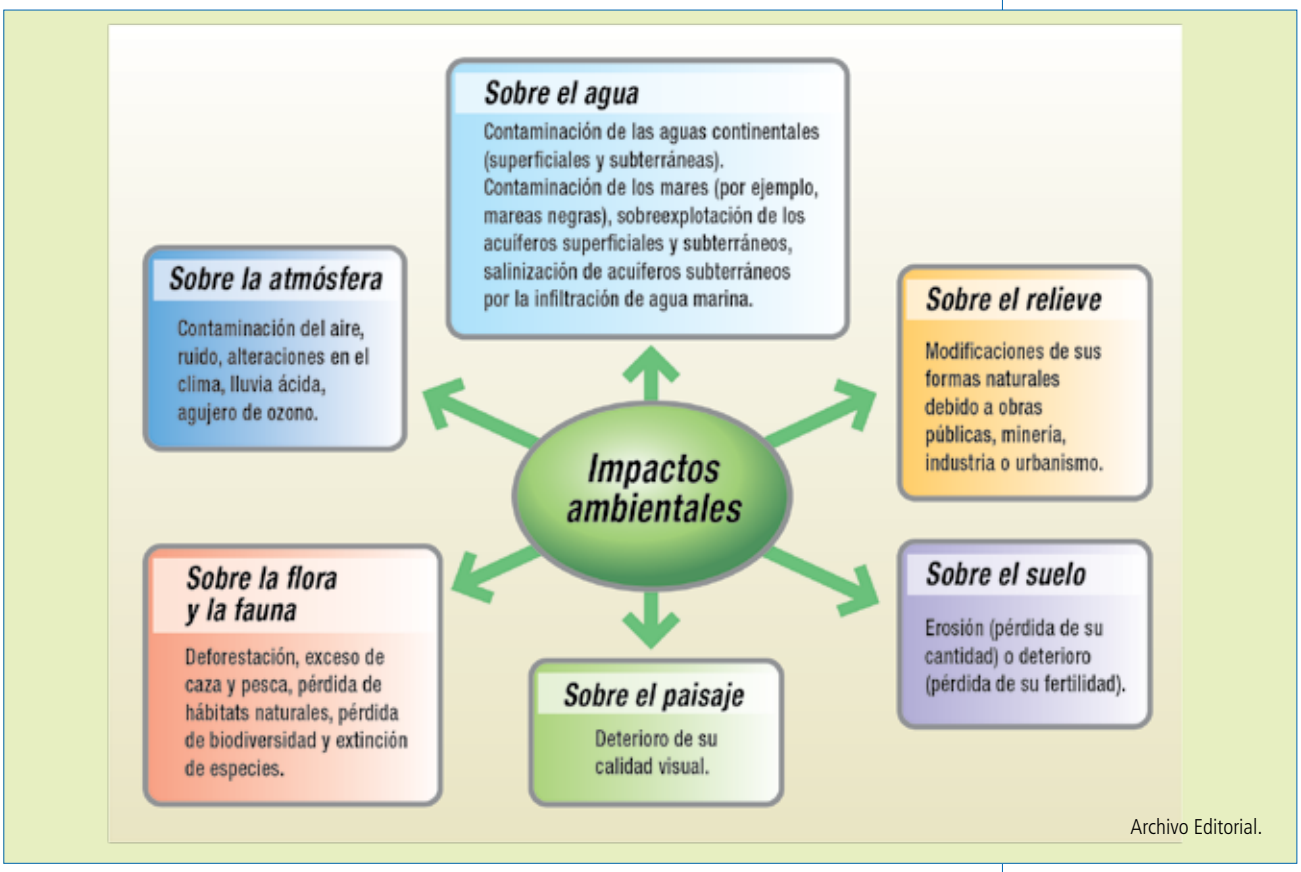


Figura 1.10

Mientras que, según su extensión territorial, los impactos ambientales suelen clasificarse en:

- **Locales:** son específicos y afectan a un área del territorio muy delimitada: contaminación del aire en las grandes ciudades, vertido de aguas contaminadas que afecta solo a una zona concreta del curso de un río, construcción de una carretera en una reserva natural.
- **Regionales:** se extienden por amplias regiones y pueden afectar a varios países: contaminación grave de las aguas de un río, las mareas negras, la lluvia ácida, etcétera.
- **Globales:** se extienden por vastas áreas geográficas o pueden llegar a afectar a la totalidad del planeta, por lo que constituyen puntos prioritarios en los debates internacionales sobre política ambiental. Entre los impactos ambientales globales se encuentran la pérdida de la biodiversidad, la disminución de la capa de ozono, el aumento del efecto invernadero, el cambio climático y la escasez de agua como recurso (estrés hídrico).

¿Cómo vas? actividad

¿Cuál es la relación entre el aumento del efecto invernadero y la dinámica atmosférica?
¿Cuál es la diferencia entre un impacto global y otro local?

La huella ecológica

Con el objetivo de representar gráficamente el impacto de las actividades económicas e industriales, algunos científicos han elaborado el indicador ambiental, denominado huella ecológica, que pone en relación la población con el territorio que ocupa, y se define como "la superficie de tierra productiva que se necesita para sostener la población de un territorio concreto en función de su nivel de vida y de consumo".

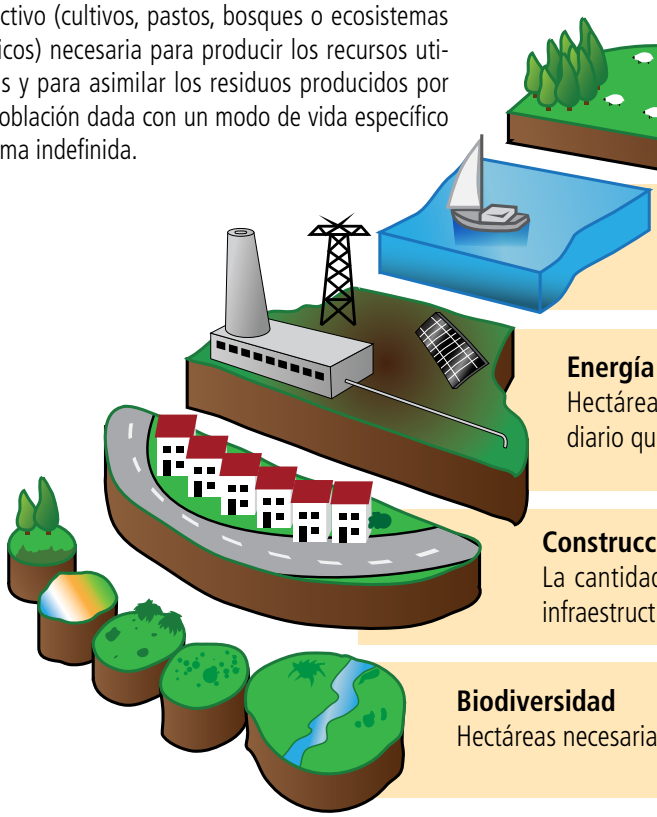
Por otra parte, la huella ecológica es una forma sencilla y comprensible de evaluar si nuestro actual consumo de recursos es o no es sostenible.

La necesidad de construcción de este indicador se debe a que "la localización ecológica de los asentamientos humanos ya no coincide con su localización geográfica". En otras palabras, los asentamientos humanos no afectan únicamente el área donde se encuentran construidos. En las estimaciones de la huella ecológica interviene el consumo de alimentos, materiales y energía por parte de la población, en función de la superficie de tierras biológicamente productivas necesarias para obtener estos recursos o, en el caso de la energía, para absorber las emisiones de anhídrido carbónico, efectuándose la medida en "unidades de superficie", equivalentes a una hectárea de productividad media mundial. De este modo, la huella ecológica se puede calcular de forma individual para un país o para todos los habitantes de la Tierra.

El objetivo de este indicador es reflejar las diferencias en la demanda y consumo de recursos naturales, tanto en términos absolutos como per cápita, entre áreas con diferentes niveles de desarrollo (**figura 1.11**).

Figura 1.11

Representación de un área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida.



Bioproductividad de la Tierra
Superficie necesaria para pastos que alimentan al ganado.

Bioproductividad del mar
Superficie marina necesaria para producir el pescado.

Energía de la Tierra
Hectáreas de bosque necesarias para asumir el consumo diario que provoca nuestro consumo energético.

Construcciones de la Tierra
La cantidad de hectáreas utilizadas para urbanizar, generar infraestructuras y centros de trabajo.

Biodiversidad
Hectáreas necesarias para proporcionar el alimento vegetal necesario.

El informe realizado por las Naciones Unidas estima el consumo mundial en 2,85 unidades de superficie por persona, superior en un 30 % a la disponibilidad ecológica (2,18 unidades), si bien pone de manifiesto unas claras diferencias regionales, ya que mientras los países de la OCDE tienen huella ecológica total de 7,22 unidades, más del doble que su capacidad biológica, la del resto de los países era de 1,81 unidades, prácticamente igual a su capacidad (1,82).

En la **figura 1.12** podemos observar la huella ecológica entre los años 1961 y 1998. En ella vemos que ya sobrepasó el 100 % de la capacidad ecológica de la Tierra para sustentarnos.

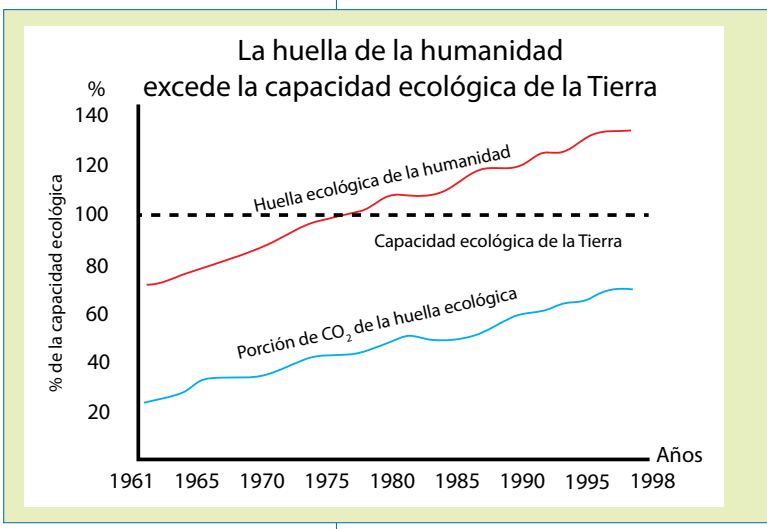
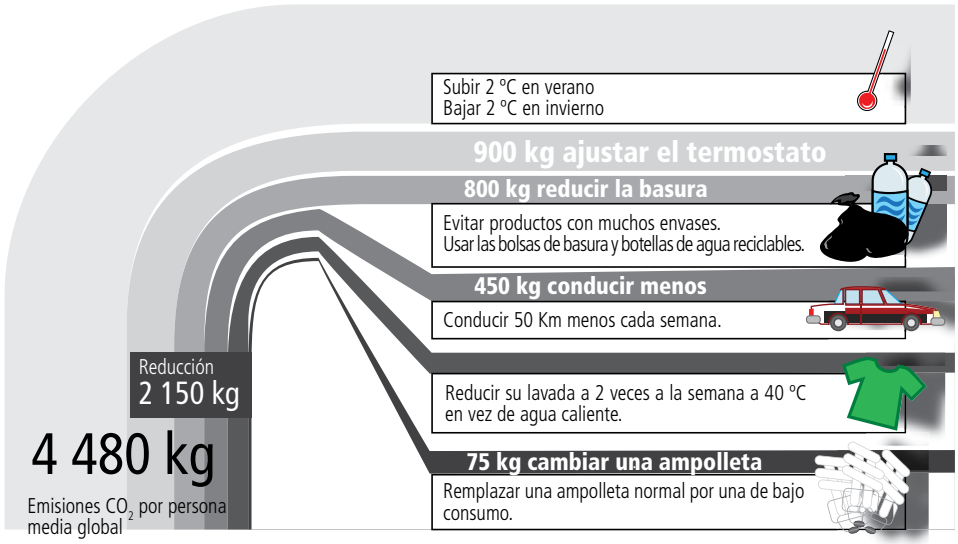


Figura 1.12

Por otra parte, también podemos usar otro indicador, llamado la huella del carbono. Pero ¿qué es la huella del carbono?

Es la medición de los gases de efecto invernadero, (GEI), emitidos directa o indirectamente por un individuo o una empresa. Los GEI son los principales causantes del alza de temperatura que está experimentando el planeta, ya que generan cambios climáticos que amenazan nuestra supervivencia. A través de la medición de la huella de carbono, las personas y las empresas buscan cuantificar los GEI que emiten a la atmósfera, con el fin de tomar conciencia del impacto que producen sus actividades en el medio ambiente y adoptar medidas tendientes a disminuir estas emisiones. En la **figura 1.13** se indican algunos sencillos pasos que puedes realizar para disminuir la huella ecológica de CO_2 del planeta.



Archivo Editorial.

Figura 1.13
Cinco sencillos pasos para reducir nuestra huella de CO_2 en el planeta

¿CÓMO VAS?

actividad

¿Cuál es la diferencia entre la huella ecológica y la huella del carbono?

Contaminación atmosférica y la responsabilidad humana

Cuando caminas en una ciudad, probablemente notarás que existe tráfico, humos, ruidos, etc. Estas son consecuencias de la civilización actual que nos rodea y con las que debemos convivir de forma permanente.

Figura 1.14



El empleo de los combustibles fósiles, carbón y petróleo, **figura 1.14**, como base energética en nuestro modelo de desarrollo, contribuye al incremento de la contaminación atmosférica, la que es consecuencia de una contaminación química ocasionada por la presencia en el aire de gases, partículas y de una contaminación energética debido a formas de energía como radiaciones electromagnéticas y ondas mecánicas, generadoras de vibraciones y ruidos.

Pero ¿qué es un contaminante atmosférico? ¿Qué sucede con los mecanismos físicos en la atmósfera y la máquina climática estudiados en los párrafos anteriores cuando un contaminante atmosférico está presente?

Se consideran contaminantes atmosféricos a las sustancias y formas de energía que en concentraciones determinadas pueden causar molestias, daños o riesgos a personas o seres vivos, o bien que su origen deriva de alteraciones en el funcionamiento de ecosistemas, en los bienes materiales y en el clima. Entre las fuentes de contaminación se encuentran las naturales y las artificiales o antropogénicas.



Figura 1.15
Erupción del volcán Puyehue, X Región, el año 2011. ¿Por qué causó problemas en la ciudad turística argentina de Bariloche?

Fuentes de contaminación naturales

Existen actividades que se producen en la biosfera y en la geosfera.

En la biosfera encontramos, por ejemplo, los procesos de respiración de los seres vivos, que aumentan la cantidad de CO_2 en la atmósfera; la descomposición anaerobia de materia orgánica, que produce metano, (CH_4) y los vegetales, que en primavera generan polen y esporas.

En la geosfera encontramos, por ejemplo, las erupciones volcánicas, que aportan compuestos de azufre (SO_2, H_2S) y una gran cantidad de polvo que puede diseminarse por la atmósfera como consecuencia de la acción del viento. Las erupciones volcánicas, al igual que las nubes, ejercen un doble efecto sobre el clima, dependiendo de los productos emitidos y de la altura alcanzada por estos. Por ejemplo, si se inyecta en la atmósfera una gran cantidad de polvo y abundante SO_2, se produce un descenso de la temperatura. Además, y como ya hemos estudiado, el polvo atmosférico impide la entrada de la radiación solar.

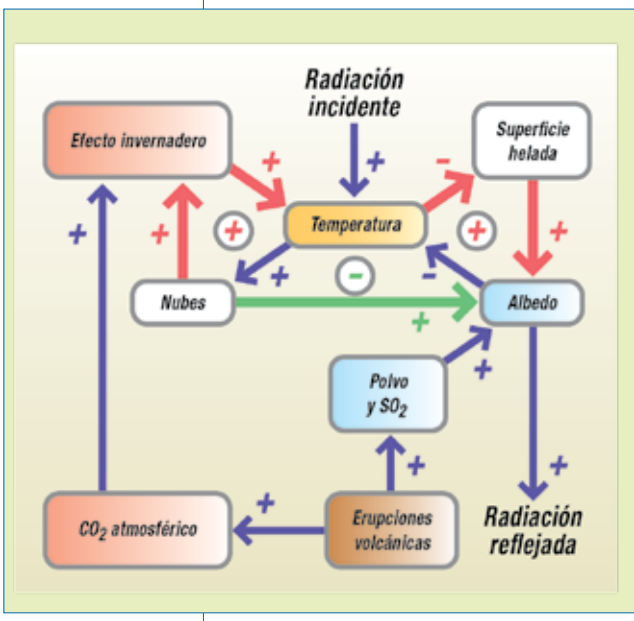
Lo mismo sucede con el SO_2, ya que reacciona con el agua atmosférica y da lugar a espesas brumas constituidas por H_2SO_4, que actúa como pantalla solar, tal como se muestra en la **figura 1.15**.

Si las emisiones de gas y cenizas alcanzan una gran altitud, provocarán un marcado descenso en la temperatura y tardarán más tiempo en desaparecer durante las precipitaciones, que constituyen un mecanismo eficaz de autolimpieza atmosférica. Por otra parte, como consecuencia de las emisiones de CO_2, se produce un incremento de la temperatura gracias al aumento del efecto invernadero (**figura 1.16**).

Este efecto es mucho más duradero, pero no será evidente hasta que no desaparezca el efecto anterior (descenso en la temperatura).

Por ejemplo, tras la gran erupción del Krakatoa (1883), que se muestra en la **figura 1.17**, se comprobó que el clima terrestre pasó por un proceso de enfriamiento de entre 0,5^0 C y 0,8^0 C, que se mantuvo durante 7 años, tras los cuales se registró un aumento de las temperaturas de 0,4^0 C, que perduró hasta 1940. Así, pues, podemos concluir que los volcanes originan un descenso de las temperaturas a corto plazo y un ascenso a largo plazo.

Otros procesos de la naturaleza que son fuentes de emisión de partículas sólidas y de gases (óxidos de carbono, CO y CO_2) incluyen a los incendios forestales de origen natural y a las descargas eléctricas en las tormentas, que ocasionan la formación de óxidos de nitrógeno al oxidar el nitrógeno atmosférico.



Archivo Editorial.

Figura 1.16

Fuentes de contaminación artificiales o antropogénicas

Son consecuencias de la presencia y actividades del hombre. La mayor parte de la contaminación de este tipo procede de la utilización de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), que originan millones de toneladas de partículas sólidas por año. El problema de la contaminación atmosférica se asocia principalmente a esta causa.

Entre las actividades humanas generadoras de contaminación podemos destacar las siguientes: instalación de combustible industrial, eliminación de residuos sólidos, almacenamiento de los productos petrolíferos, procesos químicos, industrias agroalimentarias, metalurgia, extracción mineral, refinerías, tráfico, calefacción, entre otras.

En la siguiente tabla se resumen las cantidades de contaminación natural y de origen humano:

Contaminante	Partícula %	SO_x %	CO_x %	NO_x %	Hidrocarburos %
Origen natural	88,7	57,1	90,6	88,7	84,5
Origen humano	11,3	42,9	9,4	11,3	15,5



Figura 1.17
Erupción del Krakatoa (1883)

Las emisiones de origen natural son más elevadas a nivel global, mientras que las de origen humano lo son a nivel local o regional. La contaminación antropogénica es más importante, por localizarse en puntos geográficos concretos, como zonas urbanas o industriales, donde se incrementa la concentración de los contaminantes que pueden reaccionar entre sí formando otros nuevos, y donde la existencia de sumideros como la vegetación o el suelo son menores.

Pero ¿existen resguardos hacia las personas frente al deterioro del medioambiente?

¿CÓMO VAS? actividad

¿Qué sucede con el albedo y con el efecto invernadero luego de una erupción volcánica?

Declaración Universal de Derechos Humanos

Artículo 25

Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios; tiene asimismo derecho a los seguros en caso de desempleo, enfermedad, invalidez, viudez, vejez y otros casos de pérdida de sus medios de subsistencia por circunstancias independientes de su voluntad.

Artículo 29

Toda persona tiene deberes respecto a la comunidad, puesto que sólo en ella puede desarrollar libre y plenamente su personalidad. En el ejercicio de sus derechos y en el disfrute de sus libertades, toda persona estará solamente sujeta a las limitaciones establecidas por la ley con el único fin de asegurar el reconocimiento y el respeto de los derechos y libertades de los demás, y de satisfacer las justas exigencias de la moral, del orden público y del bienestar general en una sociedad democrática.

Efectos globales de la contaminación atmosférica

Consideramos efectos globales a aquellos que abarcan la totalidad del planeta y que solo pueden mitigarse si se actúa sobre su propio origen. Se incluyen entre estos efectos los siguientes:



Figura 1.18
Efecto climático en el borde costero. Compara ambas fotografías y responde: ¿cuál es la causa de un aumento en el nivel del mar?

Efecto 1: Cambio climático

El **cambio climático** es producido por la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero. Este efecto, como lo estudiaste en los párrafos anteriores, es el responsable de las agradables temperaturas (15 °C de media) que se registran en la mayor parte de la superficie terrestre.

No obstante, el aumento del efecto invernadero supone hoy en día un problema ambiental, como consecuencia del **incremento de las emisiones de CO_2** (que tiene la capacidad de absorber la radiación infrarroja procedente de la superficie terrestre) a la atmósfera, debido principalmente a la utilización masiva de los combustibles fósiles. Incremento que **no** es contrarrestado por la captación de CO_2 a través de la fotosíntesis de las plantas (a causa de la deforestación), ni por su transformación y almacenamiento como carbonatos en el medio marino.

Este incremento del CO_2 puede conducir a un aumento de la temperatura global del planeta entre 2 °C y 3,5 °C, sobre todo si no se reducen los niveles de emisión. Sin embargo, las diferencias de temperatura no serían iguales en toda la Tierra. El calentamiento sería mayor en las latitudes altas, y las áreas continentales se calentarían más rápidamente que el mar. Habría un aumento global de las precipitaciones en todo el planeta, aunque con una distribución más variada que la temperatura.

La expansión térmica provocaría el deshielo de las zonas heladas, con lo que subiría el nivel del mar. Este hecho produciría inundaciones en las regiones costeras, siendo las más vulnerables las ubicadas en el sur de Europa, África, y el sur y sureste de Asia, como se observa en la **figura 1.18**. Esta subida de nivel anegaría las zonas costeras y otros hábitats de humedales, y supondría modificaciones en los procesos de erosión y sedimentación en esta zona. También habría cambios en las corrientes oceánicas, en la salinidad y en la temperatura de las aguas, lo que constituiría una seria amenaza para la biodiversidad marina.

Una solución a este problema es reducir el consumo de los combustibles fósiles. En general, cuanto mayor es la emisión de gases de efecto invernadero de un país, mayor es su grado de desarrollo económico y social.

¿Cómo vas? actividad

¿Qué consecuencia tendría para nuestro país el aumento en el nivel del mar? ¿Se modificaría el paisaje costero?

Calentamiento global

El calentamiento global es el aumento de la temperatura media de los océanos y el aire cerca de la superficie de la Tierra que se produce desde mediados del siglo XX y que continuará en el siglo XXI.

Según el cuarto Informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (2007), la temperatura de la superficie terrestre aumentó 0,74 ± 0,18° C durante el siglo XX.

En la **figura 1.19** se muestra la media global del cambio de temperatura en la tierra y el mar entre 1880-2010 respecto la media de 1951-1980. La línea negra es la media anual y la línea roja es la media móvil de 5 años. Las barras verdes muestran estimaciones de la incertidumbre.

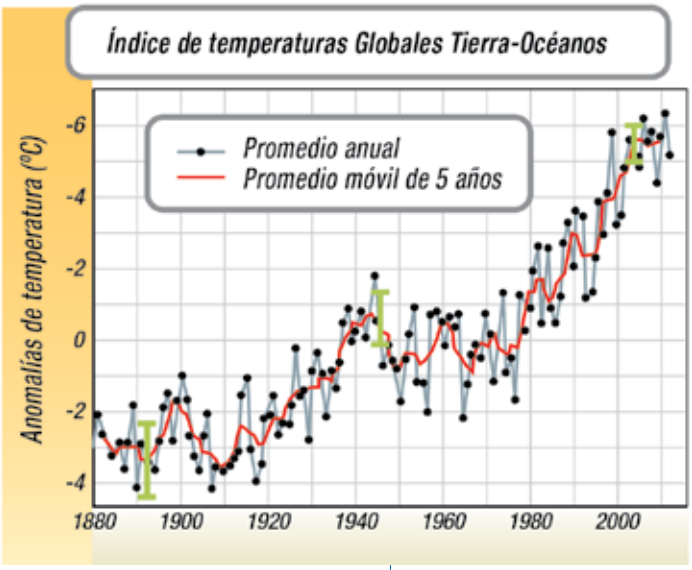
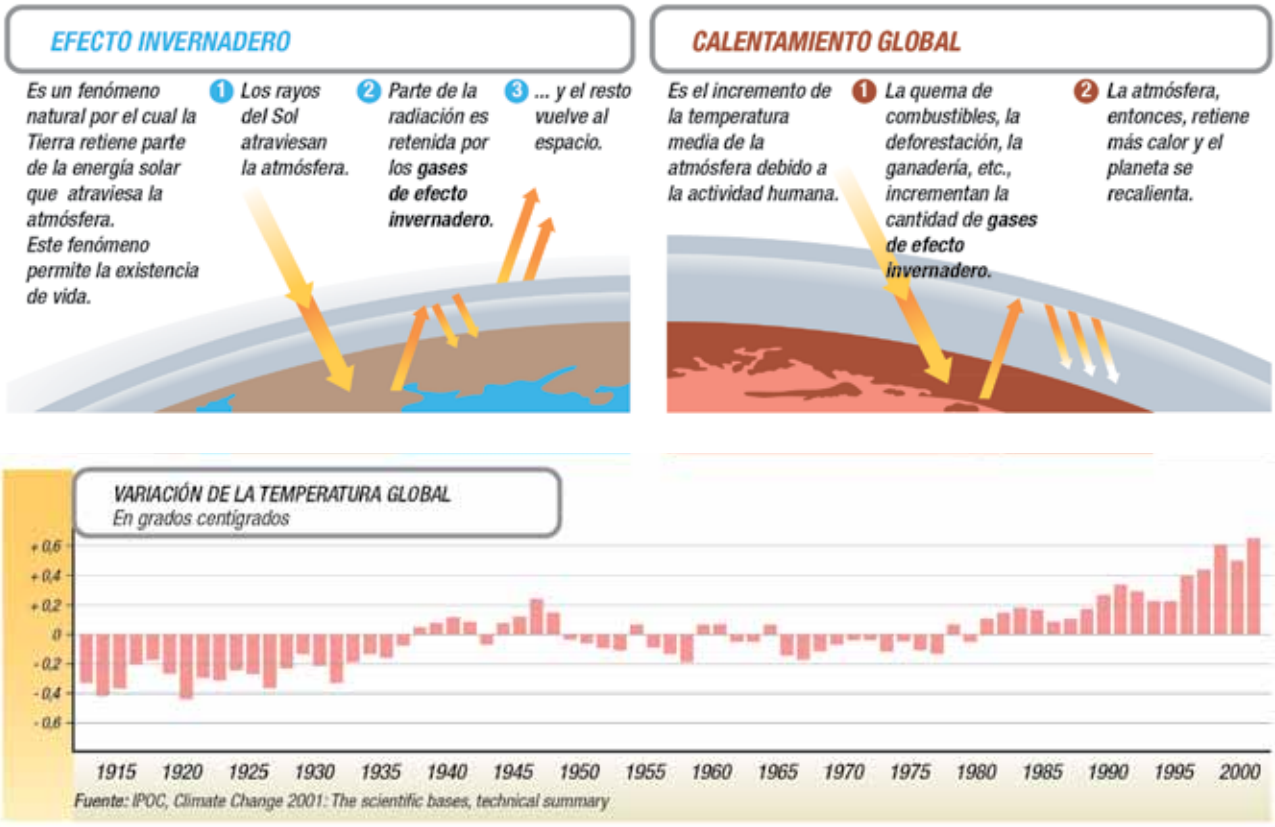


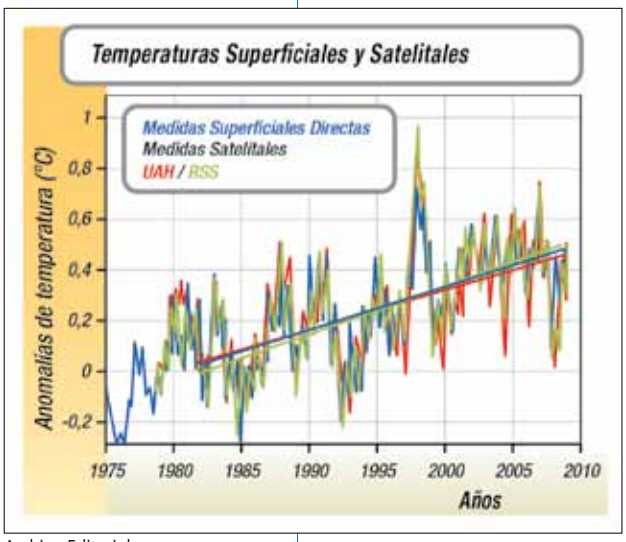
Figura 1.19
Sugerencia: www.tiempo.com/ram/19524/temperatura-superficial-global-para-diciembre-de-2011-anomalia

La mayor parte del alza de la temperatura observada desde mediados del siglo XX ha sido causada por las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero como resultado de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación. (**figura 1.20**)

También se plantea el oscurecimiento global, como resultado de mayores concentraciones de partículas atmosféricas en suspensión que bloquean parte de la radiación solar, antes de que alcance la superficie terrestre, parcialmente enmascarados por los efectos del calentamiento inducido por los gases de efecto invernadero.

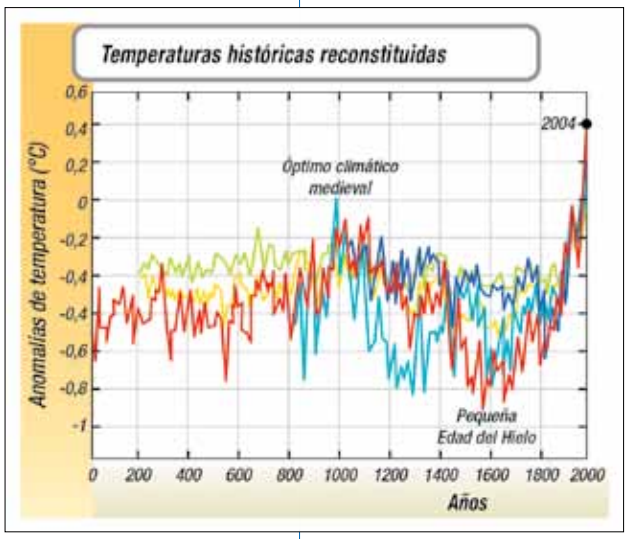
Figura 1.20





Archivo Editorial.

▲ **Figura 1.21**



▲ **Figura 1.22**

Los modelos climáticos señalan que es posible que la temperatura de la superficie terrestre aumenten entre 1,1 °C y 6,4 °C entre 1990 y 2100. Aunque la mayoría de los estudios tienen su foco en el período hasta el año 2100, se espera que el calentamiento y el aumento del nivel del mar sigan durante más de un milenio, incluso si las concentraciones de gases de efecto invernadero se estabilizan. Un incremento de la temperatura global a su vez puede causar otros cambios, incluyendo un aumento del nivel del mar y variaciones en los patrones de precipitaciones que provocan inundaciones y sequías.

El sistema de medición en base a satélites tiene la ventaja de comprender la globalidad de la superficie terrestre. Los inconvenientes de este sistema son que la serie de medidas solo comprende algo menos de treinta años, y que las modificaciones de la órbita de los satélites pueden dar resultados que no son del todo fiables.

Los satélites no miden la temperatura como tal, registran radiancias en diferentes longitudes de onda, que se usan para obtener inferencias indirectas de la temperatura, y los perfiles de temperatura resultante dependen de los detalles de los métodos que se utilizan para obtener las temperaturas de las radiancias medidas. Los diferentes grupos que han analizado los datos de satélite para calcular la temperatura global han obtenido valores un poco diferentes. Entre estos grupos están Teledetección Sistemas (RSS) y la Universidad de Alabama en Huntsville (UAH). La **figura 1.21** muestra un comparativo entre la medición de satélite y la de termómetros de superficie (superficie = azul; satélite: rojo dato de la UAH y de color verde dato de RSS), de la temperatura media mundial desde 1979 hasta 2009.

Por otra parte, la **figura 1.22** ilustra la temperatura media de los últimos 2 000 años, según distintas reconstrucciones de varios autores.

Cada gráfica de un color es la reconstrucción de un autor distinto. Se aprecia un primer máximo parcial en el período cálido medieval, luego un mínimo en la pequeña Edad de Hielo y, por último, un **máximo absoluto** en el año 2004.

Finalmente, la **figura 1.23** muestra la anomalía de temperaturas medias en el período 1999–2008.

Consecuencias del calentamiento global

Hasta ahora, se espera que el calentamiento sea más intenso en el Ártico, y se asocia al retroceso de los glaciares, el **permafrost** y el hielo marino.

Otros posibles efectos incluyen cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, la extinción de especies, las variaciones en la producción agrícola, la acidificación del océano, y el oscurecimiento global, que es también el resultado de la mayor concentración de dióxido de carbono en la atmósfera contemporánea, entre otros.

Retroceso de los glaciares

Por ejemplo, el retroceso de los glaciares de Chile, concentrados principalmente en dos grandes masas de hielo en la Patagonia, es un efecto patente del calentamiento global y una amenaza para estas importantes reservas de agua dulce ubicadas en el extremo sur del continente americano.

Las especies y el cambio de hábitats

Un estudio elaborado por un equipo internacional calcula por primera vez de forma global la velocidad del cambio climático, un factor que determina el rango de distribución de las especies. El trabajo, publicado en la revista Science, indica que los regímenes térmicos, marcados por el modo en que se distribuyen las temperaturas en una determinada zona, se han desplazado hacia latitudes más altas a una velocidad media de 27 kilómetros por década. "Este análisis fija la velocidad a la que el cambio climático viene marcando el paso de las variaciones en la distribución de las especies", y se confirma también que la señal térmica que marca el inicio de la primavera se está adelantando, tanto en los continentes como en los océanos, en unos dos días cada diez años.

Archivo Editorial.

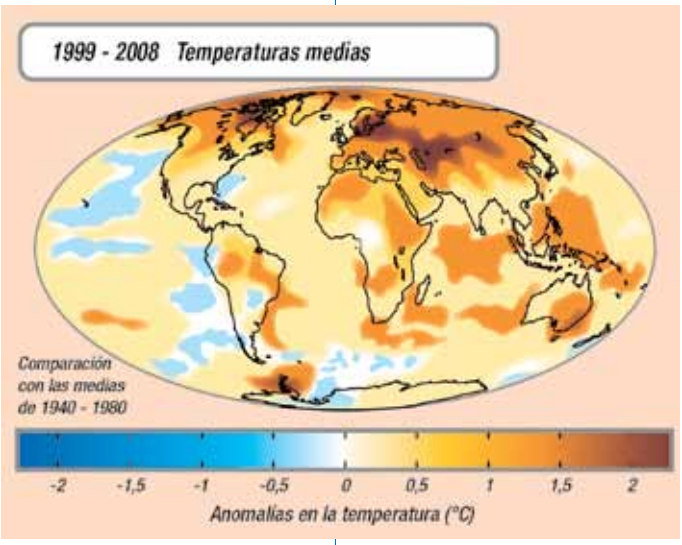


Figura 1.23

Cambios en la distribución

Los científicos han medido los cambios térmicos a partir del análisis de las temperaturas superficiales globales de los últimos 50 años. El artículo equipara la gravedad del impacto del calentamiento global sobre la biodiversidad marina y terrestre en latitudes similares, especialmente en el ecuador. A pesar de que los océanos han experimentado a lo largo de las últimas décadas un menor calentamiento, las plantas y los animales marinos necesitan moverse igual de rápido que en tierra para adaptarse al ecosistema que más les favorece.

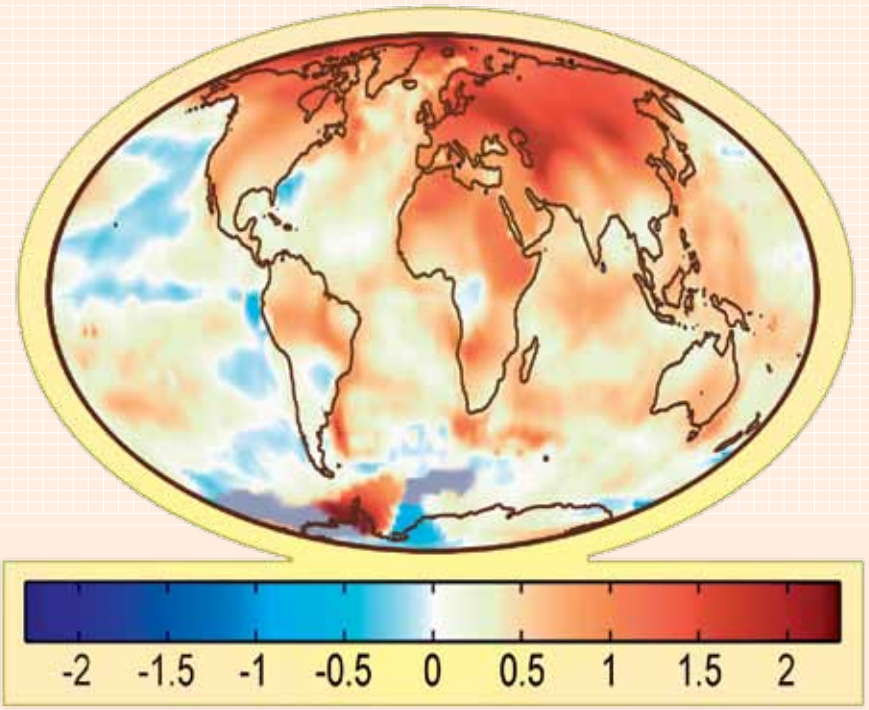
Los gases de efecto invernadero han calentado los ecosistemas terrestres aproximadamente 1 °C desde 1960. Este calentamiento se ha producido tres veces más deprisa en tierra que en el océano, proceso que ha obligado a las poblaciones a adaptarse o cambiar su distribución continuamente para mantenerse en el mismo régimen térmico. Además de desplazarse, las especies emplean otras técnicas, como alterar su fenología, es decir, el momento de la reproducción o la puesta de huevos. Hasta ahora, la mayor evidencia de estos cambios se tenía de los ecosistemas terrestres, bien estudiados.

Los científicos han trazado los mapas de todas estas transformaciones y han observado que, en el océano, las áreas donde las especies están más afectadas por estos impactos son también las más ricas en biodiversidad. El mayor impacto se producirá en torno al ecuador, donde existen puntos calientes de biodiversidad marina y las amenazas serán altas, principalmente porque la velocidad del cambio climático en estas zonas supera los 200 kilómetros por década.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) advirtió en agosto de 2007 que el calentamiento global amenaza la seguridad alimentaria, ya que acelera la desertificación. Según el organismo de la ONU, el sector agrícola pagará caro el impacto del cambio climático, a menos que se desarrollen e implementen sistemas innovadores de gestión de la tierra para contrarrestar la degradación y desertificación de los suelos. La OMM señaló que las proyecciones indican que si continúa la tendencia actual, para el año 2020 sería difícil producir alimentos para toda la población del planeta. Al estudiar estos factores, se podrán implementar nuevos sistemas de gestión que permitan reducir no solo los efectos del calentamiento global en la producción de alimentos, sino también los de los desastres naturales que este produce cada vez más frecuentemente.

Actividad individual calentamiento global

1. Observa y analiza el esquema y explica la relación entre el efecto invernadero y el calentamiento global.
2. Señala las principales consecuencias del cambio climático.



Efecto 2: Agujero en la capa de ozono

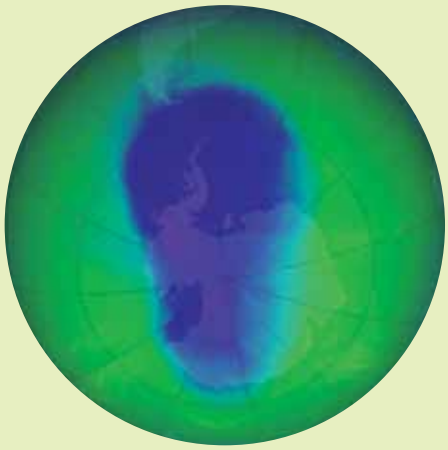
El ozono es un gas de color azul pálido, irritante y picante, formado por tres átomos de oxígeno.

En la estratosfera se forma por la acción de la luz ultravioleta sobre la molécula de oxígeno, mientras que en la troposfera se origina a partir de reacciones fotoquímicas.

Si el ozono en la troposfera es un contaminante muy activo y peligroso, en la estratosfera resulta ser imprescindible para la existencia de la vida en la Tierra.

La mayor parte del ozono existente en la atmósfera se forma y se encuentra en la estratosfera, a una altura de entre 12 y 40 km sobre la superficie terrestre.

Este es el denominado ozono estratosférico, que se crea cuando la radiación ultravioleta disocia las moléculas de oxígeno (O_2) a oxígeno atómico (O). El oxígeno atómico se combina rápidamente con las moléculas de oxígeno molecular para formar ozono (O_3).



Física en línea: Visita la página web http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/46000/46704/ozone_omi_200911.mov donde se encuentra animada la siguiente imagen.

▲ **Figura 1.24**
¿Por qué el agujero en la capa de ozono se encuentra sobre la Antártica?

Entre los productos químicos que dañan la capa de ozono estratosférico destacan los clorofluorocarbonos (CFC), los agentes de extinción de incendios (halones o CFBr), los hidroclorofluorocarbonos (HFC), el bromuro de metilo, el metilocloroformo (MCF) y el tetracloruro de carbono. Estos productos se encuentran en los frigoríficos, los aerosoles, las espumas plásticas y los sistemas de prevención de incendios.

Los CFC y los halones son compuestos muy estables y pueden tener una vida media mayor de 100 años; cuando son liberados a la atmósfera, no son degradados y alcanzan la estratosfera. Al ser irradiados por la luz ultravioleta, estos compuestos se descomponen rápidamente para liberar átomos de cloro (o bromo), los que comienzan una cadena de reacciones químicas que conducen a la destrucción del ozono estratosférico. Se estima que un átomo de cloro, antes de ser neutralizado, puede destruir 100 000 moléculas de ozono en la estratosfera.

En los últimos años se han realizado numerosas mediciones del ozono estratosférico, constatándose una disminución persistente de los niveles medidos desde el año 1979, sobre todo en la Antártida. La magnitud del agujero de la capa de ozono es prácticamente del tamaño del continente helado.

Pero ¿por qué se encuentra en la Antártica? (**Figura 1.24**). El agujero de ozono del polo sur es mayor que el del polo norte, ya que la Antártica es un continente, lo que significa que, durante el intenso frío del invierno, se asentará sobre ella un anticiclón continental. El aire que cubre este anticiclón será especialmente frío y la troposfera será más baja que en verano, formándose nubes de hielo a altitudes superiores, es decir, en la estratosfera. Estas nubes reciben el nombre de **nubes estratosféricas polares (NEP)** y se forman a muy bajas temperaturas (inferiores a –83 °C), condiciones que solo se dan en la Antártica (**Figura 1.25**).



▲ **Figura 1.25**
Iceberg en la Antártica

¿CÓMO VAS? actividad

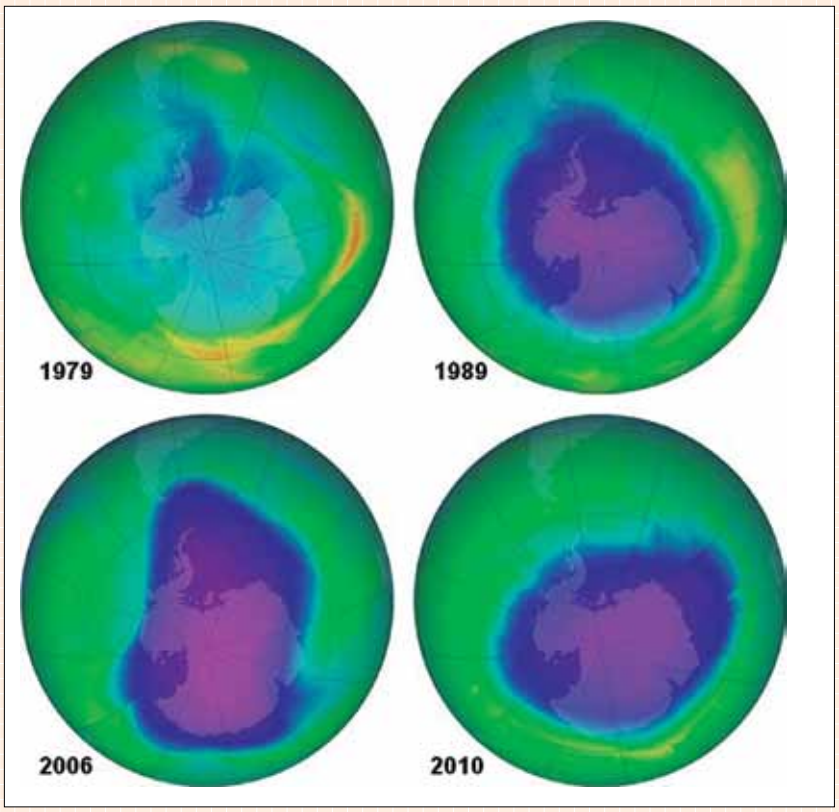
¿Cuál es la importancia del ozono?

Como ya sabes, para que se formen nubes se necesitan núcleos de condensación, como los NO_2. Estos reaccionan con el agua formando HNO_3, que cae con la nieve, con lo que la atmósfera queda desnitrificada. Al no existir NO_2 en la atmósfera, la reacción química entre el NO_2 y el Cl no puede llevarse a cabo y, durante la primavera austral (en octubre), el Cl destruye el ozono, sin que nada se lo impida. La falta de ozono es realimentada positivamente de la siguiente manera: al no haber tanto O_3, no puede haber tanta absorción de radiación UV y, como consecuencia, tampoco se pueden dar las reacciones de formación y destrucción del ozono, con lo que la estratosfera estará más fría y, por consiguiente, se formarán más NEP.

Otro factor que contribuye al incremento del agujero de ozono en el polo sur es que la permanencia del vórtice polar durante gran parte del año impide la afluencia del aire rico en ozono procedente de las zonas ecuatoriales. Dicho agujero afecta también a las áreas geográficas adyacentes, pues al dilatarse dicho vórtice, envía bolsas de aire pobres en ozono hacia la parte sur del continente americano, Australia y Nueva Zelandia.

Actividad de aplicación

Observa las imágenes del agujero de la capa de ozono sobre el continente antártico y responde a las preguntas:



1. ¿Qué es el agujero de ozono?
2. ¿Qué repercusiones o efectos genera?
3. Indica el papel de los CFC en la capa de ozono, así como su origen. ¿Qué otros compuestos pueden dañar la capa de ozono? Explica su acción.
4. Explica a qué se debe el hecho de que el agujero de ozono sea mayor en el polo sur que en el polo norte.
5. ¿Por qué el agujero de la capa de ozono ha cambiado de tamaño a medida que transcurre el tiempo?

Efectos locales de la contaminación atmosférica

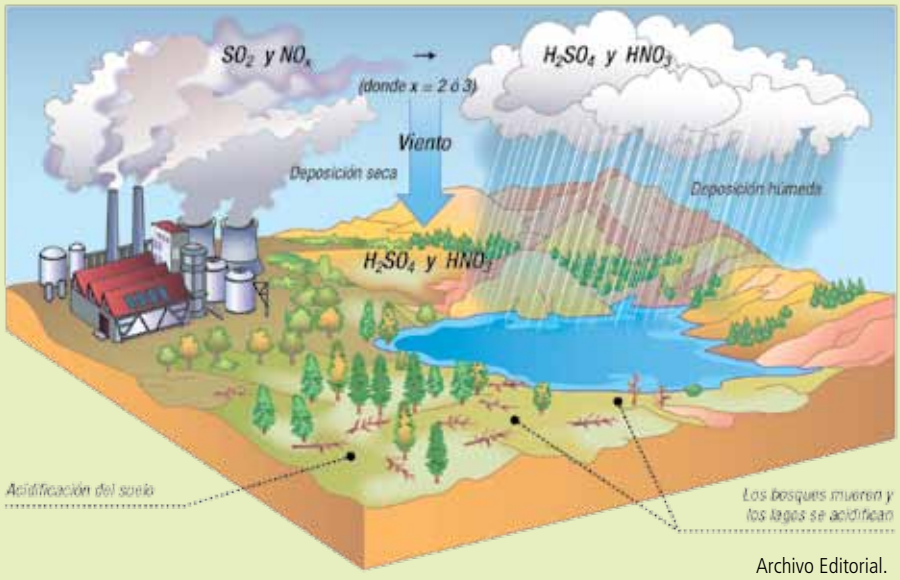
A continuación explicaremos la lluvia ácida, cuyo radio de influencia es regional, y finalmente consideraremos el esmog como un problema local que afecta a ciudades muy contaminadas.

Efecto 3: Lluvia ácida

Se considera lluvia ácida a cualquier precipitación que tenga un pH inferior a 5. La acidez del agua de lluvia puede corroer los metales, desteñir la ropa puesta a tender, enfermar a las personas y dañar gravemente los vegetales.

La lluvia ácida (**figura 1.26**) se forma cuando las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) y óxido de nitrógeno (NO_x) reaccionan en la atmósfera con el agua, el oxígeno y los oxidantes, y forman ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3).

Otras emisiones contienen ácido clorhídrico, amoníaco y los compuestos orgánicos volátiles.



Archivo Editorial.

▲ **Figura 1.26**

Las fuentes naturales de óxido de azufre son las erupciones volcánicas y la descomposición de la materia orgánica. Por su parte, las fuentes naturales de óxido de nitrógeno son la acción bacteriana en el suelo y las reacciones químicas en la atmósfera superior. Sin embargo, las fuentes naturales solo se consideran un porcentaje pequeño de los contaminantes. Las actividades humanas son las responsables del 90 % de las emisiones de azufre y del 95 % de las emisiones de nitrógeno en los países desarrollados.

La lluvia ácida no es una amenaza directa para la salud humana. Sí origina daños importantes sobre los monumentos, a los que causa el "mal de la piedra" y sobre distintos materiales sobre los que tiene un efecto corrosivo. Pero el impacto más grave de la lluvia ácida es sobre los ecosistemas:

- **Sobre la vegetación:** la lluvia hace que disminuya la fotosíntesis de las plantas y, por tanto, quede afectado su desarrollo. Si el proceso continúa, las hojas se vuelven amarillas y se inicia la defoliación, la que provoca la muerte de las plantas.
- **Sobre el suelo:** se cree que la lluvia ácida disuelve los nutrientes y los minerales útiles del suelo, que son arrastrados por el agua de escorrentía.
- **Sobre ríos y lagos:** disminución de peces en los lagos ácidos, generalmente los individuos jóvenes son más sensibles que los adultos; así, con pH 5, la mayoría de los alevines de pez no pueden salir del cascarón.

¿CÓMO VAS? actividad

Si almacenas en un vaso agua de lluvia caída en la ciudad de Santiago, ¿qué pH tendrá?, ¿será lluvia ácida?

minilaboratorio

Ácidos que disuelven rocas

Objetivo

- Describir el efecto de la lluvia ácida.

Materiales

- gotero o cuentagotas.
- trozo de tiza, piedra caliza.
- vinagre.
- ácido clorhídrico.
- lupa.
- ph-metro.

Procedimiento

1. Coloca 10 gotas, 20 gotas y luego 30 gotas de vinagre sobre el trozo de tiza.
2. Coloca 10 gotas, 20 gotas y luego 30 gotas de ácido clorhídrico diluido en agua a otro trozo de tiza.
3. Observa los resultados con la lupa después de cada aplicación.
4. Repite el paso 1, 2 y 3, pero con la piedra caliza.

Análisis

1. Describe el efecto del ácido clorhídrico diluido sobre el trozo de tiza y la piedra caliza.
2. Describe el efecto del vinagre sobre el trozo de tiza y la piedra caliza.

Efecto 4: Smog (nieblas contaminantes)

El smog (del inglés *smoke*, humo, y *fog*, niebla) es un fenómeno de contaminación atmosférica típico de las áreas urbanas y zonas industrializadas, que se caracteriza por la formación de niebla de sustancias nocivas para la salud y el medioambiente.

Existen dos tipos de esmog: el clásico o sulfuroso y el oxidante o fotoquímico.

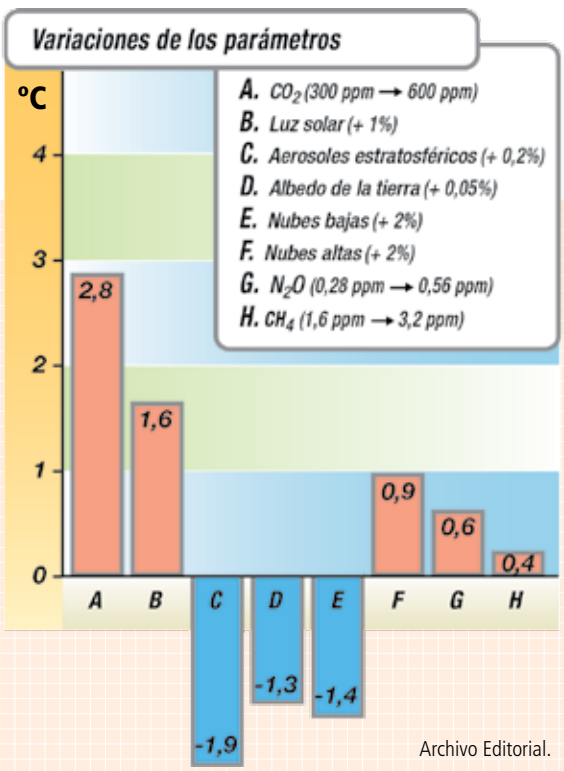
- **El smog sulfuroso:** está formado por una nube de gases provenientes de las emisiones de humos y óxidos de azufre que se generan en la combustión del carbón y otros combustibles con un alto contenido en azufre.
- **El smog fotoquímico:** está formado por una nube de gases contaminantes secundarios (aquellos que se obtienen por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y la atmósfera), cuya aparición se ve favorecida por una reacción de fotooxidación, es decir, que requiere la luz solar.

Actividad de análisis de datos

Efectos del aumento de los gases en la atmósfera

En el gráfico se presentan las variaciones de la temperatura media de la atmósfera en función de las concentraciones de ciertos gases, las que han sido establecidas mediante un modelo climático elaborado por un grupo de expertos, cuyos datos usados pueden ser medidas arbitrarias o reales. Responde.

1. ¿Cuáles son los gases que aumentan el efecto invernadero e incrementan la temperatura del planeta? ¿Y el albedo?
2. Explica cómo afectaría a la temperatura media del planeta el aumento de cada uno de los gases del efecto invernadero.
3. ¿Qué efectos diferentes producen las nubes? ¿Cuál es el resultado de la suma de ambos efectos para el clima terrestre?



Archivo Editorial.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la principal consecuencia de la contaminación atmosférica en la ciudad de Santiago?

Tema 3: Mecanismos físicos presentes en la dinámica de la hidrosfera

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer los mecanismos físicos presentes en fenómenos que afectan a la hidrosfera.

CONCEPTOS CLAVE

- Ciclo del agua
- Regulador térmico

Junto con la atmósfera, la hidrosfera desempeña un determinante papel en el clima terrestre. El 97,3 % de la hidrosfera lo constituyen los océanos (ver **figura 1.27**), el 2,3 % restante está formado mayoritariamente por los ríos, glaciares, aguas subterráneas, y solo una pequeña parte está presente en la atmósfera, en el suelo o formando parte de la materia viva. El agua se mueve en el sistema terrestre, dando lugar al conocido ciclo del agua.

El agua oceánica, debido a su abundancia (ocupa tres cuartas partes de la superficie terrestre), a su gran poder calorífico y a las corrientes que posee, constituye un mecanismo de transporte de calor más eficaz que la atmósfera, por lo que su papel sobre el clima terrestre es de gran importancia. Pero ¿cómo actúa este subsistema en la máquina climática?

La hidrosfera actúa como regulador térmico, porque el agua, gracias a su elevado calor específico, es capaz de absorber y almacenar por más tiempo una gran cantidad de energía calorífica. Así, los océanos se calientan y enfrían más lentamente que los continentes, por lo que, a la misma latitud, los lugares emplazados junto al mar tendrán una menor amplitud térmica (diferencia entre las temperaturas máxima y mínima diarias y estacionales) que los situados en el interior de un continente.

Por ejemplo, debido a la lejanía de los océanos, el interior de los continentes situados en latitudes medias y altas se enfría mucho durante el invierno (por su gran amplitud térmica), lo que da lugar al enfriamiento del aire que los cubre. Así, el aire frío tiende a aplastarse contra el suelo, y origina un anticiclón continental permanente sobre su zona central, lo que propicia condiciones de estabilidad e impulsa vientos hacia el exterior, impide la entrada de las lluvias y favorece las heladas y las nieblas.

A diferencia de lo que ocurre en el interior de los continentes, debido a la acción de las brisas marinas, las zonas limítrofes a la costa poseen una menor amplitud térmica (**Figuras 1.28 y 1.29**).



Figura 1.27
¿En qué estado de la materia se encuentra el agua de nuestro planeta?



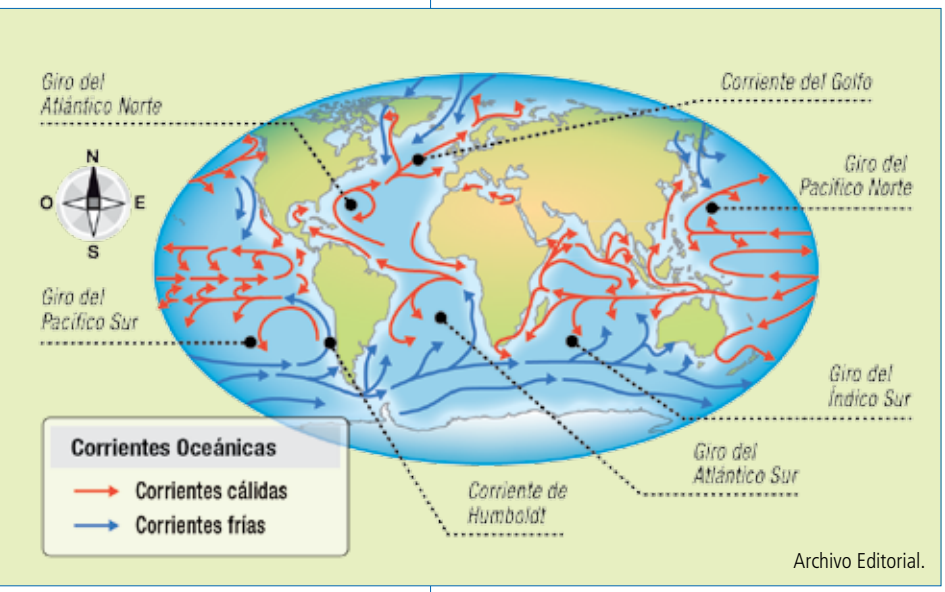
Archivo Editorial.

Figura 1.28. Brisa marina durante la noche

Figura 1.29. Brisa marina durante el día

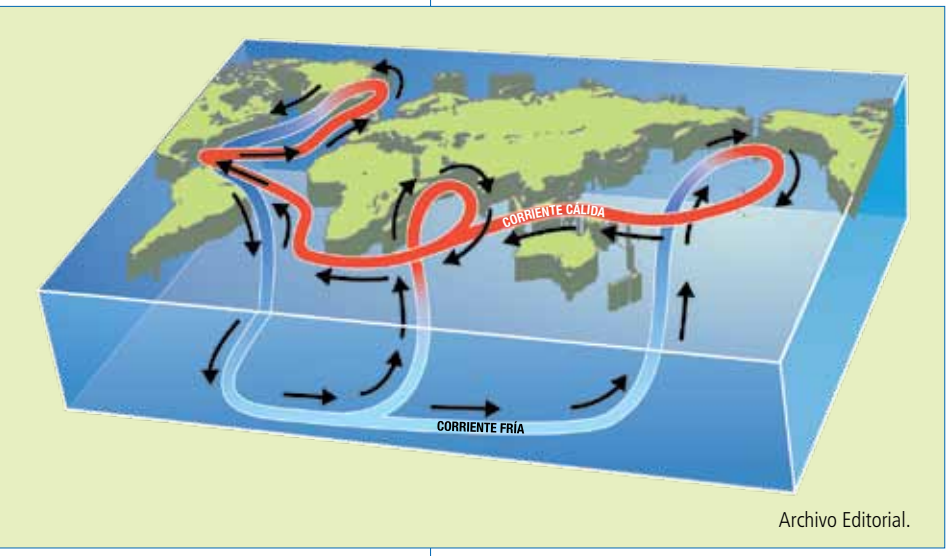
¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la variación de temperaturas máxima y mínima en las ciudades costeras comparadas con algunos del interior, como Calama, San Felipe y otras?



Archivo Editorial.

Figura 1.30
Corrientes oceánicas superficiales



Archivo Editorial.

Figura 1.31
Cinta transportadora oceánica

Corrientes oceánicas

La existencia de corrientes oceánicas constituye un mecanismo de transporte de calor más eficaz que el atmosférico. Clasificaremos las corrientes, en función de su origen, en dos tipos diferentes: las superficiales y profundas.

Corrientes superficiales: como se ve en la **figura 1.30**, las principales corrientes oceánicas que recorren la zona central de los grandes océanos realizan una trayectoria que está condicionada al giro del viento en torno a los anticiclones (en sentido horario en el hemisferio norte; antihorario en el sur).

Este giro lo inician los vientos alisios que soplan de este a oeste y arrastran en ese mismo sentido las aguas oceánicas y, a la vez, empujan las nubes y las precipitaciones hacia el oeste, lo que origina aridez en el margen continental que abandonan (situado al este).

Corrientes profundas: son originadas por las diferencias en la densidad del agua, que es mayor cuanto más fría y/o salada esté, y tiende a hundirse para dar lugar a una circulación **termohalina** (condicionada por la diferencia de temperatura y/o salinidad).

Recibe el nombre de **océano global** el conjunto formado por todos los mares y océanos del planeta. Dicha denominación resulta adecuada debido a la comunicación existente entre todos ellos. Además, su estudio es de gran importancia, porque en él está la respuesta a muchas interrogantes sobre el clima global, ya que es un importante almacén de CO_2 y un medio de transporte muy eficaz de calor o nubosidad. Dos fenómenos que ponen este hecho de manifiesto son la **cinta transportadora oceánica** (**figura 1.31**) y el **fenómeno de El Niño.**

¿CÓMO VAS? actividad

Investiga: ¿Cuáles son las consecuencias de las corrientes marinas en el planeta? ¿Cuáles son las consecuencias del fenómeno de El Niño sobre las costas de nuestro país?

Sugerencia web (consulta junio 2014) http://es.slideshare.net/SheylaMalena/corrientes-marinas-16985211

Agentes contaminantes y efectos sobre la hidrosfera

En los siguientes párrafos responderemos preguntas tales como ¿qué es la contaminación del agua? ¿Qué sucede con los mecanismos físicos en la hidrosfera y la máquina climática, estudiados en los párrafos anteriores, cuando el agua está contaminada?

- **La contaminación del agua** se define como la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Su origen se debe tanto a causas naturales como artificiales y afecta a todo tipo de aguas: continentales y marinas.
- **Las fuentes naturales** son las precipitaciones, que arrastran distintas sustancias presentes en la atmósfera (gases, partículas, polen, etc.), y las escorrentías, que llevan diversos componentes del suelo.
- Las **fuentes artificiales** son las diversas actividades humanas que originan todo tipo de residuos, que son vertidos de manera sistemática o accidental a las aguas. Tales fuentes pueden tener una **localización puntual**, cuando los residuos con los vertidos industriales, los desechos domésticos y sanitarios se descargan a través de tuberías, o una **localización difusa**, cuando no tiene una delimitación geográfica concreta. Este es el caso de las actividades mineras, agrícolas y forestales, de construcción, etc. En estos casos los contaminantes llegan a las aguas por la escorrentía superficial o por infiltración.

Actividad de análisis

1. ¿Qué tipo de consecuencias produce la contaminación del agua?
2. ¿Cuál es el efecto físico que produce contaminar las aguas?





Según la naturaleza de los contaminantes presentes en las aguas, se habla de:

- **contaminación química**, cuando hay presencia de sustancias químicas, tales como azufre, plomo y arsénico en ciudades del norte chileno, entre otros.
- **contaminación biológica**, cuando hay presencia de microorganismos, tales como virus, cianobacterias, bacterias, algas, protozoos y hongos.
- **contaminación física**, cuando diversos agentes provocan cambios en las propiedades físicas del agua como la contaminación térmica o calentamiento del agua que se origina por el vertido de sustancias que han sido utilizadas como refrigerantes en diversas industrias (térmicas, nucleares, siderúrgicas).

Por otra parte, la presencia de partículas o sólidos coloidales o muy finos en suspensión, tanto orgánicos (restos animales o vegetales) como inorgánicos (lodos, arenas, etc.), producen turbidez en las aguas. La turbidez disminuye la transparencia de las aguas y con ello la penetración de la luz; las partículas radiactivas emitidas por los residuos radiactivos generados en las centrales nucleares o en los hospitales, centros de investigación, etc., producen contaminación radiactiva del agua.

SABÍAS QUE...

Diversas actividades nuevas afectan al medio y a la salud de las personas.



¿CÓMO VAS?

actividad

¿Qué sucede con la fotosíntesis cuando aumenta la turbidez del agua?

Tema 4: Mecanismos fisicoquímicos en los fenómenos que afectan a la litosfera

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer los mecanismos físicos presentes en fenómenos que afectan a la litosfera.

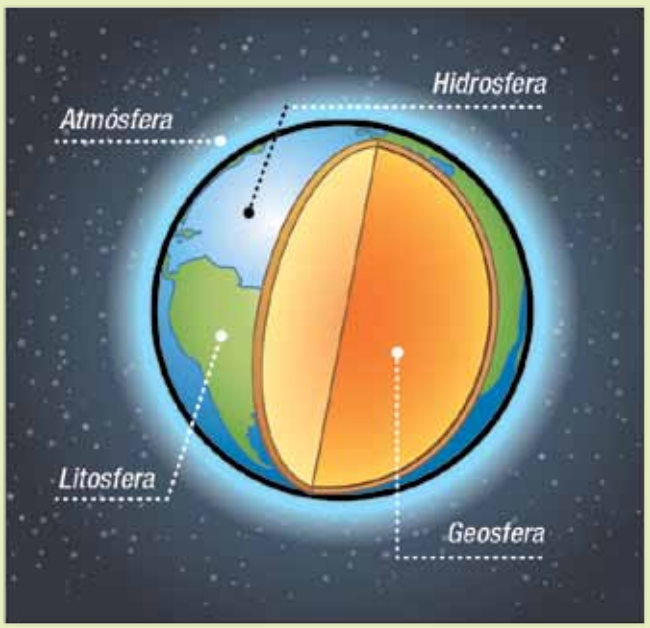
CONCEPTOS CLAVE

- Corteza
- Núcleo geoquímico

Durante el primer año medio aprendiste la dinámica interna que explica los efectos de sismos y erupciones volcánicas en términos del movimiento de placas tectónicas; sin embargo, para estudiar los mecanismos físicos que afectan a la litosfera y su relación con las capas fluidas estudiadas en los párrafos anteriores, se puede considerar el comportamiento mecánico de los materiales que se encuentran en su interior (su fluidez o rigidez, su capacidad de movimiento, etc.).

De este modo, se establece una disposición en capas que, si bien no coinciden con las que se establecen tomando como base los criterios de composición, sí pueden relacionarse con ellas. Considerando los puntos anteriores, se puede establecer la siguiente estructura:

Litosfera: (**figura 1.32**) es la capa más superficial de la Tierra y podría corresponderse con la corteza (ya sea oceánica o continental) y con la parte superior del manto. Es muy rígida, por lo que reacciona frente a los esfuerzos dirigidos rompiéndose en bloques llamados placas litosféricas. El espesor de una placa litosférica depende de si contiene corteza oceánica, en cuyo caso será más delgada, o corteza continental, lo que la hará más gruesa.



Archivo Editorial.

▲ **Figura 1.32**
¿Cuál es la diferencia entre la geosfera y litosfera?

Bajo la litosfera, y hasta unos 670 km de profundidad, se extiende el resto del manto superior, una capa que, aunque sigue siendo sólida, no es rígida como la anterior. De hecho, las altas presiones y temperaturas que presenta permiten que sus rocas tengan una cierta plasticidad y sean capaces de fluir lentamente. En ella podría haber, en la región que está en contacto con la litosfera, rocas parcialmente fundidas, coincidentes con la detección de un descenso brusco en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en algunas zonas. En principio, se pensó que estas rocas parcialmente fundidas formaban una capa continua bajo la litosfera, que tradicionalmente se conocía como astenósfera (esfera débil). Los estudios más recientes apuntan a que esta fusión parcial de las rocas solo aparece bajo zonas de la litosfera con un vulcanismo o una actividad tectónica intensa.

Mesosfera: Se encuentra por debajo de la zona anterior y constituye el resto del manto.

Endosfera: Esta capa dinámica se correspondería con el núcleo geoquímico. Posiblemente, el núcleo no participa, al menos activamente, en la dinámica superficial de la Tierra; sin embargo, parece más que probable que tenga una dinámica propia, responsable de otros efectos, como el magnetismo.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cómo se producen los sismos y erupciones volcánicas?

Litosfera y la importancia del suelo

El suelo se puede definir de forma geológica como la capa superficial, disgregada y de espesor variable que recubre la corteza terrestre procedente de la meteorización mecánica o química de la roca preexistente. Pero también podríamos considerarlo con una visión ecológica, como una interfase entre todos los sistemas estudiados con anterioridad, pues está constituido por componentes de todos ellos.

Tal como lo estudiaste durante la Enseñanza Básica, las cadenas tróficas existentes en el suelo son de una gran longitud y complejidad, por lo que la importancia de estas radica en el hecho de que sirve de asiento a la vegetación, de la que depende la agricultura, que es la base de la subsistencia humana y de la existencia de la vida en la Tierra, ya que hace posible el reciclado de materia en los demás ecosistemas terrestres.

Empleos y fragilidad del suelo

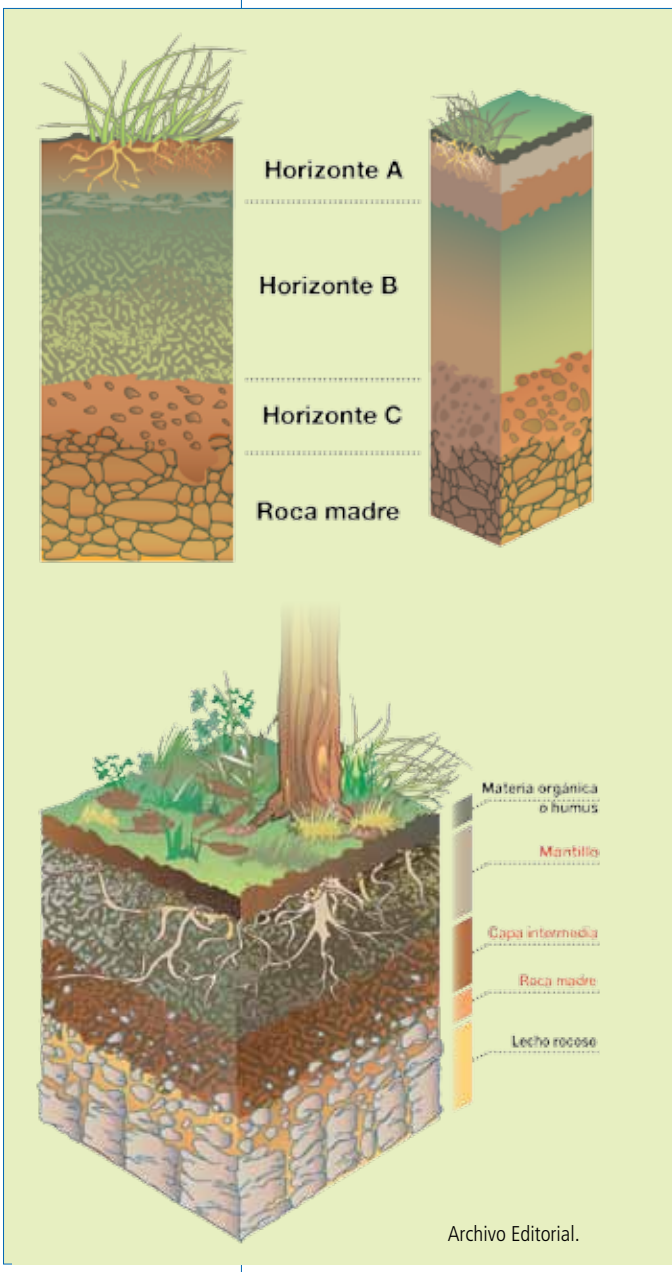
La humanidad utiliza el suelo para diferentes empleos; por ejemplo, como soporte de las plantas, para la edificación o para las construcciones lineales (carreteras, autopistas y vías de ferrocarril), para la ubicación de fosas sépticas, como fuente de recursos minerales (como el aluminio, materiales de construcción o de alfarería).

Por otra parte, el suelo es poseedor de recursos geológicos, geomorfológicos o paleontológicos que dan testimonio de la evolución del planeta. Pero además es receptor de impactos, como la erosión, la sobreexplotación y el empobrecimiento de su fertilidad, la degradación biológica, la compactación y la pérdida irreversible del mismo por recubrimientos (por ejemplo, el asfaltado).

En el suelo coexisten los tres estados de la materia, **figura 1.33**, distribuidos en dos tipos de componentes:

Inorgánicos: que comprenden aire (oxígeno y CO_2), agua, componentes minerales procedentes de la meteorización de la roca madre, que suelen ser fragmentos de rocas (cantos, gravas, arenas, limos y arcillas), y sales minerales (sulfatos, carbonatos, nitratos, fosfatos y óxidos de distinto tipo).

Orgánicos: constituidos por materia orgánica que no ha sufrido procesos de transformación (restos de hojas, ramas, excrementos y cadáveres de cualquier tipo de animal) y microorganismos diversos (bacterias y hongos) que forman el humus a partir de una serie de transformaciones parciales de la materia orgánica, cuya estructura original deja de ser reconocible. La humidificación es, por tanto, un proceso previo a la mineralización, y la presencia de humus confiere al suelo un carácter ácido.



Archivo Editorial.

Figura 1.33
Según las figuras, ¿cuál es la composición del perfil de suelo u horizonte?

¿CÓMO VAS? actividad

¿Qué sucede con el suelo si hay una deforestación? ¿Cuáles son los mecanismos físicos que afectan al suelo?

SABÍAS QUE...

La meteorización produce fragmentos de rocas y minerales, así como otros productos residuales y solubles, que pueden ser transportados y depositados a otros niveles, lo que deja nuevas superficies expuestas a la meteorización.

Los cambios de temperatura, humedad y actividad biológica también producen disgregación física de las rocas en fragmentos; este proceso natural se denomina meteorización mecánica.



La erosión del suelo y la desertización

La erosión es un proceso geológico natural que puede verse intensificado por actividades humanas y originar graves consecuencias, tanto ecológicas como sociales, como las siguientes:

- El **aterramiento** o colmatación de los embalses por acumulación de sedimentos, lo que reduce su tiempo de aprovechamiento.
- El **agravamiento de inundaciones**, ya que el incremento de materiales sólidos aumenta la fuerza agresiva de las mismas.
- El **deterioro de ecosistemas** naturales, fluviales y costeros por excesivo aporte de sedimentos (por ejemplo, la elevada sedimentación marina debido a la deforestación de los bosques tropicales o de los manglares puede llegar a acabar con los arrecifes de coral por obstrucción de los mismos o apantallamiento de la luz solar).
- La **formación y acumulación de arenales y graveras** en las vegas fértiles.
- La **pérdida de suelo cultivable** y de su fertilidad, lo que contribuye, por tanto, al proceso de **desertización**.

Factores que influyen en el riesgo de erosión

La erosión depende de distintos factores, tales como los de tipo climático, del relieve, del tipo de suelo y de la vegetación y del uso humano (así, la tala o los incendios aumentan el factor vulnerabilidad del suelo). Todos estos factores pueden agruparse en **erosividad y erosionabilidad.**

- La **erosividad** expresa la capacidad erosiva del agente geológico predominante (lluvia, hielo, viento), que depende del clima. Es un factor de suma importancia para la elaboración de mapas de erosividad.
- La **erosionabilidad** expresa la susceptibilidad del sustrato para ser movilizado. Este factor depende del tipo de suelo (de su estructura y la cantidad de materia orgánica que posea, ya que la presencia de agregados impide la erosión), de la pendiente y de la cobertura vegetal, y resulta útil para elaborar mapas de erosionabilidad a escala local.

Actividad

Factores de erosión

Se pueden ver pruebas de erosión en un campo de labranza.

Observa la imagen y responde:

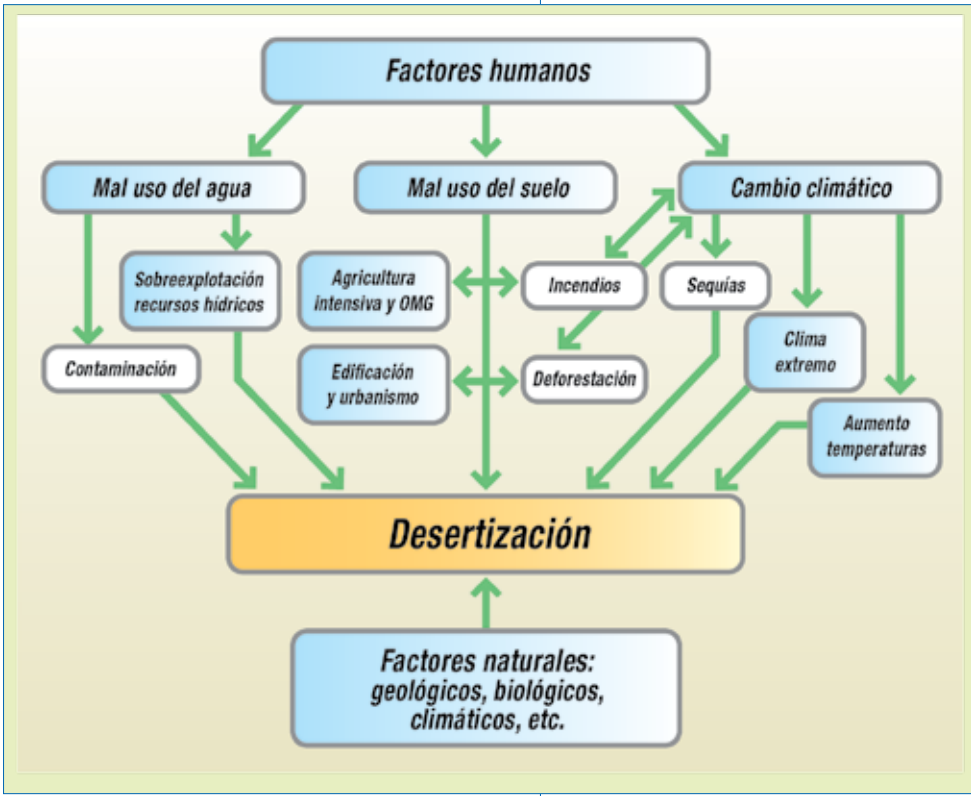
1. ¿Por qué algunas áreas del campo son de color más oscuro que otras?
2. ¿Dónde crees que hay mayor cantidad de materia orgánica?
3. ¿Qué tipo de mecanismo físico se reconoce en esta erosión?



Desertización y desertificación

Los términos **desertización** y **desertificación** son muy discutidos. El segundo es incorrecto académicamente, por ser un anglicismo. Por tanto, muchos autores utilizan solo desertización y la definen como: *"El proceso de degradación ecológica por el cual la tierra productiva pierde parte o todo su potencial de producción, que lleva a la aparición de las condiciones desérticas"*. Este término fue acuñado en la conferencia del PNUMA, celebrada en Nairobi en 1977.

Otros autores relacionan la desertificación con el proceso natural e inducido por las actividades humanas de la degradación del suelo, y hablan de desertización para referirse al proceso social (despoblación y pérdida de recursos de las áreas degradadas) consecuente del proceso anterior.



Archivo Editorial.

Figura 1.34

Todos los autores afirman que el proceso de desertización resulta de la confluencia de factores climáticos (sequía, precipitaciones esporádicas y torrenciales), con otros debidos a la acción humana (exceso de riego, cultivos en zonas de pendiente, sobrepastoreo, etc.). (**Figura 1.34**)

Los procesos que pueden dar lugar a situaciones de tipo desértico son:

- **Degradación química.** Puede ser de tres tipos:
  1. pérdida de la fertilidad por lavado de nutrientes o por acidificación.
  2. toxicidad o empobrecimiento del suelo debido a elementos contaminantes (lluvia ácida, metales pesados, aguas residuales, contaminación radiactiva, etc.).
  3. salinización y alcalinización de suelos por acumulación de sales (por ejemplo, en zonas de regadío con un drenaje insuficiente o mala calidad del agua).

- **Degradación física.** Se produce pérdida de estructura, como en el caso de compactación del suelo por empleo de maquinaria pesada o por el pisoteo.

- **Degradación biológica.** Tiene lugar por desaparición de materia orgánica o por mineralización del humus, que lleva a la pérdida de estructura del suelo.

- **Erosión hídrica y eólica.** La primera es el proceso de erosión debido al movimiento de las aguas, y la segunda, al movimiento de los vientos.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cómo afecta el cambio climático a la desertización? ¿Qué medidas tomarías para disminuir la desertización?

Desarrollo sostenible

Los recursos son finitos, pero abundantes y, en muchos casos, sustituibles por nuevas fuentes. El problema actual no es el agotamiento, sino la sobreexplotación.

La sobrepoblación no es un estado absoluto, sino relativo a las expectativas, los estilos de vida, las tecnologías y las necesidades creadas artificialmente, así como también al medioambiente.

La presión demográfica, el sobreconsumo, la degradación del suelo, la deforestación, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación de las aguas, han obligado a poner en práctica tanto medidas políticas como científicas para reducir al máximo su impacto.

El objetivo debiera ser alcanzar un desarrollo sostenible. ¿De qué se trata? El Informe Brundtland lo define como "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades». (**figura 1.35)**.



▲ **Figura 1.35**

Esta idea implica vivir dentro de la capacidad de carga y renovación de los ecosistemas, de manera que los recursos renovables no se utilicen a un ritmo superior al de su generación, ni se emita una cantidad de polución mayor que la que los sistemas naturales son capaces de absorber o neutralizar.

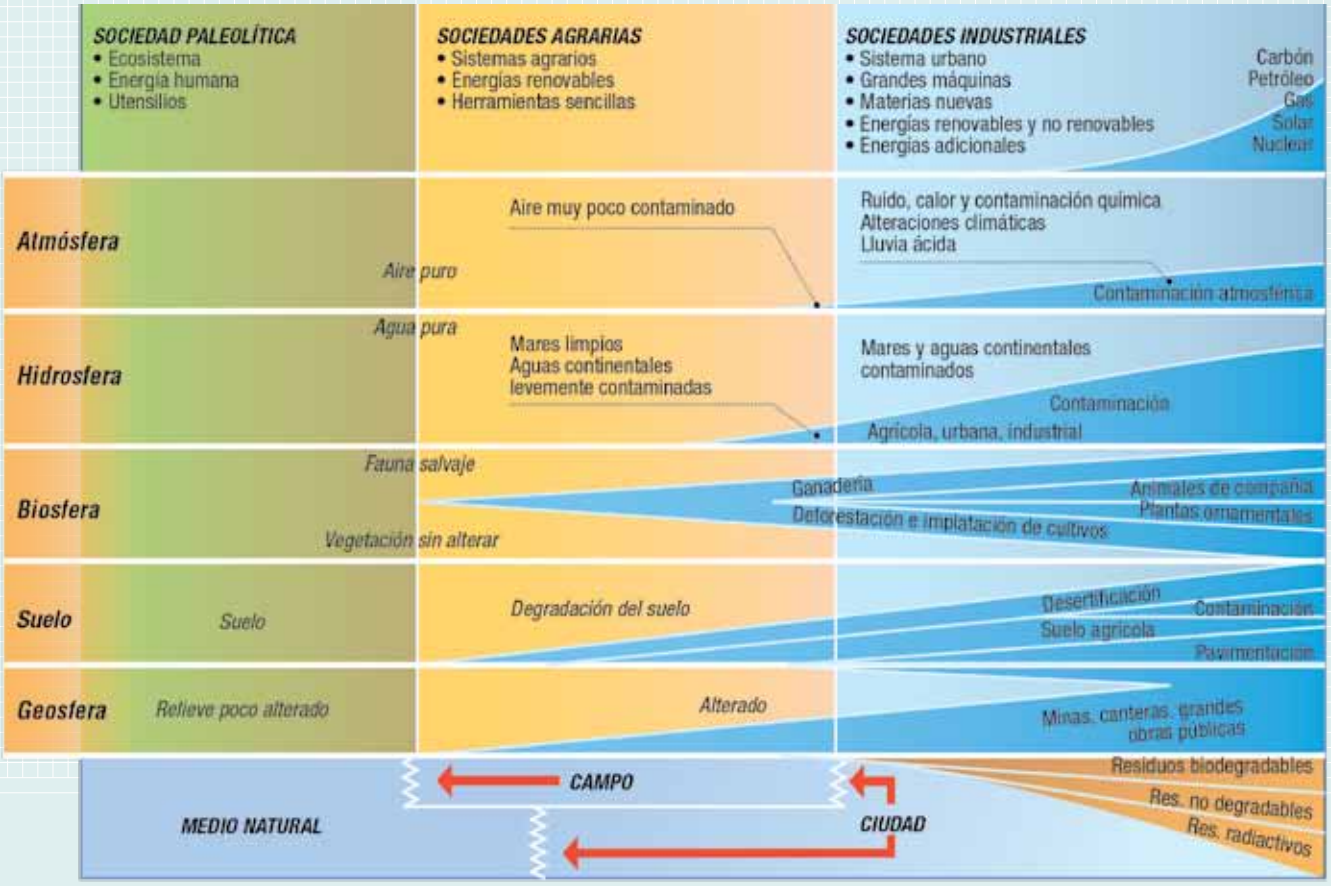
El concepto de desarrollo sostenible toma una extraordinaria difusión en 1992 con la Cumbre de la Tierra (la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992). Entre los documentos que se aprobaron destaca la llamada Agenda 21: la Alianza Global para el Medio Ambiente y el Desarrollo, que constituye un plan de acción para la primera parte del siglo XXI y es la base para una nueva alianza global para el desarrollo sostenible y la protección ambiental.

Como afirma la Declaración de Río para el Medio Ambiente y el Desarrollo, *«los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible. Todos tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza».*

Una variable importante para tener en cuenta a la hora de medir el impacto ambiental de una población es su distribución territorial: de forma generalizada, los expertos coinciden en considerar que la creciente urbanización del planeta es uno de los aspectos más incidentes en la degradación de las condiciones ambientales.

Evaluación de sección 1

1. Observa la figura e indica los impactos ambientales provocados por la humanidad en cada uno de los sistemas terrestres: atmósfera, hidrosfera, biosfera, geosfera y suelo. ¿Cuál es la tendencia de los mismos a lo largo de las tres fases?



Archivo Editorial.

2. ¿Cuáles son los efectos del esmog sulfuroso y fotoquímico sobre la salud de los seres humanos?

Sección 2 USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Como ya sabes, para vivir cada día se necesita consumir una cantidad de energía, la que debe ser suministrada diariamente a través de los alimentos.Estos proporcionan a las células de nuestro cuerpo el combustible necesario para realizar actividades tales como dormir, correr, leer, jugar video, juegos, escuchar música, etc.

También te habrás dado cuenta de que todas nuestras actividades, desde las más simples hasta las más complejas, dependen del uso de energía externa, y que la mayoría de ellas proceden de recursos no renovables (los combustibles fósiles). Piensa, por ejemplo, en la energía que utilizas para cargar tu teléfono celular o en el transporte público, que necesita de petróleo, bencina, entre otros.

La mayoría de los combustibles fósiles, además de su peligro de agotamiento, originan numerosos impactos ambientales en la atmósfera, litosfera e hidrosfera, y tal como lo estudiamos en la sección anterior, entre los impactos está el cambio climático.

En esta sección estudiaremos el uso de las energías convencionales más utilizadas, como son las derivadas de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural); la nuclear, procedente de la fisión de uranio y la hidroeléctrica. También trataremos las energías renovables (que reciben su nombre porque su tasa de renovación se encuentra dentro de los límites de tiempo de la vida humana) y, finalmente, las alternativas o nuevas, que engloban energía de menor impacto ambiental, tales como geotérmicas, mareomotrices, eólicas, fotovoltaicas, etc.

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer los recursos energéticos utilizados en nuestra sociedad.

PRERREQUISITOS

- Energía mecánica
- Rendimiento
- Impacto ambiental

CONCEPTOS CLAVE

- Recursos energéticos
- Energía
- Calidad de la energía
- Energías convencionales
- Combustibles fósiles

Tema 1: Recursos energéticos

El estudio de los recursos energéticos utilizados por nuestra sociedad nos permite entender qué son los recursos no renovables, qué es el impacto ambiental y qué costo económico tiene para la sociedad, lo que necesariamente conlleva de manera progresiva a los estados a promover su uso eficiente a través de campañas y acciones diversas de instituciones gubernamentales y ONG, con la finalidad de atenuar sus impactos en los distintos niveles (**Figura 1.36**).



Figura 1.36
Símbolo de ONG de protección ambiental

Actualmente, resulta impensable mantener nuestra sociedad a partir de energías renovables, las que deben ser investigadas e implementadas.

Pero ¿qué sucedería con la sociedad si se extinguieran las reservas de **combustibles fósiles**?, ¿cuáles serían las medidas que tomarías para incentivar la investigación de las fuentes de **energía no convencionales**? El ahorro energético, ¿podría reducir las emisiones de dióxido de carbono?

Capítulo 1

La energía

Cuando estudiaste el tema sobre energía en años anteriores, el concepto de energía es difícil de comprender, ya que no ocupa un lugar, ni se puede tocar (como ocurre con las sustancias), y se define físicamente como la capacidad que tiene un sistema para realizar trabajo mecánico.

También sabemos que el 99 % de la energía proviene en forma directa o indirecta del Sol, y que puede ser de tipo mecánica, calorífica, electromagnética, nuclear, etc.

Todos los intercambios de la energía se rigen por las leyes de la termodinámica:

- la **primera ley de la termodinámica** expresa la ley de conservación de la energía;
- la **segunda ley de la termodinámica** explica el incremento de la entropía en todo intercambio espontáneo.

Para la realización de tareas, usamos las energías convencionales de distintas fuentes que las producen, (**figura 1.37**) considerando aquellas de más fácil acceso (en función de los recursos existentes) y económicamente rentables.

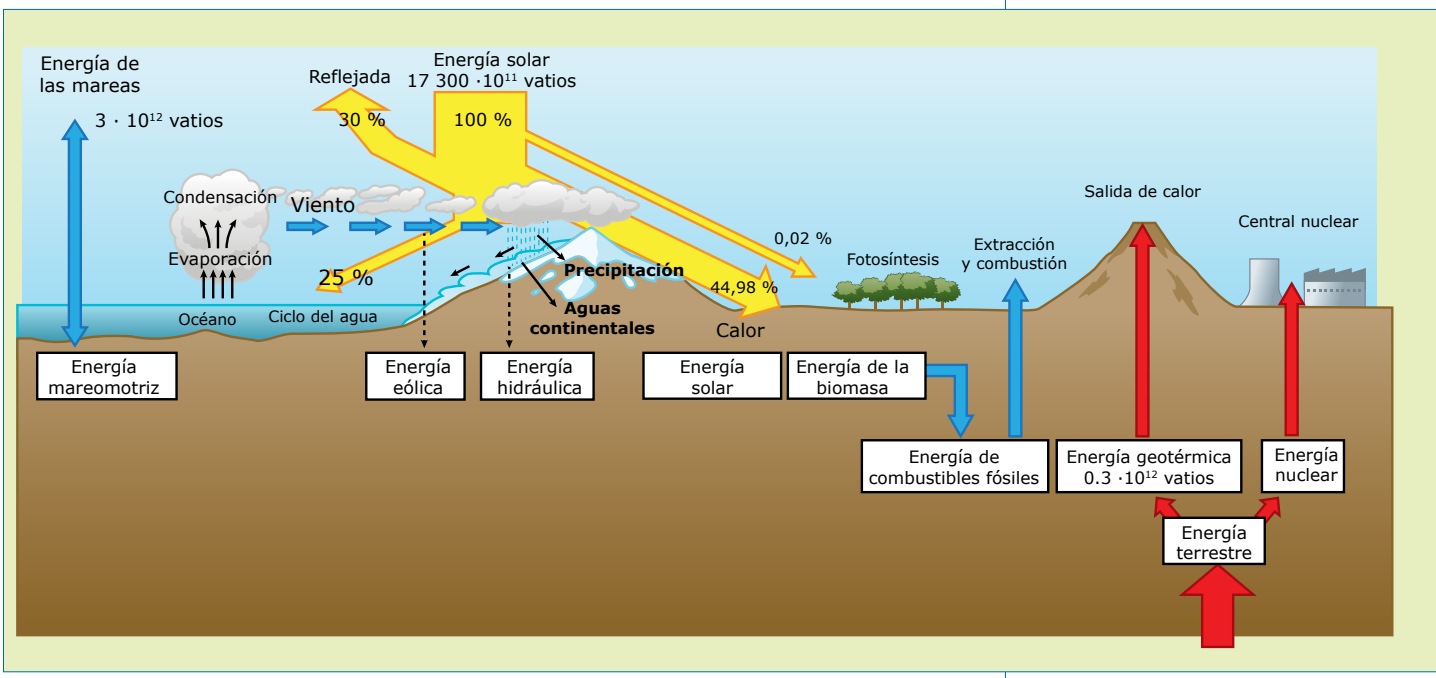


Figura 1.37
Esquema de energías convencionales

De hecho, nuestra sociedad funciona gracias a la inyección de energía que proporciona la electricidad a nuestras casas, a las industrias, al transporte vehículos, etc.

Pero ¿cómo se puede evaluar la calidad de la energía?, ¿existe alguna diferencia en la calidad energética entregada por el petróleo o por una celda solar?

Calidad de la energía

Para responder las preguntas planteadas en los párrafos anteriores, debemos entender que la utilidad de cada tipo de energía se determina en función de su capacidad para producir trabajo útil por unidad de masa o volumen.

De esta forma, si la energía está más concentrada (por ejemplo, el petróleo, el carbón, el uranio, etc.), tendrá mayor calidad. Mientras que si la energía se encuentra más dispersa en grandes volúmenes, aunque exista en grandes cantidades, su utilidad será escasa (como la energía almacenada en los mares, los vientos suaves, etcétera) y de baja calidad.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Qué se entiende por calidad de la energía? Da algunos ejemplos.

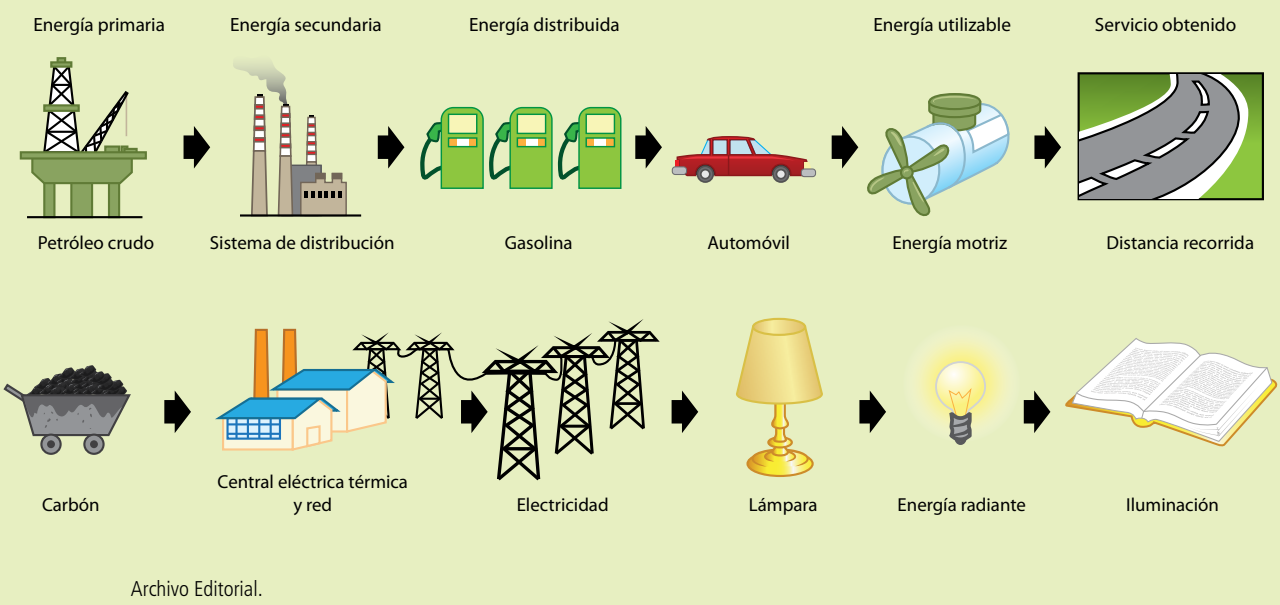
Sistemas energéticos

Seguramente habrás notado que cada vez que conectas una ampolleta o enchufas el televisor estos se encienden, y que si abusas del uso de estos aparatos la cuenta de luz aumenta su costo. Pero ¿cómo llega la energía eléctrica a nuestra casa y, por lo tanto, al televisor?

Para poder responder estas preguntas, necesitas estudiar los sistemas energéticos.

Un sistema energético es un conjunto de procesos realizados sobre la energía desde sus fuentes originarias hasta su uso final. La **figura 1.38** indica las fases de un sistema energético, que se explican a continuación:

Figura 1.38
Fase de un sistema energético



Archivo Editorial.

- Proceso de captura o extracción de la energía primaria, cuya finalidad es conseguir la energía de la fuente original (por ejemplo, la perforación de un pozo petrolífero).
- Proceso de transformación en energía secundaria, que consiste en procesos de elaboración y tratamientos (refinería de petróleo) y de transformación en energía útil (energía eléctrica).
- Transporte de los recursos energéticos secundarios hasta el lugar de su utilización (transporte de gasolina).
- Consumo de la energía secundaria (uso del automóvil).

Finalmente, nombramos al convertidor, que es un componente del sistema energético (presa, caldera etc.) que permite la transformación de una forma de energía en otra para facilitar su uso o transporte.

Rendimiento energético

Tal como lo estudiaste en los cursos de segundo año medio, denominamos rendimiento de un sistema a la relación entre la energía suministrada al sistema y la que obtenemos de él (salidas/entradas) expresada en tanto por ciento. Por ejemplo, el rendimiento de un motor de explosión será la relación entre la energía mecánica recogida en el eje de la máquina y la contenida en el combustible utilizado para moverla).

Como lo habrás notado al inicio de la sección, el uso de nuevas energías no solo se relaciona con la calidad de estas, sino también con la rentabilidad económica de quien la produce, y con el costo que paga la sociedad por el uso de ella.

De este modo, mientras la rentabilidad económica de una determinada fuente de energía dependerá de su precio (indicada por su accesibilidad, la facilidad de explotación y de transporte, etc.), ya que utilizaremos la que sea más barata, el costo energético corresponderá al que pagamos por utilizar la energía secundaria (recibo de la luz, valor de la gasolina etc.). Además existen otros costos asociados con los equipos e instalaciones implicados en todo el proceso energético: los de construcción, mantenimiento, desmantelamiento y eliminación del impacto producido por su construcción.

¿cómo vas? actividad

¿Es posible que una máquina posea un 100 % de rendimiento? Si la respuesta es afirmativa o negativa, dar razones.

Actividad de análisis

1. Observa la siguiente figura y responde

a) ¿Cuáles son los tipos de energía de entrada al sistema?

b) Ordena en forma creciente la calidad de los tipos de energía.

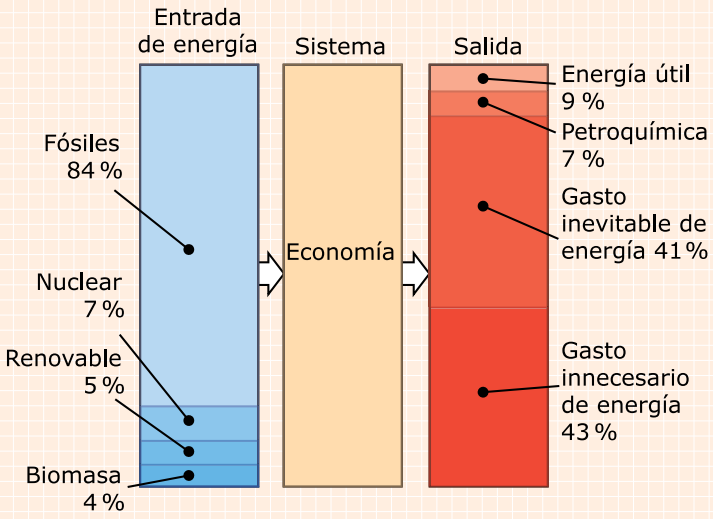
c) ¿Es eficiente el sistema?

2. Observa tres cuentas de luz que recibe tu casa y responde:

a) ¿Cuál es el promedio de costo energético que se cancela mensualmente?

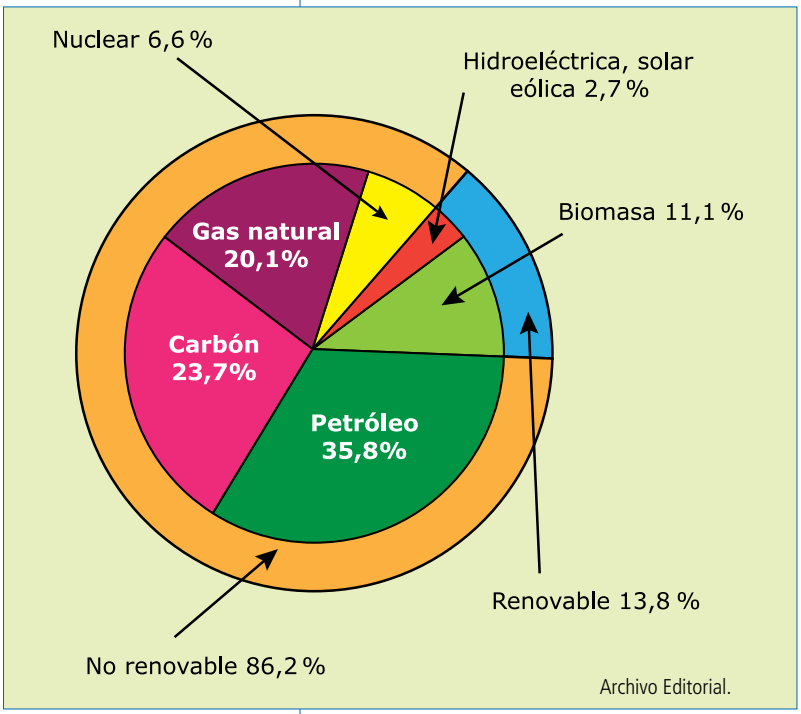
b) ¿Cuál sería el costo energético aproximado de tu población si todas las familias que pertenecen a ella tienen el mismo costo energético que la tuya?

c) ¿Cuáles serían las medidas que implementarías para disminuir este costo energético?



Fases del sistema energético

Archivo Editorial.



Archivo Editorial.

Figura 1.39
Consumo energético mundial, adaptado de la International Energy Agency, 2008.

Energías convencionales

Como lo aprendiste en los cursos de historia, las fuentes de energía que actualmente utilizamos son producto de la evolución originada a partir de la Revolución Industrial. Tal como lo ilustra la **figura 1.39** los combustibles fósiles continúan siendo actualmente las mayores fuentes energéticas utilizadas, y complementadas por otras.

Pero estas fuentes energéticas no son renovables, lo que sugiere un agotamiento a través del tiempo. Es así como usando los conocimientos que aprendiste en la sección anterior, en particular los efectos globales de la contaminación atmosférica, llegarás a la conclusión de que se deben buscar nuevas fuentes de energía que sean baratas, limpias y renovables.

Combustibles fósiles

En la actualidad, el 79,6 % de la energía comercial usada en el mundo procede de los combustibles fósiles, que producen graves problemas de contaminación y el incremento del efecto invernadero debido a sus emisiones de CO_2 y de otros gases. Pero, a pesar de estos problemas, no podemos abandonar su utilización hasta que dispongamos de los sustitutos adecuados, ya que sin ellos nuestra sociedad se paralizaría. Una posible solución para este problema es ir sustituyéndolos poco a poco por otras energías alternativas que tengan un menor impacto sobre nuestro entorno

Dentro de los principales combustibles fósiles podemos nombrar:

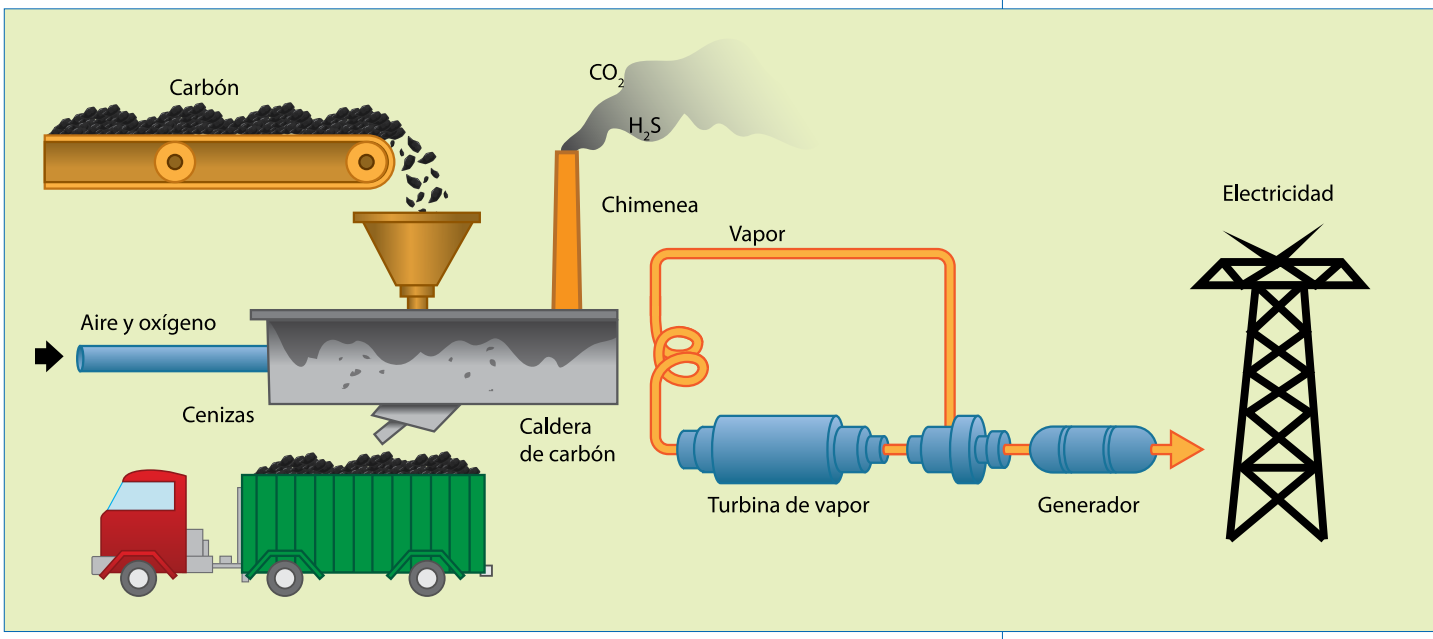


figura 1.40
Producción de energía eléctrica usando combustibles fósiles

- El carbón (antracita, hulla, lignito y turba), que es un combustible de un alto poder calorífico y uno de los más abundantes (se estiman reservas para 220 años al actual ritmo de consumo), pero también es el más sucio, además, debido a su elevado contenido en azufre, cuando se quema libera una gran cantidad de SO_2, el principal causante de la lluvia ácida. Además, emite el doble de CO_2 que el petróleo.

  El principal uso del carbón es su combustión en las centrales térmicas para producir electricidad (el 30 % de la energía eléctrica mundial proviene de esta fuente). Así como lo ilustra la **figura 1.40**, el calor resultante de dicha combustión se utiliza para obtener vapor de agua, que hará girar unas turbinas que moverán unos alternadores para transformar energía mecánica en eléctrica.

- El petróleo, que es un líquido de color oscuro más ligero que el agua, y en su destilación se obtienen productos gaseosos, líquidos y sólidos. Los productos gaseosos se utilizan como combustible doméstico, por ejemplo la calefacción, y también en industrias. Los productos líquidos como la gasolina se utilizan en vehículos motorizados. Aunque el principal uso del petróleo es para el transporte. Su utilidad, también se encuentra en el uso de los gases licuados que se emplean en calefacciones y calderas de casas e industrias; gasolina en automóviles; nafta y queroseno para la industria química y como combustibles de los aviones; gasóleos para vehículos diésel y calefacciones domésticas, etc.

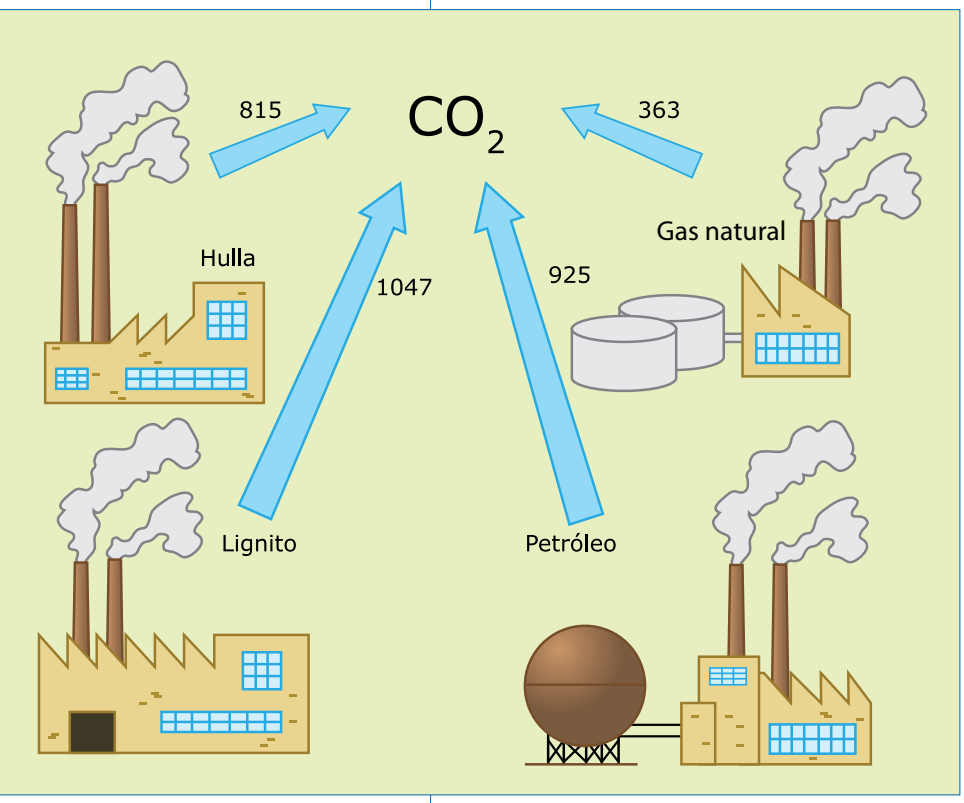


Figura 1.41
Valores de CO_2 por cada KWh de electricidad producido. ¿Cuál de los combustibles fósiles produce mayor cantidad de CO_2?

Otros productos del petróleo se utilizan como materias primas en la industria química de fertilizantes, pesticidas, plásticos, fibras sintéticas, pinturas, medicinas, etc.

- El gas natural se usa directamente en los hogares (calefacción, cocinas, etc.) y en la industria, y en las centrales térmicas comienza a sustituir al carbón. Produce un 65% menos de CO_2 que los otros combustibles fósiles y no emite NOx ni SO_2, por lo que no causa lluvia ácida. Además, en las centrales térmicas es más eficiente que combustibles, como el carbón o el petróleo.

Como lo ilustra la **figura 1.41**, se puede comparar la producción de CO_2 de diversos combustibles fósiles en la generación de electricidad.

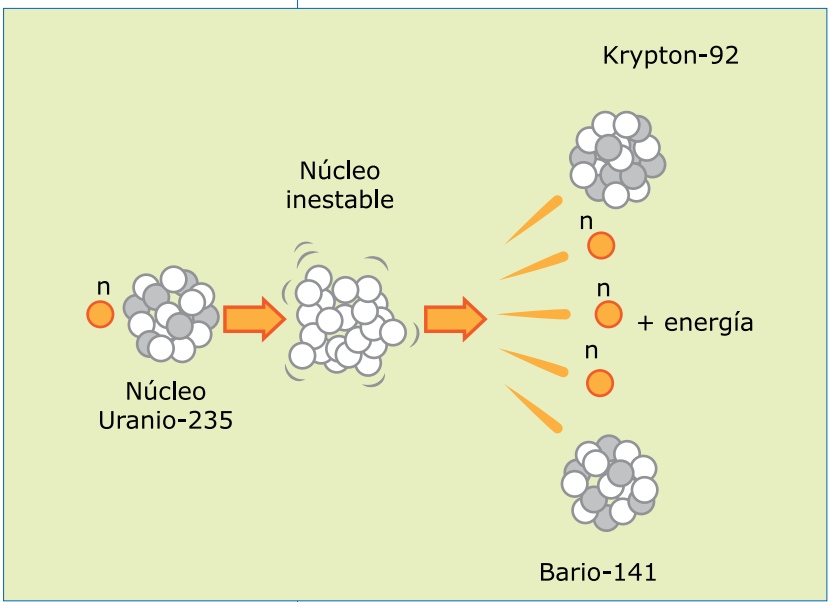


Figura 1.42
Proceso de fisión del uranio

Energía nuclear: fisión

Para extraer el calor producido por las reacciones nucleares, al dividir un núcleo de uranio-235 (**Figura1.42**) en dos núcleos más ligeros, existen diversos diseños de reactores. El más común es el refrigerado por agua líquida (H_2O). Si un reactor nuclear trabaja eficientemente, no produce contaminación radiactiva sin embargo, puede provocar impactos en el microclima de la zona, haciéndolo más cálido y húmedo, ya que el agua de refrigeración aumenta la temperatura de los ríos donde llega y puede afectar térmicamente los ecosistemas colindantes.

Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica es de bajo costo y de mínimo mantenimiento. No emite ningún tipo de contaminación durante su funcionamiento y favorece la regulación del caudal de los ríos, lo que permite el aprovechamiento del agua para otros usos.

Por otra parte y como consecuencia negativa, reduce la diversidad biológica; dificulta la emigración de los peces, impide navegación fluvial y el transporte de elementos nutritivos aguas abajo; disminuye el caudal de los ríos; modifica el nivel freático; provoca cambios en la composición química del agua embalsada, produce variaciones en el microclima y en la eutrofización de sus aguas.

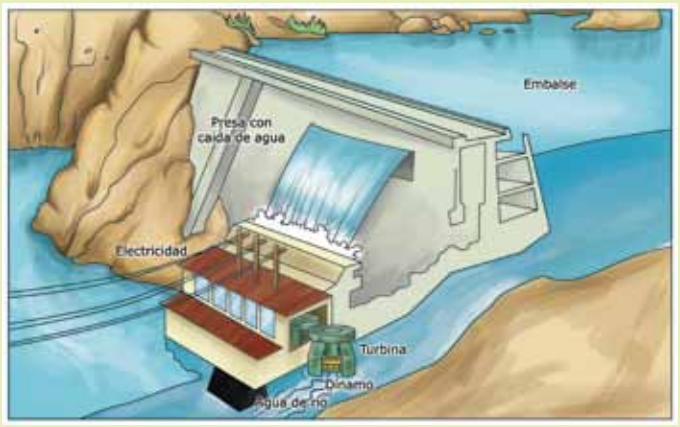


Figura 1.43
Central termoelectrica

Como lo ilustra la **figura 1.43**, para obtener este tipo de energía se utiliza la energía potencial que impulsa el agua en su camino desde las montañas al mar y puede ser capturada y transformada en energía eléctrica mediante los embalses, que permiten concentrar y almacenar dicha energía. Al abrir las compuertas se libera esta energía, para impulsar unas turbinas, que están conectadas a una dínamo, para así transformar la energía mecánica en eléctrica.

Sin embargo, los costos de construcción son bastante elevados, e implican, además, la destrucción de tierras agrícolas y el traslado de poblaciones.

Interconexión eléctrica en Chile

En Chile existen cuatro sistemas de interconexión de la energía eléctrica que conectan a las centrales y empresas generadoras, las empresas de transmisión y las comercializadoras. Cada uno de estos sistemas interconectados opera aisladamente de los otros.

Los principales sistemas son: el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que abarcan el 94,2 % de la producción nacional. Solo el Sistema Eléctrico de Aysén y el SIC generan energía, a partir de fuentes eólicas, equivalentes al 0,15 % de la generación nacional.

Algunos datos generales sobre estos sistemas son:

Sistema	Capacidad (Mw)	Participación en la capacidad instalada nacional	Fuente		
			Térmica	Hidroeléctrica	Eólica
Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)	3.601,9	26,0 %	99,6 %	0,4 %	0,0 %
Sistema Interconectado Central (SIC)	9.385,7	67,9 %	46 %	52,3 %	1,7 %
Sistema Eléctrico de Aysén	50,5	0,4 %	55 %	41 %	4 %
Sistema Eléctrico de Magallanes	98,7	0,7 %	100 %	0,0 %	0,0 %
Autoproductores	684,0	5 %	s/i		
Total nacional	13.820,8	100 %	59,1 %	35,8 %	0,15 % **Nota 1**

Fuente: Capacidad instalada de generación (CNE), año 2008.

Nota 1: No incluye autoproductores.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuáles son los impactos ambientales de los distintos tipos de energía convencionales?

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer alternativas de uso eficiente de los recursos energéticos para atenuar sus consecuencia ambientales.

CONCEPTOS CLAVE

- Energías procedentes del Sol
- Energía de la biomasa
- Energías alternativas
- Energías procedentes del Sol
- Energías independientes de la energía solar

Tema 2: Energías alternativas

Como habrás notado, debido a los impactos ambientales de las fuentes de energía convencionales, es necesario buscar alternativas energéticas renovables y de bajo impacto ambiental.

Energía procedente del Sol

Como aprendiste en la sección anterior, el Sol es la fuente energética que calienta a la Tierra, a sus capas fluidas (hidrosfera y atmósfera), por lo que sin él no habría vida en nuestro planeta.

La energía solar, tal como lo aprenderás en la sección Formas en el cielo del Capítulo 2 de la unidad, proviene de las reacciones termonucleares, o sea de la fusión de hidrógeno que se produce al interior de esta estrella.

La potencia emitida al espacio por el Sol es muy grande, y la Tierra recibe alrededor de $15 \cdot 10^{15}$ MW, sin embargo, toda esta potencia se utiliza en los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza que estudiaste en séptimo básico. La parte disponible para su utilización corresponde a la radiación luminosa que recibimos a nivel del suelo y que es aproximadamente 1000 W/m^2. Pero ¿cómo se puede almacenar esta energía?, ¿cuáles son aplicaciones del almacenamiento de la energía solar?. ¿Es posible transformar la energía solar en energía eléctrica?

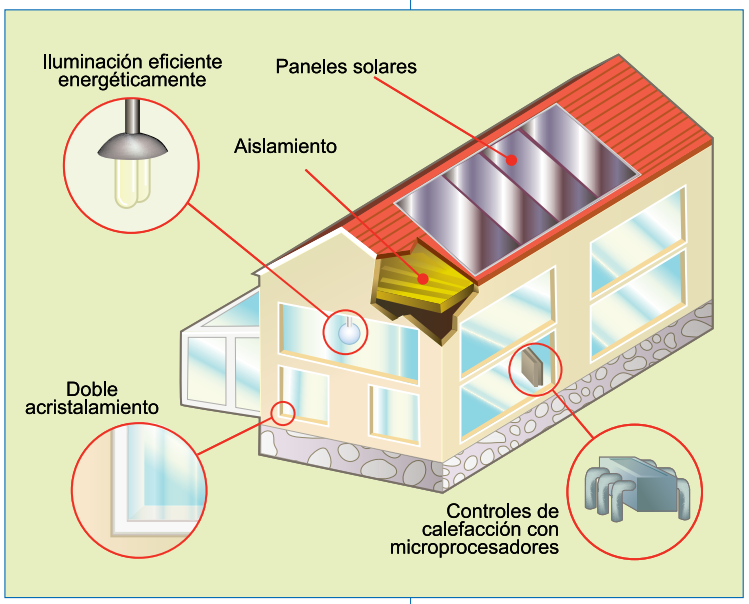


Figura 1.44
Uso de la energía solar en una casa

Producción de calor (temperaturas medianas 70 °C – 140 °C)

La mayor utilidad de la energía solar es para uso doméstico, como calentamiento de agua y climatización de residencias, hoteles, hospitales, etc.

Los colectores planos, cuyo funcionamiento se basa en el efecto invernadero, son ideales para esta función.

Como aplicación de los colectores planos, podemos indicar:

1. Los calentadores de agua: es una aplicación más simple, más rentable de la energía solar, que comprende un colector plano y un tanque de almacenamiento de agua caliente.
2. **Las casas solares:** tal como lo muestra la **figura 1.44**, las casas y piscinas se pueden calentar por medio de colectores planos de agua, o colectores planos de aire, que pueden servir, además, en los campos para secar fruta, etc.

Producción de calor (altas temperaturas 150 °C – 3 800 °C)

Para alcanzar estas temperaturas, es necesario concentrar la energía solar. Esto se hace por medio de colectores en forma de espejos cóncavos, que concentran la energía en su foco. Se pueden distinguir los siguientes tipos:

1. Los colectores a foco lineal, como los cilindros parabólicos (**figura 1.45**).
2. Los colectores de foco puntual, como los esféricos y los parabólicos (**figura 1.46**).

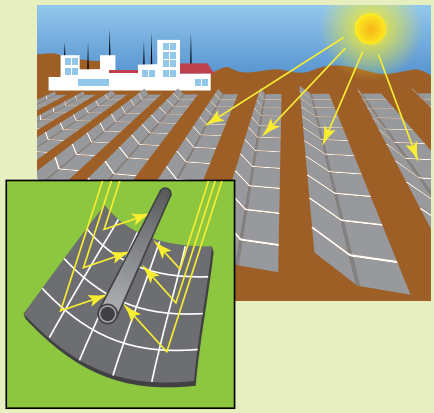


Figura 1.45
Producción de energía solar

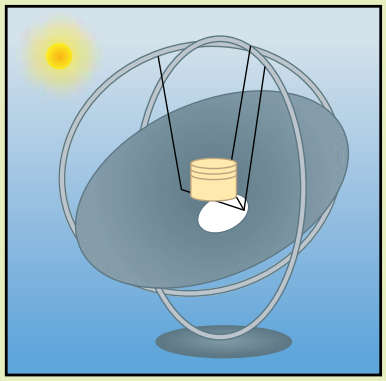


Figura 1.46

Dentro de las aplicaciones de estos colectores se pueden nombrar:

- Los hornos solares, que se utilizan para fusión de materiales sin introducir impurezas.
- Central solar a colectores distribuidos, que se utilizan para producir electricidad.
- Central a torres, que se utiliza para producir electricidad. Consta de centenares de espejos que reflejan la luz solar a la torre (**figura 1.47).**

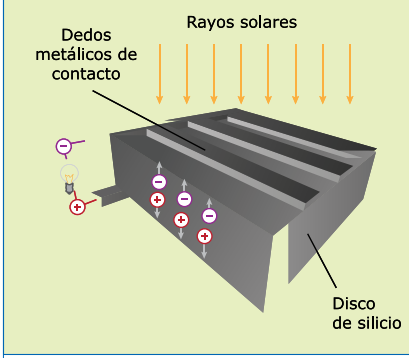


Figura 1.47

Producción de electricidad

La energía solar no solo se puede usar para la producción de calor, también es posible producir energía eléctrica por medio de las fotopilas o celdas fotovoltaicas o solares (ver **figura 1.47**), que transforman directamente la energía solar en energía eléctrica. Su funcionamiento se fundamenta en las propiedades electrónicas de los semiconductores como el silicio, que produce pequeñas corrientes eléctricas al ser estimulado por la luz cuando esta incide sobre él.

Dentro de las aplicaciones de las celdas solares podemos nombrar:

- Satélites artificiales, donde las celdas solares se utilizan para satisfacer las necesidades de electricidad.
- Repetidoras de televisión, boyas en el mar, bombas de agua, veleros, relojes, calculadoras, etc.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la energía solar?

Energía de la biomasa

Como recordarás de los cursos anteriores, la masa vegetal de nuestro planeta contribuye a lo que se denomina biomasa del planeta, y constituye una importante fuente que puede contribuir a paliar el déficit energético actual, ya que es renovable, barata, limpia, y requiere tecnologías simples. Es proporcionada por una gran diversidad de productos, entre los que se incluyen los forestales (leña, madera o desechos madereros), desechos agrícolas (paja), desechos animales (excrementos procedentes de granjas) y basura (papel, cartón, restos de alimentos.

La biomasa, por diferentes procesos, puede ser transformada en diversos tipos de combustibles, entre los cuales podemos nombrar:

- Combustibles sólidos, como el carbón de madera, que se puede obtener por pirólisis, descomposición térmica de la madera, sin contacto con el aire.
- Combustibles líquidos, entre los cuales podemos nombrar el etanol, que se obtiene por fermentación de jugos dulces (frutas, caña de azúcar, remolacha, maíz, etc.). Mientras que por la destilación de madera, se obtiene el metanol.
- El etanol y el metanol, que son usados como carburantes puros o mezclados con gasolina en los autos.
- Combustibles gaseosos, entre los cuales se puede nombrar el compuesto de la mezcla de monóxido de carbono con hidrógeno, conocido como "gas de agua", que se origina al hacer pasar vapor de agua por carbón incandescente. Puede hacer funcionar algunos motores y se obtiene por gasificación de productos secos como madera, paja y carbón de madera. En cambio, por la fermentación metánica de productos húmedos como estiércol, desechos orgánicos, basuras, etc. sin contacto con el aire (anaérobico), se obtiene metano o biogás.



Figura 1.48
Parque eólico Canela.
Fuente www.panoramio.com

Energía eólica

La energía eólica es un tipo de energía que no emite contaminación alguna, y se produce por el efecto térmico del Sol sobre la Tierra en rotación, que crea el movimiento de aire llamado viento. El viento se puede aprovechar para el bombeo de agua en los campos. Por medio de un generador de corriente, esta energía se puede transformar en energía eléctrica. Sin embargo, entre sus consecuencias negativas podemos nombrar su impacto visual, el incremento de la erosión, ya que se seca la superficie del suelo cercano. Asimismo, si se utilizan aspas con componentes metálicos, se producen ruidos e interferencias electromagnéticas.

En nuestro país, el parque eólico Canela (**figura 1.48**) de 78,15 MW de capacidad instalada, exhibió en el año 2012 una producción de 108 149 MWh, lo que equivale a la reducción de emisión de cerca de 61 610 toneladas de CO_2.

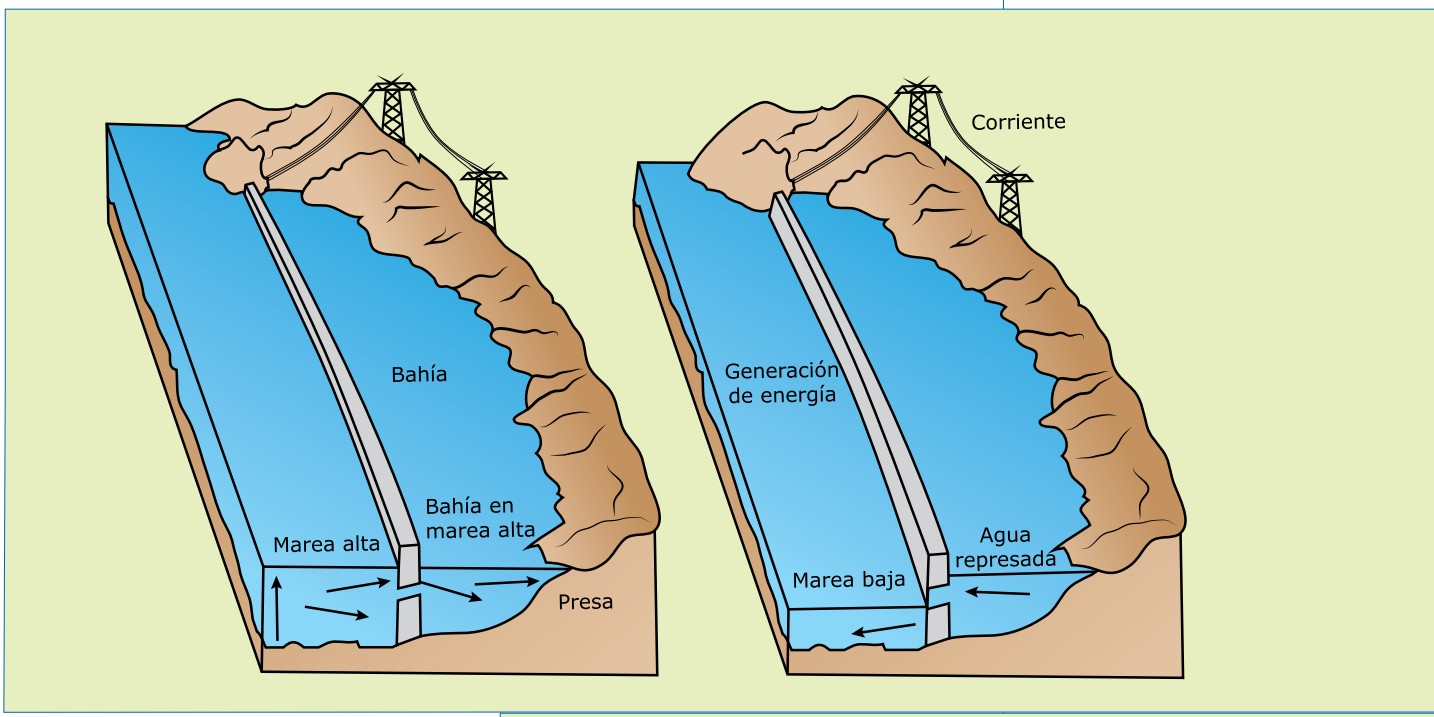
Energías independientes de la energía solar

Energía de las mareas o mareomotriz

Por las atracciones del Sol y la Luna, combinadas con la rotación de la Tierra, se producen las mareas, movimiento de las aguas del mar que suben y bajan periódica y diariamente.

Para poder aprovechar estas mareas, se crea un embalse, tal como lo muestra la **figura 1.49**, con una pequeña abertura hacia el mar, la que se cierra con un dique. Esto genera, a cada marea, un desnivel de las aguas del mar y del embalse que se utiliza como energía hidráulica por medio de turbinas especiales.

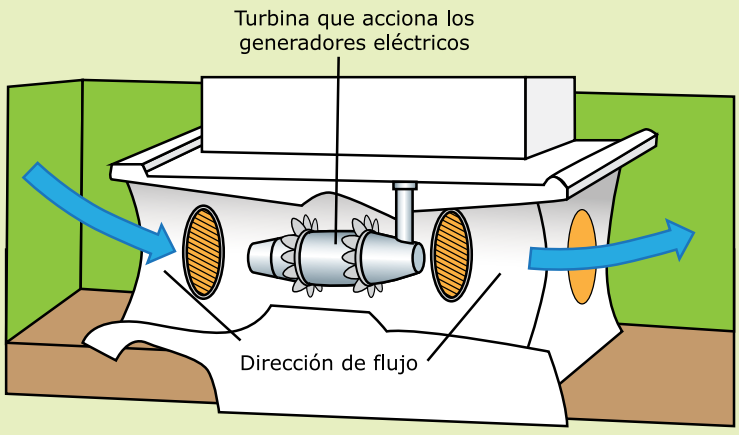
Figura 1.49



Energía geotérmica

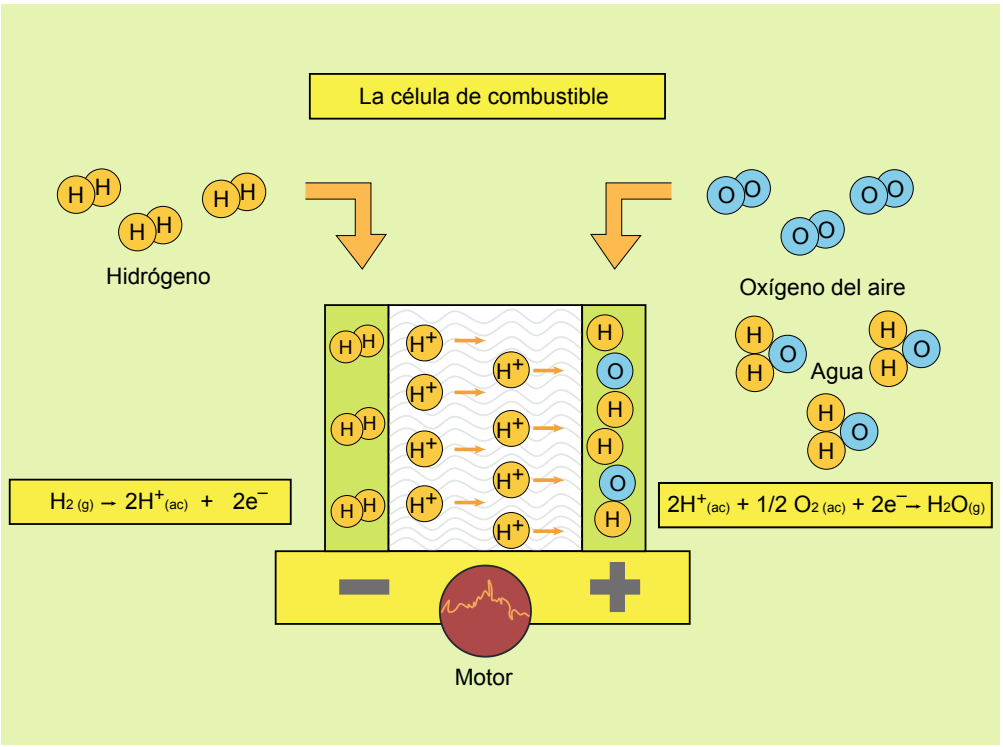
El calor existente en el interior de la Tierra es también una fuente de energía. En las zonas volcánicas es posible utilizar la energía geotérmica para obtener vapor de agua y agua caliente. En algunos lugares existen fuentes geotérmicas que brotan de manera natural, ya sea como agua caliente o en forma de vapor (géiseres).

El problema de este tipo de energía es que, aunque es limpia, no es renovable, pues la energía térmica de los pozos no dura más de 15 años y, sin embargo, demora millones de años en volver a regenerarse.



El hidrógeno como combustible.

Debido a su abundancia, se considera al hidrógeno como un combustible eterno, además es muy eficiente, ya que produce el triple de energía calorífica que el petróleo. El mecanismo ideal para su obtención sería a partir de la electrólisis, que consiste en utilizar una corriente continua para descomponer el agua en sus dos componentes: hidrógeno y oxígeno (**Figura 1.50**).



▲ **Figura 1.50** Archivo Editorial.

Sin embargo, este método resulta cinco veces más caro que cualquier otro empleado para obtener electricidad. Las naves y estaciones espaciales utilizan la celda de combustible H_2/O_2. Esta celda convierte energía química en energía eléctrica. El hidrógeno (H_2) ingresa en el ánodo (electrodo negativo) y el oxígeno (O_2) ingresa en el cátodo (electrodo positivo). El hidrógeno (H_2) se oxida a iones H^+, los que atraviesan una membrana porosa y migran hacia el cátodo reaccionando con el O_2 formando agua como único producto. Los electrones liberados en la oxidación de H_2 circulan por el circuito externo del ánodo al cátodo haciendo funcionar un motor. Este tipo de celda, no contaminante, también se está utilizando en prototipos de automóviles, buses y camiones. Sin embargo, por su costo y los resguardos de seguridad en el uso del hidrógeno, aún no son competitivos con los vehículos de combustión interna.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la energía producida por la biomasa, eólica y el hidrógeno?

Uso eficiente de la energía

Hasta ahora has aprendido sobre las diversas tipos de energía, sus ventajas y desventajas, en comparación con los combustibles fósiles. Sin embargo, ¿cuál sería la acción que se relaciona directamente con la conciencia en el uso de la energía?

El ahorro de la energía es un nuevo tipo de energía. De hecho, uno de los mecanismos para ahorrar energía es la cogeneración de energía, es decir, la producción combinada de dos formas útiles de energía (por ejemplo, vapor de agua y electricidad), a partir de una única fuente de combustible.

Entre las medidas que se podrían considerar en el uso de la energía podríamos nombrar:

- Aumento de la eficiencia en el sistema eléctrico.
- Valorización del costo de energía que se consume.
- Reducción del consumo en los diferentes sectores.
- Medidas de ahorro personal, como comprar aparatos eléctricos eficientes, aumentar el reciclado de papeles y vidrio, etc.

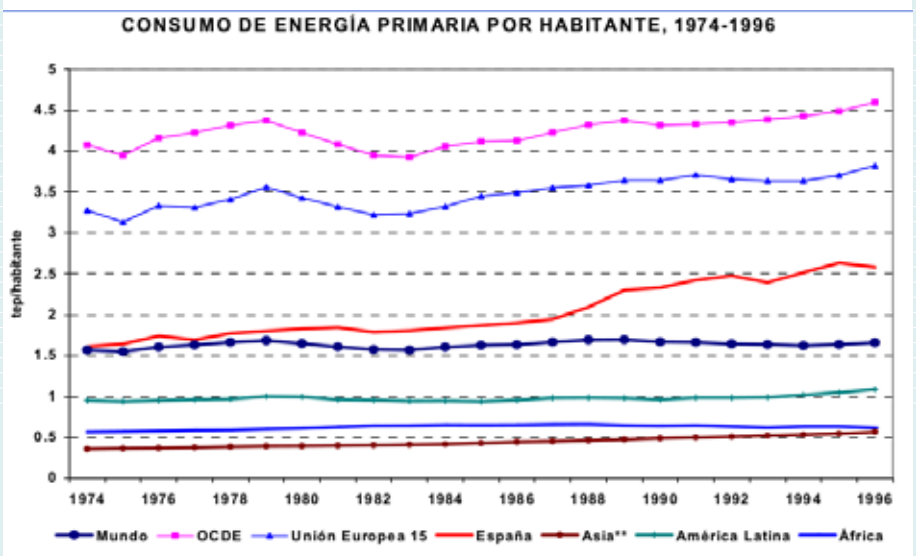
Evaluación de sección 2

1. ¿Completa con las siguientes palabras: electricidad térmica a muy alta temperatura, nuclear, luz normal del Sol, gasolina, gas natural, carbón, energía geotérmica muy dispersa, la siguiente tabla de calidad de la energía.

Calidad	Tipos de energía	Utilidad
Muy alta		Procesos industriales, uso de la electricidad para iluminación o motores
Alta		Movimiento de vehículos. Procesos industriales y de producción de electricidad
Moderada		Procesos industriales sencillos, cocinar, vapor, electricidad y agua caliente.
Baja		Calentamiento de casas y locales

2. ¿Cuál es la diferencia entre costo de energía y rentabilidad económica?

3. Observa el siguiente gráfico y contesta las preguntas



a) ¿Cuál fue el consumo promedio mundial por habitante?

b) Ordena de mayor a menor el consumo de los diferentes países.

c) ¿Cuáles son las consecuencias ambientales?

Cierre Capítulo REPASO IDEAS PRINCIPALES

Sección 1
FACTORES FISICOQUÍMICOS QUE AFECTAN A LA TIERRA

- La máquina climática es un sistema físico que regula el clima planetario.
- La transferencia de la atmósfera a diferentes longitudes de onda, es decir, la transferencia de energía radiante entre el Sol y la superficie terrestre, y entre esta y el espacio exterior se denomina efecto invernadero, el que mantiene la temperatura óptima para la vida en la superficie en la Tierra.
- El impacto ambiental corresponde a cualquier modificación en el ambiente introducida por la acción humana.
- La contaminación atmosférica tiene efectos globales (el agujero de la capa de ozono y el cambio climático) y locales (lluvia ácida y esmog).
- La hidrosfera actúa como un regulador térmico, porque los océanos se calientan y enfrían más lentamente que los continentes. El mecanismo de transporte de calor más eficaz que el atmosférico lo constituyen las corrientes oceánicas.
- El suelo es poseedor de recursos geológicos, geomorfológicos o paleontológicos. Pero, también, es receptor de impacto, como la erosión, la sobreexplotación y el empobrecimiento de su fertilidad.
- La desertificación es afectada por factores humanos y naturales.

Sección 2
EMPLEO EFICIENTE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

- La calidad de la energía se determina en función de su capacidad para producir trabajo útil por unidad de masa o volumen.
- El rendimiento energético es una relación entre la energía suministrada al sistema y la que obtenemos de él.
- Las energías convencionales no son renovables, por lo que se agotarán a través del tiempo y de alto impacto ambiental.
- Entre las energías convencionales podemos nombrar: combustibles fósiles, la energía nuclear, energía hidroeléctrica.
- Entre los combustibles fósiles podemos nombrar: el carbón, el petróleo, gas natural.
- Las energías alternativas son de bajo impacto ambiental, renovables y limpias.
- Entre los principales usos de la energía solar se cuentan la producción de calor y de electricidad.
- Entre la energía procedente del Sol se encuentran energía de biomasa, la eólica.
- Entre la energía independiente de la energía solar, se encuentran la energía mareomotriz, la energía geotérmica.
- Debido a su abundancia, el hidrógeno se puede utilizar como combustible, ya que produce el triple de la energía calorífica que el petróleo, sin embargo, tiene un costo de producción muy elevado.

Aplicaciones

1. Jaime, luego de observar en televisión un documental, donde se comentan los factores fisicoquímicos que afectan a la Tierra, le pregunta a Luis, ¿cuáles son estos factores? y, ¿cómo se pueden disminuir? Identifica las ideas que debe utilizar Luis para responder la pregunta.
2. A Jaime, luego de asistir a una clase, se le solicita elaborar un informe que explique el uso eficiente de los recursos energéticos y responda a la siguiente pregunta, ¿cuáles son las energías convencionales, renovables y las alternativas? Identifica las principales energías que debe utilizar Jaime para responder la pregunta.

Bibliografía recomendada

Bibiografía

- *Física*, Tipler, Paul Allen, Editorial Reverté, Barcelona. 2008.
- *Física conceptual*, Hewitt, Paul G. Pearson Educación, México. 2007.
- *Propiedades geofísicas de la Tierra*, Alva Valdivia, Luis M. Serie: Cuadernos del Instituto de Geofísica; 10. Ed. Plaza y Valdés. México. 1996
- *Astronomía contemporánea*, Maza, José. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 1988

La Tierra

- http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/CTMA/BIOSFERA/ciclos.htm
- http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Atmosfera_Dinamica_de_la.htm
- http://elpais.com/tag/cambio_climatico/a

El Universo

- http://www.nationalgeographic.es/ciencia/espacio/origen-universo
- http://www.nationalgeographic.es/especial-espacio

RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS

Habilidades

- Evaluar las implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales en controversias públicas que involucran ciencia y tecnología, utilizando un lenguaje científico pertinente

Ante el problema de la acumulación de basuras, el reciclado de materiales se ha convertido en una necesidad, y la mejor manera de satisfacerla es recuperar las materias primas.

Algunos materiales que usamos a diario como el papel, se puede, por ejemplo, convertir de nuevo en pulpa para fabricar papel nuevo, pero va perdiendo calidad cada vez que se realiza el proceso.

El vidrio, en cambio, se reconvierte con facilidad en la arena de la que salió y puede volver a fundirse para fabricar nuevas botellas cuantas veces se quiera.

Con los plásticos la situación era muy distinta hasta hace muy poco: resultaba muy complicado romper las cadenas de polímeros y los monómeros que los forman hasta recuperar los componentes originales.



Sin embargo, a mediados de los años ochenta se empezaron a desarrollar los primeros sistemas de reciclado químico y actualmente hay varias plantas que lo realizan.

Existen cuatro técnicas diferentes, según el plástico a tratar. En tres de ellas se somete al polímero a altas temperaturas (entre 400 °C y 800 °C) con atmósferas modificadas de diferente manera:

- En la "pirólisis" se emplea aire sin oxígeno y se obtienen moléculas como metano y etileno, que sirven como materia prima para fabricar nuevos plásticos.
- En la "hidrogenación" se hace inyectando grandes cantidades de hidrógeno al aire, lo que provoca la ruptura de las cadenas.
- En la "gasificación" el aire contiene grandes cantidades de oxígeno, y al romperse las moléculas del polímero se forma el llamado "gas de síntesis", que puede emplearse en otros procesos industriales.

Además, de estos tratamientos térmicos, también se emplean disolventes químicos en frío, capaces de volver a los monómeros originales.

Investiga

1. En tu ciudad, ¿dónde se encuentran las plantas de reciclaje?
2. ¿Qué materiales, además del plástico, recicla tu comunidad?
3. Prepara un PowerPointe con tus conclusiones y comparte con tus compañeros los resultados.

Trabajo de campo

Cuando se debate sobre el tema ambiental, surgen opiniones encontradas sobre la actitud de las personas de una comunidad frente al desarrollo económico y cómo este, de manera directa o indirecta, afecta al equilibrio ambiental. Como una manera de ejercitar el debate e interés por desarrollar una opinión crítica acerca de los problemas ambientales que afectan al contexto de su región y comunidad, les invitamos a una experiencia de simulación.

I. Selección de la problemática ambiental: construcción de una central que genera energía. Ventajas y desventajas

Objetivo:

1. ¿Puede un país crecer y desarrollarse con centrales que produzcan energía y que sean compatibles con el medioambiente?
2. ¿Qué consideraciones plantean los agentes inversores y la comunidad que se verá afectada y favorecida con dicho desarrollo?

II. Formulación del problema

1. Estudiar las posibles decisiones de los agentes inversores.
2. Estudiar distintas alternativas de generación de energía y su efecto en la localidad.
3. Debatir acerca de las ventajas y desventajas para la comunidad cercana.

III. Metodología de trabajo

1. El curso se separa en dos grandes grupos y eligen a uno o dos representantes.
2. Cada grupo lee la tabla de las características de la generación eléctrica.
3. Cada grupo elige una simulación o enunciado ecológico y la discuten.

Simulación o enunciado ecológico N°1	Simulación o enunciado ecológico N°2
El proyecto de una nueva central eólica en la zona no intervenida afecta la belleza escénica de la zona. La municipalidad no permite el desarrollo del proyecto. Es preferible seguir pagando altos costos en electricidad, que intervenir una zona natural. Adicionalmente, la localidad afectada no recibe ningún beneficio en términos de menores costos producto de su desarrollo.	Se puede generar energía eólica con un impacto ecológico acotado. Esto beneficiaría el desarrollo futuro de la zona central norte del país: se espera disminuya en un 10 % el costo de la energía eléctrica para los hogares. Adicionalmente, la empresa se comprometió a mitigar el impacto ecológico, disminuyendo la zona de instalación de aspas. La alternativa es seguir generando electricidad con carbón, lo que contamina el medioambiente.

4. Para la discusión, deben identificar las condiciones por cambiar: lo que los inversores plantean y lo que la comunidad plantea. Una vez identificada cada una de las variables, cada grupo reflexiona sobre ellas y aporta ideas acerca de los posibles beneficios para la comunidad y acciones para lograr un cambio ambientalmente sostenible.
5. Seleccionan en orden de importancia las propuestas de acciones y las dificultades posibles del cambio ambiental.

Primera parte: Debate inicial acerca del enunciado ecológico que lo representa y defensa de él ante el otro grupo con argumentos, sin perder de vista los objetivos.

1. Un secretario general toma acta de los argumentos esgrimidos por las dos partes.

Grupo 1	Grupo 2

Segunda parte: Deben cambiar los roles. Ahora cada grupo asume el enunciado ecológico contrario. Nuevamente cada grupo defiende y argumenta.

1. El grupo inversor prepara una propuesta de mitigación del impacto ambiental y aportes a la comunidad.
2. Supongamos que se aprueba la ley que permite los proyectos de inversión que benefician a la localidad y se instalan, mediante el financiamiento de proyectos de interés de la comunidad.
3. El otro grupo "comunidad" prepara una propuesta de acciones y proyectos que implican beneficios a la localidad y a las personas sobre la base de recursos aportados.
4. Cada grupo prepara una tabla de argumentos de los proyectos o acciones que van a favorecer a la comunidad.

Actividad	Monto de recursos destinados
Vertedero municipal	
Consultorio de Salud	
Mejoramiento de infraestructura de colegios	

5. Cada grupo expone su propuesta.

IV. Conclusión y análisis

1. Supongamos que se aprueba una nueva ley que permite invertir aportando inversión de desarrollo a la comunidad e intervención con mitigación. ¿Varía la decisión de cada grupo luego del cambio de ley?
2. El grupo 1, bajo estas nuevas condiciones, ¿mantiene su postura o quiere cambiarla?
3. ¿Es posible determinar en cuánto valora la comunidad el mantener la naturaleza sin intervención?
4. Argumentan los costos de la toma de decisión.

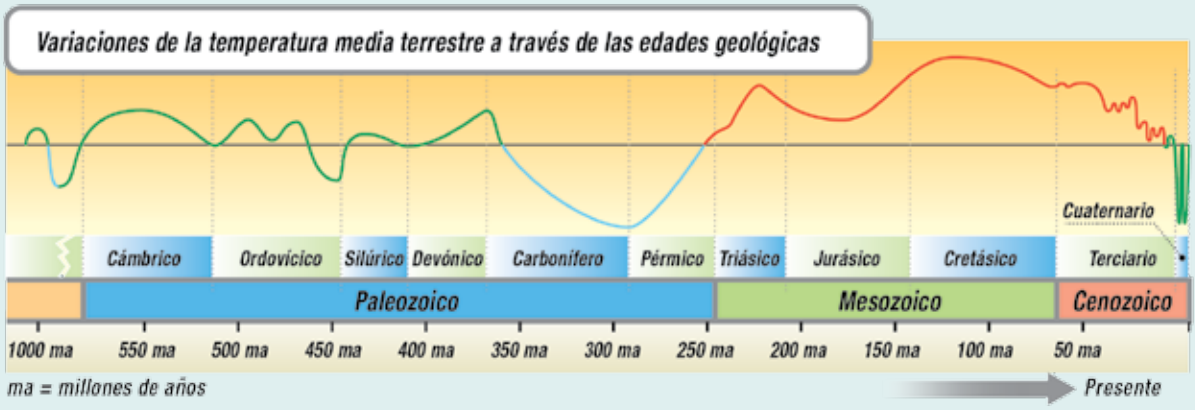
VARIACIONES DEL CLIMA TERRESTRE ANTES DEL CUATERNARIO

Habilidades

- Describir la conexión lógica entre hipótesis, conceptos, procedimientos, datos recogidos, resultados y conclusiones extraídas en investigaciones científicas clásicas o contemporáneas, comprendiendo la complejidad y coherencia del pensamiento científico.

Durante el desarrollo del capítulo hemos estudiado el papel desempeñado por las corrientes oceánicas en el transporte de calor hacia las zonas polares y el efecto de frenado de las mismas llevado a cabo por las masas continentales. Así pues, si hoy sabemos que desde comienzos de la historia de la Tierra la distribución de tierras y mares ha sido diferente, resulta indudable su repercusión sobre el clima terrestre.

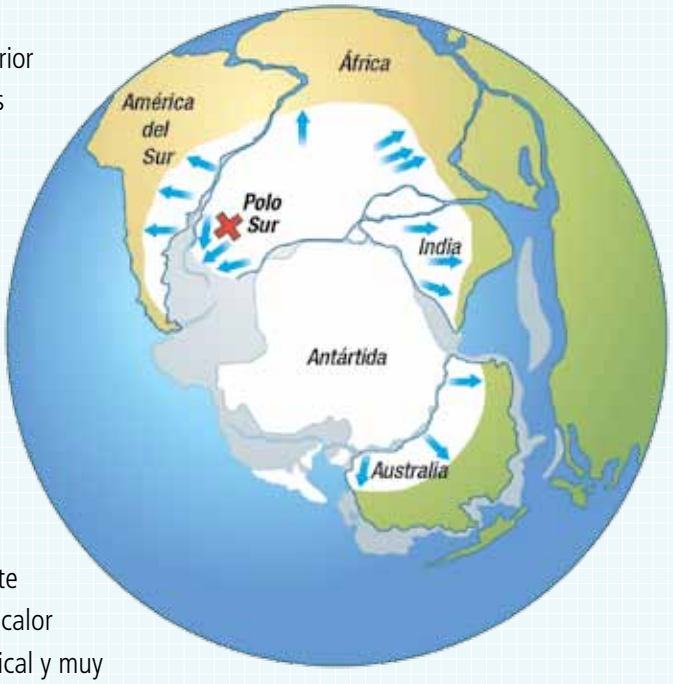
En el siguiente gráfico podemos observar, a grandes rasgos, las variaciones de la temperatura terrestre más significativas:



Ya sabes de cursos anteriores sobre la existencia de un gran continente denominado Pangea. Este continente supondría un freno para las corrientes oceánicas, impidiendo que estas alcanzaran las latitudes medias y altas, que permanecerían muy frías, lo que se traduciría en una glaciación que afectaría a las cumbres montañosas más elevadas. Esto explicaría tanto la glaciación precámbrica como la glaciación carbonífera, ya que corresponde, respectivamente, con las Pangeas I y II. Sin embargo, en el tiempo transcurrido entre ambas se produce la fragmentación de la Pangea I, lo que permite una intensa circulación de las corrientes oceánicas, con lo que las temperaturas medias a lo largo del paleozoico, salvo un breve periodo de enfriamiento acaecido a finales del orvovícico, fueron superiores a las actuales.

Por otra parte, ya sabemos que los continentes tienen una mayor amplitud térmica, por lo que en los inviernos el frío es muy intenso y el aire frío se aplasta contra el suelo y origina un anticiclón permanente.

En los anticiclones, el viento frío y seco parte de su interior y se dirige a sus bordes, impidiendo la entrada de las lluvias, por lo que el clima será árido y desértico. Esto fue lo que ocurrió durante la **desertización del pérmico** por influencia del anticiclón de gran tamaño formado sobre el supercontinente Pangea II. Esta desertización se prolongó hasta el triásico medio (período del mesozoico), cuando la Pangea comenzó de nuevo su fragmentación.



Durante el mesozoico y el terciario, la temperatura se elevó aún más, sobre todo en el **jurásico** y **cretácico**, cuando la Pangea II se parte en dos continentes, uno al norte y otro al sur, lo que permite la apertura de los grandes océanos y el transporte de calor hacia los polos. Debido a ello, el clima se volvió tropical y muy favorable para el desarrollo de los grandes reptiles. Durante el jurásico, la temperatura de los océanos era 15 °C más cálida que hoy, y las latitudes templadas se prolongan hasta los polos, impidiendo la formación de casquete de hielo.

Parece que se tuvo así hasta bien entrado el terciario (hace unos 40 millones de años). Sin embargo, a pesar de esta bonanza climática, a finales del mesozoico, hace 65 millones de años, tiene lugar la extinción de los dinosaurios, lo que parece que se debió al impacto de un meteorito que ocultó la luz solar y provocó un ligero descenso de las temperaturas medias.

Para pensar después de leer

1. ¿Qué sucedió con el clima terrestre luego de la fragmentación de la Pangea I?
2. ¿Cuál sería la consecuencia del movimiento de las placas tectónicas sobre el clima terrestre?
3. Si la temperatura de los océanos aumentara actualmente hasta valores cercanos a los estimados en el jurásico, ¿cuáles serían sus consecuencias sobre el clima terrestre?
4. Prepara un informe y pon en debate el tema.

Eficiencia energética

Habilidades

- Evaluar y debatir las implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales en controversias públicas que involucran ciencia y tecnología, utilizando un lenguaje científico pertinente

Junto con la búsqueda de nuevas alternativas energéticas, es necesaria la paulatina disminución del uso dado a las fuentes tradicionales. Una tarea en la que todos podemos ayudar, ya que basta con cambiar algunos hábitos diarios para contribuir en una campaña mundial.

¿En qué consiste la eficiencia energética?

La alta demanda energética constituye uno de los principales problemas que enfrentan los países del mundo. En casi todo el orbe, el incremento en cuanto al uso de energías no renovables es constante, ya que la mayoría de las economías se sustenta en modelos donde estas se utilizan de manera intensiva.

Fue entonces cuando la posibilidad de un agotamiento inminente determinó en muchos países, sobre todo europeos, la experimentación, implantación y uso efectivo de nuevas alternativas energéticas renovables, como la eólica, solar y mareomotriz, entre otras. Pero, además, comenzó a integrarse al lenguaje de muchos países el concepto de eficiencia energética.

La eficiencia energética se refiere al uso y consumo de los recursos energéticos con racionalidad y optimizando su utilización. Ya que resulta imposible hacer un cambio radical en el uso de las energías no renovables por aquellas de más larga vida, todos podemos contribuir al ahorro energético. Aunque no lo creas, una medida tan sencilla como desconectar los aparatos eléctricos que no estamos utilizando en el hogar ayuda a ahorrar energía.

Eficiencia en Chile

Desde 1994, nuestro país implementó una estrategia nacional de eficiencia energética. Apoyado y financiado por la Comunidad Europea, el programa buscaba generar conciencia en cuanto al deber que tenemos todos nosotros en el consumo eficiente y racionado de la energía.

Entre las principales medidas adoptadas se encontraban el cambio progresivo de la mayoría de las luminarias del alumbrado público municipal por unas de bajo consumo, la implementación de programas de ahorro en edificios públicos, actividades educativas y una campaña nacional para que todos los chilenos conociéramos y aplicáramos el concepto de eficiencia energética.

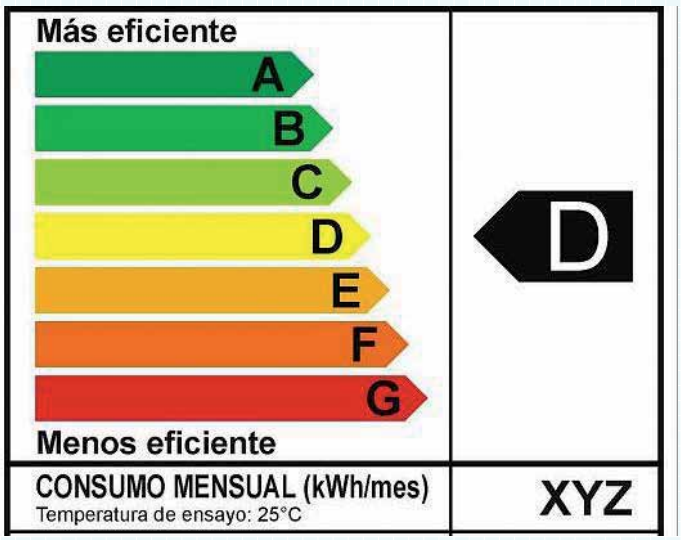
Esta primera iniciativa, que culminó en el año 1999, dio paso a una serie de cambios ocurridos hasta 2004. Se introdujeron nuevas reglamentaciones en cuanto al aislamiento térmico de las viviendas, se propuso por primera vez un sistema de etiquetado de los artefactos eléctricos, con la finalidad de que estos señalaran su consumo real y las campañas de difusión continuaron.

A partir de 2005, el gobierno instauró el Programa País Eficiencia Energética, que, además de contar con un comité que integran diversas personalidades (entre ellos ministros y representantes de algunas instituciones), desarrolla proyectos y evaluaciones en los principales sectores de la sociedad consumidores de energía, como son el transporte, la industria, la minería, el comercio, el área residencial y los edificios públicos.

Etiquetado de Eficiencia Energética

Una de las medidas que se están implementando paulatinamente para la promoción del consumo energético eficiente es el etiquetado de los artefactos eléctricos. Esta medida consiste en que cada aparato, ya sea un refrigerador, una ampolleta o una lavadora, entre muchos otros, contenga datos relevantes en cuanto a su real gasto de energía. Su objetivo es transparentar la información sobre el nivel de consumo de energía de cada producto y entre las mismas marcas ofrecidas por el mercado, de manera que el cliente tenga la posibilidad de escoger el aparato que, además de reunir condiciones como calidad, tamaño y tecnología, integre un menor gasto energético.

El programa de etiquetado para la eficiencia energética se lanzó durante el año 2005, sin embargo, recién durante el 2006 se estableció la reglamentación que regiría el proyecto, así como también la obligación de comenzar a certificar los aparatos eléctricos. Ya desde la mitad del 2007 cuentan con esta etiqueta refrigeradores, ampolletas incandescentes (tradicionales) y fluorescentes. Más adelante se pretende integrar, paulatinamente, a otros artefactos de uso común.



Las etiquetas clasifican el nivel de consumo energético según una escala gráfica de colores, la que va desde el verde hasta el rojo. Además, poseen letras para una mejor clasificación, que va desde la A hasta la G. Los aparatos más eficientes contarán con el color verde y la letra A, mientras que los que consumen más energía serán identificados con el color rojo y la letra G. También integra el consumo mensual de cada aparato, lo que variará de acuerdo a sus condiciones de uso.

Fuente: Etiquetado de eficiencia energética (ICARITO online)
http://www.icarito.cl/enciclopedia/articulo/segundo-ciclo-basico/ciencias-naturales/fuerza-y-movimiento/2009/12/61-7653-9-eficiencia-energetica.shtml
Consulta junio de 2014.

Investiga en fuentes bibliográficas

1. ¿Cuál son los consejos que se han entregado para utilizar la energía en forma eficiente?

2. ¿Cuáles son las acciones que podrían realizar para utilizar de manera eficiente la energía en tu comunidad?

3. Prepara un Power Point y comparte con tus compañeros los resultados.

Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS?

Sección 1

I. Asocia el concepto clave a la pregunta que corresponde:

A) máquina climática.

B) impacto ambiental.

C) efecto invernadero.

D) lluvia ácida.

E) ciclo del agua.

1. ¿Cúal es el sistema físico que regula el clima del planeta?
2. ¿Cómo se explica el cambio en el paisaje por la agricultura?
3. ¿Cómo se mantiene la temperatura óptima para el desarrollo de la vida en el planeta?
4. ¿Cómo se mueve el agua en nuestro planeta?

II. Marca la alternativa de la palabra o frase que mejor responda al enunciado:

1. Efecto local de la contaminación atmosférica:
   A) lluvia ácida.
   B) cambio climático.
   C) agujero en la capa de ozono.

2. La siguiente definición: "Actúa como regulador térmico y constituye un mecanismo de transporte muy eficaz en la superficie de la Tierra".
   A) Hidrosfera.
   B) Atmósfera.

3. Proceso geológico que se intensifica con el deterioro de ecosistemas:
   A) la erosión.
   B) la desertificación.

III. Piensa y responde

1. Observa la imagen de la erupción del Cordón Caulle y explica algunos efectos de esta erupción en el clima de la región.
2. Construye un esquema conceptual del aumento de la concentración de gases de efecto invernadero sobre la temperatura de la Tierra.
3. Compara el efecto invernadero con el albedo y responde: ¿Cuáles son las consecuencias de su acción?
4. ¿Cómo se podría disminuir el impacto ambiental sobre el planeta?
5. Investiga cómo actúan las corrientes marinas y responde la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los efectos de la corriente de El Niño o de La Niña en nuestro país? Presenta un informe.



Sección 2

I. Marca la alternativa correcta:

1. ¿Qué tipo de conversión energética realizan los colectores fotovoltaicos?

A) térmica a radiante **B)** cinética a eléctrica **C)** radiante a eléctrica
D) eléctrica a térmica **E)** energía nuclear

2. ¿Cuál de los siguientes recursos no necesita turbina alguna para producir electricidad?

A) energía solar **B)** energía eólica **C)** energía hidroeléctrica.
D) energía nuclear **E)** energía mareomotriz

3. ¿Cuál de los siguientes combustibles son fósiles?

I. Gasolina **II.** Carbón mineral
III. Petróleo **IV.** Gas natural

A) Solo I **B)** II y III **C)** I y III
D) I, II y III **E)** I, III y IV

4. ¿De dónde procede la mayor parte de las energías que adquiere la superficie terrestre?

A) de la radiactividad **B)** de la radiación solar **C)** de las sustancias químicas
D) del viento **E)** del interior de la Tierra

5. Entre las medidas de uso eficiente de la energía están:

I. Valoración del costo de energía que se consume.
II. Reducción de del consumo en los diferentes sectores.
III. Remplazar aparatos electrodomésticos eficientes.
IV. Aumentar el uso de combustibles fósiles.

A) Solo I y II **B)** I, II, III **C)** II y III
D) I, III y IV **E)** Solo IV

II. Piensa y responde:

1. ¿Cómo puede encontrarse el gas natural en un yacimiento?
2. ¿Cómo se transporta el gas natural? ¿En qué estado se transporta?
3. ¿Cómo se distribuye el gas natural en una ciudad?
4. ¿Para qué se emplea el gas natural?
5. ¿Cuál es el principal uso del carbón en la actualidad?
6. ¿Qué es una central térmica?
7. ¿A qué se debe que el petróleo sea una fuente de energía no renovable?
8. Explica el principio de funcionamiento de una central mareomotriz
9. ¿Qué ventajas tiene el gas natural respecto de los otros combustibles fósiles?
10. Redacta paso a paso cómo se produce energía eléctrica en la central térmica. Al mismo tiempo, explica cuál es el principal problema que generan estas centrales.
11. ¿Cuál es el inconveniente de la energía hidráulica respecto de su distribución espacial y temporal?
12. Explica la diferencia entre los paneles solares fotovoltaicos y los paneles solares térmicos (colectores). ¿Cuáles son los posibles usos de cada uno?

Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo

En el formulario KPSI que se presenta a continuación, se han formulado preguntas con el objetivo de indagar sobre tu nivel de aprendizaje. Dependiendo de tu desempeño podrás:
reforzar conceptos, habilidades y procedimientos débiles
resolver nuevas situaciones problemáticas o fenomenológicas, como desafío de profundización.

Categorías:
1. No lo sé
2. No lo entiendo
3. Creo que lo sé
4. Se lo podría explicar a mis compañeros

Utilizando las categorías anteriores, marca con una X en el recuadro que corresponda.

Objetivo del capítulo

Comprender los efectos nocivos que la acción humana puede provocar sobre la atmósfera, litosfera e hidrosfera y la necesidad de emplear eficientemente los recursos energéticos para atenuar dichos efectos

Enunciados /conceptos o temas	1	2	3	4
¿Cuáles son mecanismos físicos que afectan a la Tierra?				
¿Cuáles son los mecanismos fisicoquímicos en la regulación del clima terrestre?				
¿Cuáles son los mecanismos fisicoquímico presentes en los fenómenos que afectan a la atmósfera e hidrosfera?				
¿Cuáles son las capas de la atmósfera?				
¿Cómo interactúa la atmósfera con la radiación solar?				
¿Qué es el impacto ambiental?				
¿Qué es la huella ecológica?				
¿Cuáles son las fuentes de contaminación atmosférica?				
¿Cuáles son los efectos locales y globales de la contaminación atmosférica?				
¿Cuáles son los mecanismos físicos presentes en la dinámica de la hidrosfera?				
¿Cuáles son los mecanismos fisicoquímicos en la los fenómenos que afectan a la litosfera?				
¿Qué es el desarrollo sostenible?				
Subtotal				
Procedimientos y método de trabajo				
Puedo reconocer los mecanismos fisicoquímicos que permiten explicar fenómenos que afectan la atmósfera, la litosfera y la hidrosfera (calentamiento global, reducción de la capa de ozono, aumento del nivel de los mares, etc.) y de la responsabilidad humana en el origen de dichos fenómenos.				
Puedo reconocer las alternativas de uso eficiente de los recursos energéticos para atenuar sus consecuencias ambientales.				
Subtotal				
Actitudes				
Logré cumplir con los objetivos propuestos en cada sección, tema del capítulo.				
Logré explicar con mis palabras los diferentes temas tratados.				
Pude expresar las ideas principales en presentaciones.				
Pude compartir las ideas con mis compañeros.				
Pude cambiar mi opinión sobre algún tema a partir de la explicación de mis compañeros.				
Subtotal				
Total general				

Ahora suma los subtotales y obtén el total general.

Con ayuda de los subtotales notarás tu avance en relación con el manejo de conceptos, el desarrollo de tus habilidades, procedimientos y actitudes referidas a tus aprendizajes del capítulo.

Dependiendo de los resultados, ellos te orientarán sobre tus logros, por lo que te sugerimos preguntarte: ¿Qué debo reforzar para superar el déficit? ¿Qué puedo hacer para avanzar más? ¿Qué puedo hacer para saber más?

Utiliza la siguiente tabla para guiar tus remediales

Puntos	Acción	Algunas tareas sugeridas
0-23	Leer detenidamente los contenidos del capítulo. Identificar las ideas y conceptos que no puede explicar. Buscar información en otras fuentes bibliográficas o Internet.	• **respecto de los contenidos** Buscar situaciones cotidianas relacionadas con contenidos del texto como las capas de la atmósfera, los efectos de la contaminación en tu comunidad, los usos de la energía convencional y la energía alternativa. • **respecto de los procedimientos** Realizar reciclaje de residuos, clasificar los tipos de energía que usa diariamente. • **respecto a las actitudes** Interés por realizar tareas, fijándote metas.
24- 46	Leer los contenidos del capitulo que no ha logrado entender. Reconocer los conceptos aprendidos y los que no ha entendido. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Conocer la aplicación de los conceptos adquiridos en situaciones cotidianas relacionadas con contenidos del texto como los dispositivos de auto luminiscencia, como los letreros, los cuadrantes de los aviones donde se utiliza tritio. • **respecto de los procedimientos** Elaborar encuestas que permitan detectar los efectos nocivos de la actividad humana sobre la atmósfera, litosfera e hidrosfera. • **respecto a las actitudes** Interés por trabajar en equipo.
47 – 69	Ejercitar los problemas propuestos en el texto. Elaborar explicaciones sobre los conceptos deficitarios. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Comprender conceptos, entender los impactos ambientales y el uso eficiente de los recursos energéticos. • **respecto de los procedimientos** Ejercitar la competencia matemática a través del repaso de los cálculos realizados en el texto. • **respecto de las actitudes** Interés por saber para qué se necesita comprender los conceptos del capítulo.
70 – 92	Elaborar explicaciones sobre los conceptos desarrollados a lo largo del texto. Buscar información en otros fuentes.	• **respecto de los contenidos** Comprender conceptos, entender los impactos ambientales y el uso eficiente de los recursos energéticos. • **respecto de los procedimientos** Construir una cocina solar. • **respecto de las actitudes** Proteger el entorno natural y sus recursos como contexto de desarrollo humano. Puedo explicar a mi compañero o grupo y logran entender.

Capítulo 2

¿Qué evidencias experimentales han permitido conocer el origen del universo?

NUESTRO UNIVERSO

¿Has visto alguna vez en el cielo nocturno, sin Luna, los objetos de la fotografía? Te habrás dado cuenta que parecían nubes blanquecinas destacadas contra el fondo oscuro del cielo estrellado. En realidad, esas dos nubes del cielo nocturno, cuando miras hacia el sur, corresponden a dos galaxias satélites de la Vía Láctea, galaxia en donde se encuentra el sistema solar. Se denominan Nube Grande de Magallanes y Nube Pequeña de Magallanes.

En este capítulo aprenderás a reconocer y describir algunas propiedades de las galaxias y los hechos físicos que explican los fenómenos que sustentan la teoría acerca del origen y evolución del universo y que proporcionan las evidencias de su expansión. Te darás cuenta de que este conocimiento se ha ido construyendo sobre la base de leyes físicas que ya conoces y que esta construcción no ha estado exenta de dificultades, conflictos y debates, puesto que las nuevas ideas no todos los científicos las aceptan de inmediato.

Lo que estudiarás

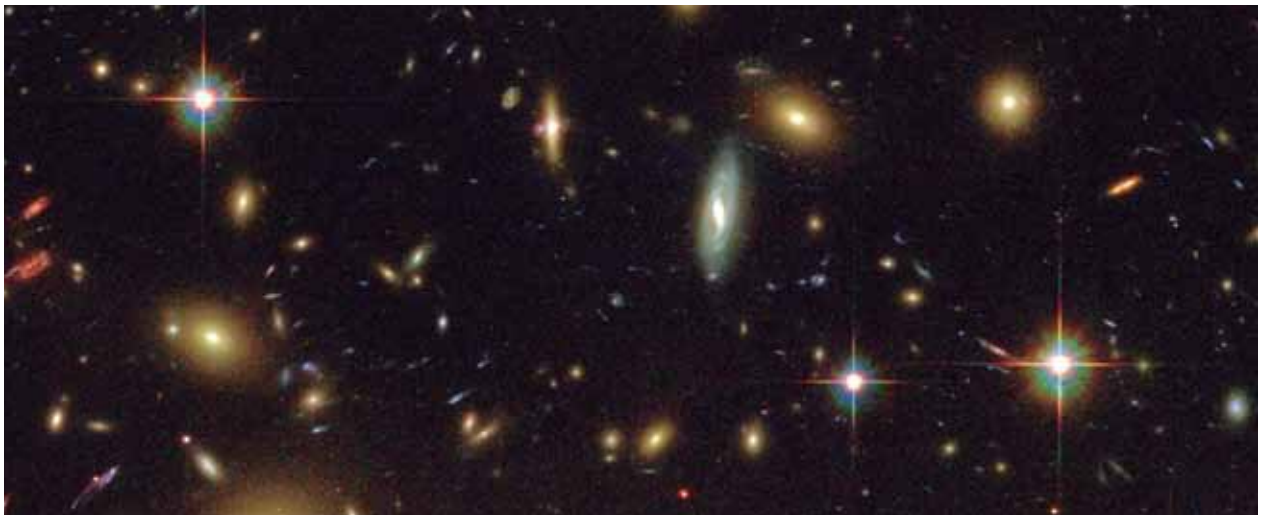
- Algunos fenómenos y evidencias que dan cuenta de la expansión del universo y las teorías que sustentan su origen y evolución.
- Los mecanismos que permiten a las estrellas generar luz y sintetizar elementos.

Lo que debes saber

- La importancia de las leyes físicas formuladas por Newton y Kepler para realizar predicciones en el ámbito astronómico.
- Las diversas evidencias acerca del origen y evolución del sistema solar
- La inmensidad del universo a través del análisis de los tamaños comparativos de las estructuras cósmicas y de las distancias que las separan.
- Las fuerzas nucleares y electromagnéticas.

Actividad exploratoria

La fotografía de esta página, captada por el Telescopio Espacial Hubble en una región muy pequeña del cielo, muestra únicamente galaxias que se encuentran a distancias muy distintas: la más lejana de ellas está a una distancia tal que su luz tarda más de diez mil millones de años en llegar hasta nosotros.



Para estudiar las secciones de este capítulo necesitarás recordar algunos conceptos que probablemente ya has aprendido.Para saber cuánto recuerdas, intenta responder las siguientes preguntas. Ayúdate para ello con libros o Internet.

1. ¿Qué es una galaxia y cómo se clasifican?
2. ¿A qué distancia se encuentran las Nubes de Magallanes de la fotografía de la página anterior? ¿Qué unidad de distancia se emplea en las distancias astronómicas?
3. ¿Cuántas galaxias se pueden observar a simple vista?
4. ¿Cómo definirías la unidad de distancia denominada año luz?
5. Calcula la equivalencia del año luz en kilómetros.
6. ¿Cuáles son las dimensiones de la Vía Láctea en años luz: su diámetro y su espesor?
7. ¿Cuál es la distancia, en años luz, a la que está el Sol desde el centro de la Vía Láctea?
8. El parsec es otra unidad de distancia astronómica. ¿Cómo podrías definirla?

SECCIONES

1 El UNIVERSO

2 FORMAS EN EL CIELO

EL UNIVERSO



El estudio del universo es una de las actividades más fascinantes a la que los seres humanos podemos dedicarnos. Esta fascinación no solo proviene de lo ilimitado del universo, sino de saber que nosotros formamos parte de él. La humanidad, la Tierra, o nuestro sistema solar no son sino una partícula de polvo frente a lo inconmensurable que se abre ante nuestros ojos cuando observamos el cielo en una noche despejada. (**figura 2.1**)

Desde hace solo tres mil años, los astrónomos se han preocupado por investigar el cosmos más allá de lo que los sentidos nos permiten ver. Pero cuantas más respuestas obtienen, más incógnitas emergen y las preguntas fundamentales, los retos más difíciles, van cambiando. Hoy en día, se sabe que el universo se expande aceleradamente, pero ¿qué evidencias nos permiten decir que el universo se expande? ¿De qué está compuesto el universo? ¿Qué hallazgo marca un antes y un después en el estudio del universo?

El conocimiento sobre los fenómenos que dan cuenta de la expansión del universo te permitirán comprender las teorías acerca de su origen, su evolución y estructura.

Figura 2.1
Imagen nocturna de cielo despejado

AL LEER APRENDERÁS

- A identificar estructuras a gran escala que se encuentran en el Universo.

PRERREQUISITOS

- Ley universal de gravitación
- Tercera ley de Kepler

CONCEPTOS CLAVE

- Propiedades de las galaxias
- Universo
- Efecto Doppler
- Curva de rotación

Tema 1: Propiedades físicas de las galaxias

El físico George Gamov desarrolló el modelo de la "Gran Explosión" (Big Bang) que describe cómo el universo, nacido de una partícula de temperatura y masa infinitas, llegó a tener la actual proporción de hidrógeno y helio. Según Gamov, a medida que crecía, el universo se expandía y enfriaba, mientras cambiaban las condiciones en su interior. Segundos después del Big Bang, algunas partículas atómicas (protones y neutrones) se unieron y formaron núcleos de hidrógeno y de helio, los elementos fundamentales del universo y que constituyen más del 99,5 % de la materia conocida.

Este modelo ha sido confirmado por diversas observaciones, siendo la evidencia más espectacular el descubrimiento de la Radiación del Fondo Cósmico de Microondas, que es una forma de radiación electromagnética y que corresponde al eco proveniente de la formación del universo.

El análisis de este fenómeno ha permitido afinar el modelo del Big Bang. Por ello, hoy sabemos que el universo se inició hace 13 700 millones de años, aproximadamente.

Galaxias

Las galaxias (**figura 2.2**) son objetos muy poco luminosos y difíciles de observar. A simple vista se pueden ver solo algunas, como las Nubes de Magallanes y la galaxia de Andrómeda, que apenas es visible como una estrella difusa. Una galaxia es un conjunto de millones o miles de millones de estrellas. ¿Cuáles son las propiedades físicas de las galaxias y cómo se determinan?



▲ **Figura 2.2**

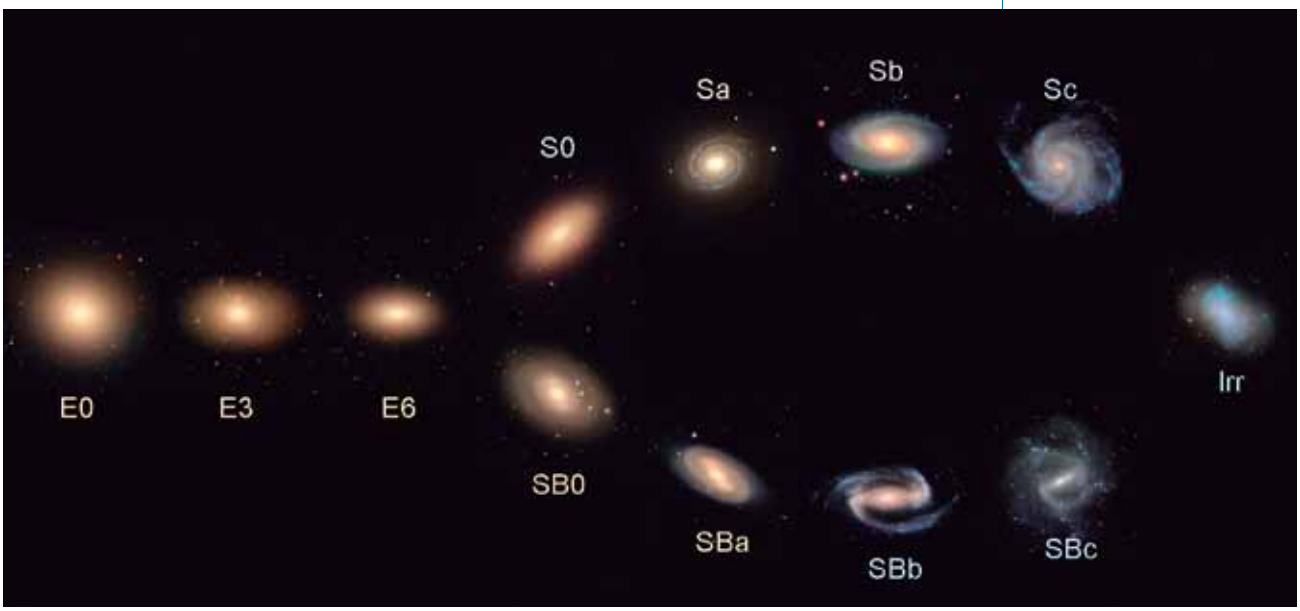
Tipos de galaxias

El concepto de galaxia como se conoce ahora es tan solo del siglo XX. En 1755, el filósofo Emmanuel Kant propuso que las nebulosas que se observaban con los telescopios eran grandes grupos de estrellas que se encontraban fuera de la Vía Láctea; los llamó "universos islas". Pero muchos astrónomos siguieron creyendo que esas nebulosas espirales, como las denominó inicialmente, observadas a través de los telescopios pertenecían a la Vía Láctea.

Estas dos ideas opuestas de los astrónomos acerca de la naturaleza de las nebulosas espirales se enfrentaron en un gran debate en 1920. A un lado estaba un conocido astrónomo, Harlow Shapley, que recientemente había determinado el tamaño de la Vía Láctea. Este pensaba que las nebulosas espirales eran pequeñas y que rodeaban a la Vía Láctea. En la posición opuesta estaba el astrónomo Heber D. Curtis, que lideraba la suposición de los universos islas, afirmando que cada una de las nebulosas espirales es un sistema de estrellas en rotación como nuestra propia Vía Láctea. El debate fue acalorado, pero nada se concluyó, puesto que ninguno presentó alguna evidencia acerca de la distancia a la que estaban esas nebulosas espirales.

Las galaxias se pueden clasificar según sus distintas formas. Hubble clasificó las galaxias en un diagrama como el que se muestra en la **figura 2.3**. Así se visualizan galaxias elípticas (E), espirales (S), espirales barradas (SB) e irregulares (Irr).

Figura 2.3
Visualización de las galaxias conocidas
▼



Distancia a las galaxias

En 1923, Edwin Hubble estudió una fotografía de la nebulosa de Andrómeda en la que se visualizaba una pequeña mancha luminosa, la que en fotografías anteriores de la misma región no aparecía. Era una estrella variable, Cefeida, cuya relación entre la luminosidad y el tiempo permitió a los astrónomos determinar la distancia a la que se encuentra y, por lo tanto, la distancia a la nebulosa.

En la actualidad, los astrónomos utilizan diversas técnicas para determinar la distancia a galaxias lejanas. Para cuantificar estas enormes distancias se usan principalmente dos unidades: el año luz y el parsec.

El año luz es la distancia que la luz recorre en un año y equivale a $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km, es decir, unos 2 000 millones de veces la distancia de Arica a Punta Arenas (5 000 km), o alrededor de 25 millones de veces la distancia de la Tierra a la Luna (384 000 km). Usando la velocidad de la luz como una regla para medir, el año luz mide distancia y no tiempo. Una unidad astronómica (UA) equivale a $1{,}496 \cdot 10^{8}$ km.

El año luz te puede parecer más intuitivo de comprender. La otra unidad para describir grandes distancias astronómicas es el parsec. ¿Cómo se define? Supón que, imaginariamente, te embarcas en una nave espacial que tiene la posibilidad de viajar hasta una distancia enorme alejándose de la Tierra, pero siempre teniendo en la visual a la Tierra y al Sol, tal como se ilustra en la **figura 2.4**.

Cuando la nave espacial se encuentra a una distancia tal que la distancia promedio entre el Sol y la Tierra subtiende un ángulo de un segundo de arco, entonces se dice que la nave espacial se encuentra a una distancia de un parsec de la Tierra (la unidad se simboliza por pc). Un parsec equivale a 3,26 años luz.

Las distancias a las galaxias lejanas son tan enormes que en lugar del parsec se utilizan múltiplos de él, como el kiloparsec (10^3 parsec y se simboliza por kpc) y el megaparsec (10^6 parsec, y su símbolo es Mpc).

El universo observable está compuesto por cúmulos y supercúmulos de galaxias. El cúmulo denominado Grupo Local (**Figura 2.5**), en donde se encuentra la Vía Láctea, está constituido por unas 40 galaxias, ligadas gravitatoriamente entre sí. El diámetro del Grupo Local de galaxias es aproximadamente 3 millones de años luz. Las galaxias más grandes del Grupo Local son la Vía Láctea y Andrómeda. Las galaxias más cercanas a la Vía Láctea están a unos 180 000 años luz (que son las galaxias irregulares Nube Grande de Magallanes y Nube Pequeña de Magallanes). La distancia a la galaxia espiral más cercana es aproximadamente dos millones de años luz (galaxia Andrómeda M31).

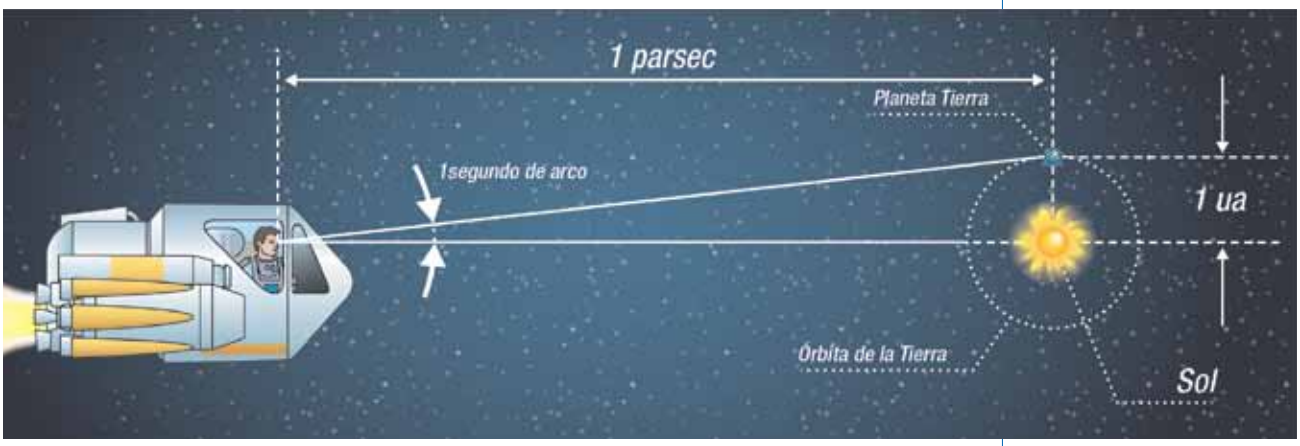
INVESTIGA

- Investiga acerca de la concepción del Universo que tenían pueblos de otras culturas como:
  - Babilonios
  - Egipcios
  - Chinos
  - Mayas

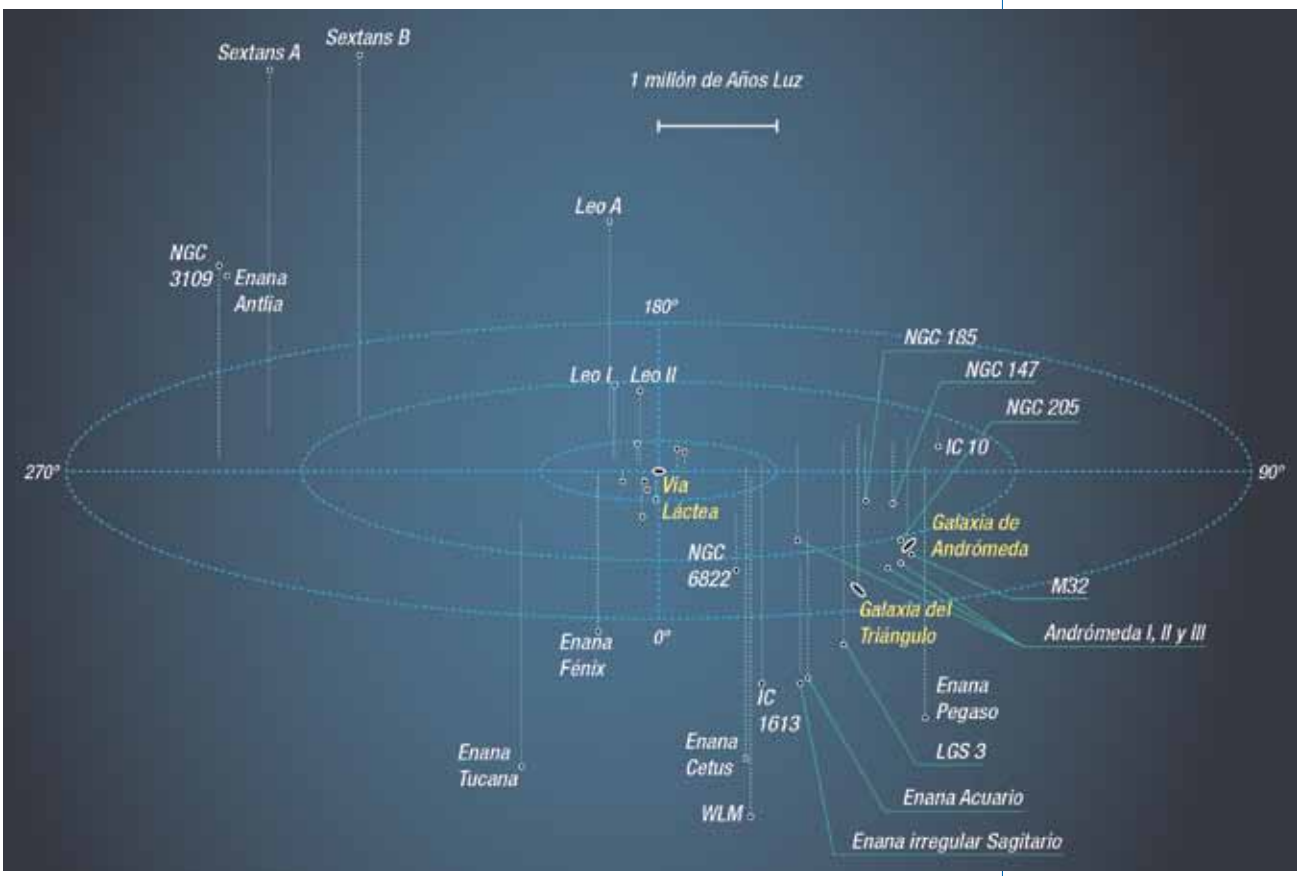
Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
- http://www.profesorenlinea.cl/universalhistoria/Universo_Vision_culturas.htm
- http://www.fisicanet.com.ar/fisica/dinamica/

¿CÓMO VAS? Actividad

1. Verifica que el año luz equivale a $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km.
2. ¿A cuántas UA equivale un año luz?
3. ¿Qué métodos utilizan los astrónomos para determinar la distancia a las galaxias?
4. ¿Cuántos parsec son una ua?



▲ **Figura 2.4**



▲ **Figura 2.5**
Una representación tridimensional del Grupo Local de galaxias.

minilaboratorio

Objetivo
Elaborar una maqueta tridimensional a escala del Grupo Local.

Procedimiento
1. Busca en Internet las distancias entre las galaxias.
2. Elige la escala que tendrá la maqueta, suponiendo que utilizan una caja de tamaño mediano y manejable, por ejemplo, de unos 70 cm por lado.
3. Construye cada galaxia del Grupo Local.
4. Coloca de acuerdo a su distancia cada galaxia.

TEN PRESENTE

- El Sol se mueve a una velocidad de 250 km/s en torno al centro de la galaxia Vía Láctea.
- Edad del Sol: $4{,}6 \cdot 10^9$ años.
- Año galáctico: Tiempo que demora el Sol en dar una vuelta en torno al centro de la galaxia: $250 \cdot 10^6$ años.

Se estima que el número de galaxias en el universo observable es de unos 100 000 millones de galaxias. Si suponemos un número de estrellas por galaxia similar al de la Vía Láctea, que es de unos 200 000 millones, entonces se obtiene un número muy grande de estrellas en todo el universo (**Figura 2.6**).

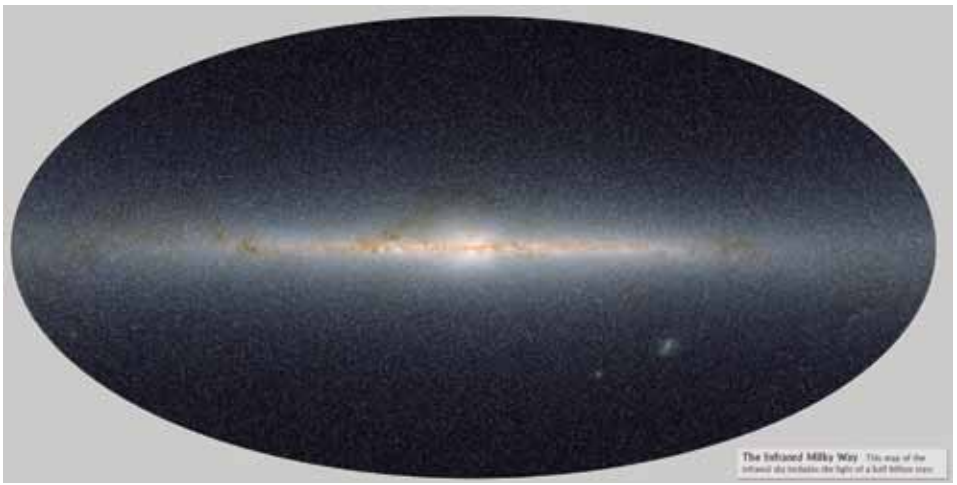
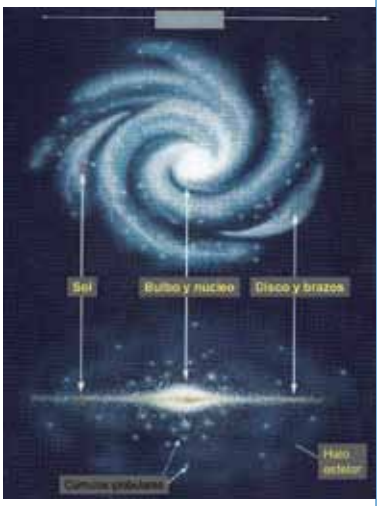


Figura 2.6 ▸
Estructura a gran escala en el universo local: la Vía Láctea

La Vía Láctea reúne un inmenso número de estrellas: algunas parecidas al Sol, otras son soles inmensos que casi pueden cubrir todo el sistema solar. Se estima que en la Vía Láctea hay unos doscientos mil millones de estrellas (o $2 \cdot 10^{11}$). Algunos astrónomos estiman el número de estrellas de la Vía Láctea en 300 mil millones, otros en 100 mil millones, y aun otros en 400 mil millones. El diámetro de la Vía Láctea es de unos 100 000 años luz, es decir, la luz demora 100 000 años en cruzarla. (Algunos astrónomos dicen que el diámetro de la galaxia Vía Láctea es de 160 000 años luz). El espesor del disco que forma la Vía Láctea es de unos 2 000 años luz y el núcleo central tiene 6 500 años luz de diámetro. El Sol se encuentra a unos 28 000 años luz del centro de la galaxia, como se esquematiza en la **figura 2.7**.



▲
Figura 2.7
Ubicación del Sol dentro de la Vía Láctea

Nuestro sistema solar está ubicado en uno de los brazos espirales de una galaxia denominada Vía Láctea, una gigantesca galaxia espiral, pero difícilmente la más grande. Sin embargo, nuestra galaxia es tan enorme que la luz emplea más de 100 000 años en cruzarla.

minilaboratorio

Objetivo

Elabora una maqueta bidimensional de la Vía Láctea a escala.

Procedimiento

1. Usa las dimensiones del **TEN PRESENTE**.
2. Utiliza pintura blanca para dibujar los brazos.

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuántas vueltas ha dado el Sol alrededor de la galaxia durante toda su existencia desde que se formó?

Diámetro y luminosidad de las galaxias

La medición de la distancia de una galaxia (como la de las **figuras 2.8a** y **2.8b**) es importantísima para determinar su diámetro y su luminosidad. Cuando los astrónomos obtienen una imagen de una galaxia, como la de las fotografías, pueden determinar su diámetro angular. Conocida su distancia y su diámetro angular, pueden determinar el diámetro geométrico o real de la galaxia mediante la relación del tamaño angular.

La relación del tamaño angular la puedes obtener si miras atentamente la **figura 2.9**. El tamaño angular de la persona (en grados) es a la altura de la persona (A) como el ángulo completo de la circunferencia (360°) es al perímetro de la circunferencia $2\pi R$.



Figura 2.8a

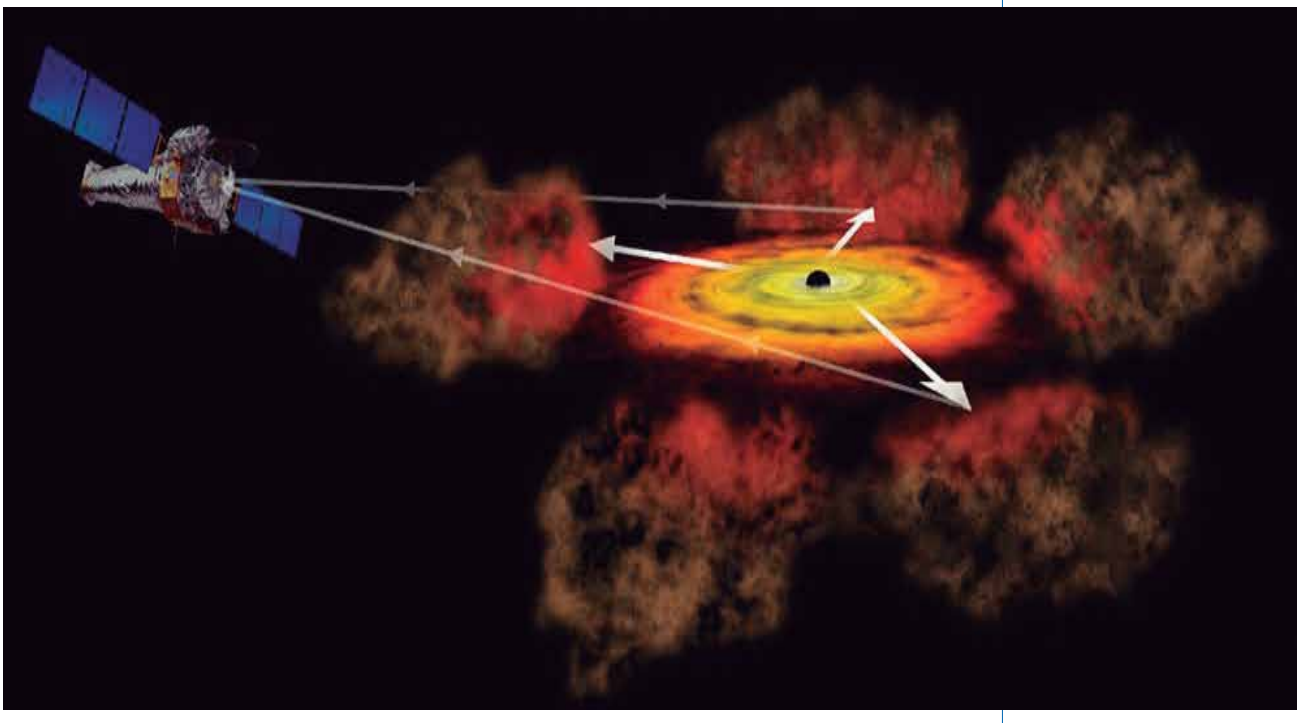


Figura 2.8b
Otra forma de medir el tamaño de una galaxia es por medio de la emisión de rayos X

PARA SABER MÁS:

Magnitud aparente: (m_v) Corresponde al brillo de un objeto celeste tal como lo mide un observador en la Tierra. Sirio es la estrella más brillante del firmamento nocturno, con una magnitud aparente de –1,5, y las estrellas menos brillantes a simple vista tienen una magnitud de +6,5 (límite de visión del ojo humano).

Magnitud absoluta: (M_v) Brillo de un objeto celeste si estuviera localizado a una distancia de 10 parsec.

Relación magnitud – distancia: Los brillos de un objeto celeste, m_v y M_v, están relacionados con su distancia (d) mediante la siguiente expresión matemática, la que permite medir la distancia:

$$m_v - M_v = -5 + 5 \log 10\,(d).$$

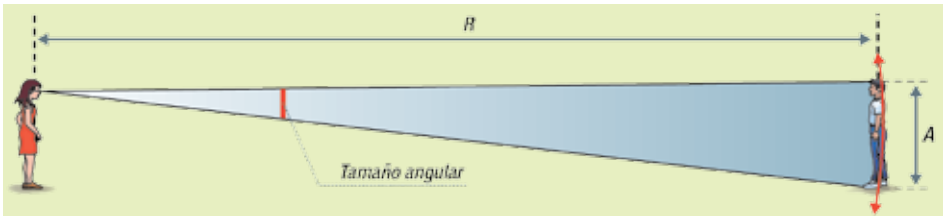


Figura 2.9

En símbolos: $\dfrac{\text{tamaño angular } \alpha}{A} = \dfrac{360^o}{2\pi R}$

Despejando para el tamaño angular, se tiene: tamaño angular $a = \dfrac{360^o\, A}{2\pi R} = 57{,}3^o \dfrac{A}{R}$

En el caso de las galaxias, su diámetro angular es muy pequeño. Se mide en segundos de arco. Entonces la relación se transforma en

$$A = \frac{\alpha \cdot R}{206\,265}$$

donde A es el diámetro real de la galaxia; α es el diámetro angular medido, y R es la distancia a la galaxia medida mediante otro método. Esta relación también es válida para objetos cercanos a la Tierra, como la Luna. Calculemos su tamaño angular visto desde la Tierra.

Al aplicar la relación, se tiene el tamaño angular de la Luna, que es

$$\alpha = 57{,}3^\circ \cdot \frac{3\,476 \text{ km}}{384\,000 \text{ km}} = 0{,}52^\circ$$

TEN PRESENTE

- ¿Sabes que los planetas se mueven siempre por un mismo sector del cielo, llamada eclíptica, que corresponde al disco del sistema solar visto desde la Tierra?

Lo interesante de este último resultado es que si calculas el tamaño angular para el Sol, visto desde la Tierra, obtendrás aproximadamente el mismo valor numérico. ¿Qué efecto astronómico se origina debido a esta coincidencia en sus tamaños angulares?

Como también los astrónomos miden la magnitud aparente de una galaxia, pueden utilizar la distancia ya determinada para encontrar su magnitud absoluta y luego calcular su luminosidad. De estas observaciones se concluye que las galaxias son muy diferentes en tamaño y luminosidad.

¿CÓMO VAS? Actividad

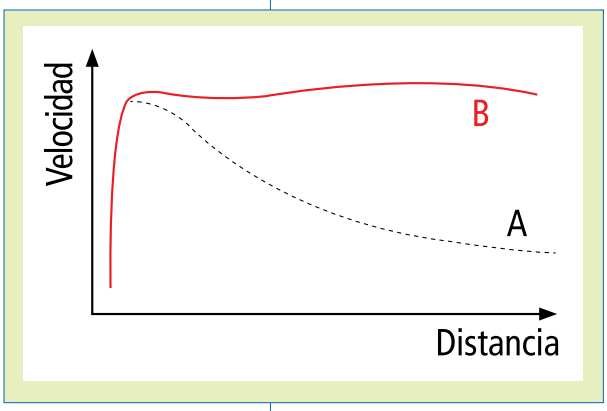
En la fotografía inicial de este capítulo se muestra la Nube Pequeña de Magallanes, una galaxia irregular, satélite de la Vía Láctea, que se encuentra a una distancia de 200 000 años luz de la Tierra (o 63 kpc) y su diámetro es de 26 000 años luz (8 kpc). Esta galaxia se puede observar a simple vista y es un cuerpo extenso, pero menor que la Nube Grande de Magallanes. Calcular el tamaño angular, en grados, de la Nube Pequeña de Magallanes vista desde la Tierra.

Masa de las galaxias

La masa de una galaxia se puede determinar observando las estrellas de su parte exterior, que orbitan alrededor del centro galáctico, conociendo el tamaño de la galaxia y la velocidad orbital de las estrellas en ella. Para ello se utilizan las relaciones del movimiento circunferencial y la formulación de Newton de la tercera ley de Kepler. ¿Cómo se determina la velocidad orbital de una estrella de la galaxia?

Se encuentra la velocidad orbital de las estrellas de una galaxia mediante el efecto Doppler: la imagen de la galaxia se enfoca sobre la ranura de un espectrógrafo para obtener un espectro del núcleo brillante de la galaxia y líneas de emisión menos brillantes originadas por el gas ionizado del disco de la galaxia. Pero la galaxia está rotando, por lo que un lado de ella se mueve alejándose de la Tierra y el otro acercándose, de modo que las líneas de emisión se desplazan hacia el rojo en un lado, y en el otro se desplazan hacia el azul, respectivamente.

Curva de rotación de una galaxia espiral: se predice (A) y se observa (B) Curva de rotación de una galaxia espiral. (**figura 2.10**)

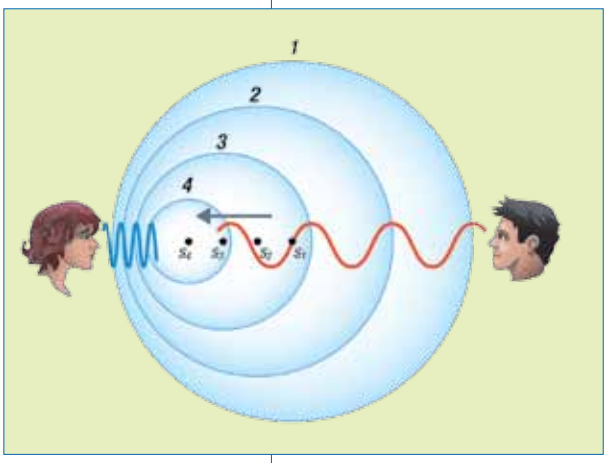


▲ **Figura 2.10**

El efecto Doppler ya lo estudiaste en años anteriores aplicado al sonido. Este concepto fue propuesto por el físico Christian J. Doppler quién afirmaba que la luz se ve afectada por el movimiento, lo que posibilita saber si un objeto astronómico se está moviendo hacia nosotros o se está alejando.

Recordemos la aplicación notable del efecto Doppler (**figura 2.11**) para el sonido; por ejemplo, cuando una ambulancia se aproxima a nosotros, el sonido de su sirena tiene una longitud de onda menor y una frecuencia mayor que si estuviera en reposo: escuchamos un tono más alto. Cuando la ambulancia se está alejando, escuchas un tono más bajo puesto que el sonido tiene una longitud de onda más larga y frecuencia más baja.

Para la luz sucede un efecto similar al efecto Doppler. En la **figura 2.11** se representa una fuente luminosa moviéndose hacia la izquierda, como indica la flecha, en donde los círculos representan las ondas emitidas en distintas posiciones. Las ondas son emitidas en posiciones más cercanas para el observador de la izquierda, por lo que este ve longitudes de onda más cortas, dibujadas en azul, que si estuviera en reposo. Esto significa que todas las líneas del espectro de una fuente luminosa, como una galaxia o una estrella, están desplazadas hacia las longitudes de onda del extremo azul del espectro. Este efecto se denomina corrimiento al azul.



▲ **Figura 2.11**
Representación del efecto Doppler

Si la fuente luminosa se aleja del observador de la derecha, entonces las ondas que llegan a él están más separadas, de modo que detecta una longitud de onda más larga que la que vería si la fuente estuviera en reposo. Esto significa que todas las líneas del espectro de una fuente luminosa que se aleja están desplazadas hacia el extremo de longitudes de onda del rojo del espectro, y se origina el corrimiento hacia el rojo. En ambos casos, el efecto del movimiento relativo en la longitud de onda se denomina efecto Doppler.

TEN PRESENTE

- El espectroscopio es un instrumento óptico que permite descomponer la luz de una estrella. Esta descomposición de la luz en colores se denomina espectro. Con este instrumento los astrónomos han logrado descubrir que el universo se expande.

CHRISTIAN J. DOPPLER (1803 – 1853)

Físico austríaco que en 1842 describió que las ondas sonoras emitidas por una fuente de sonido variaban y obtuvo la ecuación matemática para la variación de la frecuencia con la velocidad. Planteando que también este efecto debía ocurrir con la luz.



El efecto Doppler se expresa en forma matemática mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \text{ con } \Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$$

En donde:

$\Delta\lambda$ = corrimiento o variación de la longitud de onda de una línea espectral

λ_0 = longitud de onda de una línea espectral medida en el laboratorio

λ = longitud de onda de la misma línea del espectro de una estrella o galaxia

v = velocidad de la fuente luminosa

c = velocidad de la luz

La velocidad de una estrella o galaxia que se determina mediante el efecto Doppler se denomina velocidad radial, ya que corresponde a la línea de visión desde la Tierra.

REFLEXIONA

- El Sol de nuestro sistema solar es la única estrella que podemos estudiar con detalles debido a su cercanía.
- Es una de los casi 200 mil millones de estrellas de nuestra galaxia, la cual tiene un diámetro de 100 000 años luz.
- Es una estrella muy antigua clasificada como enana de la secuencia principal y cuya masa es igual a 332 496 Tierras.

¿Cómo determinar la masa de una galaxia mediante la aplicación de la tercera ley de Kepler?

Recuerda que cuando estudiaste la ley de gravitación universal, un planeta LA P, o cualquier otro cuerpo celeste, describe una órbita circunferencial alrededor de otro de mayor masa ubicado en O, como el Sol. Existe una fuerza dirigida hacia el centro O, denominada fuerza centrípeta (**figura 2.12**). Si no existiera esta fuerza, el cuerpo que gira se alejaría moviéndose tangente a la circunferencia.

La fuerza centrípeta $\vec{F}_c$ se expresa mediante la siguiente relación: $F_c = m\,[v^2/R]$, en donde m es la masa del cuerpo celeste que gira alrededor de otro, $\vec{v}$ es la velocidad que tiene en su órbita y R es el radio de la circunferencia. El movimiento circunferencial lo estudiaste en segundo medio, pero aquí daremos lo esencial de él para obtener una relación importantísima que Newton ya obtuvo antes.

La velocidad v del cuerpo que gira durante un período T, tiempo que se demora en dar una vuelta completa, en el movimiento circunferencial está expresada por $v = (2\,\omega\,R) / T$, en donde R es el radio de la circunferencia.

Como la fuerza de gravitación universal de Newton es una fuerza de atracción, también dirigida hacia el centro, podemos igualar la fuerza centrípeta con la fuerza de gravitación, y remplazando v por la expresión anterior, obtenemos la expresión para la tercera ley de Kepler:

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M}$$ Expresión (1)

en donde G es la constante de gravitación universal y M es la masa del cuerpo central, la masa del Sol. A partir de esta última expresión se puede conocer la constante K que aparece en $T^2 = K \cdot R^3$. Resulta:

$$K = \frac{4\pi^2}{G \cdot M}$$

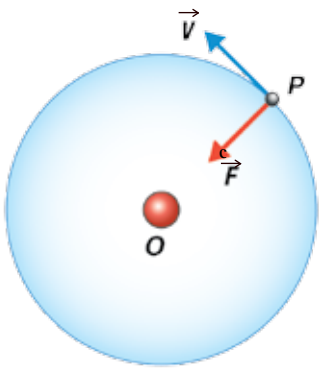


Figura 2.12

Ejercicio resuelto N° 1

Calculando la masa de la galaxia

Las observaciones astronómicas indican que el Sol describe una órbita circunferencial alrededor del centro de nuestra galaxia. El radio de la órbita es de 28 000 años luz, aproximadamente, y su período de una revolución completa es de 220 millones de años. En este movimiento el Sol experimenta la atracción gravitatoria de una gran cantidad de estrellas que están dentro de su órbita.

a) Calcula la masa total de esas estrellas a partir de los datos anteriores.

b) ¿Cuántas estrellas de masa igual a la del Sol, que es de $2 \cdot 10^{30}$ kg, representa ese valor numérico?

Identificando la información

Los datos que se dan son el radio de la órbita del Sol alrededor del centro de la Vía Láctea y su período, por lo cual se debe emplear la expresión (1), despejando la masa M que correspondería a la masa total de las estrellas al interior de la órbita del Sol. Por lo tanto,

$$M = \frac{4\pi^2 \cdot R^3}{G \cdot T^2} \quad \text{Expresión (2)}$$

Estrategia

Recuerda que un año luz es equivalente a $9{,}46 \cdot 10^{15}$ m, por lo que 28 000 años luz es igual a $2{,}65 \cdot 10^{20}$ m. El período de 220 millones de años debemos transformarlo a segundos. Así

$$T = 220 \cdot 10^6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 6{,}94 \cdot 10^{15} \text{ s}$$

La constante de gravitación $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2/ kg^2. Luego, remplazando todo en la expresión (2):

$$M = \frac{4\pi^2 (2{,}65 \cdot 10^{20} \text{ m})^3}{\left(6{,}67 \cdot 10^{-11} \ \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}\right) \cdot \left(6{,}94 \cdot 10^{15} \text{ s}\right)^2}$$

Debes recordar que 1 N = 1 kg/s^2, con lo que

$$M = \frac{7{,}35 \cdot 10^{62}}{3{,}2 \cdot 10^{41} \text{ kg}} \qquad M = 2{,}3 \cdot 10^{41} \text{ kg.}$$

que es la masa de todas las estrellas dentro de la órbita del Sol.

a) Como la masa del Sol es $2 \cdot 10^{30}$ kg, entonces la masa total dividida por la del Sol corresponde al número de estrellas dentro de la órbita del Sol:

$$\text{N}^0 \text{ de estrellas} = \frac{2{,}3 \cdot 10^{41} \text{ kg}}{2 \cdot 10^{30} \text{ kg}} = 1{,}15 \cdot 10^{11}$$

Es decir, unos 115 mil millones de estrellas al interior de la órbita del Sol.

Evaluación individual actividad

Al medir en el laboratorio la brillante línea espectral H_α del hidrógeno, tiene una longitud de onda de $\lambda = 656{,}285$ nm, y en el espectro de la estrella Vega, la misma línea tiene una longitud de onda $\lambda = 656{,}255$ nm. Calcula la variación de longitud de onda y la velocidad de la estrella. ¿Qué se puede concluir del resultado?

AL LEER APRENDERÁS

- A reconocer los fenómenos que sustentan las teorías acerca del origen y evolución del universo y que proporcionan evidencia de su expansión acelerada.

PRERREQUISITOS

- Efecto Doppler

CONCEPTOS CLAVE

- Corrimiento hacia rojo
- Ley de Hubble
- Hipótesis de Olbers

Tema 2: Evidencias experimentales del Big Bang

En esta sección te invitamos a conocer la teoría actualmente aceptada de la evolución del universo mediante la descripción de algunas de las evidencias experimentales notorias para la elaboración de la teoría del Big Bang. Te darás cuenta de que la elaboración de un área del conocimiento la hacen muchos científicos durante bastante tiempo, y en ocasiones con dificultades, hasta que el marco teórico esté acabado. Pero nunca se puede considerar que una teoría está completa, pues pueden aparecer nuevas evidencias, con lo cual habría que ajustar la teoría o rechazarla totalmente.

Corrimiento hacia el rojo

Durante la década de los 20 del siglo pasado, Edwin Hubble y Milton Humason obtuvieron los espectros de muchas galaxias con un telescopio de 2,5 metros de diámetro. Postularon que el universo se expandía de modo tal que cada galaxia se aleja de nosotros a una velocidad proporcional a su distancia; cuanto más débil es el brillo de la galaxia, mayor es su velocidad de alejamiento. Si el astro se aleja, las líneas de dichos espectros se desplazan hacia la zona de las longitudes de onda largas, identificadas con el color rojo; por esa razón, cuando se habla del corrimiento al rojo de las galaxias, se está indicando el alejamiento de las mismas. En la ilustración **(figura 2.13)** se muestran los espectros de cinco galaxias elípticas captadas con el mismo telescopio e igual aumento. Cada galaxia se identifica mediante el nombre de la constelación en que la galaxia se observa y la velocidad con que cada una de ellas se aleja de nosotros aumenta hacia abajo. El espectro de cada galaxia es la banda intermedia entre la comparación de espectros. El espectro de comparación fue producido por una fuente de luz en la Tierra y se representa arriba y abajo del espectro de la galaxia al centro. En los cinco casos, se observan las líneas H y K del calcio ionizado. La velocidad de retroceso (calculada por el corrimiento Doppler de las líneas H y K) está debajo de cada espectro. Debemos notar que la galaxia menos brillante –y por lo tanto la más distante– es la de mayor corrimiento hacia el rojo.

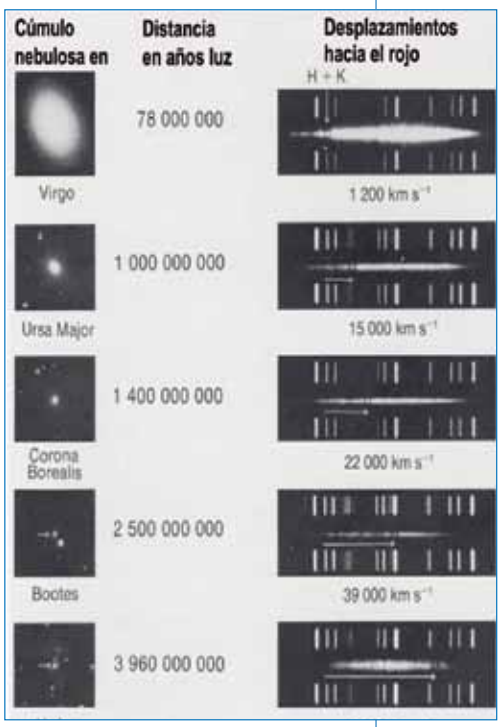


Figura 2.13
Corrimiento al rojo

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

El corrimiento al rojo de un objeto que se aleja es:

z = corrimiento al rojo de un objeto

λ_0 = longitud de onda del espectro de línea sin corrimiento

λ = longitud de onda del espectro de línea que es realmente observado del objeto

Nota que mientras mayor es la distancia a la galaxia, más grande es su corrimiento al rojo, destacado con una flecha roja, y más rápidamente se está alejando de la Tierra. Las mediciones de los corrimientos al rojo de las galaxias (**figura 2.13**) y el efecto Doppler permitieron a Hubble calcular la velocidad de ellas y deducir que se alejaban de nosotros a velocidades altísimas.

Ley de Hubble

Estos datos hicieron que Hubble obtuviera una relación entre la velocidad a la que se alejan las galaxias y la distancia a la que se hallan.

Al graficar la velocidad de alejamiento o recesión de las galaxias, en km/s, en función de la distancia a la galaxia, en Mpc, se obtiene el gráfico de la **figura 2.14**, en el que están representadas algunas galaxias espirales. La línea recta es la mejor recta para los datos. Esta relación lineal entre distancia y velocidad se denomina ley de Hubble y su ecuación es:

$$v = H_0 \cdot d$$

v = velocidad de recesión de una galaxia

H_0 = constante de Hubble

d = distancia a la galaxia.

H_0 es la constante de Hubble y en sus mediciones de 1929 encontró un valor numérico de 550 km/s/Mpc.

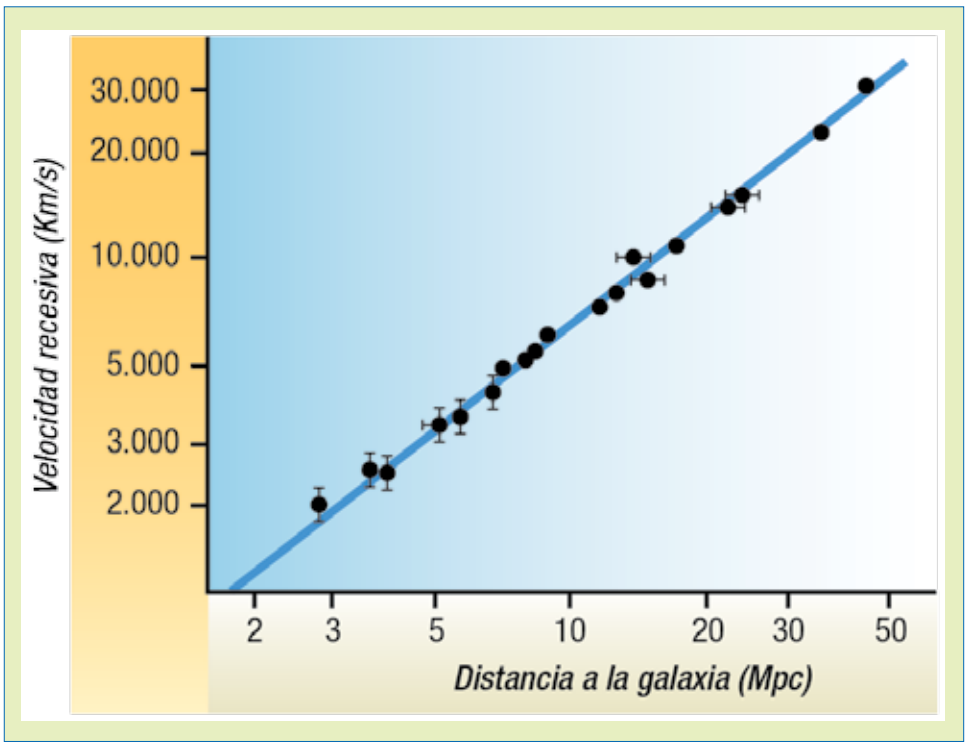


Figura 2.13

EDWIN HUBBLE (1889-1953)

Astrónomo estadounidense. Estudió las nebulosas, concluyendo que las de forma espiral, que ahora denominamos galaxias, eran de naturaleza distinta a las nebulosas difusas, que son nubes de gas iluminadas por la luz de las estrellas. Su trabajo midiendo velocidades de galaxias y la distancia a la que se hallan le permitió relacionarlas en la ley que lleva su nombre.



Ejercicio resuelto N° 2

Determinando la edad del universo

Con la constante H_0 de la ley de Hubble puedes determinar la edad del universo, suponiendo que a la distancia a la que están las galaxias lejanas y la rapidez con que se mueven pudiéramos invertir su movimiento, como una película proyectada al revés. Finalmente, tendríamos las galaxias chocando entre sí. ¿Cuál es el intervalo de tiempo para que ocurra esto?

Recuerda que en cinemática ya has empleado la siguiente ecuación: $T_0 = \frac{d}{v}$ en donde T_0 es el intervalo de tiempo transcurrido para que un objeto recorra la distancia d cuando se mueve a una rapidez v. Si remplazamos la ley de Hubble $v = H_0 \cdot d$ en la ecuación anterior, obtienes:

$$T_0 = \frac{d}{H_0 \cdot d} = \frac{1}{H_0}$$

La distancia no aparece en esta expresión, por lo que el tiempo es el mismo para todas las galaxias: ¡es el tiempo cuando todas las galaxias estaban juntas! Es decir, con el inverso de la constante de Hubble puedes determinar una estimación de la edad del universo. Observaciones actuales sugieren que $H_0 = 73$ km/s/Mpc con un pequeño porcentaje de error del 5%.

Luego: $T_0 = \frac{1}{(73\text{km/s/MPc})}$ y recordando que 1 pc = 3,26 años luz y 1 año luz = $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km, tenemos:

$$T_0 = \frac{1\ \text{Mpcs}}{73\ \text{km}} \cdot \frac{3{,}09 \cdot 10^{19}\ \text{km}}{1\ \text{Mpc}} \cdot \frac{1\ \text{año}}{3{,}156 \cdot 10^{7}\ \text{s}}$$

AHORA RESUELVES TÚ

¿Qué edad obtienes para el universo si empleas la constante H_0 obtenida por Hubble? Y si la edad del universo es de 15 000 millones de años, ¿cuál es la constante de Hubble?

Actividad de investigación

Actividad

Buscar en Internet espectros de galaxias y analizarlas cualitativamente en relación con las principales líneas que aparecen y sus velocidades.

minirresumen

- El universo observable está formado por galaxias.
- Una galaxia es un objeto astronómico poco luminoso, difícil de observar. Tienen un diámetro, luminosidad y masa.
- Mediante el efecto Doppler se puede encontrar la velocidad orbital de las estrellas de una galaxia.
- La masa de una galaxia se puede determinar con la tercera ley de Kepler, formada por Newton.

El Big Bang

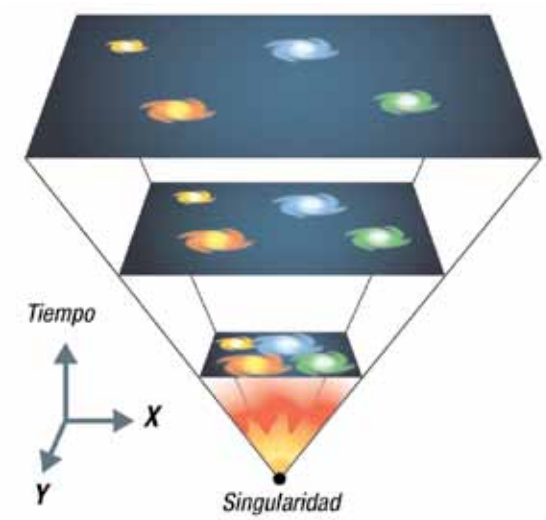
Basado en las mediciones de Hubble y otros científicos, George Gamow propuso que el universo se habría formado por una explosión colosal. En su formación, el universo debe haber tenido una muy alta temperatura y estar compuesto solo por radiación de alta energía y longitud de onda corta. Las propiedades de esta radiación dependen de su temperatura, como lo explican las leyes de la radiación de cuerpo negro.

Fue Fred Hoyle, astrónomo y escritor de ciencia-ficción, quien acuñó el término Big Bang para tal evento físico que dio origen al universo, pero curiosamente no creía en tal fenómeno, sino que era partidario de la teoría rival: El universo de estado estacionario. Recuerda que las teorías se van creando y aceptando según si las evidencias experimentales y fenómenos observados son explicados por la teoría, que indica que los científicos van por el camino correcto en su interpretación de la naturaleza.

Como se señaló en la sección anterior, la velocidad con la que se alejan las galaxias se determina mediante la ley de Hubble, que establece que la rapidez de alejamiento de las galaxias es directamente proporcional a la distancia a la que se encuentran, en donde H_0 representa la constante de proporcionalidad conocida como la constante de Hubble. Se puede demostrar que la constante de Hubble permite conocer el tiempo transcurrido desde el Big Bang. Este tiempo se obtiene del inverso de la constante de Hubble y resulta en unos 15 mil millones de años, aproximadamente, dependiendo de la constante H_0. El problema es contar con los datos más adecuados para determinar la edad del universo, puesto que se ha llegado a la conclusión, con algunos cálculos, que el universo es más joven que algunas estrellas, cuya edad se ha determinado mediante otros métodos.

Como se indicó, la teoría del Big Bang establece que el universo se originó en un estado de altísima temperatura y densidad, un estado que en cosmología física se denomina singularidad (**figura 2.15**). Esta singularidad no es un punto determinado del espacio sino que cuando ocurrió el Big Bang se creó el espacio y el tiempo: comenzó la evolución del universo. Rigurosamente, la teoría del Big Bang describe muy poco de lo que aconteció en el primer instante del comienzo, pero sí lo hace con su evolución. En la figura se representa tal evolución a partir de ese evento.

Figura 2.15 ▸



SABER MÁS

- En la teoría de la relatividad general, teoría en la que se basa el estudio del universo a gran escala, se describe que el espacio y el tiempo forman parte del universo físico, y no se reduce solo a un recinto que le sirva de soporte. Por lo tanto, toda descripción para explicar el origen del universo físico debe hacerlo también con la explicación de la formación del espacio y el tiempo.

INVESTIGA Y RESPONDE

- Respecto a la teoría del estado estacionario del universo: ¿Cuáles son sus principales ideas? ¿En qué evidencias se basaba al presentar sus conceptos? ¿Cuál es el estado actual de esta teoría, pues todavía tiene algunos representantes?
- Investigar acerca de la historia de la teoría del Big Bang: ¿Cómo se fue gestando? ¿Cuál es el aporte de los científicos que han participado en su elaboración? ¿Cuáles otras teorías físicas participan en sus explicaciones?

Sugerencia web: (Consulta junio 2014)
- http://www.buenastareas.com/ensayos/Teoria-Del-Universo-Estacionario/4159331.html
- http://www.nationalgeographic.es/ciencia/espacio/origen-universo

REFLEXIONA

En el lenguaje común, una teoría es sinónimo de algo no práctico, que no tiene mucha vinculación con la realidad física. Por el contrario, en Ciencias una teoría es aceptada cuando interpreta en alto grado alguna parte de la realidad física. La teoría del Big Bang está justamente en una etapa ya consolidada. Pero siempre las teorías están en continua revisión por los científicos.

Fondo cósmico de radiación de microondas

Ya sabes que uno de los notables avances de la ciencia en el siglo XX fue determinar el origen de los elementos químicos en los núcleos de las estrellas mediante reacciones termonucleares. En los centros de las estrellas comienza la fusión del hidrógeno para convertirse en helio. Pero durante los años 60, los astrónomos se enfrentaron a un dilema: Existe mucho más helio en el universo que el que podría haber sido creado por las estrellas en la fusión del hidrógeno en helio.

La masa del Sol consiste en 74 % de hidrógeno y 25 % de helio, y en todo el universo también hay una proporción de 25% de helio. En las estrellas se ha originado algo de helio por fusión termonuclear, pero la cantidad originada así no es suficiente para dar cuenta de la cantidad de él que hay en el universo.

Ya se pensaba que el universo se había originado en un Big Bang y que al comienzo, principalmente, contenía hidrógeno, por lo que no concordaba con las observaciones anteriores respecto a la cantidad de helio presente en el universo.

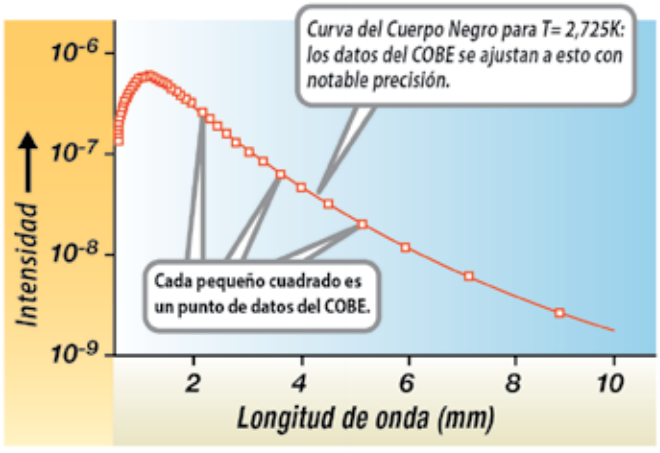


Figura 2.16

El universo se ha expandido tanto desde aquel estado con alta temperatura y radiación de alta energía y longitud de onda corta que en la actualidad ha variado tremendamente a un estado de baja temperatura y radiación de muy baja energía y longitud de onda larga. Ahora, la temperatura es de solo unos pocos grados sobre el cero absoluto, y mediante la ley de Wien, la intensidad de la radiación presenta un valor numérico alto en la longitud de onda de microondas de 1 mm, como se muestra en el gráfico siguiente (**figura 2.16**). La temperatura de la curva representada en la figura es de 2,7K.

Esta radiación (**figura 2.16**) que está en todo el espacio se denomina fondo de radiación cósmica de microondas y fue descubierta en los años 60 del siglo XX por Arno Penzias y Robert Wilson. ¿Cuál instrumento se emplea para detectar este tipo de radiación?

El fondo de radiación cósmica de microondas a 2,7K, en el que está inmerso todo el universo, se interpreta como el remanente de la radiación a muy alta temperatura emitida trescientos mil años después del Big Bang, cuando la materia y la radiación se desacoplaron. Este ruido de fondo se comporta como una pantalla opaca, lo que impide observar los eventos anteriores.

minirresumen

- Entre las evidencias experimentales que sustentan la teoría del Big Bang se encuentran: el corrimiento hacia el rojo, la ley de Hubble, el fondo de radiación cósmica.

Estructura del universo

Hasta ahora los modernos telescopios han revelado un cielo con miles de millones de cúmulos de galaxias a unas distancias fantásticas que son difíciles de imaginar. Los sofisticados instrumentos con que los científicos realizan sus investigaciones han obtenido imágenes de galaxias muy alejadas para analizarlas en muchas longitudes de onda del espectro electromagnético. Estas observaciones nos aseguran que el universo está lleno de galaxias y que estas contienen también miles de millones de estrellas. Si has observado el cielo nocturno alguna vez, habrás notado que, además de las estrellas y algunas galaxias que se observan a simple vista, se ve muy oscuro. ¿Por qué?

¿Por qué el cielo es oscuro de noche?

No obstante lo trivial que parece ser la interrogante planteada, el intentar responderla nos conduce a razonamientos tan interesantes y asombrosos que bien vale la pena dedicarles algunas líneas.

Una respuesta simple y sin mayor profundidad sería: "El cielo se ve oscuro porque el Sol se ocultó". Pero responder así supone ignorar la luz proveniente de las demás estrellas. Esto es evidentemente un error, ya que de día también están presentes otras estrellas.

El astrónomo Olbers (1758-1840), demostró exactamente lo contrario de lo que nos parece evidente: ¡la bóveda celeste nocturna debería resplandecer con una luminosidad extraordinaria! Olbers intentó nada menos que calcular el brillo de fondo del cielo. Se planteó varias suposiciones acerca de las características del universo profundo, inspirado en la teoría de Newton. Este eventual conflicto entre observación y teoría se denomina paradoja de Olbers.

Las hipótesis de Olbers

1. Las regiones remotas del universo son muy similares a la nuestra. Esta hipótesis concuerda totalmente con las ideas dominantes desde los tiempos de Copérnico, o, en otras palabras, que las estrellas del universo están distribuidas uniformemente. La agrupación de estrellas en galaxias están distribuidas del mismo modo.
2. En todo el universo y en toda su existencia ha habido estrellas, formando sistemas similares a los que conocemos en nuestra vecindad. Si se mira hacia cualquier dirección, la línea de visión alcanzaría una estrella. La luz que captamos hoy fue emitida hace muchísimo tiempo, por lo que cabe preguntarse también cuánta luz han irradiado las estrellas desde que fue emitida. En la época de Olbers ya se sabía que la luz se propaga con velocidad finita.
3. Las leyes de la física son válidas en la Tierra y en todo el universo y durante toda su existencia. Esta hipótesis supone que lo que sucede en nuestra vecindad ocurre y ha ocurrido en todo el universo.
4. El universo es estático e infinito. El significado profundo de esta hipótesis señala que el universo no evoluciona.

A partir de estas hipótesis, Olbers demostró que tanto de día como de noche el brillo del cielo debería ser extraordinariamente grande. El mismo Olbers se sorprendió de esta conclusión, por lo que intentó una explicación sin cambiar ninguna de sus hipótesis. Pensó que debían existir nubes de materia interestelar que absorbían la luz de las estrellas distantes. Pero de existir tales nubes, tendrían que calentarse y finalmente ellas mismas irradiar tanta luz como la que absorben.

Esta historia, una eventual paradoja, es un claro ejemplo de cómo se construye y verifica una teoría en las ciencias físicas. Conclusión: el universo no es estático, se está expandiendo.

HEINRICH WILHELM OLBERS (1758 – 1840)

Físico y astrónomo alemán. Desarolló un método para calcular la órbita de un cometa que descubrió en 1796. Sugirió que los colores de los cometas eran producidos por la acción del Sol.



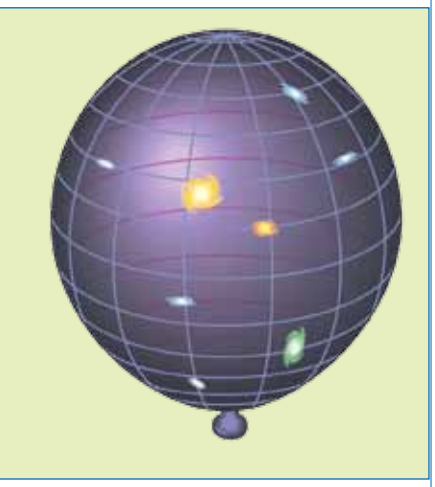


Figura 2.17
Globo inflándose con galaxias en la superficie

REVISANDO LO QUE SABES

- A describir problemas de movimiento circunferencial uniforme mediante la aplicación de los conceptos aprendidos en el Tema.

Expansión del universo

Muchas veces habrás leído que el universo se encuentra en expansión. Pero hacemos esta aseveración desde un punto insignificante del universo, desde el cual ni siquiera podemos observarlo completo. ¿Cómo se ha llegado entonces a tal conclusión? ¿Qué significa?

Como ya sabes, Hubble estudió la relación entre la velocidad y la distancia de las galaxias analizando sus espectros, pero este análisis se basó en tan solo 46 galaxias. Desde entonces, la ley de Hubble ha sido corroborada para un gran número de galaxias. Pero cuidado, este número no es un número astronómico de galaxias: la estimación de 100 mil millones de galaxias que compondrían el universo. Si un astrónomo estudiara una galaxia cada un segundo de su vida, ¿cuánto tiempo, en años, requeriría para estudiar ese número de galaxias?

La ley de Hubble es una excelente evidencia de que el universo se está expandiendo. Esta ley implica una expansión uniforme y sin ningún punto central. ¿Te imaginas cómo podría ilustrarse esa expansión?

Una analogía para imaginarse y comprender la expansión del universo hace uso de un globo que se infla, como se ilustra en la **figura 2.17**. Las galaxias, pegadas sobre la superficie del globo, están efectivamente en reposo y es como que el universo se expande, puesto que la distancia entre dos galaxias aumenta, pero las galaxias como estructura física no aumentan de tamaño.

La expansión del universo es uno de los conceptos fundamentales de la cosmología física, como se denomina a la disciplina que estudia el universo a gran escala. Para evitar confusiones, no se debe pensar tan literalmente en el término Big Bang.

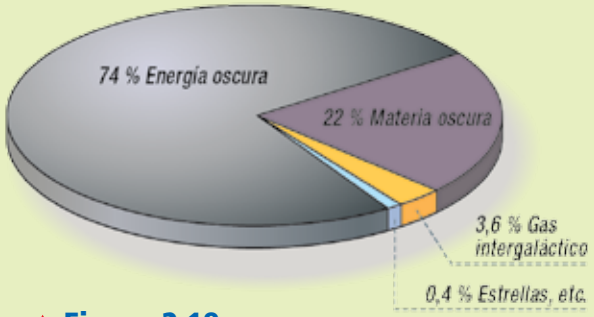
El Big Bang no fue una bomba que explotó en el centro del universo y lanzó materia en todas direcciones, desparramándose por un vacío que ya existía, sino que fue una explosión del mismo espacio que sucedió en todas partes, análogo a la expansión de la superficie de un globo.

La diferencia entre "la expansión del espacio y la expansión en el espacio" tiene consecuencias importantes para el tamaño del universo, la rapidez con la que las galaxias se separan, las observaciones que pueden realizar los astrónomos y la naturaleza de la expansión acelerada del universo.

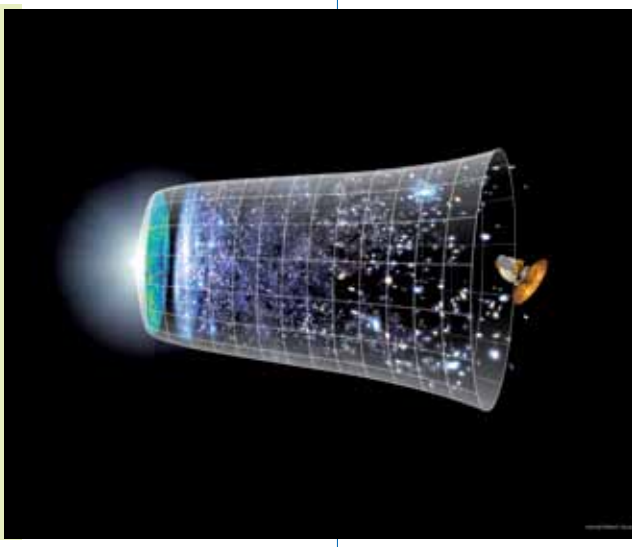
La hipótesis para explicar la expansión acelerada del universo consiste en postular la existencia de una energía exótica que se denomina energía oscura (**Figura 2.18**). Los científicos han calculado que más del setenta por ciento del contenido del universo consiste en energía oscura, que tendría el efecto de acelerar la expansión, pero la naturaleza de esta energía se desconoce. En el gráfico se ilustran los porcentajes del contenido del universo.

No debes confundir energía oscura con materia oscura. Esta última corresponde a una hipotética materia que no emite radiación electromagnética suficiente para ser detectada con los instrumentos actuales, pero su existencia se puede deducir mediante los efectos gravitatorios que provoca en la materia visible, como estrellas y galaxias.

Todos estos conceptos y otras ideas que manejan los científicos irán bosquejando un esquema de la estructura general del universo y de su destino (**Figura 2.17**). Debemos estar atentos cuando se consoliden las teorías que se están creando. Los científicos son como estudiantes que intentan aprender las lecciones que les presenta la naturaleza.



▲ **Figura 2.18**



▲ **Figura 2.19**
Un modelo de la evolución espacio temporal del universo

minirresumen

- El universo está lleno de galaxias, que contienen miles de millones de estrellas.
- Olbers demostró que tanto de día como de noche el brillo del cielo debería ser extraordinariamente grande.
- La ley de Hubble es una evidencia de que el universo se está expandiendo.
- La hipótesis para explicar la expansión acelerada del universo consiste en postular la existencia de la energía oscura.
- La materia oscura corresponde a una hipotética materia que no emite radiación electromagnética, pero su existencia se puede deducir mediante los efectos gravitatorias que provoca en la materia visible.

Evaluación de sección 1

- Lee y analiza el libro de Stephen Hawking *Historia del tiempo, del Big Bang a los agujeros negros*. Cada grupo puede tomar uno de los capítulos pertinentes a esta sección y preparar una disertación para ser expuesta al curso.
- Prepara un cartel para ser expuesto en el diario mural del curso acerca de: (a) la teoría del Big Bang; (b) el universo y la física de partículas; (c) las fuerzas fundamentales de la naturaleza y las partículas; (d) los detectores que miran el universo. Buscar información e ilustraciones en Internet.
- Investiga en Internet acerca de: (a) el descubrimiento de la radiación cósmica de microondas; (b) el funcionamiento de un radiotelescopio; (c) el telescopio espacial COBE para medir la radiación cósmica de fondo de microondas.

FORMAS EN EL CIELO

Todos los días del año puedes observar cómo el Sol se ubica en diferentes posiciones en el cielo, cómo avanza la hora durante el día, cómo transcurren los días en el mes.

También habrás notado que cuando el Sol se oculta, junto con la noche aparece un conjunto casi infinito de objetos y formas en el cielo, que a simple vista parecen pequeños puntos de colores fijos o titilantes, algunos solitarios o formando figuras, y otros majestuosos, como la Luna.



Pero ¿cómo se pueden estudiar esos objetos?, ¿cuál es la diferencia entre el Sol y los puntos nocturnos luminosos? ¿cómo funcionan estos objetos? ¿cómo llegaron ahí? ¿en qué terminarán? ¿a qué distancia de la Tierra se encuentran? Gran parte de estas preguntas ya las desarrollamos en las secciones anteriores y otras las abordaremos en las páginas siguientes.

Los temas a tratar son importantes, porque en el estudio de las estrellas se aplican herramientas físicas que permiten explicar su funcionamiento interno, aun cuando se encuentran a miles de millones de kilómetros de la Tierra.

AL LEER APRENDERÁS

- A explicar cualitativamente cómo las estrellas producen, a partir del hidrógeno presente en ellas, los otros elementos químicos.
- A explicar cómo las estrellas obtienen la energía que las hace brillar. Para ello usarás conceptos de la física nuclear, la física clásica y la física de los fluidos.

PRERREQUISITOS

- Principios de Newton
- Física nuclear

CONCEPTOS CLAVE

- Astrofísica estelar
- Estrellas
- Equilibrio hidrostático
- Fusión nuclear

TEMA 1: Cielo diurno, cielo nocturno

¿Qué observamos cuando miramos al cielo a simple vista? La respuesta a esta pregunta depende de si miramos el cielo durante el día o la noche. Durante un día despejado podemos ver el Sol, y en algunas ocasiones, la Luna. Durante una noche despejada vemos principalmente puntos brillantes, la mayoría blancos, pero también de colores rojizos y azulados, titilando sin cesar, y también otros podemos ver la Luna.

La gran mayoría de estos puntos brillantes son estrellas, y solo unos pocos corresponden a planetas del sistema solar. Los planetas solo se observan en una franja estrecha del cielo (la eclíptica), mientras que las estrellas ocupan regiones diversas del cielo.

Las estrellas, a simple vista, parecieran ser unas más brillantes que otras y estar todas a la misma distancia de nosotros. Pero los astrónomos han logrado medir las distancias a las que se encuentran, y hoy en día sabemos que todas ellas son muy lejanas (la más cercana es Próxima Centauri, a 4,2 años luz, casi cuarenta millones de millones de kilómetros).

Por esta razón, puede parecernos que cierta estrella sea más brillante que otra, pero en realidad deberíamos considerar la distancia que nos separa de cada una para poder establecer esto correctamente.

El Sol (**Figura 2.20**) es la estrella más cercana a la Tierra, y es la única a la cual podemos observarle detalles de su superficie (el disco solar). Todas las demás estrellas las vemos como puntuales, incluso usando grandes telescopios. La luz del Sol, al interactuar con nuestra atmósfera, genera el azul del cielo (matizado de tonos amarillos y rojizos en los atardeceres y amaneceres) y es este fenómeno (llamado dispersión de Rayleigh) el que no permite observar estrellas durante el día.

Sin embargo, existen unos pocos registros históricos de avistamiento de "estrellas" a plena luz del día. Se trata de explosiones de supernovas, que revisaremos más adelante en el texto.

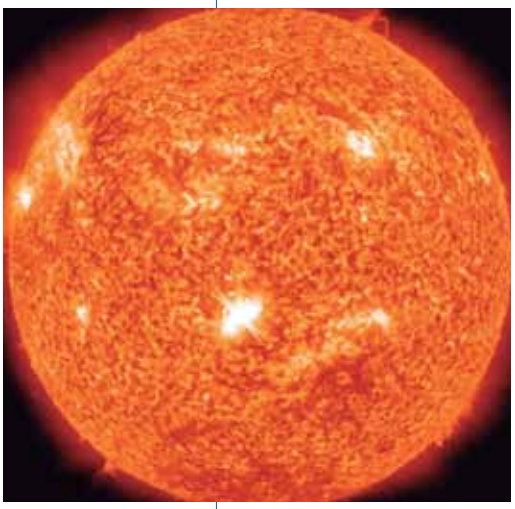


Figura 2.20
Imagen de manchas en la fotósfera del Sol

Las constelaciones

La humanidad, desde sus inicios, ha observado los cielos: distintas culturas y civilizaciones han dejado registro de sus conocimientos astronómicos. Una forma antigua de "organizar" el cielo nocturno es asociando figuras a conjuntos de estrellas aparentemente cercanas, esto es, dividiendo el cielo en constelaciones. Las más famosas son las doce constelaciones zodiacales, que se ubican en la franja del cielo por donde hace su recorrido anual el Sol, la Luna y los planetas.

Si tenemos oportunidad de mirar el cielo toda una noche, veremos que la mayoría de las constelaciones "salen" por el este y se "ponen" por el oeste siguiendo un camino como un arco de circunferencia. Sin embargo, algunas no realizan este ordenado viaje de este a oeste: si miramos hacia el sur, observaremos que algunas constelaciones siguen arcos de circunferencias tales que no están sobre el horizonte todo el tiempo. En el hemisferio sur, la más famosa de estas constelaciones denominadas "circumpolares" es la Cruz del Sur.

TEN PRESENTE

- En la actualidad son 88 las constelaciones reconocidas por la Unión Astronómica Internacional (IAU por su sigla en inglés) distribuidas en el cielo de ambos hemisferios.
- En cada constelación, la estrella más brillante recibe la denotación alfa, la segunda más brillante es beta, y así, sucesivamente.

Actividad

1. La siguiente imagen corresponde a la constelación de Orión:

   Busca los nombres de las dos estrellas principales de la constelación (α y β Orionis) y determina sus posiciones en la imagen.

2. El siguiente listado corresponde a las cinco estrellas más brillantes vistas desde la Tierra:
   - Sirio
   - Canopus
   - Alfa Centauri
   - Arcturus
   - Vega

   Busca a qué constelación pertenece cada una de ellas.



Figura 2.21
La constelación de Orión

¿Cómo vas?

Actividad

¿Cuáles son los colores de las estrellas que se distinguen en un cielo estrellado? ¿Todas brillan con la misma intensidad? ¿Todas están a la misma distancia?

Las estrellas

La astrofísica estelar es la rama de la astronomía que tiene por objeto el estudio de las estrellas: su formación, evolución y final (además de sus propiedades y distribución). Para ello utiliza diversas áreas de la física, por ejemplo: dinámica de fluidos, mecánica clásica newtoniana, relatividad general, física del plasma, física nuclear.

¿Qué es una estrella?

Una estrella es una enorme esfera de gas a altas temperaturas (plasma), que, por efecto de su gran masa, alcanza presiones en su núcleo que generan reacciones de fusión nuclear. La energía liberada en estas reacciones ejerce una presión contraria a la presión gravitacional, lo que permite la estabilidad de la estrella (que no colapse ni se desintegre). Las estrellas disipan su energía en el espacio en forma de radiación electromagnética, neutrinos y viento estelar.

Nacimiento de una estrella

Las estrellas se forman a partir de nubes de gas y polvo que se encuentra en diferentes partes de las galaxias. Estas "nebulosas" contienen no solo hidrógeno (el elemento más abundante en el universo y el más antiguo), también material que ha sido expulsado por otras estrellas. Estas nubes pueden ser de gran tamaño (cientos de años luz de diámetro) o pequeñas (**Figura 2.23**).

TEN PRESENTE

- Los astrónomos han determinado que la masa mínima necesaria para formar una estrella corresponde al 8 % de la masa del Sol, o dicho de otro modo, alrededor de 80 masas de Júpiter.

Se estima (a través de modelos matemáticos) que estas nubes pueden permanecer por millones de años sin colapsar: necesitan que un evento externo detone el colapso gravitacional. Estos detonantes pueden ser el paso de una estrella por las cercanías, o la onda de choque de la explosión de una supernova cercana, o incluso el choque de galaxias. Cuando la nube finalmente colapsa, forma una "protoestrella". Dependiendo de la masa de la protoestrella, esta puede comenzar a fusionar átomos de hidrógeno para transformarlos en helio, entonces ha nacido una estrella.

Los tipos de nebulosas que se encuentran son las nebulosas oscuras, que corresponden a nubes frías de gas y polvo, que sólo pueden ser observadas contra un fondo brillante, y en cuanto se forman las estrellas entonces pasa a ser una nebulosa de emisión.

Vida y evolución estelar

La evolución de la estrella y su destino final quedan determinados principalmente, por su masa. Si la estrella tiene una masa parecida a la del Sol, primero fusionará todo el hidrógeno de su núcleo y continuará consumiendo el de su envoltura. Se transformará en una gigante roja y perderá sus capas más exteriores, que se transformarán en una nebulosa planetaria. Las capas más internas de la estrella colapsan gravitacionalmente, aumentando la presión y la temperatura en el núcleo. Esto gatilla la fusión del helio, primero en el núcleo y luego en las capas exteriores. Al disminuir la fusión nuclear, la estrella vuelve a colapsar, pero su masa no es lo suficientemente grande como para gatillar la fusión del carbono. La estrella termina su vida como enana blanca.

Para estrellas cuya masa es mayor a 1,4 veces la masa del Sol, se produce la fusión del carbono en el núcleo, pasando por varios ciclos hasta llegar a generar hierro. Este es el elemento más pesado que puede formar una estrella en su núcleo. Así, se transformará en una supergigante. Al detenerse la fusión en el núcleo, la estrella colapsa. Dependiendo de su masa, puede explotar como supernova y transformarse en una estrella de neutrones, o bien terminar como agujero negro.

Actividad de análisis de imagen

Las siguientes imágenes de la **figura 2.22** corresponden a la nebulosa Cabeza de Caballo y la Gran Nebulosa de Orión:

¿A que tipo de nebulosa corresponde cada una?



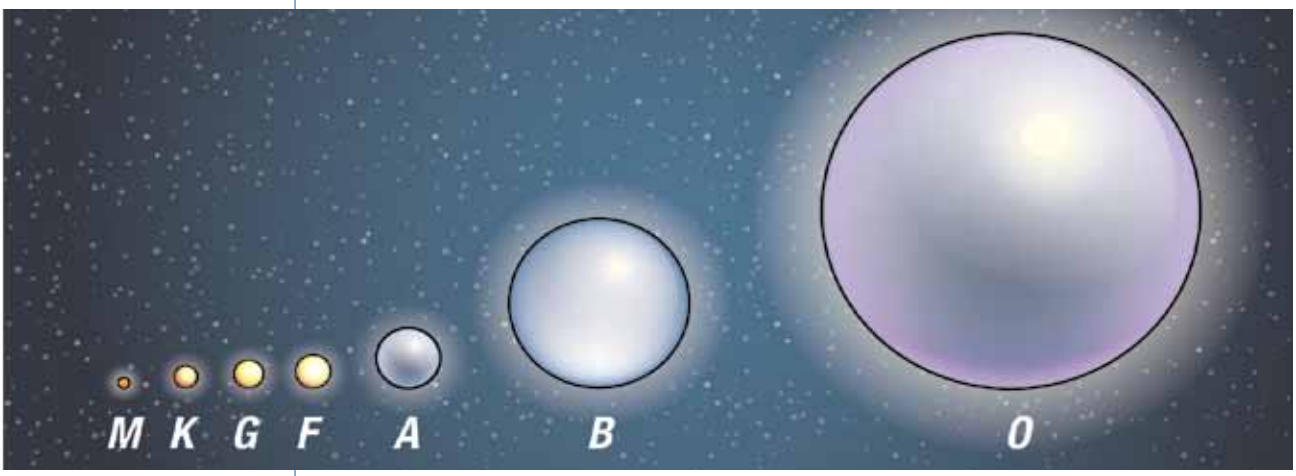
▲ **Figura 2.22**



▲ **Figura 2.23**
Nebulosa planetaria la Hélice

Clasificando estrellas

Si queremos clasificar estrellas, debemos definir los parámetros que utilizaremos. Estos parámetros corresponden a aspectos medibles, tales como el brillo, el color, la temperatura, la masa, entre otros. Toda la información que recibimos de las estrellas proviene de la luz que capturamos de ellas, prácticamente todo el conocimiento sobre el Universo se ha deducido analizando el espectro electromagnético de la luz proveniente de las estrellas.



▲ **Figura 2.24**

Existen dos tipos de clasificación, basados en dos catálogos diferentes: el catálogo de Henry Draper (HD), realizado en la universidad de Harvard a principios del siglo XX, el cual determina lo que se denomina Tipo espectral, y el catálogo del Observatorio Yerkes, realizado en 1943, que determina lo que se denomina Clase de luminosidad.

La clasificación tipo espectral distingue las estrellas de acuerdo con: la presencia de determinadas líneas de absorción, su espectro luminoso y su temperatura superficial. Una medida simple de esta temperatura es el índice de color de la estrella como lo ilustra la **figura 2.24**.

La temperatura superficial, que determina la clase espectral, también lo hace sobre el color de la estrella. De esta manera, tenemos estrellas tipo O que son azules (como Rigel, en la constelación de Orión), hasta las tipo K o M, que son rojizas, como Betelgeuse (Orión) o Antares (Escorpión).

La clasificación Clase de luminosidad de tipos espectrales de Harvard no determina unívocamente las características de una estrella, ya que estrellas con la misma temperatura pueden tener tamaños muy diferentes, lo que implica luminosidades muy diferentes. Para distinguirlas se definieron, como lo muestra la **tabla 1**, en Yerkes, las clases de luminosidad, de acuerdo con el grosor de las líneas de absorción presentes en las estrellas.

Clase	Magnitud
0	Hipergigantes
Ia	Supergigantes luminosas
Ib	Supergigantes
II	Gigantes luminosas
III	Gigantes
IV	Subgigantes
V	Enanas
VI	Subenanas
VII	Enana blanca

▲ **Tabla 1**

Actividad de reconocimiento

- ¿Qué estrellas tienen mayor temperatura..las azules o las rojas?
  Piensa en la cocina cuando el fuego está "alto" o "bajo"... ¿de qué colores son las llamas en cada caso?

¿CÓMO VAS? actividad

¿Cuál es la diferencia entre una clase espectral y una clase luminosa?

Fábrica de elementos químicos

Como vimos en los párrafos anteriores, toda la radiación electromagnética que recibimos de las estrellas, y de la cual obtenemos el 99 % de la información que tenemos de ellas, proviene de lo que conocemos como su atmósfera. Esta radiación nos permite construir modelos completos de esta región, pero ¿qué ocurre al interior de las estrellas?, ¿cómo obtienen la energía que las hace brillar?

A pesar de las limitaciones, el intelecto humano ha atravesado la barrera impenetrable de la superficie estelar.

Utilizando como herramienta fundamental las leyes de la física y la información que se recibe desde el exterior (única región visible de la misma), y gracias a esto, se pueden deducir los procesos que acontecen en su interior.

La estrella, al ser una esfera de plasma, es decir, una enorme esfera de gas que contiene partículas eléctricamente cargadas, posee las siguientes propiedades:

- Masa molecular promedio (μ). Se llama así a la "masa" promedio de las partículas que forman el gas o el plasma. La mayor parte de los gases o plasmas astrofísicos, como las estrellas, están hechos de más de un tipo de partícula (molécula, átomo o partícula subatómica). La masa molecular media de un gas o plasma da cuenta de la media de esa diversidad. Por ejemplo, un plasma constituido exclusivamente de hidrógeno ionizado tendrá la mitad de protones y la otra mitad de electrones.
- Temperatura (T). La temperatura, como lo recordarás de los cursos anteriores, es una medida de la energía térmica disponible en un cuerpo. En un gas o plasma, la energía térmica se manifiesta con el movimiento aleatorio de las partículas a velocidades arbitrarias. Cuando un gas o plasma tienen la misma temperatura en todos sus puntos, se dice que está en equilibrio térmico.
- Densidad (ρ). La densidad de una sustancia es la cantidad de masa contenida en un volumen constante.
- Presión (P). Todo gas y plasma tiene la tendencia a dispersarse debido al movimiento desordenado de las partículas que lo componen. La presión del gas está asociada a esa tendencia a dispersarse. Si se coloca una superficie plana dentro del gas o plasma, la presión en el lugar donde se encuentra la superficie se define como la fuerza ejercida por las constantes colisiones de las partículas contra esa superficie, tal como lo definimos en la sección de fluidos en reposo.

Resulta evidente que existe una relación entre las propiedades anteriores, por ejemplo:

- A mayor temperatura, la presión del gas aumenta (mayor velocidad de las partículas implican un aumento en el número e intensidad de las colisiones).
- Si a una temperatura dada, la densidad aumenta, la frecuencia de los choques también lo hace, por lo tanto, se incrementa la presión.

La relación precisa entre estas variables es a través de una fórmula conocida como la "ecuación de estado", muy importante para entender cuantitativamente el comportamiento de los gases y los plasmas.

GALILEO GALILEI (1564-1642)

- Quien fuera un verdadero genio del Renacimiento, entre muchas otras cosas, construyó un modelo perfeccionado de telescopio con el que descubrió las montañas de la Luna; los satélites de Júpiter y las fases de Venus, con lo cual comprobó el modelo de Copérnico. Sus descubrimientos fueron la prueba definitiva que inclinaría la balanza a favor del modelo copernicano, al menos, entre los científicos. A pesar de que Galileo fuera obligado por la Inquisición a retractarse en público de sus teorías (lo que tuvo que hacer para salvar su vida), privadamente mantuvo sus convicciones y continuó investigando hasta su muerte.

TEN PRESENTE

- Dos nuevos y poderosos telescopios, el Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy (VISTA) y el VLT Survey Telescope (VST) están operando en el Observatorio Paranal de ESO, en el norte de Chile. Puede decirse que son los telescopios más potentes del mundo dedicados a rastrear el cielo, y aumentarán enormemente el potencial de descubrimientos científicos del Observatorio Paranal.

Fuente:
European Southern Observatory



Equilibrio hidrostático

Pero, si la autogravitación puede aplastar por su propio peso a los cuerpos astrofísicos, ¿cómo es posible que las estrellas u otro cuerpo astrofísico no colapsen?

En el caso de cuerpos sólidos como planetas o asteroides, son las fuerzas eléctricas que actúan a nivel microscópico las que mantienen la forma de los cuerpos. Recordemos que la intensidad de las interacciones electromagnéticas, como vimos en los capítulos anteriores, es mayor que la de la fuerza de gravedad.

En el caso de cuerpos líquidos y gaseosos, se produce una intensa lucha entre la tendencia del cuerpo a disiparse y su autogravitación. Es la presión interna del plasma, por ejemplo de las estrellas o de las atmósferas planetarias, la que sostiene a esos cuerpos contra la tendencia a ser aplastadas por su peso. Los dos efectos se igualan en una condición que se conoce como equilibrio hidrostático.

El equilibrio se produce esencialmente entre la fuerza de gravedad, que empuja la materia hacia el centro de la estrella, y la presión que ejerce el plasma hacia fuera, que tal como sucede en un gas, tiende a expandirlo. Cuando un cuerpo no está en equilibrio hidrostático total, entonces tenderá a disiparse (si es la presión el efecto que prima en él) o a sufrir un fenómeno que se conoce como "colapso gravitacional" (si es la fuerza de gravitación la que prima sobre la presión).

Energía gravitacional

La energía es una de las magnitudes físicas más importantes en la descripción de los fenómenos físicos. La mayoría de los procesos astrofísicos son, en el fondo, procesos que fundamentalmente implican la conversión de unas formas de energía en otras.

La energía térmica en los cuerpos se convierte en radiación, las reacciones químicas en la atmósfera de un planeta generan calor, las transformaciones nucleares en el centro de las estrellas producen radiación, etc. El fenómeno gravitacional también lleva asociada su propia forma de energía: la energía gravitacional.

El cálculo de la energía gravitacional producida por la autogravitación de un cuerpo es una tarea muy importante en astrofísica, dado que muchos procesos que ocurren con cuerpos que colapsan o se expanden dependen de esta energía contenida en el cuerpo.

La energía gravitacional de un cuerpo esférico se relaciona con su masa y radio obedeciendo la ley:

$$U = -K \cdot \frac{G \cdot M^2}{R}$$

La constante k depende de la manera como se distribuye la masa dentro del cuerpo astrofísico. Por ejemplo, si el cuerpo tiene una densidad constante, el valor de la constante k es 0,6. Pero si la densidad del cuerpo se concentra mucho hacia el centro, el valor de la constante k será más grande.

Actividad de reconocimiento

- Calcula la cantidad de energía potencial gravitacional de:

a) El Sol **b)** Júpiter

Suponiendo que la densidad de ambos es aproximadamente constante (k = 0,6).

Procesos nucleares en las estrellas

En el párrafo anterior aprendimos que al estar una estrella en equilibrio hidrostático, tiene en su centro una enorme presión, que le permite soportar su propio peso, evitando un colapso gravitacional.

A presiones tan grandes, la física de los gases y los plasmas nos enseña que la temperatura sería de varios millones de grados, y como ya lo hemos aprendido en el capítulo anterior, a temperaturas tan altas los núcleos de hidrógeno presentes en una estrella podrían empezar a sufrir fusión nuclear, produciendo de ese modo la energía que mantiene a estos sistemas astrofísicos.

Pero ¿cómo un proceso de reacción nuclear podría ser la fuente energética de una estrella?, ¿cuál sería una consecuencia de este proceso? Para entender por qué la fusión nuclear podría ser efectivamente la fuente de energía de las estrellas, consideremos el siguiente argumento:

La fusión del hidrógeno en las estrellas

Un estudio detallado del fenómeno de fusión nuclear del hidrógeno en las estrellas demuestra que no existe una única reacción de fusión que se puede producir en el interior de ellas. Pero, sin importar cómo se fusiona el hidrógeno en la estrella, todos los procesos hacen exactamente lo mismo. Siempre 4 núcleos de hidrógeno-1 (^{1}H) son consumidos en el centro de la estrella y un nuevo núcleo de helio-4 (^{4}He) aparece en ella. Por lo tanto, la fusión de hidrógeno en las estrellas produce helio.

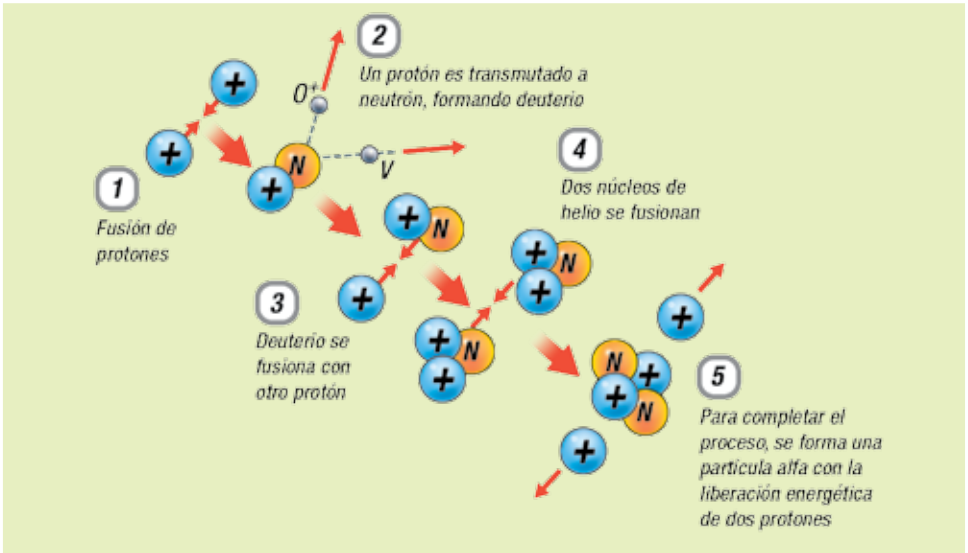
Pero ¿cómo se convierte el hidrógeno en helio?

En el centro de las estrellas tienen lugar dos tipos generales de "procesos" completos. El primero de ellos, el más común, se conoce como la cadena protón-protón e involucra, básicamente, la fusión de isótopos livianos de hidrógeno y helio. (**figura 2.25**)

El segundo, más complejo y menos común, pero no menos importante, se conoce como el ciclo CN/CNO, donde se involucran isótopos más pesados del carbono, el nitrógeno y el oxígeno, que actúan como catalizadores en la conversión de hidrógeno en helio.

También debe tenerse en cuenta una tercera reacción de gran importancia, denominada proceso Triple alfa.

▼ Figura 2.25



SIR ARTHUR EDDINGTON

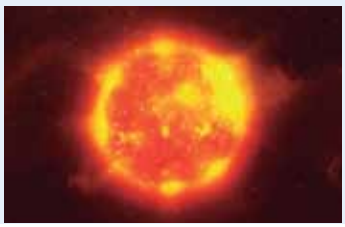
(1882 - 1944). Astrónomo inglés, conocido por sus estudios sobre la estructura interna estelar y por su contribución a la comprensión de la relatividad y la cosmología moderna. Entre sus trabajos más importantes destacan los relacionados con el movimiento, la estructura interna y la evolución de las estrellas, descritos en su obra titulada *La constitución interna de las estrellas* (1916). Mostró por primera vez la importancia del efecto de la presión de radiación en el equilibrio interno de una estrella, en el cual las fuerzas de atracción gravitatorias debían estar compensadas con las de repulsión ejercidas por la presión de los gases y de la propia presión de radiación. Enunció la relación entre masa estelar y luminosidad, lo que hizo posible calcular la masa de las estrellas.



TEN PRESENTE

Gracias a la protección natural que brinda a nuestro planeta la magnetosfera y la atmósfera, las explosiones solares no afectan la salud de las personas, animales o plantas, pero esta gran afluencia de partículas cargadas que golpea el campo magnético terrestre podría afectar los circuitos de los satélites en órbita, las señales de GPS, las comunicaciones de radio, telefonía y transformadores o redes eléctricas.

Fuente: licenciado Mariano Ribas, a cargo del área de Astronomía del Planetario de la ciudad de Buenos Aires, Galileo Galilei.



- La cadena comienza con la fusión de 2 núcleos de hidrógeno-1 para formar un núcleo de deuterio (en el intermedio, un protón debe convertirse en un neutrón).
- El núcleo de deuterio se fusiona con otro núcleo de hidrógeno-1 para formar un núcleo de helio-3 (^{3}He).
- Cuando se fusionan 2 núcleos de helio-3, un nuevo núcleo de helio-4 (^{4}He) nace con la eyección de 2 núcleos de hidrógeno-1 que son devueltos al plasma.

Es necesario indicar que las reacciones mostradas en la figura anterior no ocurren de manera secuencial como lo mostrado. Normalmente, las reacciones ocurren de forma simultánea: mientras en un lugar del núcleo de la estrella, con la primera reacción, se está creando deuterio, en otro lugar, el mismo deuterio es consumido para crear helio-3.

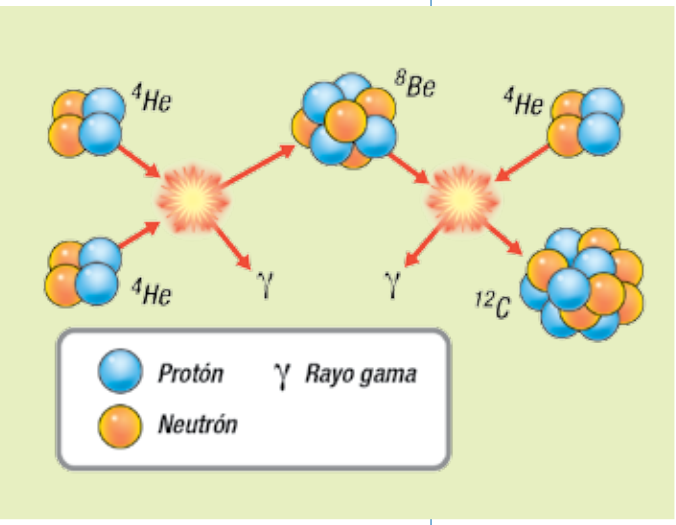


Figura 2.26

Si realizamos un balance de la reacción, el resultado es el siguiente:

3 núcleos de hidrógeno-1 intervinieron para crear un núcleo de helio-3, pero para hacer el núcleo final de helio-4 son necesarios 2 helios-3. En total, se precisan 6 hidrógenos-1 para crear un núcleo de helio-4. Sin embargo, recordemos que la última reacción produce 2 hidrógenos-1 que regresan al plasma.

El balance es de 6 núcleos consumidos y 2 devueltos, es decir, solo 4 núcleos de hidrógeno-1 y como subproductos de esta reacción se producen 2 positrones (1 por cada núcleo de helio-3 creado, el cual aparece en la primera reacción), 2 neutrinos y energía.

La siguiente fórmula resume la reacción:

$$4\,^{1}H \rightarrow {}^{4}He + 2e^{+} + 2\gamma + 2\nu_{e}\ (26{,}7\ MeV)$$

Ciclo Carbono-Nitrógeno-Oxígeno (ciclos CN/CNO)

Cuando la temperatura central de una estrella es más elevada, como es el caso en estrellas con masas superiores a unas 2 masas solares, la fusión del hidrógeno se produce con la intermediación de otros núcleos más pesados.

El ciclo CN es una serie importante de reacciones que permiten convertir hidrógeno en helio usando núcleos de carbono y nitrógeno presentes en la estrella como "catalizadores", es decir, como reactivos que participan en la reacción, pero que no se consumen efectivamente.

En términos generales, el hidrógeno se fusiona con el carbono para generar nitrógeno. El nitrógeno se fusiona con hidrógeno para generar oxígeno.

Proceso triple alfa

Después de la formación de helio, el proceso de las transformaciones nucleares continúa con la creación sucesiva de otros elementos, más pesados que el hidrógeno, como el carbono, el nitrógeno, el oxígeno, etc. hasta finalizar en el hierro. En este fenómeno participa el proceso triple alfa.

El proceso triple alfa es el proceso por el cual tres núcleos de helio (partículas alfa) se transforman en un núcleo de carbono (**Figura 2.26**).

Esta reacción nuclear de fusión solo ocurre a velocidades apreciables, esto es, a temperaturas por encima de $1 \cdot 10^8$ K, y en núcleos estelares con una gran abundancia de helio.

Por tanto, este proceso solo es posible en las estrellas más viejas, en las que el helio producido por las cadenas protón-protón y el ciclo CNO se han acumulado en el núcleo.

Cuando todo el hidrógeno presente se ha consumido, el núcleo se colapsa hasta que se alcanzan las temperaturas necesarias para iniciar la fusión de helio. Las siguientes ecuaciones detalla el proceso Triple alfa:

$$^4He + {}^4He \rightarrow {}^8Be$$

$$^8Be + {}^4He \rightarrow {}^{12}C + \gamma + 7{,}367 \text{ MeV}$$

El berilio (Be) producido durante la primera etapa es muy inestable y decae otra vez en dos núcleos de helio (He), pero la rapidez con que ocurre este proceso permite que haya una cierta cantidad de berilio disponible y se produzca la captura de una partícula alfa, para obtener así carbono (C).

Al consumirse el helio de la estrella, si esta es lo suficientemente masiva (del orden de ocho veces la masa del Sol) su núcleo se comprimirá y alcanzará la presión y temperatura suficientes (del orden de 600 millones de grados) para iniciar la fusión del carbono. De este proceso se forman: magnesio (Mg), neón (Ne), sodio (Na) y oxígeno (O).

Cuando ya no haya carbono disponible, comenzará la combustión del oxígeno, que generará azufre (S), fósforo (P) y silicio (Si). Cuando termina este proceso, se inicia la fusión del silicio que formará níquel (Ni), el que decaerá finalmente en hierro (Fe).

La producción de los elementos más pesados que el hierro no es resultado de reacciones termonucleares; se producen solo por captura de neutrones en etapas muy violentas de la evolución de la estrella, por ejemplo, en los eventos de supernova.

Evaluación de sección 2

1. ¿Qué es una estrella?

2. ¿Cómo se puede medir la luminosidad de una estrella?

3. ¿Por qué las estrellas se observan en colores?

4. ¿Cuál es la utilidad de la ecuación de estado en el estudio de las estrellas?

5. ¿Cómo se puede calcular la presión al interior de una estrella?

6. Observa la siguiente tabla y responde:

a) ¿Cuál de las estrellas está más cerca de la Tierra?

b) ¿Cuál de las estrellas está más lejos de la Tierra?

c) ¿Cuál de ellas tiene mayor luminosidad? Utiliza el brillo del Sol como referencia.

Tabla 2

Nombre	Paralaje medido (π'')
Próxima	0,772
Sirio	0,377
Procyon	0,287
Vega	0,126

Cierre Capítulo REPASO IDEAS PRINCIPALES

Sección 1

- El año luz es la distancia que la luz recorre en un año a la velocidad de 300 000 km/s.
- El parsec es la unidad de distancia que se obtiene cuando la distancia promedio entre el Sol y la Tierra subtiende un ángulo de un segundo de arco.
- El diámetro real de una galaxia u otro objeto celeste se obtiene mediante la relación del tamaño angular,

$$A = \frac{\alpha \cdot R}{57{,}3^{o}} \quad o \quad A = \frac{\alpha \cdot R}{206\ 265},$$

en donde alfa es el diámetro angular de la galaxia y R es la distancia a ella.

- La masa de una galaxia se puede determinar mediante la formulación de Newton de la tercera ley de Kepler,

$$M = \frac{4\pi^2 \cdot R^3}{G \cdot T^2}$$

- El efecto Doppler se origina cuando hay una variación de la longitud de onda de la radiación electromagnética al existir un movimiento relativo entre la fuente luminosa y el observador, se expresa como

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \text{ con } \Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$$

- Los espectros de las galaxias presentan un corrimiento hacia el rojo, cuanto mayor sea éste, más alta es la velocidad con la que se aleja de nosotros.
- La ley de Hubble, $v = H_0 \cdot d$ permite determinar la edad del universo.
- El Big Bang es una teoría que describe la evolución del universo originándose en un estado de altísima temperatura y densidad.
- Fondo de radiación cósmica de microondas, tiene asociada una temperatura de cuerpo negro de 2,7 K y se interpreta como el remanente de la radiación a muy alta temperatura emitida trescientos mil años después del Big Bang.
- En la paradoja de Olbers, se considera un universo estático, cuando en verdad se está expandiendo.
- La expansión del universo es uno de los conceptos fundamentales de la cosmología física y describe que se está expandiendo desde que ocurrió el Big Bang.

Sección 2

- La astrofísica estelar tiene por objeto el estudio de las estrellas, sus propiedades y evolución.
- La estrella es una enorme esfera de gas que brilla con luz propia.
- Las estrellas presentan propiedades observables, como su magnitud, brillo, luminosidad y magnitud absoluta.
- El equilibrio hidrostático en una estrella se establece entre la fuerza de gravedad y la presión interna que genera el plasma que forma a una estrella.
- La fuente de energía de las estrellas es una reacción de fusión en el interior de ellas.
- La fusión de hidrógeno al interior de las estrellas produce helio.
- La cadena de protón-protón involucra la fusión de isótopos livianos de hidrógeno y helio.
- En el ciclo CN/CON se involucran los isótopos más pesados del carbono, el nitrógeno y el oxígeno, que actúan como catalizadores en la conversión de hidrógeno en helio.
- El proceso triple alfa es la forma por el cual tres núcleos de helio (partículas alfa) se transforman en un núcleo de carbono.

Aplicaciones

1. Las observaciones astronómicas indican que una estrella describe una órbita circunferencial alrededor de su galaxia. Si el radio orbital es de 30 000 años luz y el periodo de una revolución completa es de 300 millones de años, ¿cuál es la masa de todas las estrellas que están dentro de la órbita de esta estrella?
2. ¿Cuál es la energía potencial gravitatoria de un planeta cuya masa es de $6{,}4 \cdot 10^{24}$ kg y un radio de 6 400 km? considera k=0,6.

Actividad experimental

¿Cómo se ve la luz visible a través de una nube de gas o polvo estelar?

La radiación electromagnética emitida por las estrellas es muy brillante, lo que nos obliga a pensar que el universo se puede estudiar con la ayuda de un telescopio. Sin embargo, en el universo existen otras estructuras de gran escala, como galaxias, cúmulos, nebulosas, entre otras. Las nebulosas, nubes masivas de gases y polvo estelar obstruyen parte de la luz estelar en viaje hacia la Tierra, lo cual dificulta la observación del espacio a los astrónomos.

Modela la luz visible vista a través de una nebulosa.

Procedimiento y análisis

1. Enciende una lámpara y oscurece la pieza.
2. Mira la luz a través de una mica oscura.
3. Mira la luz a través de diferentes colores de mica.
4. Mira la luz a través de globos de distintos colores amarillo, azul, rojo. Observa cómo cambia la luz cuando desinflas paulatinamente cada globo.

Bibliografía recomendada

- *Física para ciencias e ingeniería con física moderna*, Volumen 2, Giancoli, Douglas C. 4ª ed., Pearson, 2009
- *Física conceptual*, 9ª ed., Hewitt, Paul G. Pearson Educación, México, 2004
- *Historia del tiempo: Del Big Bang a los agujeros negros*, Stephen Hawking, (1988) Ed Crítica. Trata los temas principales de este capítulo tales como la imagen actual del universo, su expansión, su origen y destino, como también otros temas en relación al espacio y el tiempo, el principio de incertidumbre, los agujero negros, etc.
- *El universo en una cáscara de núez*, Stephen Hawking (2002) Ed. Crítica. Puedes revisar en este libro cómo se intenta unir la relatividad general con la mecánica cuántica, las predicciones de estas teorías, el espacio tiempo, etc.
- *Universos ocultos: un viaje a las dimensiones extras del cosmos*, Lisa Randall (2011) Ed. Acantilado. Se analizan las diversas teorías acerca de física de partículas y su unificación, las teorías con varias dimensiones, teoría de cuerdas y membranas.
- Investigar acerca de cómo las galaxias y en particular, el centro de la galaxia vía láctea han aparecido en la trama de cuentos y novelas de ciencia-ficción. Referirse en forma especial al ciclo del Centro Galáctico, del autor Gregory Benford (físico y escritor de ciencia-ficción) compuesto por las novelas: *En el océano de la noche* (1976); *A través del mar de soles* (1986); *Gran río del espacio* (1987); *Mareas de luz* (1989); *Abismo frenético* (1994); *Navegante de la luminosa eternidad* (1995).

Sitio web

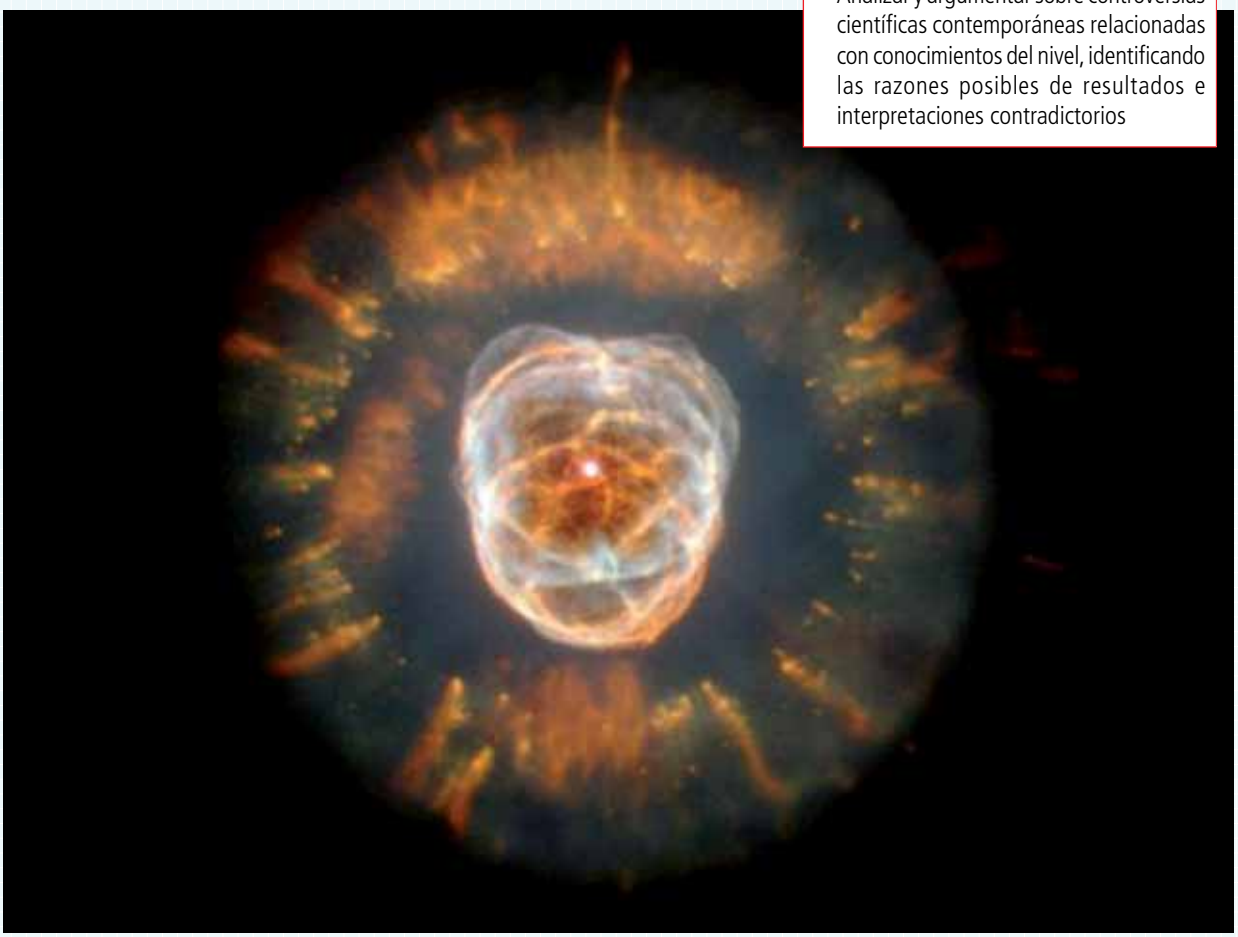
- http://www.aldevara.es/download/ObrasMaestrasDeLaCienciaFiccion_SamMoskowitz.pdf

Lectura científica

LAS ESTRELLAS DE NEUTRONES

Habilidades

- Analizar y argumentar sobre controversias científicas contemporáneas relacionadas con conocimientos del nivel, identificando las razones posibles de resultados e interpretaciones contradictorios



Fuente http://www.nationalgeographic.es/ciencia/espacio/estrellas-neutrones

Las estrellas de neutrones son remanentes estelares que han alcanzado el fin de su viaje evolutivo a través del espacio y el tiempo.

Estos objetos tan interesantes nacen de estrellas anteriormente gigantes que crecen de cuatro a ocho veces el tamaño del Sol antes de explotar en supernovas catastróficas. Después de la explosión, las capas exteriores de una estrella salen despedidas al espacio, permaneciendo el núcleo, pero sin volver a producir fusión nuclear. Sin presión exterior de la fusión para contrarrestar el empuje interior de la gravedad, la estrella se condensa y se colapsa.

A pesar de su pequeño diámetro (alrededor de 20 kilómetros), las estrellas de neutrones pueden presumir de contener 1,5 veces la masa del Sol, por lo que son increíblemente densas. Un solo trozo de materia de estrella de neutrones con el tamaño de un terrón de azúcar pesaría cien millones de toneladas en la Tierra.

La casi incomprensible densidad de una estrella de neutrones hace que protones y electrones se combinen en neutrones: el proceso del cual toman su nombre.

La composición de sus núcleos es desconocida, pero es probable que consistan en un superfluido de neutrones o algún estado de la materia desconocido.

Las estrellas de neutrones contienen un empuje gravitatorio extremadamente fuerte, mucho mayor que el de la Tierra. Esta fuerza gravitatoria es particularmente impresionante dado el pequeño tamaño de la estrella.

Durante su formación, las estrellas de neutrones rotan en el espacio. A medida que se comprimen y encogen, el giro en espiral se acelera debido a la conservación del momento angular, el mismo principio que hace que una patinadora gire a mayor velocidad cuando acerca sus brazos al pecho.

Luces pulsantes o pulsares

Estas estrellas se ralentizan gradualmente sobre los eones, pero los cuerpos que todavía giran a gran velocidad pueden emitir radiación que desde la Tierra parece destellar a medida que gira, como el haz de luz de un faro. Esta apariencia de «pulso» da a algunas estrellas de neutrones el nombre de púlsares.

Después de girar durante varios millones de años, los púlsares se quedan sin energía y se convierten en estrellas de neutrones normales. Pocas de las estrellas de neutrones que se conocen son púlsares. Tan solo se conoce la existencia de unos 1 000 púlsares, mientras que podría haber cientos de millones de estrellas de neutrones en la galaxia.

Las presiones asombrosas del núcleo de las estrellas de neutrones podrían ser como las que existieron en el momento del Big Bang, pero estos estados no pueden simularse en la Tierra.

Vocabulario: en geología, los eones son los períodos en los que se encuentra dividido el tiempo de vida de la Tierra desde el punto de vista geológico y paleontológico

Investiga en fuentes bibliográficas

1. ¿Cuáles son las etapas de evolución de las estrellas?
2. ¿Cómo se puede explicar la formación de una estrella de neutrones a partir de la física nuclear?
3. En particular, ¿cuáles son las condiciones para que los electrones y protones se combinen en neutrones?

Sitios web

- http://feinstein.com.ar/Evoluciondelasestrellas.html
- http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-22.htm
- http://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mnuclear.htm

Un vistazo a la astronomía

El ser humano ha tratado desde la Antigüedad entender el universo en el que vive. Ya los griegos pensaron en esto y desarrollaron distintas hipótesis sobre el origen y constitución del cosmos. Para Tales de Mileto (600 a.C. aprox.), la sustancia original de todo era el agua, debido a que esta puede cambiar su estado de líquido a sólido o a vapor. En cambio los filósofos griegos Leucipo y Demócrito pensaban que nuestro universo es el resultado de la mezcla y separación de minúsculas unidades que ellos llamaron átomos. Estos átomos poseían garfios que les permitían unirse unos con otros para formar la materia que uno observa en la realidad.



Claudio Ptolomeo, astrónomo y matemático que vivió en Alejandría en el siglo segundo d.C, propuso un modelo geocéntrico del universo, en el cual el movimiento de los planetas, el Sol y las estrellas se podía explicar por los llamados epiciclos.

En la Edad Media, el filósofo escolástico Santo Tomás de Aquino planteó que Dios está continuamente creando al mundo. De este modo, la creación no se produjo en un determinado tiempo inicial, sino que la creación continúa a lo largo del tiempo.

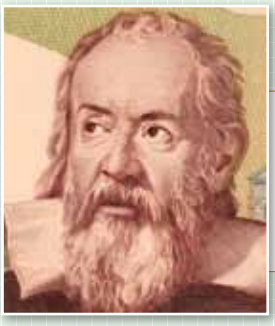




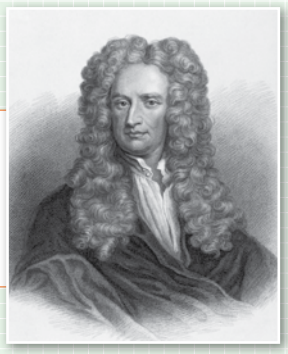
En el siglo XVI, Nicolás Copérnico propuso una teoría heliocéntrica del universo y su libro De revolutionibus orbium coelestium es considerado el fundador de la astronomía moderna.

Johannes Kepler, astrónomo alemán (1571-1630), quien a partir del estudio y análisis de los datos astronómicos obtenidos por Brahe, pudo deducir las tres famosas leyes de Kepler, que describen el comportamiento de los planetas alrededor del Sol.

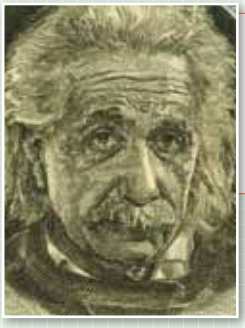




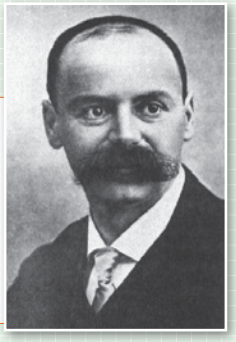
Posteriormente, Galileo Galilei (1564-1642) construye el telescopio con el cual puede hacer observaciones de la Luna y el resto de los planetas y formula la ley de la inercia, pilar de la mecánica.



En 1643 nace Isaac Newton, físico y matemático inglés, autor de los “Principia”, desarrolla sus tres leyes de movimiento y la famosa ley de Gravitación Universal, con la cual unifica los fenómenos terrestres con los cósmicos, por medio de una sola ley matemática universal.



En 1905, Albert Einstein desarrolla la teoría especial de la relatividad, que es una generalización de la mecánica de Newton y que es válida para velocidades comparables a la velocidad de la luz. En 1915, a su teoría general de la relatividad incluye la descripción de la gravedad.



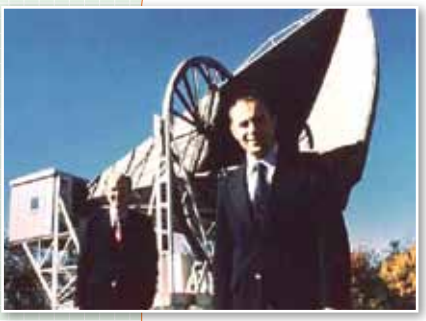
En 1905, Karl Schwarzchild publica una de las primeras soluciones exactas de la relatividad general, llamada hoy la solución de Schwarzchild y que implica la existencia de un radio R (llamado radio de Schwarzchild) para todo objeto estelar. En 1967, John Archibald Wheeler acuñó el término "hoyos negros" para referirse a tales objetos astronómicos.



En 1929, el astrónomo Edwin Hubble establece una relación lineal entre la distancia y el corrimiento al rojo de las nebulosas espirales. Esta relación empírica se conoce con la ley de Hubble e implica que galaxias más lejanas se mueven a mayor velocidad, dando apoyo a la expansión del universo. Curiosamente fue Fred Hoyle (unos de los defensores de la teoría del estado estacionario del universo) el que acuñó el nombre de Big Bang para la teoría del universo en expansión, su rival.







En 1965, Arno Penzias y Bob Wilson de los laboratorios Bell Telephone descubren la señal de radio. Esto supondría una observación crucial que convertiría al modelo del Big Bang (o de la Gran Explosión) en el modelo físico estándar para describir el universo.

A partir de 1998, dos grupos observacionales, uno encabezado por Saul Perlmutter y otro por Brian P. Schmidt, analizaron datos concernientes a explosiones de supernovas muy lejanas. Gracias a esto se han acumulado pruebas que indican que la expansión del universo en sus últimas etapas no encaja realmente con los ritmos predichos por la cosmología estándar de Friedmann (que establece que la expansión es desacelerada, es decir, a razón decreciente en la velocidad). En su lugar, parece que nuestro universo ha empezado a acelerar su expansión a un ritmo que se explicaría si incluimos en las ecuaciones de Einstein de la relatividad general, un término asociado con lo que se conoce actualmente como energía oscura.

Actualmente se cree que la masa total del universo se reparte en un 74 % de energía oscura, 22 % de materia oscura, 3,6 % de gas intergaláctico y 0,4 % de materia usual como estrellas, planetas, etc.

El Observatorio Alma, ubicado en la II Región de Chile, poseedor del lente más potente del planeta para el estudio del universo, será el más probable escenario de nuevos descubrimientos y del estudio astronómico mundial.



Evaluación de capítulo ¿CUÁNTO RECUERDAS?

I. Revisión de conceptos

1. Asocia la palabra clave a la pregunta que corresponde:

A) astrofísica estelar.

B) estrellas.

C) magnitudes físicas de las estrellas.

D) equilibrio hidrostático.

E) procesos nucleares al interior de las estrellas.

F) paradoja de Olbers.

G) ley de Hubble.

1. ¿Cuál es la rama de la astrofísica que tiene por objeto el estudio de las estrellas?

2. ¿Cuáles son las enormes esferas de gas que brillan con luz propia?

3. ¿Cómo se evita que una estrella colapse?

4. ¿Cuál es la naturaleza de la cadena protón-protón?

5. Permite determinar la edad del universo

6. En ella se considera un universo estático.

II. Marca la alternativa de la palabra o frase que mejor responda al enunciado:

1. La energía por unidad de área y por unidad de tiempo que se recibe de una estrella corresponde a:

A) la magnitud aparente.

B) el brillo.

C) la magnitud absoluta.

2. Las estrellas que tienen una elevada temperatura son de color:

A) azul.

B) rojo.

3. El proceso en que participan isótopos livianos de hidrógeno es:

A) la cadena protón-protón.

B) el proceso triple alfa.

4. Tiene asociada una temperatura de cuerpo negro de 2,7 K:

A) fondo de radiación cósmica.

B) ley de Hubble.

III. Revisión de procedimientos

1. Calcula el período de la órbita del Sol alrededor del centro galáctico si su velocidad es de 220 km/s y la órbita es circunferencial. ¿Qué datos y relaciones necesitas conocer?

2. Una nube de gas ubicada en el brazo espiral de una galaxia distante se observa que tiene una velocidad orbital de 400 km/s. Si la nube está a 20 000 pc del centro de la galaxia y se está moviendo en una órbita circunferencial, calcula: (a) el período orbital de la nube; (b) la masa de la galaxia contenida dentro de la órbita de la nube.

3. Explica cómo la ley de Hubble permite determinar la distancia a las galaxias.

4. ¿Qué establece la ley de Hubble? ¿Cuál es su interpretación gráfica? ¿Por qué existe mucha discrepancia en la determinación de H_0?

5. ¿Cómo el descubrimiento de la ley de Hubble apoyó la idea que las nebulosas espirales no formaban parte de la Vía Láctea?

6. ¿Cuáles son las evidencias físicas que apoyan la idea de que el universo se está expandiendo?

7. Explica con tus propias palabras qué significa el concepto de universo observable.

8. Indagar acerca de métodos para determinar el diámetro de la galaxia irregular Nube Grande de Magallanes, ya que consiste en una galaxia extensa y factible de medir su diámetro angular. ¿Cómo? En una buena carta estelar también puedes determinar el diámetro angular de la galaxia irregular Nube Grande de Magallanes. La distancia a la galaxia es de 180 000 años luz. Calcula el diámetro real de la galaxia. Compara el valor numérico obtenido con el diámetro de la Vía Láctea y la Nube Pequeña de Magallanes.

9. Indaga respecto de cómo veían la Vía Láctea diversas culturas de la Tierra y sus mitos. En particular ,referirse a las culturas de los asirios, babilonios, egipcios, grecorromanos, pueblos de mesoamérica como los mayas, aztecas y los pueblos de Sudamérica como los incas, mapuches, etc.

Revisa lo que has aprendido a lo largo del capítulo

En el formulario KPSI que se presenta a continuación, se han formulado preguntas con el objetivo de indagar sobre tu nivel de aprendizaje. Dependiendo de tu desempeño podrás:
reforzar conceptos, habilidades y procedimientos débiles
resolver nuevas situaciones problemáticas o fenomenológicas, como desafío de profundización.

Categorías:
1. No lo sé
2. No lo entiendo
3. Creo que lo sé
4. Se lo podría explicar a mis compañeros

Utilizando las categorías anteriores, marca con una X en el recuadro que corresponda.

Objetivo del capítulo

Explicar algunos fenómenos que dan cuenta de la expansión del universo y que sustentan las teorías acerca de su origen y evolución.
Reconocer los mecanismos que permiten a las estrellas generar luz y sintetizar elementos.

Enunciados /conceptos o temas	1	2	3	4
¿Qué es una galaxia?				
¿Cuáles son las propiedades físicas de las galaxias?				
¿Cómo se calcula la masa de una galaxia?				
¿Cuáles son las evidencias experimentales del Big Bang?				
¿Cuál es la hipótesis de Olbers?				
¿Qué es la expansión del universo?				
¿Qué es una estrella?				
¿Cómo se clasifican las estrellas?				
¿Cuáles son los procesos nucleares que ocurren en el interior de una estrella?				
¿Qué es el ciclo Carbono – Nitrógeno - Oxígeno?				
¿Qué es el proceso triple alfa?				
Subtotal				
Procedimientos y método de trabajo				
Puedo seguir las instrucciones dadas en una actividad.				
Puedo reconocer los fenómenos que sustentan las teorías acerca del origen y evolución del universo y que proporcionan evidencia de su expansión acelerada.				
Puedo explicar cualitativamente –desde el punto de vista de la física nuclear– de cómo a partir del hidrógeno presente en las estrellas se producen otros elementos y la energía que las hace brillar.				
Subtotal				
Actitudes				
Logré cumplir con los objetivos propuestos en cada sección, tema del capítulo.				
Logré explicar con mis palabras los diferentes temas tratados.				
Pude expresar las ideas principales en presentaciones.				
Pude compartir las ideas con mis compañeros.				
Pude cambiar mi opinión sobre algún tema a partir de la explicación de mis compañeros.				
Subtotal				
Total general				

Ahora suma los subtotales y obtén el total general.

Con ayuda de los subtotales notarás tu avance en relación al manejo de conceptos, al desarrollo de tus habilidades, procedimientos y actitudes referidas a tus aprendizajes del capítulo.

Dependiendo de los resultados te orientarán sobre tus logros, por lo que te sugerimos preguntarte ¿Qué debo reforzar para superar el déficit?¿Qué puedo hacer para avanzar más? ¿Qué puedo hacer para saber más?

Utiliza la siguiente tabla para guiar tus remediales

Puntos	Acción	Algunas tareas sugeridas
0-23	Leer detenidamente los contenidos del capítulo. Identificar las ideas y conceptos que no puede explicar. Buscar información en otras fuentes bibliográficos o Internet.	• **respecto de los contenidos** Buscar situaciones cotidianas relacionadas con contenidos del texto como los tipos de estrellas, las propiedades físicas de las galaxias, evidencias experimentales de la expansión del universo. • **respecto de los procedimientos** Realizar cálculos sencillos relacionados con la energía gravitacional. • **respecto de las actitudes** Interés por realizar tareas, fijándote metas.
24- 46	Leer los contenidos del capítulo que no ha logrado entender. Reconocer los conceptos aprendidos y los que no ha entendido. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Conocer la aplicación de los conceptos adquiridos en situaciones físicas cotidianas relacionadas con contenidos del texto como la paradoja de Olbers, las propiedades físicas de las galaxias, los procesos nucleares que ocurren al interior de la estrella. • **respecto de los procedimientos** Elabora explicaciones sobre los procesos nucleares que ocurren al interior de las estrellas, las evidencias experimentales de la expansión del universo. • **respecto de las actitudes** Interés por trabajar en equipo.
47 – 69	Ejercitar los problemas propuestos en el texto. Elaborar explicaciones sobre los conceptos deficitarios. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Elaborar esquemas conceptuales utilizando los conceptos adquiridos. • **respecto de los procedimientos** Desarrolla las investigaciones presentes a lo largo del texto. • **respecto de las actitudes** Interés por saber para qué se necesita comprender los conceptos del capítulo.
70 – 92	Elaborar explicaciones sobre los conceptos desarrollados a lo largo del texto. Buscar información en otras fuentes.	• **respecto de los contenidos** Comprender conceptos y entender las evidencias experimentales de expansión del universo, los procesos nucleares como el ciclo C-N-O, el proceso triple alfa Aplicar competencias matemáticas a nuevas situaciones problemáticas que se relacionan con las reacciones nucleares. • **respecto de los procedimientos** Desarrolla las investigaciones relacionadas con la evolución estelar, las propiedades físicas de las galaxias. • **respecto de las actitudes** Curiosidad por conocer nuevos conceptos, siendo conscientes de la importancia de comprenderlos en profundidad para poder explicarlos. Puedo explicar a mi compañero o grupo y logran entender.

Evaluación de unidad: camino a la educación superior

Encierra en un óvalo la única alternativa

A. Referida al capítulo 1

1. En la atmósfera circulan masas de aire frío o caliente, debido a las llamadas corrientes de:

A) radiación.
B) dilatación.
C) contracción.
D) convección.
E) conducción.

2. La radiación gamma es bloqueada principalmente en la

A) termosfera.
B) exosfera.
C) estratosfera.
D) Ionosfera.
E) piel humana.

3. La huella de carbono consiste principalmente en:

A) medir la cantidad de carbono generada por una persona.
B) medir la cantidad de gases invernadero generada por una persona.
C) cuantificar la cantidad de carbono necesaria para la subsistencia.
D) el impacto ambiental de las empresas sobre las aguas dulces.
E) los índices máximos de carbono permitidos por persona.

4. El agua actúa en el clima como:

A) termorregulador.
B) soporte para la vida.
C) refrigerante.
D) sólido, líquido y gas.
E) transportador de bajas presiones en la alta atmósfera.

5. La formación de la lluvia ácida se debe principalmente

A) a la presencia de HNO_3 y H_2SO_4 en la atmósfera.
B) el constante choque de las nubes con tierra arcillosa.
C) la baja presión y tormentas eléctricas.
D) por la presencia a nivel del suelo de acopios mineros.
E) presencia de relaves de cobre.

6. ¿Cuál(es) de los siguientes subsistemas forman parte de la máquina climática?

I. Litosfera.
II. Atmosfera.
III. Hidrosfera.

A) Solo I
B) Solo II
c) Solo III
d) Solo I y II
e) Solo II y III

7. ¿En cuál de las siguientes capas se encuentra el ozono?

A) Troposfera.
B) Mesosfera.
C) Estratosfera.
D) Termosfera.
E) Tropopausa.

8. ¿Cuál de las siguientes fuentes de contaminación atmosférica es de origen natural?

A) Eliminación de residuos sólidos.
B) Refinerías.
C) Tráfico.
D) Calefacción.
E) Erupciones volcánicas.

9. ¿Cuáles son las consecuencias de la erosión?

I. Aterramiento.
II. Pérdida de suelo cultivable.
III. Degradación física.

A) Solo I
B) Solo II
C) Solo III
D) Solo I y II
E) Solo II y III

B. Referidas al capítulo 2

1. Un ejemplo de fenómeno cósmico es
   A) Big Bang.
   B) Big crunch.
   C) deformación espacio temporal.
   d) corrimiento al rojo.
   E) lentes gravitacionales.

2. Considere las siguientes afirmaciones:
   I. El Sol es el centro del universo.
   II. Las trayectorias de los planetas son elípticas.
   III. La Tierra se ubica en el centro del universo.

   ¿Cuál(es) de ellas representa(n) correctamente los cambios introducidos por Kepler al modelo planetario planteado por Copérnico?

   A) Solo I
   B) Solo II
   C) Solo III
   D) Solo I y III
   E) Solo II y III

3. Que una estrella esté a 20 000 años luz significa que
   A) su luz puede viajar durante 20 000 años antes de extinguirse.
   B) la estrella puede emitir luz durante 20 000 años.
   C) la estrella se formó hace 20 000 años.
   D) la estrella se formó 20 000 años antes de que se formara la Tierra.
   E) está a una distancia de 20 000 parsec.

4. ¿Qué opción ordena a las estrellas M, A y O de acuerdo a su temperatura?
   A) M > A > O
   B) O > A > M
   C) M > O > A
   D) O > M > A
   E) A > M > O

5. Uno de los mecanismos que explican la generación de energía por parte de una estrella es:
   A) La fusión de hidrógeno
   B) La fisión de helio
   C) La formación de carbono
   D) La emisión de fotones
   E) La conversión del helio en hidrógeno

6. En el proceso triple alfa participan núcleos de
   A) nitrógeno
   B) oxígeno
   C) partículas beta
   D) rayos gamma
   E) helio

Normas de Seguridad

El trabajo experimental en Ciencia es muy motivador; sin embargo, debes tomar una serie de precauciones para cuidar tu seguridad y la de tus compañeros.
Planificar y anticipar es una norma general: estudia bien cada paso del trabajo que vas a realizar para saber lo que debes hacer, en qué momento y las precauciones que debes tomar en cada caso.

En caso de accidente, se debe avisar inmediatamente al profesor o la profesora.

Si sigues todas estas normas de seguridad, podrás realizar de manera exitosa tus trabajos experimentales, sin riesgos para la seguridad del grupo.

1. Actitud



- **SIEMPRE** debes seguir las instrucciones de tu profesor o profesora.
- **SIEMPRE** debes proteger tu ropa; lo ideal es usar un delantal.
- **NO DEBES** correr ni jugar cuando realizas una actividad experimental, especialmente al interior del laboratorio.
- **NO DEBES** comer mientras realizas actividades experimentales.
- **SIEMPRE** debes lavar bien tus manos antes y después de realizar la actividad.
- **DEBES** conocer las vías de evacuación.

2. Materiales



- Los materiales que se van a utilizar **deben estar limpios**.
- **Lavar los recipientes** con agua de la llave.
- **Emplear detergente**, si es necesario.
- **Dejar secar el material** para, posteriormente, poder reutilizarlo en forma rápida. La mesa de trabajo debe limpiarse con una esponja húmeda y secarse con un paño apropiado.

3. Cuidado



- **NO DEBES** tocar productos químicos si no lo autoriza el/la profesor/a.
- **NO DEBES** aproximar productos inflamables a mecheros.
- **SI UTILIZAS** mecheros de gas, no olvides cerrar las llaves de paso.

Protección del medioambiente

El trabajo en el laboratorio, además de tomar en cuenta las medidas de seguridad, implica el respeto y cuidado del medioambiente, ya que se trabaja con sustancias tóxicas que se deben eliminar. Por otro lado, es necesario anticiparse y advertir situaciones que pudieran afectarlo. Dentro de estas se destacan:

Residuos y vertidos tóxicos

- Si los residuos son líquidos, estos deben diluirse previamente con agua y luego ser eliminados por el desagüe. Si los residuos son sólidos, deben ponerse en bolsas plásticas bien selladas, para que no se puedan abrir y, si es necesario, ponerles una indicación sobre su contenido. Si en tu laboratorio existen sustancias no rotuladas y desconoces su procedencia, puedes comunicarte con tu municipalidad y pedir que sean ellos los que retiren estos elementos tóxicos desde tu colegio.

Protección de los recursos naturales como la flora y la fauna

- Si vas a trabajar con animales vivos, debes recordar que, por disposición del Mineduc, estos no pueden ser objeto de maltratos ni sometidos a experimentos que los pongan en peligro. Solo se puede trabajar con animales que se constituyan como fuente de alimentación (peces, moluscos, etc.). Si sales a terreno, no debes capturar ningún animal ni maltratar o arrancar ninguna planta que esté en peligro de extinción. Para ello, te puedes informar en Conaf (www.conaf.cl).
- Enséñales a tus compañeros y compañeras a mantener limpio el lugar que visitan, ya sea dejando la basura en los receptáculos adecuados, o bien, llevándola para eliminarla en los lugares correspondientes. Si quieren hacer una fogata, no deben prender fuego en los sitios con mucha vegetación. Si es necesario, deben limpiar las ramas y el pasto en una zona de unos tres metros de diámetro y en el centro hacer la fogata. Cuando la apaguen, deben cerciorarse de que queda bien extinguida y cubrirla con tierra.

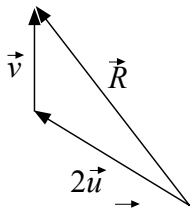
Solucionario evaluación de proceso

¿Cómo vas?, actividad, ejercicio resuelto, evaluación individual y grupal, preguntas de imagen.

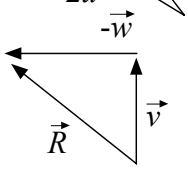
¿Cómo vas? (Página 12)
Por una flecha.

Evaluación individual (página 13)

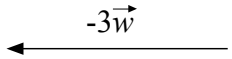
a)



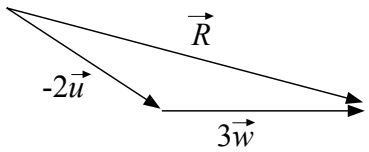
b)



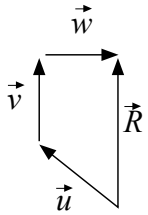
c)



d)



e)



Evaluación individual (Página 15)

1. Por una flecha.
2. El círculo es el área encerrada por la circunferencia, mientras que la circunferencia es el perímetro del círculo.
3. El movimiento rectilíneo es el movimiento que describe una partícula cuya trayectoria es una línea recta, mientras que en el movimiento circunferencial la trayectoria de una partícula es una circunferencia.
4. La rapidez es la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en recorrerla, mientras que la velocidad es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.
5. Por una flecha paralela a la dirección del movimiento.
6. Por una flecha perpendicular al radio de la circunferencia.

Respuesta a la figura 1.7 (Página 16)
Si la magnitud de la velocidad (registrada por el tablero) no cambia, la aceleración es cero. Sin embargo, si la velocidad cambia de dirección (curvas en la trayectoria del auto) entonces existe una aceleración cuyo sentido apunta hacia el centro de la curva.

¿Cómo vas? (Página 17)

2. La dirección es radial y sentido hacia el centro de la plataforma.
3.

Semejanzas	Diferencias
En ambos sus velocidades son tangentes a la trayectorias.	• La velocidad del lanzamiento de proyectiles depende del ángulo de disparo. • La velocidad en el movimiento circunferencial depende de la variación del ángulo en un determinado tiempo.
	En el lanzamiento de proyectiles la aceleración es igual a la aceleración de gravedad.

¿Cómo vas? (Página 18)
El arco debe ser igual al radio.

Ejercicio resuelto N°1 (Página 22)

$\omega = 2{,}41 \frac{rad}{s} = 2{,}41 \cdot \frac{30}{\pi}$ RPM = 23,16 RPM

Ejercicio resuelto N°2 (Página 23)

$v = 18{,}31 \frac{m}{s}$

$a = 478{,}93 \frac{m}{s^2}$

Ejercicio resuelto N°3 (Página 24)

$v = 0{,}0002 \frac{m}{s}$

$\omega = 0{,}001 \frac{rad}{s}$

Ejercicio resuelto N°4 (Página 25)

$\omega = 59{,}8$ RPM

Ejecutar 59 RPM, significa que cada una demora 1,00 segundos, intervalo posible de realizar.

Ejercicio resuelto N°5 (Página 26)

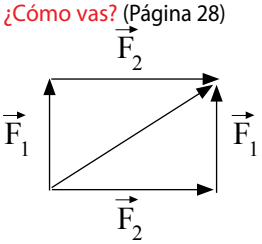
$v = 7\,713{,}36 \frac{m}{s}$

T = 6 024,8 s = 100,4 minutos

¿Cómo vas? (Página 27)

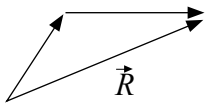
$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$

¿Cómo vas? (Página 28)

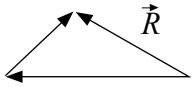


Evaluación individual (Página 30)

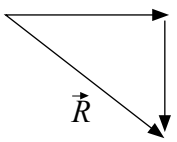
a)



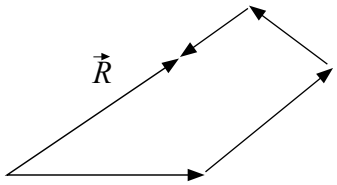
b)



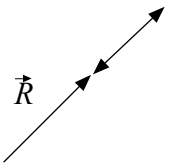
c)



d)



e)



Ejercicio resuelto Nº1 (Página 31)

$v = 7{,}07 \frac{m}{s}$

¿Cómo vas? (Página 32)

1. $v = \sqrt{\frac{\frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m}{kg}} = \sqrt{\frac{m^2}{s^2}} = \frac{m}{s}$

2. Porque al girar, el lodo pegado al neumático, adquiere una velocidad tangencial o lineal. Debería ser mayor.

Ejercicio resuelto Nº2 (Página 33)

$v = 8{,}85 \frac{m}{s}$

¿Cómo vas? (Página 33)

Debe cambiar ya que el roce cambia al estar la superficie mojada.

¿Cómo vas? (Página 36)

El que tiene mayor masa, por lo tanto el libro grueso.

¿Cómo vas? (Página 42)

1. En el par de cuerpos esféricos, tiene mayor inercia rotacional la cáscara esférica. Difieren en cómo está distribuida la materia. En los aros, tiene mayor inercia rotacional el que tiene su distribución de materia más alejada del eje de rotación.
   En el par de cuerpos cilíndricos, tiene mayor inercia rotacional el que tiene su distribución de materia más alejada del eje de rotación.
2. En la actividad exploratoria de inicio del capítulo 1, llegan primero los de menor inercia rotacional: el objeto esférico, después el objeto macizo cilíndrico, después el anillo.

Ejercicio resuelto Nº3 (Páginas 42 - 43)

$736\ kg \cdot m^2$

¿Cómo vas? (Página 44)

La energía cinética de rotación es igual a $E_r = \frac{1}{2} \cdot I\omega^2$

La unidad de la inercia rotacional es $Kg \cdot m^2$ y de la rapidez angular es rad/s.

Multiplicándolas y omitiendo la unidad radián por ser adimensional, se obtiene: $kg \cdot m^2/s^2$.

Como $Kg \cdot m/s^2$ es igual a newton y la energía tiene unidades de trabajo ($N \cdot m$), tenemos que su unidad es Joule: $J = N \cdot m$

¿Cómo vas? (Página 47)

Como la unidad de la rapidez angular es 1 rad/s, entonces la unidad de la aceleración angular es 1 rad/s^2. Todas las partículas que rotan en un mismo cuerpo rígido tienen la misma aceleración angular. Si un cuerpo tiene una aceleración angular constante, significa que la rapidez angular varía en una misma cantidad en cada unidad de tiempo.

¿Cómo vas? (Página 48)

En el movimiento circunferencial uniforme, como la rapidez angular es constante, la aceleración angular es cero.

Evaluación para dos (Página 49)

2. $10{,}5\ rad/s^2$

Evaluación individual (Página 50)

1. Si, ya que el torque sería máximo al aplicar la fuerza perpendicular al mango de la herramienta, ubicándola en el extremo opuesto al punto de aplicación.
2. Si mantenemos la fuerza, el torque aplicado crece si el mango es más largo.
3. Brazo máximo: la fuerza debe ser perpendicular al brazo y ubicada en el extremo opuesto al eje de giro (extremo del mango):
   - Brazo mínimo: la fuerza debe ser perpendicular al brazo y ubicada lo más cerca del eje de giro.
   - Brazo cero: la fuerza debe ser aplicada al brazo y ubicada en el eje de giro.
4. No, ya que el ángulo formado entre el mango de la herramienta y la fuerza es cero. De este modo:
   $\tau = r \cdot F \cdot sen0°$
   $\tau = r \cdot F \cdot 0 = 0N \cdot m$
5. Compara estas respuestas, con las de tu análisis del minilaboratorio de la página anterior:
   - En A, el torque es cero (si se encuentra en el eje de giro)
   - Si la fuerza es paralela a la puerta, el torque es cero.
   - En C, el torque es máximo (si el eje de giro está en el punto A).
   - En B, el torque es menor que el torque de C.

¿Cómo vas? (Página 51)

1. Debería existir una fuerza centrípeta para que la trayectoria sea circunferencial.

Ejercicio resuelto Nº2 (Página 52)

$\tau = 2{,}4\ N \cdot m$

¿Cómo vas? (Página 54)

El momento angular es mayor en el cuerpo que tiene forma de anillo, porque su inercia rotacional es mayor que la del disco.

Ejercicio resuelto Nº3 (Página 55)

$L = 8{,}5 \cdot 10^{33}\ kg \cdot \frac{m^2}{s}$

Ejercicio resuelto Nº4 (Página 59)

$f = 2 \cdot 10^{12} \frac{rev}{mes}$

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

$\omega = 4 \cdot \pi \cdot 10^{12} \frac{rad}{mes}$

Ejercicio resuelto Nº5 (Página 60)

$v = 1{,}13 \frac{km}{s}$

Ejercicio resuelto Nº6 (Página 61)

$T = 103\ 359{,}3\ s$

¿Cómo vas? (Página 76)

Se debe determinar el área de la cara que toca la superficie y el peso del cubo.
Si dividimos

$$\text{Presión} = \frac{\text{Peso del cubo}}{\text{Área de la base}}$$

¿Cómo vas? (Página 77)

De acuerdo a las fuerzas intermoleculares, cada sustancia será el estado de agregación bajo el cual se presenta en la naturaleza.

Ejercicio resuelto Nº 1 (Página 80)

$Masa_{agua} = 60\ 000\ kg$

$Peso_{agua} = 600\ 000\ N$

Ejercicio resuelto Nº 2 (Página 88)

$F = 2\ 000\ 000\ N$

Ejercicio resuelto Nº3 (Página 88)

$P = 0{,}3m \cdot 13\,600\ Kg/m^3 \cdot 10m/s^2$
$= 40\,800\ Pa = 40\,800\ Pa$

Ejercicio resuelto Nº4 (Página 89)

$P = 80\,000\ Pa + 13\,500 \cdot 10\ (-8+16)\ Pa$
$= 1\,160\,000\ Pa$

¿Cómo vas? (Página 90)

Esquema b: Porque la presión a un mismo nivel de profundidad es constante.

Ejercicio resuelto Nº5 (Página 92)

$h_{agua} = 0{,}26\ m \cdot 800\ /1\,000$
$= 0{,}208\ m = 20{,}8\ cm$

Evaluación individual (Página 92)

$\rho_{agua} \cdot h_1 = \rho_{petróleo} \cdot h_2$

Solución a la figura 2.25 (Página 93)

Porque la fuerza de gravedad disminuye con la altitud y las partículas de gas de menor masa escapan con mayor facilidad del campo de atracción de la Tierra.

Solución a la figura 2.27 (Página 94)

Debido a que la presión atmosférica cambia con la altitud, la temperatura de ebullición del agua también cambia.

¿Cómo vas? (Página 94)

No, lo que cambiaría es la altura de la columna, ya que se ha modificado la densidad del líquido.

Solución a la figura 2.31 (Página 96)

Porque se cumple el principio de Pascal.

Solución a la figura 2.32 (Página 96)

No, porque la energía se conserva.

¿Cómo vas? (Página 96)

- Sí, aplicando el principio de Pascal.
- Sí, por medio de los fluidos que actúan como multiplicadores de fuerza.
- Es una relación inversamente proporcional.

Evaluación para dos (Página 97)

1. La presión no cambia, es la misma.
2. No influye la presión del fluido.
3. Las fuerzas son diferentes, al aumentar el área, aumenta la fuerza.

Ejercicio resuelto Nº6 (Página 97)

Los ejercicios permiten al estudiante aplicar el principio de Pascal para calcular el aumento de una fuerza.

$F_{prensa} = 3 \cdot 10^3 \cdot 10\ N \cdot 3 \cdot 10^{-5} / 6 \cdot 10^{-3} = 150\ N$

¿Cómo vas? (Página 98)

- La $F_2 > F_1$, porque la intensidad de presión en un fluido aumenta con la profundidad.
- Se relaciona con los tres principios de Newton.

Ejercicio resuelto Nº7 (Página 100)

Los ejercicios permiten al estudiante resolver problemas, aplicando el principio de Arquímedes y el segundo principio de Newton.

$E = 10\ N = 1\,000 \cdot V \cdot 10\ m/s^2$
$V = 0{,}001\ m^3$
$D = 1\ kg/0{,}001\ m^3 = 1\,000\ Kg/m^3$

¿Cómo vas? (Página 102)

Sí, pero solo si se ahueca. Aunque la papa ahuecada tiene aire en su interior.

Solución a la figura 2.41 (Página 103)

Tiene la forma de un pez, por su estructura aerodinámica.

Solución a la figura 2.44 (Página 104)

La vejiga natatoria, al igual que los tanques de un submarino, es un almacén de agua.

Solución a la figura 2.45 (Página 104)

Porque están en continuo movimiento.

Solución a la figura 2.46 (Página 104)

Porque tienen piedras en su estómago.

Solución a la figura 2.48 (Página 104)

La diferencia está en la intensidad, pero su origen es el mismo. En ambos casos el empuje es mayor al peso.

¿Cómo vas? (Página 111)

Porque usando esas condiciones se puede aproximar un flujo real a un flujo ideal y las ecuaciones de la hidrodinámica son sencillas.

Ejercicio resuelto Nº8 (Página 113)

$$v_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \cdot v_1$$

$$v_2 = \left(\frac{1}{0{,}5}\right)^2 \cdot v_1$$

$$v_2 = 4 \cdot v_1$$

Por lo tanto, la rapidez en la zona donde se encuentra la placa aumenta en 300%.

¿Cómo vas? (Página 114)

Las variables físicas que relaciona la ecuación de Bernoulli es la presión, la rapidez de flujo v y la altura y del tubo de flujo.

¿Cómo vas? (Página 116)

La ecuación:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho \cdot (v_2^2 - v_1^2) + \rho \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$$

Se reduce a $p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$

Que es la ecuación fundamental de la hidrostática.

Ejercicio Resuelto Nº9 (Página 117)

Si se cierra la cañería el término:

$\frac{1}{2}\rho \cdot (v_2^2 - v_1^2)$ es igual a cero.

Y la presión se calcula usando:

$$p_2 = p_1 - \rho \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$$

$$p_2 = 4 \cdot 10^5\ Pa - 1 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}8 \frac{m}{s^2} \cdot (5m - 0m)$$

$$p_2 = 4 \cdot 10^5\ Pa - 0{,}49 \cdot 10^5\ Pa$$

$$p_2 = 3{,}3 \cdot 10^5\ Pa$$

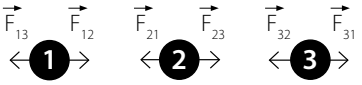
¿Cómo vas? (Página 135)

Ambos sienten la fuerza eléctrica y la fuerza gravitacional.

Ejercicio Resuelto Nº1 (Página 138)

D.C.L.

a) Calcular la fuerza neta sobre la carga 1.
La intensidad de la fuerza de atracción entre la carga 1 y la carga 2 es igual a



La intensidad de la fuerza de repulsión entre la carga 1 y la carga 3 es:

$$F_{12} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2}$$

El modulo de la fuerza neta es:

$$F_{13} = k \cdot \frac{q \cdot q}{(2 \cdot a)^2}$$

b) Calcular la fuerza neta sobre la carga 2.
La intensidad de la fuerza de atracción entre la carga 1 y la carga 2 es igual a:

$$F_{21} = k \cdot \frac{q \cdot \frac{q}{4}}{a^2}$$

La intensidad de la fuerza de atracción entre la carga 3 y la carga 2 es igual a

$$F_{23} = k \cdot \frac{q \cdot \frac{q}{4}}{a^2}$$

El módulo de la fuerza neta es:

$$F_{neta} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2} - k \cdot \frac{q \cdot \frac{q}{4}}{a^2} = 0$$

c) Calcular la fuerza neta sobre la carga 3. La intensidad de la fuerza de atracción entre la carga 3 y la carga 2 es igual a:

$$F_{32} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2}$$

La intensidad de la fuerza de repulsión entre la carga 3 y la carga 1 es:

$$F_{31} = k \cdot \frac{q \cdot q}{(2 \cdot a)^2}$$

El módulo de la fuerza neta es:

$$F_{neta} = k \cdot \frac{\frac{q}{4} \cdot q}{a^2} - k \cdot \frac{q \cdot q}{(2 \cdot a)^2} = 0$$

De este modo las cargas quedan en reposo.

Ejercicio Resuelto Nº2 (Página 142)
Valorizar las expresiones matemáticas.

a) Ley de Coulomb:

$$F_{eléctrica} = \frac{k \cdot e \cdot e}{R^2}$$
$$= 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \frac{(1{,}6 \cdot 10^{-19} C)^2}{(1m)^2}$$
$$= 2{,}304 \cdot 10^{-28} N$$

b) Ley de gravitación:

$$F_{gravitatoria} = \frac{G \cdot m \cdot m}{R^2}$$
$$= 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \frac{(9{,}1 \cdot 10^{-31} kg)^2}{(1m)^2}$$
$$= 5{,}52 \cdot 10^{-71} N$$

c) Para compararlas se necesita de una división entre los resultados obtenidos:

$$\frac{F_{eléctrica}}{F_{gravitatoria}} = \frac{2{,}304 \cdot 10^{-28} N}{5{,}52 \cdot 10^{-71} N} \approx 4 \cdot 10^{42}$$

De este modo la intensidad de la fuerza eléctrica entre las partículas alfa es $4 \cdot 10^{42}$ veces, la fuerza gravitacional entre ellas.

¿Cómo vas? (Página 143)
- Son la masa y la carga.
- Los cálculos de las interacciones se simplifican al introducir el concepto de masa o carga.

¿Cómo vas? (Página 145)
No, ya que la carga se conserva

¿Cómo vas? (Página 147)
Los dieléctricos son los medios materiales donde no hay facilidad de movimiento, mientras que un semiconductor es material intermedio entre un conductor y un dieléctrico.

¿Cómo vas? (Página 150)
Sí, porque cada uno de los métodos cumple con la ley de conservación de la carga.

¿Cómo vas? (Página 152)
La primera expresión relaciona el campo eléctrico con la carga y fuerza eléctrica, en cambio, la segunda expresión indica que la fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración que tiene el cuerpo.

Evaluación individual (Página 155)
a) positiva - positiva o negativa - negativa.
b) positiva - negativa o negativa - positiva.

Ejercicio Resuelto Nº3 (Página 156)
Como la carga es negativa, las líneas de campo eléctrico estarán en forma radial y entrando. La intensidad del campo eléctrico estará dado por:

$$E = \frac{k \cdot Q}{R^2}$$
$$= 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot \frac{1 \cdot 10^4 C}{(0{,}5\ m)^2}$$
$$= 3{,}6 \cdot 10^6 \frac{N}{C}$$

Solución 3.2 (Página 156)
Se deben igualar las fuerzas eléctricas y la fuerza de acuerdo al segundo principio de Newton. La intensidad del campo eléctrico estará dado por:

$$a = \frac{e \cdot E}{M}$$

Solución 3.3 (Página 157)

a) $F = 3{,}2 \cdot 10^{-19} C \cdot 1 \cdot 10^6 \frac{N}{C} = 3{,}2 \cdot 10^{-13} N$

b) $v^2 = 2 \cdot \frac{3{,}2 \cdot 10^{-13} N}{6{,}68 \cdot 10^{-27} kg} \cdot 1 \cdot 10^{-2} m$
$= 9{,}5 \cdot 10^{11} \frac{m^2}{s^2}$

luego, la rapidez es $v \approx 9 \cdot 10^6$ m/s

c) $t = \sqrt{\frac{2{,}1 \cdot 10^{-2} m}{4{,}7 \cdot 10^{13} \frac{m}{s^2}}} = 2{,}06 \cdot 10^{-8}$ s

d) $E_c = \frac{1}{2} \cdot 6{,}68 \cdot 10^{-27} kg \cdot 9{,}5 \cdot 10^{11} \frac{m^2}{s^2}$
$= 3{,}17 \cdot 10^{15} J$

Ejercicio Resuelto Nº4 (Página 159)

$$W = 1 \cdot 10^{-4} C \cdot 3\,000 \frac{N}{C} \cdot 0{,}3\ m = 9 \cdot 10^{-2} J$$

Solución 4.2 (Página 159)

$$W = 1 \cdot 10^{-4} C \cdot 3\,000 \frac{N}{C} \cdot 0{,}3\ m \cdot \cos 60^o$$
$$= 0{,}045 J$$

¿Cómo vas? (Página 160)
La energía potencial se mide en joule y el potencial eléctrico se mide en volt.

Ejercicio Resuelto Nº5 (Página 161)
El trabajo es:

$$W = 1 \cdot 10^{-6} C \cdot 300 \frac{N}{C} \cdot 0{,}2\ m = 3 \cdot 10^{-5} J$$

Ahora, la diferencia de potencial es:

$$V_{ab} = \frac{3 \cdot 10^{-5} J}{1 \cdot 10^{-6} C} = 6V$$

¿Cómo vas? (Página 163)
Coincide con el de los portadores de carga positivos.

Ejercicio Resuelto Nº1 (Página 165)

$$q = 3 \cdot 10^{-9} \frac{C}{s} \cdot 120\ s = 3{,}6 \cdot 10^{-7} C$$

$$n_e = 3{,}6 \cdot 10^{-7} \cdot 6{,}25 \cdot 10^{25} \frac{electrones}{C}$$
$$= 2{,}25 \cdot 10^{19}$$

Actividad experimental grupal (Página 168)

1. Es una relación directamente proporcional.
2. Representa la resistencia del material.
3. Son similares.
4. Que existe una relación directamente proporcional entre el voltaje y la intensidad de corriente.

¿Cómo vas? (Página 169)

$V = I \cdot R$

Ejercicio Resuelto Nº2 (Página 170)

a) No, porque la gráfica representa una curva.

b) No, porque la gráfica representa una curva.

Actividad grupal (Página 172)

1. Son de ion litio.
2. Se basan en procesos químicos reversibles.
3. Han permitido controlar una corriente eléctrica que circula en un circuito.
4. Uno de los impactos ambientales que podemos nombrar es el siguiente, las pilas contienen una serie de metales pesados, los cuales pueden provocar problemas en la salud, como daños en los riñones, dificultades en la formación de los glóbulos rojos y una serie de complicaciones generales en el desarrollo fetal.

¿Cómo vas? (Página 173)

$R = 0{,}0017\ \Omega$

Ejercicio resuelto Nº3 (Página 174)

a) $A = 1{,}72 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m \cdot \dfrac{40\ m}{0{,}2\ \Omega}$

$= 3{,}44 \cdot 10^{-6}\ m^2$

$r = \sqrt{\dfrac{A}{\pi}} = \sqrt{\dfrac{3{,}44 \cdot 10^{-6}\ m^2}{\pi}}$

$= 1{,}04 \cdot 10^{-3} = 1{,}04\ mm$

El diámetro es el doble del radio y por lo tanto debe ser de al menos 2,1 mm.

b) A partir de $V \cdot I \cdot R$ se determina la diferencia de potencial a través de cada alambre:
$V = 6A \cdot 0{,}2\Omega = 1{,}2\ V$

Ejercicio Resuelto Nº4 (Página 177)

$E = 6V \cdot 3{,}5\ A \cdot 600\ s = 12\,600\ J$

$$T = \frac{12\,600\ J}{837{,}2\ \frac{J}{°C}} = 15{,}05\ °C$$

¿Cómo vas? (Página 179)

- En serie, la corriente tiene una sola trayectoria.
- En paralelo la corriente tiene más de una alternativa en su trayecto.
- En serie, suma de las resistencias; en paralelo, suma de los inversos.

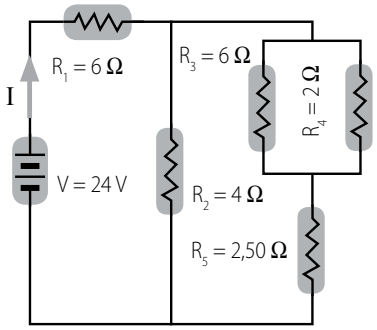
¿Cómo vas? (Página 181)

En comparación con la corriente que pasa por la resistencia conectada en paralelo con el voltímetro es menor.

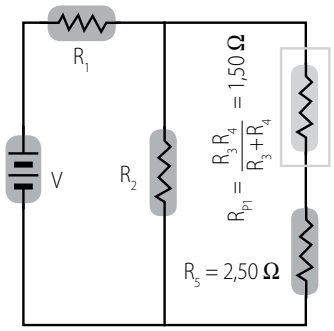
Ejercicio Resuelto Nº5 (Página 183)

En la siguiente secuencia se muestra el cálculo de la resistencia equivalente:

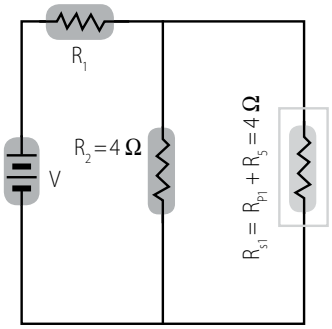
a)



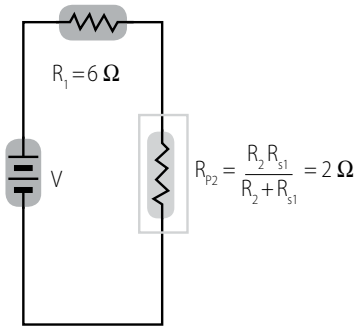
b)



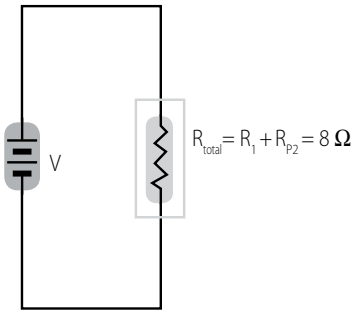
c)



d)



e)



¿Cómo vas? (Página 186)

El fusible contiene un metal que, al fundirse bloquea el paso de la corriente, en cambio el breakers és una lámina bimetálica flexible. Se encuentra en el medidor.

¿Cómo vas? (Página 187)

En el enchufe de tres dientes un diente se conecta a tierra, mientras que en el de dos indica la polarización de la corriente.

¿Cómo vas? (Página 192)

Por la regla de la mano derecha, ya que la fuerza es un vector.

Solución a la figura 3.79 (Página 194)

En ambos casos una trayectoria circunferencial.

¿Cómo vas? (Página 196)

Son líneas concéntricas, circunferencias concéntricas cuyo origen es la corriente.

¿Cómo vas? (Página 200)

- La intensidad de corriente, el largo del conductor, el campo magnético.
- Aumenta la fuerza aplicada.

Ejercicio Resuelto Nº1 (Página 201)

a) Repulsión

b) $B_1 = 3{,}3 \cdot 10^{-4}\ T$, $F_2 = 8{,}3 \cdot 10^{-4}\ N$

¿Cómo vas? (Página 209)
- Flujo magnético.
- Corriente inducida.
- Inducción magnética, porque hay una variación del flujo magnético en la espira.

¿Cómo vas? (Página 213)
Si, ya que la espira giro 90°.

Ejercicio Resuelto Nº1 (Página 216)

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

$$\varepsilon = -100 \cdot \frac{-4 \cdot 10^{-2}\,\text{Wb}}{\frac{1}{28}\,\text{s}} = 112\,\text{V}$$

¿Cómo vas? (Página 238)
Interacciones electromagnéticas y gravitacionales débiles.

¿Cómo vas? (Página 241)
$R = 9 \cdot a_0 = 9 \cdot 0{,}052 = 0{,}468$ nm

¿Cómo vas? (Página 243)
La diferencia más notoria es que las órbitas de Bohr son circunferencias, mientras que las órbitas de Sommerfeld son elipses, donde el núcleo ocupa uno de los focos.

Ejercicio Resuelto Nº1 (Página 245)
Para el caso del boro se tiene que:

Masa de $^{10}_{5}B = 10{,}012$ u

Masa de $^{11}_{5}B = 11{,}009$

Masa atómica =
$0{,}196 \cdot 10{,}012 + 0{,}804 \cdot 11{,}009 = 10{,}814$ u

Ejercicio Resuelto Nº1 (Página 247)
Para el boro, A = 10
Por lo tanto,

$$R = R_0 \cdot A^{\frac{1}{3}}$$

$$= 1{,}2 \cdot 10^{-15} \cdot 10^{\frac{1}{3}} = 2{,}58 \cdot 10^{-15}\,\text{m}$$
$$= 2{,}58\,\text{fm}$$

¿Cómo vas? (Página 248)
La diferencia radica en la cantidad de neutrones y protones presentes en el núcleo de los átomos y sus diversas combinaciones.

¿Cómo vas? (Página 249)
Al comparar las energías equivalentes, se observa que el neutrón tiene mayor energía que el protón.

¿Cómo vas? (Página 254)
El modelo de la gota establece que el núcleo atómico es similar a una gota de agua. En cambio, el modelo de capas indica que existen niveles energéticos donde se ubican los nucleones, en concordancia con el principio de exclusión de Pauli.

¿Cómo vas? (Página 272)
Se produce una disminución de los recursos hídricos, erosión del suelo, aumento del CO_2 atmosférico.

¿Cómo vas? (Página 274)
El planeta aumentaría su temperatura superficial, y si uno de los componentes de la máquina climática desapareciera, se produciría un efecto dominó, y se alteraría el equilibrio dinámico-térmico.

Solución a la figura 1.3 (Página 275)
La fuerza presente en el ojo del huracán es la fuerza centrípeta y también existe allí la fuerza tangencial. Para describirlas puede utilizar las coordenadas polares.

¿Cómo vas? (Página 276)
- Porque permite la interacción entre la atmósfera e hidrosfera.
- De la escorrentía superficial.
- Son los gradientes en la presión, densidad o temperatura entre dos puntos dentro de la capa fluida, lo cual provoca a la circulación de viento y las corrientes marinas.

Solución a la tabla Nº1 (Página 277)
Sería un aumento de la temperatura debido al aumento de los gases de efecto invernadero.

Solución a la figura 1.7 (Página 281)
Disminuye el albedo y aumenta la temperatura.

¿Cómo vas? (Página 282)
- Banda de 2,5 a 4µm: vapor de agua, dióxido de carbono, metano.
  Banda de 4,5 a 8µm: dióxido de carbono, óxido nitroso y vapor de agua.
  A partir de los 15µm: vapor de agua dióxido de carbono.
- En el efecto invernadero es la interacción de la radiación con la atmósfera, mientras que en el albedo corresponde a la reflexión de luz.

¿Cómo vas? (Página 283)
El efecto invernadero disminuye si en el polvo atmosférico hay una concentración menor de gases absorbentes de radiación, pero aumentaría si aumenta esta concentración.

¿Cómo vas? (Página 284)
El aumento de contaminantes incrementa la cantidad de gases absorbentes de radiación.

Solución a la figura 1.9 (Página 284)
Hubo cambios en la utilización de los suelos, contaminación y cambios en la biodiversidad.

¿Cómo vas? (Página 285)
- El aumento de los gases absorbentes de la radiación provocaría un incremento en la temperatura del planeta y disminuiría el albedo.
- Un efecto local solo afecta una zona geográfica delimitada, mientras que un efecto global, a la totalidad del planeta.

¿Cómo vas? (Página 287)
La huella ecológica refleja las diferencias entre la demanda y el consumo de los recursos, mientras que la huella del carbono es la medición de los gases de efecto invernadero.

Solución a la figura 1.15 (Página 288)
Porque fue una fuente de contaminación natural del ambiente.

¿Cómo vas? (Página 289)
Primero se produce un aumento en el albedo, seguidamente, el incremento de dióxido de carbono provoca un aumento del efecto invernadero.

Solución a la figura 1.18 (Página 290)
El aumento de gases como el dióxido de carbono.

¿Cómo vas? (Página 290)
Anegamiento de las zonas costeras, cambio en las corrientes oceánicas y en la salinidad. Sí, como se ilustra en la figura 1.18.

Actividad individual (Página 294)
1. El esquema indica las anomalías en la temperatura. De esta forma al aumentar los gases de efecto invernadero, la atmósfera retiene calor y aumenta la temperatura del planeta.
2. Entre ellos se puede nombrar: retroceso de los glaciales, cambio de hábitat de las especies, cambios en la distribución, entre otros.

¿Cómo vas? (Página 295)
Absorber los rayos ultravioletas, muy dañinos para la salud.

Solución a la figura 1.24 (Página 295)
Porque es un continente.

¿Cómo vas? (Página 297)
Debería ser de un pH cercano a 5, es ácida.

¿Cómo vas? (Página 298)
Ser fuente de esmog.

¿Cómo vas? (Página 299)
Antofagasta alrededor de 6 a 7°C gracias a la corriente de Humboldt, comparado con Calama que tiene 22°C de variación.

Respuesta a la figura 1.27 (Página 299)
En los tres estados.

¿Cómo vas? (Página 300)
Disminuye.

¿Cómo vas? (Página 301)
Disminuye el ecosistema vegetal.

¿Cómo vas? (Página 302)
Por el movimiento de las placas tectónicas.

Respuesta a la figura 1.33 (Página 303)
Materia orgánica o humus, mantilla, capa intermedia, roca madre y lecho rocoso.

¿Cómo vas? (Página 303)
- Se erosiona.
- El movimiento de los vientos.

¿Cómo vas? (Página 305)
- Genera zonas con mayor cantidad de precipitaciones y otras con sequía.
- Ejemplo: plantando árboles.

¿Cómo vas? (Página 310)
Capacidad para producir trabajo útil por unidad de masa. Por ejemplo, combustibles fósiles.

¿Cómo vas? (Página 311)
Falso, esta máquina sería ideal.

Solución de la figura 1.41 (Página 314)
a) Es el lignito

¿Cómo vas? (Página 315)
- Los combustibles fósiles contaminan.
- La energía nuclear altera el clima del lugar donde se encuentra.
- La energía hidroeléctrica altera la diversidad biológica.

¿Cómo vas? (Página 317)
- Ventaja que es una fuente ilimitada de energía.
- La desventaja que requiere de grandes extensiones de terreno.

¿Cómo vas? (página 338)
2. Un año luz =63 067 U.A.
3. Se utilizan los parsec.
4. 1pc =3,26 años luz; 1 año luz = 0,3 pc

¿Cómo vas? (página 340)
18,4 vueltas.

Evaluación individual (Página 345)
$\Delta\lambda = 0{,}03\ \text{nm} = 0{,}03 \cdot 10^{-9}\ \text{m}$
$v = 13\,714{,}18\ \text{m/s}$

Ejercicio Resuelto Nº2 (Página 348)
$T_o = 1\,780\,159\,004$ años

$$H_1 = 65{,}27\ \frac{\frac{\text{km}}{\text{s}}}{\text{Mpc}}$$

¿Cómo vas? (Página 355)
- Rojo, azul, amarillo.
- No todas las estrellas brillan con la misma intensidad.

Actividad de análisis de la imagen (Página 357)
A la nube de Orión.

Actividad de reconocimiento (Página 358)
Estrellas azules.

¿Cómo vas? (Página 358)
La clase espectral clasifica a la estrella, distingue a la estrella de acuerdo a líneas de absorción, el espectro luminoso y su temperatura superficial. Mientras que la clase de luminosidad es de acuerdo con el grosor de las líneas de absorción presente en una estrella.

Actividad de reconocimiento (Página 360)
$U_{Sol} = -2{,}28 \cdot 10^{44}\ \text{J}$
$U_{Júpiter} = -2{,}01 \cdot 10^{36}\ \text{J}$

Solucionario evaluaciones finales

Sección, capítulo y Unidad

UNIDAD 1

Página 27

Evaluación sección 1 capítulo 1
Las relaciones de velocidad son: C, I, I, C

Página 45

Evaluación sección 2 capítulo 1
1. Sumando vectorialmente las fuerzas
2. Fuerza centrípeta
3. Se deben igualar los módulos por lo que la fuerza de roce debe ser igual a la fuerza centrípeta. Además, la fuerza de roce entre el neumático y el pavimento es la causa de la fuerza centrípeta.
4. La fuerza centrípeta es una fuerza radial que causa el cambio de dirección en el vector de velocidad en un movimiento circunferencial uniforme, mientras que la fuerza centrífuga es una fuerza ficticia, debido al marco de referencia no inercial.
5. Depende de la masa y la distribución de esta sobre el eje.
7. El cilindro sólido.
8. La de 70 cm, ya que tiene mayor radio, mayor inercia.
9. La regla.

Página 61

Evaluación sección 3 capítulo 1
$\omega = 3{,}01\ rev/s$

Página 67

Cierre de capítulo 1: aplicaciones
1. v = 69 017 km/año
2. 0,36
3. Orden de llegada: esfera, cilindro y anillo.

Páginas 68 - 69 - 70 - 71

Evaluación de capítulo 1: ¿Cuánto recuerdas?

Sección 1

1. $a = 2{,}74\ m/s^2$
2. $a = 0{,}0339\ m/s^2$
3. $v = 30\ km/s$

4. c 5. c 6. a 7. a 8. b
9. e 10. c 11. d 12. a 13. d
14. c 15. b 16. d

Sección 2

17. c 18. c 19. e 20. c 21. a
22. c

Sección 3

23. d 24. b 25. e 26. a 27. c

Página 83

Evaluación sección 1 capítulo 2

1. El peso de una sustancia se mide en Newtons, mientras que el peso específico es la fuerza por unidad de volumen.
2. La fuerza de masa, la fuerza externa que desplaza al recipiente y la fuerza peso. Mientras que la fuerza superficial es la que se produce al interior del fluido y provoca la forma que adquiere el fluido.

Página 105

Evaluación sección 2 capítulo 2

1. Es la rama que estudia los líquidos en reposo.
2. La densidad del líquido, la profundidad y la presión externa.
3. Aunque ambos son consecuencia de la ecuación hidrostática, el principio de Pascal explica cómo se transmite la presión al interior de un fluido, mientras que el de Arquímedes explica la flotabilidad de los cuerpos en el fluido.
4. Primera imagen (P = E), segunda imagen (P < E), tercera imagen (P > E).

Página 120

Evaluación sección 3 capítulo 2

1. Es un fluido cuyo flujo es: constante, irrotacional, no viscoso e incompresible.
2. Es un flujo laminar.
3. No importa cuánto se sople, el arco no saldrá volando.
4. Esto se puede explicar usando la ecuación de continuidad, como el caudal es constante, la velocidad es inversamente proporcional al área de la sección transversal. De este modo, al presionar la boca de la manguera, el área disminuye y la rapidez del flujo aumenta.
5. El ala de un avión cumple la función de elevarlo, mientras que el alerón funciona exactamente al revés, no eleva a un auto, sino que lo aplasta.

Página 123

Cierre de capítulo 2: aplicaciones

1. No
2. $p_{benceno}$=878,6 kg/m^3
3. 45 cm/s

Páginas 128 – 129

Evaluación de capítulo 2: ¿Cuánto recuerdas?

1. a 2. a 3. d 4. c 5. c
6. e 7. a 8. d 9. b

Página 161

Evaluación sección 1 capítulo 3

1. Cuadro de analogías entre la ley de Coulomb y la ley de gravitación.

	Fórmulas	Descripción
Ley de Coulomb	$\vec{F} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{R^2}\hat{r}$	*Expresa la fuerza que una carga Q ejerce sobre otra carga q*
Ley de gravitación de Newton	$\vec{F} = \frac{-G \cdot M \cdot m}{R^2}\hat{r}$	*Expresa la fuerza que una masa M ejerce sobre otra masa m*

Ley de Coulomb Ley de gravitación de Newton	
Semejanzas	**Diferencias**
1. Actúan a distancia. 2. Ambas son de inverso al cuadrado. 3. Ambas son directamente proporcionales a una cualidad del cuerpo: masa para la fuerza gravitatoria, carga para la fuerza eléctrica.	1. La fuerza eléctrica es atractiva o repulsiva. 2. La fuerza gravitatoria es solo atractiva. 3. La carga eléctrica puede ser positiva o negativa. 4. La masa es una cantidad positiva.

2. Porque simplifica los cálculos matemáticos, además de que ofrece una sencilla presentación de las fuerzas eléctricas.
3. Las cargas deben ser de igual módulo y signo.
4. Más cerca de la carga 2.
5. La eléctrica.

6.

$$r = \sqrt{\frac{k \cdot Q \cdot q}{m \cdot g}}$$

$$= \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \frac{N m^2}{C^2} \cdot 1 \cdot 10^{-6} C 10 \cdot 10^{-6} C}{0{,}1\ kg\ 10\ \frac{m}{s^2}}} = 0{,}3\ m$$

Página 187

Evaluación sección 2 capítulo 3

1. Es un flujo de corrientes que circula por un circuito.
2. La resistencia es una medida de la oposición del material al flujo de los electrones, el voltaje es la energía por unidad de carga, potencia es cuánta energía por unidad de tiempo entrega el circuito.
3.

a) $R_{eq} = 4\Omega$, $I = \frac{8V}{4\Omega} = 2A$

b) $8V$, $I_{total} = 4A$

c) En serie la ampolleta no enciende porque no hay corriente circulando. En paralelo se mantiene encendida porque por ella circula corriente.

$R_{equivalente} = 4\Omega$

$I_{total} = 2A$

$V_{ac} = V_{ad} = 4V$

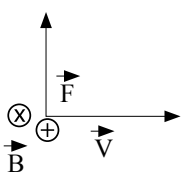
Página 205

Evaluación de sección 3 capítulo 3

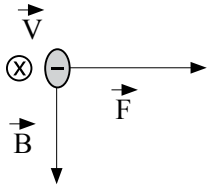
Pagina 205

1.

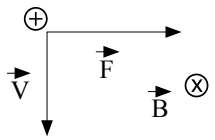
a)



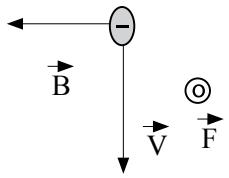
b)



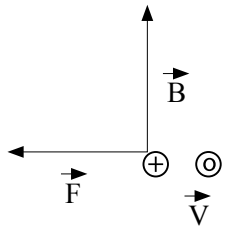
c)



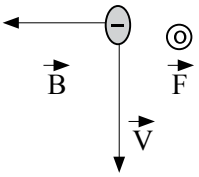
d)



e)



f)



2. Ambas manos están correctas

Páginas 220 – 221

Evaluación de sección 4 capítulo 3

1. Existiría una corriente inducida en el galvanómetro.
2. La ley de Lenz es una ley cualitativa, que nos da el sentido de la corriente inducida, mientras que la ley de Faraday es una ley cuantitativa, que nos da el valor de la corriente inducida.
3. $\Phi = B \cdot L \cdot v \cdot t$, $\Phi = 0,075$ Wb
4. Inducir en la espira una corriente inducida.
5. El generador transforma energía mecánica en energía eléctrica, produce una corriente alterna, mientras que el motor genera energía mecánica a partir de la energía eléctrica, utiliza corriente continua.
6. B = 0,003 T.

Página 223

Cierre de capítulo 3: aplicaciones

1. n electrones $6,25 \cdot 10^{12}$
2. 2,88 Ω
3. $\Delta V = \frac{e \cdot B^2 \cdot R^2}{2\ m}$
4. $\varepsilon = 3V$
   $i = 2A$

Página 229

Evaluación de capítulo 3: ¿Cuánto recuerdas?

Sección 1

1. A nivel atómico, la fuerza eléctrica dentro del núcleo es más grande que la fuerza de gravedad. Sin embargo, pese a que las fuerzas eléctricas en el interior del átomo son grandes, son de repulsión y, por lo tanto, no pueden crecer grandes concentraciones de carga, bien sean negativas o positivas.
2. Cero o nula.
3. Se asemejan en que ambas fuerzas son dadas por expresiones que tienen la misma estructura formal, a saber: directamente proporcional al producto de una propiedad (las cargas y masas respectivamente) de las partículas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Se diferencian en sus fuerzas relativas y en que la gravedad sólo es atractiva.
4. La línea de campo eléctrico de una carga puntual siempre es radial. Entre las cargas, las líneas salen de la carga positiva y llegan a la carga negativa.
5. Al estar un globo cargado, este adquiere un gran potencial eléctrico, lo que tiene relación directa con la energía almacenada por este.
6. $-1,6 \cdot 10^{-13}$
7. Positiva
8. $2,56 \cdot 10^{-9}$
9. 2,24 m
10. $F_e = 8,2 \cdot 10^{-8}$ N $F_g = 3,6 \cdot 10^{-47}$ N
11. d

Sección 2

12. c
13. e
14. Una corriente eléctrica genera un campo magnético a su alrededor, según la "regla de la mano derecha". A su vez, un campo magnético variable induce una corriente eléctrica en un conductor.
15. No, no ocurre lo mismo, el campo magnético alrededor del alambre tiene líneas de fuera en forma de circunferencias.
16. También se invierte.

Sección 3

17. b

Página 245

Evaluación sección 1 capítulo 4

1. Modelos de Thomson, Rutherford y Bohr.
2. Rutherford postuló que la carga positiva de un átomo estaba confinada a una pequeña región que llamó núcleo, y que los electrones se movían en órbitas alrededor de él, de la misma manera que los planetas alrededor del Sol.
3. Los postulados de Bohr son:
   - el electrón describe órbitas circulares alrededor del núcleo.
   - mientras el electrón se mantiene en órbita no emite radiación, permaneciendo su energía constante.
   - cuando el electrón "salta" desde un estado de mayor energía a otro de menor energía, se emite radiación electromagnética (fotones).
   - el tamaño de las órbitas está condicionado por la cantidad de movimiento angular (L) del electrón alrededor del núcleo.
4. Para $n = 2$ se tiene la siguiente expresión para la energía:

$$E_n = \frac{-13,6}{2^n} = \frac{-13,6}{4} = -3,4 \text{ eV}$$

Página 257

Evaluación sección 2 capítulo 4

1. Núcleo: es la parte del átomo que se encuentra en el centro, formado por protones y neutrones.
   Núclidos: son los distintos núcleos atómicos que existen en la naturaleza o que se pueden producir artificialmente.
   Nucleón: corresponde al número másico de un átomo.
2. La radiación alfa corresponde a partículas cargadas positivamente.
   La radiación beta corresponde a partículas muy pequeñas cargadas negativamente.
   La radiación gamma corresponde a ondas electromagnéticas, por lo que son de naturaleza eléctrica neutra.
3. La estabilidad nuclear está determinada por la competencia entre la fuerza nuclear de atracción entre los protones y neutrones y las interacciones eléctricas repulsivas de los protones.
4. La energía de enlace es la energía necesaria para separar los nucleones.
5. Frenkel vio la similitud entre una gota de líquido y el núcleo de un átomo, por lo que

postuló que la saturación de las fuerzas nucleares lleva al núcleo a adoptar una forma esférica, equivalente a una tensión superficial.

Página 258

Cierre de capítulo 4: aplicaciones

1. $Rn = \frac{n^2 \cdot \hbar^2}{m \cdot k \cdot e^2}$
2. 7,7605 MeV

Página 263

Evaluación de capítulo 4: ¿Cuánto recuerdas?

1.
   a) $E_1 = -13{,}6$ eV;
   b) $E_2 = -3{,}4$ eV; $\Delta E = 10{,}2$eV;
2.
   a) $\Delta E = 10{,}2$eV;
   b) $f = 2{,}46 \cdot 10^{15}$ Hz; $\lambda = 1{,}22 \cdot 10^{-7}$ m
3. Es cuatro veces mayor, debido a que el radio orbital es proporcional a n^2.
4. $r_2 = 2{,}46 \cdot 10^{-10}$ m; $r_3 = 4{,}8 \cdot 10^{-10}$ m $r_4 = 8{,}5 \cdot 10^{-10}$ m
5. $E_2 = -3{,}4$ eV ; $E_3 = -1{,}5$ eV $E_4 = -0{,}85$ eV
6. Con n = 4 ahora podemos tener l = 3, sumando los otros valores posibles para n = 3. Esto nos entrega siete valores para m, entre −3 y +3. Como cada uno de estos tiene dos espines. Como existen 14 estados adicionales, dando un total de 32.
7. c
8. d
9. **a)** $1{,}5 \cdot 10^{-10}$(J) **b)** $9{,}36 \cdot 10^{8}$(eV)
10. d
11. c
12. e

Páginas 266-267

EVALUACIÓN DE UNIDAD 1
Solución evaluación unidad 1

A. Referidas al capítulo 1

1. a **2.** d **3.** c **4.** c **5.** d

B. Referidas al capítulo 2

1. a **2.** b **3.** e **4.** a

C. Referidas al capítulo 3

1. c **2.** e **3.** e **4.** a **5.** d

D. Referidas al capítulo 4

1. a **2.** c **3.** d **4.** a

UNIDAD 2

Página 307

Evaluación sección 1 capítulo 1

1. En las sociedades industriales aumenta el impacto ambiental.
2. El esmog sulfuroso es perjudicial para la salud y se produce en ciudades frías y húmedas, mientras que el esmog fotoquímico produce irritaciones oculares, afecciones respiratorias, dolores de cabeza, alergias, entre otros.

Página 321

Evaluación sección 2 capítulo 1

1. De la más baja a la más alta: nuclear, gasolina, energía geotérmica.
2. El coste energético corresponde al valor que pagamos por utilizar la energía, mientras que la rentabilidad económica depende de su precio.
3.
   a) 1,5
   b) OCDE, Unión Europea, Asia.
   c) Aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero.

Página 322

Cierre capítulo 1: aplicaciones

1. La energía que entra a la Tierra es la radiación electromagnética proveniente del Sol. Además, de nuestro planeta sale energía como radiación reflejada y radiación infrarroja, procedente de su superficie.
   La Tierra, por su parte, posee una maquinaria climática que regula el clima planetario, gracias a la interacción entre los subsistemas como la atmósfera, hidrosfera, geosfera, entre otros.
   De esta manera, las variables (presión, volumen, caudal, entre otros) que alteran a los sistemas que forman a la máquina climática, afectan a la Tierra.
   El impacto ambiental, la contaminación de la atmósfera, los ríos, lago y los suelos contribuyen a modificar el valor de dichas variables.
   Por otra parte, el reciclaje, el cuidado de los recursos hídricos, el uso de los suelos, contribuyen a disminuir el impacto ambiental y favorecen el funcionamiento de la máquina climática.
2. Entre las energías convencionales más usadas están las derivadas de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), la nuclear y la hidroeléctrica. Las energías provenientes del Sol y las alternativas tales como geotérmicas, mareomotrices, entre otras.

Página 330 - 331

Evaluación de capítulo 1: ¿Cuánto recuerdas?

Sección 1

Ítem I

1. a **2.** b **3.** c **4.**e

Ítem II

1. a **2.** a **3.** b

Ítem III

3. El efecto albedo enfría el planeta, mientras que el efecto invernadero incrementa la temperatura del planeta.
4. Renovación de los suelos, reciclando, renovando la biodiversidad y disminuir la sobreexplotación.

Página 331

Sección 2

Ítem I

1. a **2.** a **3.** a **4.** b **5.** c

Ítem II

1. Se encuentra en los yacimientos de petróleo.
2. Mediante gaseoductos, también en licuarlo a bajas temperaturas y transportarlo en barcos, por ejemplo.
3. A través de una red de tuberías de manera subterránea.
4. Para la calefacción, cocina de los hogares, en la industria y en las centrales térmicas.
5. Es su combustión en las centrales térmicas para producir la electricidad.
6. Es instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la liberación de energía en forma de calor, debido a la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón.
7. A que se agotan más rápido de lo que pueden ser remplazados en la naturaleza, ya que tardan millones de años en formarse.
8. Se basa en construir una presa que cierra una bahía y deja que la marea alta la atraviese. Se puede aprovechar la energía cinética que resulta tanto de la entrada de agua hacia bahía, como la que sale de ella para mover una turbina que hace girar el generador, convirtiéndola en energía eléctrica.
9. Produce menos dióxido de carbono y no emite NO_x ni SO_2, por lo que no causa lluvia ácida.
10. Una central produce energía eléctrica a partir de la energía desprendida en la reacción química de combustión fósil (carbón, gasóleo, gas). El combustible se quema en los quemadores y la energía desprendida se utiliza para convertir

agua en vapor. En la caldera, el vapor de agua obtenido mueve la turbina y, posteriormente es condensado para volver a esta en estado líquido.
Nota: *observa la figura 3.121 (pág. 219) del Texto del Estudiante.*

11. Reduce la diversidad biológica, dificulta la emigración de los peces, el transporte de elementos nutritivos, produce variaciones en el microclima, entre otros.
12. Los paneles fotovoltaicos convierten directamente la energía solar en electricidad, mientras que en los colectores se utiliza el calor procedente del Sol para producir energía eléctrica.

Página 353

Evaluación sección 1 capítulo 2

Para cada actividad, aplica la siguiente pauta para evaluar tu desempeño.

1. Junto a tus compañeros, leen e investigan, un capítulo del libro de Stephen Hawking "Historia del tiempo, del Big Bang a los agujeros negros" pertinente con alguna de las temas tratados en la sección.
2. La investigación debe responder a:
   - Explica, ¿cuál es la relación entre el contenido tratado en el libro y el tema escogido de la sección?
     Finalmente comparte las respuestas con tus compañeros y discute sobre la diferencia y/o semejanza que puedes encontrar.
3. Junto a tus compañeros, leen e investigan, en diversas fuentes (libros, textos, revistas e internet, entre otras) confiables, sobre la teoría del Big Bang, el universo y la física de partículas, las fuerzas fundamentales de la naturaleza y las partículas, detectores del universo.
4. La investigación debe responder a:
   - Informar sobre cada tema por medio de un cartel.
5. Junto a tus compañeros, leen e investigan, en diversas fuentes (libros, textos, revistas e internet, entre otras) confiables, sobre el descubrimiento de la radiación cósmica de microondas, el funcionamiento de un radiotelescopio, el telescopio espacial COBE para medir la radiación cósmica de fondo de microondas.
6. La investigación debe responder a:
   - Explica, ¿qué es la radiación cósmica de microondas?
   - Explica, ¿cuál es funcionamiento de un radiotelescopio y del telescopio espacial COBE?

Evalúa tu investigación			
Nº	Indicadores	SI	NO
1	Formulé predicciones basadas en conocimiento científico.		
2	Elaboré un procedimiento simple de investigación.		
3	Seleccioné recursos (materiales) necesarios para la investigación.		
4	Determiné las variables que serán investigadas.		
5	Expliqué el procedimiento que realizaré, incluyendo las variables que controlé y las mediciones que realicé.		
6	Evalué si las evidencias obtenidas con rigurosidad.		
7	Determiné si el procedimiento empleado puede replicarse en otras investigaciones similares o de la misma naturaleza.		
8	Comuniqué los resultados de la investigación		
9	Expliqué los resultados por medio de la redacción de documentos y el uso de TIC.		
10	Propuse y seleccione ideas que permitieron diseñar y ejecutar una investigación		

Página 363

Evaluación sección 2 capítulo 2

1. Es una enorme esfera de gas que contiene partículas eléctricamente cargadas, que pueden interactuar con otras partículas con fuerzas eléctricas de largo alcance, es decir, es una esfera de plasma, aislada en el espacio, que produce energía en su interior, la cual es transportada a su superficie e irradiada desde allí al espacio, en todas direcciones.
2. Usando el brillo y la distancia a la cual se encuentra la estrella.
3. Porque tienen diferentes temperaturas superficiales.
4. Poder medir presiones al interior de ellas, como también la temperatura de su núcleo.
5. Usando la ecuación
   $P_{centro} \approx \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot G \cdot \rho^2 \cdot \frac{R^2}{2}$
6. **a)** Próxima
   b) Vega
   c) Vega (61), Sirio (21), Procyon (7,7), Próxima (0.0017)

Página 365

Cierre de capítulo 2: Aplicaciones

1. $M = 4{,}54 \cdot 10^{56}$ kg
2. $U = -2{,}56 \cdot 10^{32}$ J

Página 370-371

Evaluación de capítulo 2: ¿Cuánto recuerdas?

Ítem I

1. a **2.** b **3.** d **4.** e **5.** g **6.** f

Ítem II

1. b **2.** a **3.** a **4.** a

Ítem III

1. Si consideramos que el Sol se encuentra en el borde de la galaxia y que su órbita es una circunferencia cuyo diámetro es el de la Vía Láctea, por lo que obtenemos $T = 1{,}3 \cdot 10^{16}$s
2. **a)** $T = 1{,}5 \cdot 10^{15}$s
   b) $M = 1{,}02 \cdot 10^{20}$ kg
3. Al establecer una relación lineal entre la velocidad a la que se alejen las galaxias y la distancia a la que se hallan.
4. La velocidad a la que se alejan las galaxias y la distancia a la que se hallan, es una relación lineal, por lo que la interpretación gráfica es una línea recta. Por otra parte el inverso de la constante de Hubble (H_0) permite estimar la edad del universo, por lo que si la constante varía, cambia la edad del universo.
5. Debido a que su naturaleza es diferente a las nebulosas difusas, que son nubes de gas iluminadas por la luz de las estrellas.
6. El corrimiento al rojo, la ley de Hubble y el fondo de radiación cósmica.
7. El universo observable u horizonte del universo constituye la parte visible del universo total.

Página 374

EVALUACIÓN DE UNIDAD 2

Referidas al capítulo 1

1. d **2.** d **3.** b **4.** a
5. a **6.** e **7.** c **8.** e **9.** b

Referidas al capítulo 2

1. e
2. b
3. La luz que llega a la Tierra, ha viajado por 20 000 años en el espacio.
4. b
5. a
6. e

Glosario

Este glosario define cada palabra clave que aparece en el texto.

A

Aceleración tangencial: aceleración originada al cambiar la magnitud (modulo) de la velocidad tangencial.
Aceleración: cambio en la velocidad dividida entre la cantidad de tiempo en que ocurre tal cambio; puede llevarse a cabo cuando un cuerpo cambia de rapidez o dirección o las dos. También es el cociente entre la variación de velocidad tangencial y el tiempo.
Aceleración angular: cociente entre la variación de la velocidad angular y el tiempo.
Aceleración centrípeta: aceleración dirigida hacia el centro de la trayectoria.
Agujeros negros: corresponden al final de las supernovas con masas mayores a tres masas solares. Se caracterizan por ser acumulaciones de mucha masa en un pequeño volumen y tener una gravedad tan intensa que atrapa a la luz.
Aislante: sustancia que no conduce ni el calor ni la corriente eléctrica.
Alternador: maquina eléctrica capaz de convertir la energía mecánica en eléctrica alterna, brindando corriente eléctrica.
Ampere: unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica. Por un conductor circula 1 A cuando por una sección transversal de él y en un único sentido cruza una carga de 1 C en 1 segundo.
Amperímetro: instrumento que permite medir la corriente eléctrica que circula por un elemento de un circuito. Se debe conectar en serie con el elemento en el cual se desea realizar la medición.
Año luz: unidad que representa la distancia que la luz viaja en un año –cerca de 9,5 trillones de kilómetros- usada para registrar las distancias entre las estrellas y las galaxias.
Atmósfera: nombre que recibe la porción gaseosa que envuelve al planeta Tierra. Está formada por la troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la termosfera. Su espesor medio es de unos 1 500 km y representa el 0,008 % de la masa terrestre.
Átomo: bloque diminuto de construcción de la materia, formado por protones, neutrones y electrones.
Asteroide: pedazo de roca o metal formado de material similar al que da origen los planetas. Se encuentran principalmente en el cinturón de asteroides entre las órbitas de Marte y Júpiter.

B

Barómetro: es un instrumento que mide la presión atmosférica. Se emplean tres clases: el de mercurio, el aneroide (llamado también metálico) y el hipsómetro.
Big Bang: teoría científica que sostiene que el Universo, y el tiempo, habrían comenzado a partir de una gran explosión inicial.
Bobina: dispositivo construido con un conductor que se enrolla circularmente en forma de hélice.

C

Caída libre: movimiento vertical que adquiere un objeto debido solo a la acción de la fuerza de gravedad, sin considerar los efectos del roce del aire.
Calentamiento global: incremento del promedio de la temperatura global.
Campo eléctrico: región del espacio tal que en cada punto de él una carga eléctrica experimentará una fuerza eléctrica de atracción o de repulsión.
Campo magnético: Es un campo de fuerzas creado como consecuencias del movimiento de las cargas eléctricas.
Cantidad de movimiento angula: producto entre el movimiento de inercia de un objeto y la velocidad angular. Está dirigido a lo largo del eje de rotación.
Capa de ozono: capa de la estratosfera con una concentración alta de ozono y que absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta dañina del Sol.
Carga eléctrica: es una propiedad de algunas partículas subatómicas, que se podría decir que es pérdida o ganancia de electrones.
Caudal: es el volumen de fluido que pasa por un conducto en cada unidad de tiempo. Se obtiene multiplicando el área del conducto por la velocidad del fluido ($Q = A \cdot v$).
Central hidroeléctrica de embalse: central que posee un embalse para acumular agua y así mover sus turbinas por medio de la caída de agua por diferencia de altura.
Centro de gravedad: punto de un objeto en el que se puede considerar que actúa la fuerza de gravedad.
Cero absoluto: corresponde a la temperatura más baja posible donde se detiene toda actividad molecular. Esta es de 0 K (Kelvin) ó -273,15 °C.

Ciclo del agua: ciclo interminable el cual el agua circula entre la superficie de la Tierra y la atmósfera, a través de los procesos de evaporación, transpiración precipitación y condensación.
Circuito eléctrico: cualquier trayectoria que permita la circulación de corriente eléctrica por ella.
Clorofluorocarbonos (CFCs): grupo de los compuestos químicos usados en refrigeradores, acondicionadores de aire, espuma de empaque y aerosoles; pueden entrar en la atmósfera y destruir el ozono.
Combustible fósil: recurso energético no renovable, como el carbón mineral, formado durante millones de años a partir de restos de plantas y otros organismos muertos.
Conductor: cuerpo que en contacto con la electricidad transmite puntos de superficie.
Conexión en serie: dos elementos de un circuito están conectados en serie si ellos está unidos solo por un punto y circula la misma corriente eléctrica por ambos.
Conexión en paralelo: dos elementos de un circuito están conectados en paralelo si ellos están unidos por dos puntos y el voltaje entre sus terminales es el mismo.
Constelación: ordenamiento sin ningún significado físico de estrellas que se encuentran a enormes distancias entre sí atendiendo al antiguo escenario mitológico.
Contaminación: introducción de deshecho al medio ambiente, como aguas residuales y químicos, que pueden causar daño a los organismos.
Contaminante: cualquier sustancia que contamine el medioambiente.
Constante: variable que no cambia en un experimento.
Constelación: grupo de estrellas que forma un patrón en el cielo y que asemeja un objeto (libra), a un animal (Pegaso) o un personaje familiar (Orión).
Corriente eléctrica: es un flujo de cargas por una unidad de tiempo que recorre un material.
Corriente alterna: Corriente que varía su magnitud y sentido en el tiempo.
Corriente continua: corriente eléctrica que tiene una magnitud y una única dirección fijas durante el tiempo.
Corteza: región más externa de la geosfera, con un espesor entre los 6 km bajo el suelo marino y los 60 km bajo las regiones montañosas. Su densidad media es de 2 800 kg/m^3.
Cortocircuito: condición de un circuito eléctrico en que dos elementos de él se unen por medio de una conexión de baja resistencia circulando por ellos una alta corriente que puede destruirlos.
Coulomb: unidad de medida de la carga eléctrica. 1 C corresponde a la magnitud de la carga eléctrica de aproximadamente $6{,}3 \cdot 10^{18}$ electrones.
Cuanto de energía: es una cantidad discreta de energía cuyo valor es $h \cdot f$, donde h es la constante de Planck y f la frecuencia de un oscilador eléctrico.
Cúmulos estelares: agrupaciones de miles de estrellas nacidas de una misma nube. Su forma permite diferenciar entre los cúmulos globulares y los irregulares.

D

Densidad: propiedad de la materia definida por la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.
Deforestación: destrucción y tala de los bosques –a menudo el despeje de la tierra para minería, carreteras y ganadería- lo que da como resultado un aumento de los niveles atmosféricos de dióxido de carbono.
Desplazamiento: magnitud vectorial que mide el cambio de posición de un cuerpo durante su movimiento.
Desplazamiento angular: es el ángulo $\Delta\theta$ que describe el vector posición radial en un movimiento circular.
Diamagnético: material que no es atraído por un imán e incluso puede ser repelido por él.
Diferencia de potencial eléctrico o voltaje: corresponde a la diferencia algebraica de potencial eléctrico entre dos puntos. Mientras más alto es el voltaje, las cargas eléctricas se moverán con mayor facilidad.

E

Eclíptica: plano de la órbita de la Tierra alrededor del Sol.
Ecuación de continuidad: describe la relación entre la velocidad de un fluido y el área que este atraviesa, cuando el caudal se mantiene constante. Para dos puntos (1 y 2) se escribe: $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$
El Niño: evento climático que comienza en el océano Pacífico tropical; puede ocurrir cuando los vientos alisios se debilitan o e invierten; puede desestabilizar los patrones normales de precipitación y temperatura del mundo.
Electricidad: fenómeno físico cuyo origen son las cargas eléctricas y cuya energía se manifiesta en otros fenómenos.

Electrización: pérdida o ganancia de carga negativa de un cuerpo o un átomo mediante algún método como la fricción o el contacto.
Electromagnetismo: rama de la física que estudia las relaciones entre la electricidad y el magnetismo, es decir, el campo magnético creado por la corriente eléctrica y el efecto de un campo magnético sobre una corriente eléctrica.
Elipse: figura geométrica plana que tiene dos focos.
Empuje: fuerza vertical hacia arriba que ejerce un fluido sobre un objeto sumergido en él.
Enana blanca: etapa tardía en el ciclo de vida de una estrella de secuencia principal, de relativamente poca masa, formada cuando el núcleo agota su helio y sus capas externas escapan al espacio, dejando atrás un núcleo denso y caliente.
Energía biomasa: energía renovable derivada de la combustión de materiales orgánicos tales como la madera y el alcohol.
Energía cinética de rotación: Energía que tiene un objeto debido a su movimiento de rotación.
Energía cinética de traslación: Energía que tiene un objeto debido a su movimiento de traslación, en otras formas de energía.
Energía eléctrica o potencial eléctrica: Es una forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos -cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico- y obtener por ejemplo, trabajo mecánico.
Energía hidroeléctrica: electricidad producida por la energía hidráulica generada en grandes represas construidas en los ríos.
Energía mecánica: suma de la energía cinética, potencial y elástica.
Energía nuclear: energía almacenada en los núcleos atómicos que se puede transformar.
Energía potencial elástica: energía que tiene un objeto debido a su deformación.
Energía potencial gravitacional: energía que tiene un objeto debido a su posición en un campo gravitacional.
Energía solar: energía del Sol, la cual es limpia e inagotable y puede transformarse en electricidad a través de celdas solares.
Energía: se define como capacidad de realizar un trabajo.
Equilibrio mecánico: se establece cuando la suma de las fuerzas y la suma de los torques sobre un cuerpo es igual a cero.
Equilibrio estable: posición donde un objeto tiene la menor energía potencial gravitacional posible.
Equilibrio hidrostático: estado de balance que existe entre las fuerzas de presión y gravitacionales, dentro de un fluido.
Equilibrio inestable: posición donde un objeto no tiene la menor energía potencial gravitacional posible.
Erosión: proceso mediante el cual los materiales de la superficie son desgastados y transportados de un lugar a otro por agentes como la gravedad, el agua, los vienro o los glaciares.
Espectro electromagnético: ordenamiento de las ondas electromagnéticas de acuerdo con su longitud de onda.
Estrella de neutrones: núcleo colapsado de una supernova que puede contraerse hasta tener un diámetro de 20 km y contiene solo neutrones en su denso núcleo.
Equilibrio rotacional: ocurre cuando la suma de todos los torques que actúan sobre el cuerpo es igual a cero.

F

Fem (fuerza electromotriz): voltaje que se induce en un conductor, como una bobina, producto de la acción de un campo magnético que varía en el interior de la bobina.
Ferromagnético: material que tiene la propiedad de ser atraído por un imán y de magnetizarse por efecto de la presencia de un imán.
Fisión nuclear: reacción nuclear en la que a partir de un núcleo se obtienen dos fragmentos idénticos con liberación de energía.
Flotación: fenómeno que ocurre si el peso de un cuerpo sumergido en un fluido es igual a la fuerza de empuje ejercida sobre dicho cuerpo.
Fluido: denominación que engloba las sustancias que fluyen (líquidos y gases).
Fluido incompresible. si al aplicar una presión sobre un fluido, este no se comprime, se habla de un fluido incompresible.
Flujo laminar: es cuando las moléculas de un fluido en movimiento siguen trayectorias paralelas.
Flujo turbulento: es cuando las moléculas de un fluido en movimiento se cruzan entre ellas, generando turbulencias e inestabilidad.
Fotón: también conocido como "cuanto de luz", equivale a una cantidad de energía electromagnética definida por $E = h \cdot f$. Se puede comprender como una partícula sin masa que posee momentum definido por $P = h \cdot f/c$.
Fuerza: magnitud física que causa la aceleración de un objeto.

Fuerza centrifuga: fuerza que actúa sobre objetos según un observador ubicado en un sistema de referencia acelerado.
Fuerza centrípeta: fuerza que apunta hacia el centro de la trayectoria y que causa la variación de la dirección de la velocidad tangencial.
Fuerza conservativa: fuerza cuyo trabajo realizado no depende de la trayectoria.
Fuerza de flotación: es lo mismo que empuje.
Fuerza de Lorentz: suma de las fuerzas magnética y eléctrica que experimenta una carga en un campo magnético y eléctrico.
Fuerza eléctrica: fuerza que se presenta entre cargas eléctricas, siendo atractiva entre dos cargas de distinto signo y repulsiva entre cargas de igual signo.
Fuerza inercial: fuerza que actúa sobre los objetos según un observador ubicado en un sistema de referencia acelerado.
Fuerza no conservativa: fuerza cuyo trabajo realizado sí depende de la trayectoria.
Fuerza resultante: suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un objeto.

G

Galaxia: gran masa formada por gases, polvo y estrellas que se mantiene unida por efectos gravitacionales. Son las mayores estructuras celestes y tienen formas diversas, como por ejemplo: elípticas, espirales e irregulares.
Gas natural: combustible fósil formado a partir de organismos marinos y que a menudo se encuentra en capas rocosas inclinadas o plegadas; se usa para calefacción y para cocinar.
Generador: dispositivo que transforma energía mecánica en energía eléctrica producto de la interacción de un campo magnético variable con un conductor.
Geosfera: nombre que recibe la porción sólida que compone el planeta Tierra. Está formada por la corteza, el manto y el núcleo. Representa el 99,9 % aproximadamente de su masa.

H

Hidrodinámica: es el estudio de fluidos en movimiento.
Hidrosfera: Capa de la Tierra entre la atmósfera y la litosfera formada por el conjunto de las partes líquidas del globo terráqueo, es decir, la capa de la Tierra formada por agua, ya sea en estado sólido, líquido o gas.
Hidrostática: área de la Física que estudia las características de los fluidos en reposo.
Huella ecológica: es un parámetro claro e intuitivo, que nos permite conocer la superficie requerida por los habitantes de una región para cubrir sus necesidades de consumos en términos de materiales, energía, suelo, entre otras necesidades, así como para cubrir la asimilación de los residuos o desechos resultantes de tales consumos.

I

Imán natural: material que tiene la propiedad natural de atraer algunos metales.
Inercia: mide la tendencia de un cuerpo a resistir un cambio en su movimiento y depende de la cantidad de masa que tiene tal cuerpo.
Inercia de rotación: tendencia de un cuerpo que está en movimiento circunferencial a seguir girando.
Inferir: sacar una conclusión basándose en una observación.
Interacción gravitatoria: Es una de las cuatro fuerzas fundamentales. Es una interacción que explica fenómenos a gran escala como el movimiento de los planetas alrededor del Sol. También explica la fuerza de atracción que efectúa la masa de la Tierra, sobre los cuerpos situados en el campo gravitatorio terrestre. Esta fuerza, produce la caída de los cuerpos hacia la superficie de la Tierra, con una aceleración independiente de la masa del cuerpo que cae, cuyo valor es g y se conoce como aceleración de gravedad.

K

Kelvin (K): unidad de temperatura del (SI).

L

Ley científica: una regla que describe un patrón en la naturaleza, pero que no intenta explicar por qué suceden las cosas.
Ley de Coulomb: expresión cuantitativa de la fuerza de atracción o repulsión electrostática, planteada por Charles de Coulomb.
Ley de Faraday: establece que el voltaje es inducido en un circuito cerrado.

Ley de gravitación universal: relación física descubierta por Isaac Newton que sostiene que todos los cuerpos dotados de masa se atraen entre sí con una fuerza que es directamente proporcional al producto de la masa de los cuerpos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.
Ley de Joule: relación matemática que se establece entre las variables potencia eléctrica (P), voltaje (V) y corriente eléctrica (i). Esta relación es; $P = V \cdot i$
Ley de Lenz: una fem inducida es una espira o bobina de alambre tiene una dirección o polaridad tal que la corriente que origina produce su propio campo magnético que se opone al cambio de flujo magnético que pasa por esa espira o bobina.
Ley de Ohm: Relación matemática entre la resistencia eléctrica (R), voltaje (V) y la corriente (i) que circula por un elemento de un circuito eléctrico.
Líneas de campo o de fuerza: Método gráfico de líneas rectas o curvas mediante el cual se representa el campo eléctrico y magnético. La fuerza eléctrica o magnética es tangente en cada punto de las líneas.
Litosfera: capa rígida de la Tierra de unos 100 kilómetros de profundidad, comprende la corteza y una parte del manto superior.
Lluvia ácida: retorno a la superficie terrestre, mediante cualquier tipo de precipitación, de los ácidos disueltos en agua originados por contaminantes primarios, descargados a la atmósfera por determinadas actividades humanas, como el dióxido de azufre (SO_2)y los óxidos de nitrógeno (NOx) al reaccionar en un proceso de transformación fotoquímica con determinados componentes atmosféricos (oxígeno, vapor de agua) durante su permanencia en la atmósfera. La lluvia ácida se identifica mediante la concentración de iones de hidrógeno (H+) presentes en el medio (expresada como pH; pH = Log (concentración H+). Cuanto mayor sea dicha concentración, menor será el valor del pH y mayor será su acidez.

M

Magnetismo: : Área de la física que estudia las interacciones entre los imanes y entre las carga eléctricas en movimiento.
Magnitud aparente: medida de la cantidad de luz recibidas en la Tierra desde una estrella.
Magnitud escalar: magnitud física que queda completamente determinada por un valor numérico.
Magnitud vectorial: magnitud física que queda completamente determinada por una dirección, un sentido y un valor numérico o módulo.
Manómetro: instrumento que mide la presión.
Masa: medida de la inercia de los cuerpos.
Medida: Cada una de las unidades que se emplean para medir longitudes, áreas o volúmenes de líquidos. (Fuente: Real Academia Española. Consulta 18 noviembre 2014).
Modulo: valor numérico de una magnitud vectorial.
Momento angular: magnitud que resulta del producto entre el momento de inercia y la velocidad angular de un cuerpo en rotación. El momento angular apunta en la dirección del eje de rotación, produciendo una cierta estabilidad de giro en ese eje.
Momento de inercia: inercia de rotación; es la suma de los productos $m \cdot r^2$ de cada una de las partículas de un objeto.
Momento de la fuerza: producto fuerza x distancia al eje de rotación. Es la causa de la variación de la velocidad angular.
Momento magnético: característica que poseen los electrones debido a su movimiento y a su carga eléctrica.
Monóxido de carbono: gas inodoro e incoloro que reduce el contenido de oxígeno en la sangre; se emite a través del escape de los automóviles y contribuye a la contaminación del aire.
Movimiento circunferencial uniforme: Descripción del movimiento de un cuerpo en una trayectoria circunferencial, que recorre sobre ella arcos iguales en tiempos iguales, es decir, con rapidez constante.

N

Nebulosa: nube grande de polvo y gas que se contrae bajo la fuerza gravitacional y se descompone en pedazos más pequeños, cada uno de los cuales se puede colapsar para formar una estrella.
Número atómico: el número de protones de un átomo.

O

Oscilación: variación, perturbación o fluctuación en el tiempo de un medio o sistema.

P

Petróleo: uno de los combustibles fósiles más usados, fuente de energía de los países desarrollados. Corresponde a una mezcla de hidrocarburos que proviene de la descomposición de materia orgánica sedimentada en lechos geológicos.
Planeta: según la definición adoptada por la Unión Astronómica Internacional el 24 de agosto de 2006, un planeta es un cuerpo celeste que: (a) gira alrededor del Sol, (b) tiene suficiente masa para que su gravedad supere las fuerzas del cuerpo rígido, de manera que asuma una forma en equilibrio hidrostático (prácticamente esférica), y (c) ha limpiado la vecindad de su órbita.
Potencia: relación entre trabajo efectuado y el tiempo necesario para ello.
Potencia eléctrica: tasa de transformación de energía eléctrica en un determinado período de tiempo.
Potencial eléctrico: es la energía por unidad de carga que existe en un punto del espacio producto de la presencia de una fuerza eléctrica que tiende a mover una carga eléctrica ubicada allí. La unidad de medida es el volt (V).
Presión: fuerza que se ejerce por unidad de área. La unidad SI de la presión es el pascal (1 Pa = 1 N/m^2).
Principio de Arquímedes: este principio sostiene que todo cuerpo parcial o completamente sumergido en un líquido experimenta una fuerza de empuje cuyo valor equivale al peso del líquido desalojado por él.
Principio de Bernoulli: este principio es un caso particular de la ley de conservación de la energía y sostiene que, en un fluido, la suma de la presión, la energía cinética por unidad de volumen y la energía potencial gravitatoria por unidad de volumen, se mantiene constantes a lo largo de una línea de corriente.
Principio de Pascal: al aplicar una presión extra en un punto de un fluido en reposo, el aumento de presión se transmite por igual a todos los puntos del fluido.
Primera ley de Kepler: esta ley se refiere a la forma de la órbita descrita por los planetas. Sostiene que la órbita seguida por un planeta durante su movimiento en torno al Sol corresponde a una elipse con el Sol ubicado en uno de sus focos.
Protón: partícula con carga positiva.
Propiedad física: cualquier característica de un material, como el estado, el color y el volumen, que se puede observar o medir sin alterar o intentar alterar el material.

R

Radiación: emisión y propagación de ondas y/o partículas que transmiten energía a través del vacío o algún medio material.
Radiactividad: emisión de radiación desde el núcleo.
Radioisótopos: Todos los isótopos de un elemento que emiten radiaciones.
Rapidez: distancia recorrida dividida entre la cantidad de tiempo que se necesita para recorrer esa distancia.
Rapidez angular: (ω). ángulo descrito por un cuerpo en movimiento circunferencial por unidad de tiempo.
Reacción nuclear: proceso en que dos núcleos que se aproximan mucho intercambian nucleones y modifican su estructura, debido a la acción de la interacción nuclear fuerte.
Resistencia eléctrica: oposición de los materiales a la circulación de corriente eléctrica por ellos. Esta depende de factores como la composición del material, su forma y la temperatura.
Reciclaje: método de conservación en el cual los materiales usados son procesados para fabricar otros nuevos.
Rotación: movimiento en el cual existe un cambio de orientación de un cuerpo o un sistema de referencia de forma que una línea (llamada eje de rotación) o un punto permanece fijo.

S

Segunda ley de Kepler: esta ley se refiere a la velocidad con que un planeta recorre su órbita. Sostiene que la recta que une a un planeta cualquiera con el Sol (radio vector) barre áreas iguales en tiempos iguales. También se puede expresar diciendo que durante el movimiento orbital en torno al Sol el momento angular de un planeta permanece constante.
Spin: Característica propia de un electrón que contribuye a la creación de su momento magnético.
Sustentación: referido a la aeronáutica, es cuando por diferencia de presión, las alas de un avión sienten una fuerza neta en contra de la fuerza de gravedad.

T

Tensión superficial: efecto producido en la superficie de un líquido por las fuerzas de cohesión entre las moléculas del líquido.
Teoría científica: una posible explicación para patrones que se observan repetidamente en la naturaleza.
Tercera ley de Kepler: esta ley relaciona la posición de un planeta y el tiempo que emplea en completar su órbita en torno al Sol. Sostiene que el cuadrado del período de revolución de un planeta en torno al Sol es directamente proporcional al cubo del radio medio de su órbita.
Torque: también se conoce como el momento de una fuerza y representa una medida de la capacidad de una fuerza para provocar rotación acelerada alrededor de un eje dado, esto es, una rotación de frecuencia variable. Se calcula como el producto de la componente perpendicular de la fuerza por el largo del brazo: $\tau = F \cdot d$.
Turbina: dispositivo mecánico en forma de ventilador que gira cuando algo golpea contra ellos, por ejemplo, el agua.

U

Unidad astronómica: unidad de medida equivalente a 150 millones de kilómetros, lo cual es la distancia promedio entre la Tierra y el Sol.

V

Vasos comunicantes: consisten en dos o más recipientes que contienen un fluido y que están comunicados entre sí.
Velocidad: magnitud física de carácter vectorial que expresa desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.
Velocidad límite: máxima velocidad que puede alcanzar un cuerpo que desciende por un fluido, debido al roce del fluido.
Vía Láctea: galaxia del tipo espiral en que se encuentra nuestro planeta y que se formó hace 10 000 millones de años. Su diámetro es de 100 000 años-luz y contiene unas 200 000 estrellas.
Voltímetro: instrumento que permite medir el voltaje entre dos puntos. Se debe conectar en paralelo entre los puntos a medir.

W

Watt-hora: unidad de medida de la energía eléctrica. Un watt-hora equivale a 3600 joules. Generalmente se utiliza el múltiplo de esta unidad denominado kilowatt-hora.

Comentarios acerca de la resolución de problemas en Física

¿Qué es un problema?
Una definición muy difundida dice que: un problema es una situación, cuantitativa o no, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla.

Evidentemente, no existe un solo método para resolver problemas de Física, porque, de haberlo, no habría problemas. Sin embargo, en los últimos 20 años se han generado muchas investigaciones acerca de algunas estrategias recomendables para su resolución.

Una de las primeras recomendaciones consiste en analizar cómo resuelven problemas los físicos. En el artículo Enseñando a resolver problemas (1981), Frederick Reif dice: observaciones reales de expertos en Física resolviendo problemas indican que se dedica especial atención a la descripción inicial y a la evaluación final. En contraste, los estudiantes novatos tienden a descuidar esos pasos esenciales de la resolución y focalizan su atención en la construcción detallada de las soluciones, combinando fórmulas.

Si en algo coinciden las diferentes propuestas sobre la resolución de problemas de Física es en restarle peso relativo a la mera operatoria matemática para dárselo a la discusión de la Física involucrada en el proceso de resolver el problema.

Son interesantes las recomendaciones que se dan acerca de la resolución de problemas en el libro *La resolución de problemas de Física y de Química*, de Daniel Gil Pérez y Joaquín Martinez Torregrosa:

1. **Considerar cuál puede ser el interés de la situación problemática abordada:** esto implica un análisis detallado del enunciado, es decir, una traducción del mismo por parte de quien lo va a resolver. Mediante sus propias palabras, esquemas, gestos, etc., esta persona debería poder indicar claramente su interpretación del enunciado.
2. **Comenzar por un estudio cualitativo de la situación:** con ello se pretende acotar y definir el problema de manera precisa, explicitando las condiciones que considera reinantes. Este paso implica una descripción de la posible evolución del sistema involucrado.
3. **Emitir hipótesis:** sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esa dependencia, imaginando pasos límites de fácil interpretación. Esto último consiste en imaginar soluciones del tipo: qué pasaría si la masa fuese muy grande, qué ocurriría si el sistema no estuviese aislado, etcétera.
4. **Elaborar y explicar:** posibles estrategias de resolución antes de proceder a esta, evitando el puro ensayo y error. Este paso significa que, hasta que no se haya indicado qué vía de solución se va a intentar y justificado por qué se la ha elegido, no hay que recurrir a ninguna formula.
5. **Realizar la resolución:** verbaliza al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando una vez más explicaciones carentes de significación física.
6. **Analizar resultados:** a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límite considerados.
   Habría que contestar preguntas tales como, ¿es razonable el valor de la respuesta? En ningún caso se debería dar un resultado numérico y no hacer algún análisis del mismo.
   Por último, es recomendable analizar estos pasos, u otros, seguidos en la resolución de problemas. La toma de conciencia o el proceso de metacognición acerca de la forma de resolución ayudarán a adquirir estrategias para encarar otros problemas.

Los modelos y las teorías

Un modelo es una representación. Los modelos que se usan en Física se utilizan para comprender un fenómeno, comunicarlo y actuar sobre él. Son ejemplos de modelos el de un elemento aislante, en electricidad, o el de un imán elemental, en magnetismo.

Así, según el contexto en que se estudie un fenómeno, pueden presentarse muchos modelos diferentes para intentar alcanzar una explicación adecuada.

Cuando un físico teórico presente un modelo, lo hace alegando que es válido dentro de la teoría que se esta manejando. Cuando un físico experimental confirma ese modelo en el laboratorio en relación con los datos que extrajo de su experimento, infiere que sus resultados son correctos, al menos en forma aproximada y temporaria (se dice que sus resultados son provisorios).

Las teorías físicas, por su parte, no son fotografías de la realidad, sino representaciones de la realidad: son explicaciones construidas por personas, en cada época, con el auxilio de los conceptos disponibles es ese momento.

En definitiva, la importancia de las teorías científicas reside en que pueden ser utilizadas para explicar fenómenos y predecir nuevos sucesos relacionados con los anteriores.

SOBRE EL MÉTODO CIENTÍFICO

A continuación te ofrecemos un conjunto de recomendaciones básicas que te ayudarán al momento de estudiar para aprender y algunos pasos procedimentales en el desarrollo de habilidades científicas.

Los científicos usan métodos ordenados para resolver problemas. Los métodos que usan los científicos incluyen identificar un problema, hacer observaciones, formar una hipótesis, probar una hipótesis, analizar resultados y obtener conclusiones.

Las investigaciones científicas requieren de observación cuidadosa bajo condiciones controladas. Tal observación de un objeto o un proceso puede seguir nuevas e interesantes preguntas acerca de él. Estas preguntas algunas veces llevan a la formación de una hipótesis. Las investigaciones científicas están diseñadas para probar una hipótesis.

LA OBSERVACIÓN

Observar es fijar los sentidos atentamente a un objeto o a un fenómeno que será objetivo de estudio. Observar no es simplemente "mirar". La persona común mira a diario animales, agua, árboles, lluvia, vehículo, sin inmutarse por ellos; sin embargo, un científico o una persona con actitud científica percibe esas mismas realidades y procura «observarlas» para tratar, por ejemplo, de explicarse el cómo, el porqué de su naturaleza, y para identificar sus elementos constitutivos.

La observación depende en gran medida de los sentidos. Para contrarrestar las limitaciones de nuestros sentidos, se han creado instrumentos que lo auxilian para realizar buenas observaciones.

Para hacer una buena observación, es necesario que desarrolles cualidades como las siguientes:

- Atención concentrada y gran paciencia, pues los fenómenos no se nos presentan en forma total y es necesario esperar atentamente a que aparezcan en la forma más completa que sea posible.
- Un conocimiento de lo observado y de su ambiente, para mejorar la observación e interpretar los resultados con mayor objetividad.
- Discriminación entre observaciones, e interpretaciones de las observaciones.

Puedes organizar las observaciones y otros datos que recolectes y anotar de muchas formas. Puedes hacer modelos, estos son una manera de ayudarte a entender mejor las partes de una estructura que has observado o la forma en que funciona un proceso.

ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para organizar la información se utilizan variados métodos con el fin de recopilar los datos sobre una situación existente, como entrevistas, cuestionario, inspección de registros y variables, entre otros. Cada uno tiene ventajas y desventajas. Generalmente, se utilizan dos o tres métodos para complementar el trabajo de cada una y ayudar a asegurar una investigación completa.

A continuación, se verán cada una de ellos.

- Marco de referencia: determina exactamente qué necesitas saber sobre el tema.
- Lectura de la información: permite construir una lista de preguntas: ¿qué debo hacer?, ¿cómo lo voy hacer, ¿para qué voy a utilizar la información?
- Búsqueda de fuentes: no todas las fuentes de información son confiables. Evalúa las fuentes que uses para obtener información y usa solo aquellas que sabes que son confiables y más actualizadas.
- Observación de primera mano: cómo se manejan los documentos, cómo se llevan a cabo los procesos y si ocurren los pasos especificados. Saber qué buscar y cómo guiar su significado.
- Una vez seleccionada la información, ordénala según su importancia, de pertinencia según el objeto.

LA HIPÓTESIS

Es una posible explicación que se basa en observaciones y conocimientos previos.

Algunas de las principales funciones de las hipótesis:

- Son guías de una investigación, porque proporcionan un orden y lógica al estudio.
- Tiene una función explicativa o descriptiva según sea el caso.
- Permite probar una teoría o idea.
- Permite sugerir teorías acerca de algo.

Las hipótesis se comprueban si son verdaderas o falsas con argumentos apoyados por los datos obtenidos en una investigación, por los resultados de los datos obtenidos a través de instrumentos de medición y analizando e interpretando esos datos.

"*La hipótesis constituye un instrumento poderoso para el avance del conocimiento, puesto que, aunque sean formuladas por el hombre, pueden ser sometidas a prueba y demostrarse como probablemente correctas o incorrectas sin que interfieran los valores y las creencias del individuo*" (Kerlinger, 1979)

Cuando aplicas una hipótesis o explicación general a una situación específica, predices algo sobre esa situación.

Algunos pasos importantes:

- Debes primero identificar cuál hipótesis se adapta a la situación que estás considerando.
- Las predicciones se usan para tomar decisiones cotidianas.
- Basándote en las observaciones y experiencias previas, podrías predecir por ejemplo, que las sustancias se disuelven más rápidamente en agua caliente, entonces el calentamiento del agua disminuye el tiempo para mezclarse las sustancias, como la sal en el agua. Alguien podría usar esta predicción para ahorrar tiempo al preparar un jugo de frutas para una fiesta.

ELABORACIÓN DE INFORME

En ciencias, con frecuencia te solicitarán informes después de investigar temas científicos o reportar los resultados de investigaciones o experimentos. Los científicos escriben informes con frecuencia para compartir sus datos y conclusiones con otros científicos y con el público.

Es un texto escrito en prosa, elaborado para informar, sobre hechos o actividades concretas, a un determinado lector o lectores. Esto hace que posea una estructura predominante enunciativa. En ellos también aparece la estructura descriptiva, porque se describen hechos.

Etapas para la realización del informe

- Determinación de la naturaleza de la información requerida.
- Esta etapa la realiza el estudiante bajo la modalidad de informe escrito.
- Definición de las acciones o actividades que se van a llevar a cabo para lograr los criterios de evaluación propuestos o de la información; en esta fase preliminar se determinan las fuentes de información y los recursos materiales y humanos mediante los cuales se obtendrá la información.
- Diseño de los instrumentos para la recolección de los datos.
- Recolección de los datos necesarios para la obtención de la información necesaria.
- Análisis de los datos: selección, organización, comparación.
- Evaluación de los datos y verificación de su exactitud.
- Síntesis, que consiste en consolidar la información, analizada e integrada en torno a la temática seleccionada.
- Organización y elaboración del informe escrito.

Presentación del informe

- Crea un índice y resumen de no más de 10 páginas que explique brevemente el objetivo y la conclusión alcanzada.
- Empieza con una introducción que contenga una clara declaración del propósito y lo que intentas discutir o probar. En ella se presenta el problema, los objetivos, y se responde a las preguntas: ¿para qué? ¿Por qué? y ¿Con qué?
- Organiza el cuerpo del texto en párrafos. Cada párrafo debe comenzar con una idea principal, y las demás oraciones en ese párrafo deben apoyar ese punto. En esta parte se presentan los procedimientos o metodología utilizados para recopilar la información, tales como cuestionarios, entrevista, experimentos, entre otros. En esta parte se responde a la pregunta ¿Cómo?
- Agrega datos que ayuden a apoyar tus puntos y resume los puntos principales.
- La conclusión debe ser concisa, para que la información sea comprensible, puedes usar tablas, gráficas, cuadros e ilustraciones cuando sea posible.

Índice temático

A

Aceleración: 10, 16.
Aceleración angular: 23, 46, 47, 48, 49, 51, 67.
Aceleración centrípeta:12, 16, 17, 18, 19, 20, 22,23,24,25, 26, 28, 31, 34,.66, 68, 69, 70, 72, 73.
Agujero de ozono: 280, 291, 314.
Astrofísica estelar: 346, 348, 356, 362.
Atmósfera: 76, 79, 93, 96, 126, 256, 259, 266.
Átomo de Bohr: 235, 237, 340, 241.
Átomo neutro: 238, 246, 247.

B

Big Bang: 327, 328, 338, 341, 342, 344, 345, 356, 357, 359, 364, 367.
Biomasa: 305, 308, 310, 312, 314.

C

Calentamiento global: 61, 287, 288, 289, 290, 328.
Calidad de la energía: 304, 305, 306, 317, 318.
Cambio climático: 268, 280, 281, 286, 287, 389, 290, 301, 302, 304, 318, 326.
Campo eléctrico: 130, 132, 133, 137, 138, 139, 140, 141, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 158, 160, 161, 164, 170, 173, 175, 187, 226.
Campo gravitatorio: 85, 137, 138, 139, 140.
Campo magnético: 130, 139, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 193, 194, 195, 198, 201, 202, 207, 208, 211, 213, 217, 226, 238, 252, 253, 256.
Cargas eléctricas: 130, 138, 141, 142, 143, 144, 145, 149, 152, 156, 159, 160, 162, 186, 195, 249, 285.
Central termoeléctrica: 215, 311.
Ciclo del agua: 268, 271, 272, 295, 326.
Cielo diurno: 346.
Cielo nocturno: 326, 343, 346, 347.
Circuito doméstico: 182, 183.
Combustibles fósiles: 266, 268, 284, 285, 286, 287, 304, 308, 309, 310, 317, 318, 327.
Conservación del momento angular: 53, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 72, 35.
Constelaciones: 347.
Contaminación: 61, 266, 268, 272, 279, 280, 281, 284, 284, 285, 286, 294, 297, 301, 302, 308, 309, 311, 314, 324, 327, 328, 329, 366.
Corriente alterna: 160, 162,169, 172, 212, 213, 215.
Corriente continua: 160, 162, 169, 170, 176. 199.
Corriente eléctrica: 164, 212, 213, 226, 227, 316.
Corrimiento hacia el rojo: 335, 338, 342.

D

Densidad: 76, 78, 79, 80, 83, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 100, 102, 103, 104, 106, 109, 111, 120, 126,127, 128, 142, 153, 163, 164,167, 170, 175, 218, 242, 243, 249, 262, 271, 295, 296, 341, 351, 352, 359.
Desarrollo sostenible: 302, 303, 328.
Desertización: 300, 301, 323.

E

Ecuación Bernoulli: 106, 115, 116, 118, 121, 128, 212, 214.
Ecuación de Torricelli: 116.
Efecto Doppler: 328, 335, 338, 340, 356.
Efecto invernadero: 268, 274, 275, 277, 278, 279, 280, 281, 285, 286, 287, 288, 289, 294, 309, 312, 325, 326.
Efecto Venturi: 116.
Electrización: 130, 141, 144, 145, 146, 147, 159, 226.
Electromagnetismo: 186, 190, 209.
Electrostática: 131, 132, 140, 142, 143,150, 154, 155, 187, 226, 237.
Empuje: 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 117, 118, 119, 120, 127, 262, 358.
Energía eólica: 305, 314, 320, 327.
Energía geotérmica: 305, 315, 317, 318.
Energía gravitacional: 362, 365.
Energía hidroeléctrica: 311, 318, 327.
Energía nuclear: 248, 311, 318, 327.
Energía potencial eléctrica: 156, 158, 160, 165, 165, 173, 174, 175, 235, 256.
Energías convencionales: 304, 305, 308, 318.
Enlace nuclear: 242, 246, 253.
Equilibrio hidrostático: 346, 352, 353, 356, 362.
Erosión del suelo: 268, 300.
Erosión: 266, 286, 299, 300, 301, 314, 318.
Esfuerzo: 76, 107, 120.187, 238, 259, 298.
Esmog:280, 293, 294, 303, 318.
Estabilidad nuclear: 251, 253, 259, 260.
Estratosfera: 93, 274, 291, 292, 366.
Expansión del universo: 326, 328, 344, 356, 361, 364.

F

Fluido: 74, 75, 76, 84, 89, 110, 120, 121, 123, 126, 215, 220 221, 260.
Fluido ideal: 106.
Flujo de un fluido: 106.
Fondo cósmico: 328, 342.
Frenos hidráulicos: 97.
Fuerza centrífuga: 35, 72, 237.
Fuerza centrípeta: 22, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 45, 46, 66, 70.
Fuerza de masa: 81, 83.
Fuerza electromotriz: 164, 165, 202, 226, 227.
Fusión del hidrógeno: 342, 353, 354.

G

Galaxias: 58, 265, 326, 327, 328, 329, 330, 331,
Generadores eléctricos: 130, 165, 213, 215, 227.
Globo aerostático: 105.

H

Hidrostática: 84, 90, 93, 105, 106.
Huella ecológica: 280, 282, 283, 328.

I

Impacto ambiental: 170, 265, 280, 304, 312, 318.
Inducción electromagnética: 130, 202, 209, 215, 217.
Inercia rotacional: 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 49, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 64.
Isótopos: 122, 244, 251, 253, 255.

L

Ley de Coulomb: 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 150, 218.
Ley de Faraday: 209, 211, 214, 217.
Ley de Hubble: 338, 339, 340, 341, 342, 344, 361.
Ley de Joule: 174.
Ley de Lenz: 209, 210, 211, 217, 227.
Ley de Ohm: 164, 166, 167, 168, 172, 227.
Líneas de fuerza: 150, 153, 191, 226.
Líquido: 9, 74, 75, 76, 77, 78, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 89, 90, 91, 93, 95, 97, 98, 102.
Litosfera: 266, 267, 269, 298, 304, 328.
Lluvia ácida: 280, 281, 293, 309, 310, 318.
Luminosidad: 330, 333, 334, 343, 350, 355, 356

M

Máquina climática: 266, 268, 269, 270, 271, 272, 279, 284, 295, 297, 318.
Medioambiente: 149, 259, 266, 268, 280, 283, 294, 302, 303, 320.
Modelo de capas: 249.
Modelo de gota: 249, 250, 260.
Modelos atómicos: 230, 232, 234, 239, 241, 242, 254.
Módulo de corte: 78.
Momento angular: 11, 46, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 65, 67, 68, 69.
Movimiento circunferencial uniforme: 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 21, 22, 28, 31, 34, 44, 47, 48, 53, 66.

N

Núcleo geoquímico: 298.
Núclidos: 232, 239, 241, 251, 253, 260.

P

Pilas eléctricas: 170.
Polvo atmosférico: 279, 284.
Potencial eléctrico: 153, 156, 161, 163.
Prensa hidráulica: 96, 97, 126.
Presión atmosférica: 75, 90, 93, 94, 122, 124.
Presión en el líquido: 82.
Presión hidrostática: 85, 88, 126, 128.
Principio de Arquímedes: 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 120.
Principio de Pascal: 95, 96, 97, 120.
Proceso tripe alfa: 353, 354, 355, 364.

R

Radiactividad: 252, 252, 259, 260.
Radianes: 18, 19, 20, 24.
Rapidez angular: 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 31, 46, 47, 48, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 61, 62, 64, 66.
Recursos energéticos: 266, 267, 304, 312, 318.
Regulador térmico: 295, 318.
Rendimiento energético: 307, 318.
Resistencia eléctrica: 164, 167, 169, 170, 228.
Roce estático: 28, 32, 33, 34, 35, 66.

S

Sentido de la corriente: 166.
Sólido: 9, 10, 39, 74,76, 77, 78, 82, 85, 86, 90, 98, 120.

T

Tercera ley de Kepler: 328, 335, 336, 340.
Torque: 11, 46, 49, 56, 200, 217.
Troposfera: 93, 273.

V

Vasos comunicantes: 91.
Velocidad instantánea: 14, 15, 16.
Velocidad media: 14.
Vector: 13, 15, 46, 58, 62.
Vía Láctea: 326, 329, 330, 337.

Bibliografía

Referencias bibliográficas

1. Calvo, D., Molina, Ma.T., Salvachúa, J.
   Ciencias de la Tierra y Medio Ambientales
   Mc Graw Hill, España, 2004.
   En la unidad 1 se detallan los temas relacionados con las dinámica de las capas fluidas, atmósfera e hidrosfera y la unidad 2, contaminación atmosférica.

2. De Juana, J.M.
   Física general volumen I
   Pearson, 2007.
   Capítulo 15, se desarrolla el tema de los fluidos en reposo.

3. De Pedraza, J., Segura, M., Cárdenas, B., Roiz, J. M., Jimejo, G., Martínez, I., Gomez, J.R., Hacar, F., Espejo, A.
   Geología Bachillerato,
   Anaya, 2003.
   En la unidad 3 se explican temas sobre la estructura y composición de la Tierra.

4. Sear, Zemansky, Young, Freedman.
   Física universitaria, volumen 1 y 2
   Pearson, Undécima edición. México, 2005.
   En este título, el alumno encontrará contenidos para todo el libro. Del volumen 1, podrá revisar contenidos referidos a la unidad 1 temas de los capítulos 1, 2 y 3. En el volumen 2 podrá consultar contenidos referidos al capítulo 4 de la unidad 1 y capítulo 1 y 2 de la unidad 2.

5. Soto A., Francisco.
   Física II medio
   Editorial Zig Zag, 2009.
   En la unidad 1, capítulo 2 se explican temas sobre fuerza y movimiento, principalmente torque, material de estudio sugerido para reforzar prerrequisitos para la unidad 1 capítulo 1.

6. Wilson, J., Buffa, A.
   Física
   Pearson, México, 2003.
   En el capítulo 9 se desarrolla el tema de sólidos y fluidos.

7. Zuluaga, J., I.
   Fundamentos de Astrofísica
   Reverte, 2007.
   La primera parte desarrolla la astrofísica estelar, mientras que en su segunda parte detalla la astrofísica del medio interestelar.

En web

http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/

http://apod.nasa.gov/apod/archivepix.html

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/fluidos.htm

http://www.earth.msscience.com