NUEVA EDICIÓN

FÍSICA

10

NUEVA EDICION

NUEVA FÍSICA 10

Autores

Mauricio Bautista Ballén

Óscar Iván Saavedra Sánchez

Santillana

El libro **Nueva Física 10**, para educación media, es una obra colectiva, concebida, diseñada y creada por el Departamento Editorial de Santillana S.A., bajo la dirección de MARTHA ESPERANZA RANGEL GARCÍA.

Autores

Mauricio Bautista Ballén
Teoría
Licenciado en matemáticas. Universidad Pedagógica Nacional.
Físico. Universidad Nacional de Colombia.
Especialista en educación matemática. Universidad Pedagógica Nacional.
Estudios de Maestría en docencia de la matemática. Universidad Pedagógica Nacional.
Experiencia
Profesor del departamento de matemáticas. Universidad Pedagógica Nacional.
Profesor de matemáticas y física. Instituto Pedagógico Nacional.

Óscar Iván Saavedra Sánchez
Actividades
Licenciado en electromecánica. Universidad de la Salle.
Experiencia
Docente de matemáticas y física. Colegio Parroquial Santa Catalina de Siena.
Docente de matemáticas y física. Colegio Nuestra Señora de Lasalette.

Equipo editorial

Andrea Constanza Perdomo Pedraza.
Editora ejecutiva del área de matemáticas.

Johann Alexander Chizner Ramos.
Editor júnior.

Diana Constanza Salgado Ramírez.
Editora júnior.

Juan Gabriel Aldana Alvarez.
Asistente editorial.

El encargado de avalar este texto desde el punto de vista de la disciplina específica y desde su pedagogía fue *Gustavo Erazo Pinilla*. Ingeniero eléctrico, Universidad de los Andes. Licenciado en matemáticas y física, Universidad Libre.

La especialista encargada de avalar este texto desde la equidad de género y de su adecuación a la diversidad cultural fue *Doris Gilma Rincón Perilla*. Psicóloga. Corporación Universitaria Iberoamericana.

Las pruebas de campo del texto fueron realizadas por el Departamento de Investigación de Editorial Santillana, bajo la dirección de *Ximena Galvis Ortiz*.

Equipo técnico

En el desarrollo gráfico y técnico de este libro participaron:

Dirección de Arte y Diseño:
Carlos Ernesto Tamayo Sánchez.

Armada: *Óscar Fernando Lucero Torres, Edward Jimeno Guerrero Chinome.*

Corrección de Estilo: *Martha Jeanet Pulido Delgado, Gustavo Martínez Martínez, Beatriz Román.*

Documentación Gráfica y Escáner: *Diego Herrera Rueda, Luis Nelson Colmenares Barragán, Angélica Patricia Castaño, Eliécer Castellanos Pérez.*

Ilustración: *Diomedes Guilombo Ramírez, Francisco Sánchez.*

Fotografía: *Gustavo Rodríguez, Juan Giraldo, Corel Professional Photos, Images provided by Photodisc, Inc., Corbis Images, Archivo Santillana.*

Diseño de carátula: *Carlos Ernesto Tamayo Sánchez.*

Producción: *Francisco Rey González.*

Calle 80 No. 10-23
Bogotá, Colombia.

I.S.B.N. 978-958-24-1133-6 Obra completa
I.S.B.N. 978-958-24-1134-3 Edición para el estudiante
I.S.B.N. 978-958-24-1135-0 Edición para el docente

Este libro está elaborado de acuerdo con las normas ICONTEC NTC-4724 y NTC-4725 para textos escolares.

Depósito legal en trámite.

Impreso en Colombia por Gráficas de la Sabana Ltda.

NUEVA FÍSICA 10

Nueva Física 10 *es una propuesta pedagógica para la educación media que ha sido estructurada a partir de los nuevos estándares básicos de competencias en ciencias naturales.*

Las diferentes secciones están organizadas teniendo en cuenta los ámbitos de formación en ciencias.

- *Me aproximo al conocimiento como científico natural.*
- *Manejo conocimientos propios de las ciencias naturales.*
- *Desarrollo compromisos personales y sociales.*

El libro está formado por ocho unidades en las cuales se presentan los contenidos propios del entorno físico.

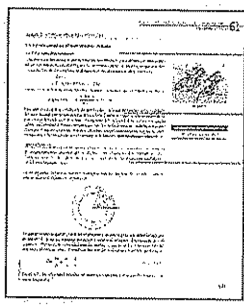
- Cada unidad está organizada así:

Página de apertura

Temas

Introducción

Desarrollo de contenidos

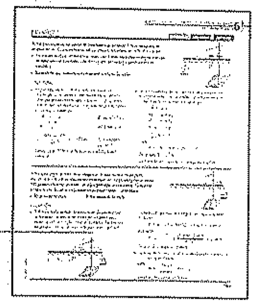


Tema

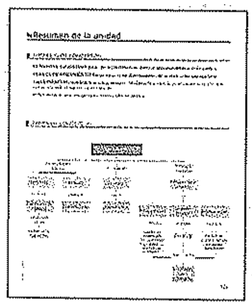
Conceptos

Definiciones

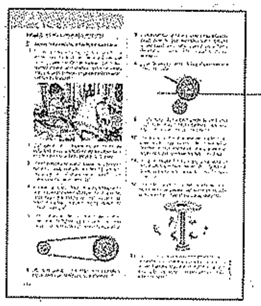
Ejemplos resueltos



Resumen de la unidad



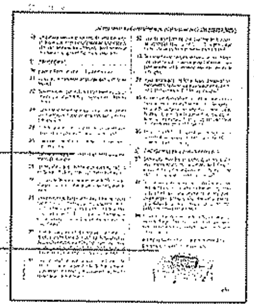
Actividades



Preguntas de sentido común.

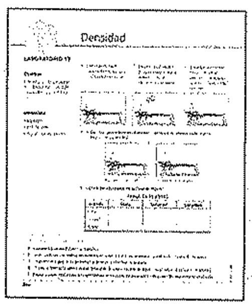
Problemas.

Problemas de profundización.

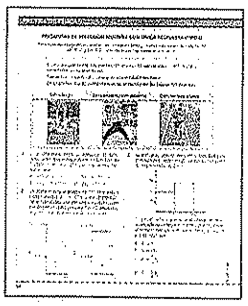


Al final de cada unidad, se presentan las siguientes secciones especiales.

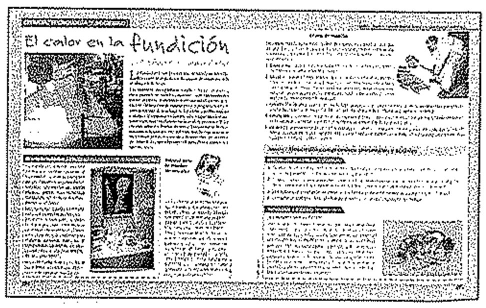
- Laboratorios



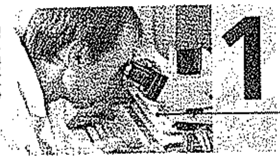
- ICFES



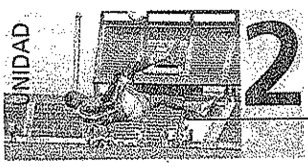
- CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD



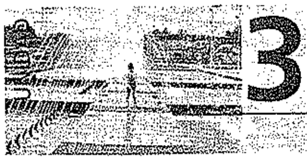
CONTENIDO



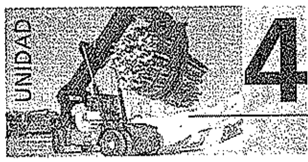
UNIDAD 1 Introducción a la física



UNIDAD 2 El movimiento en una dirección

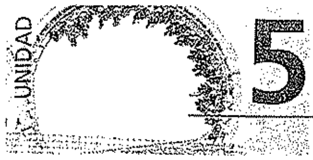


UNIDAD 3 Movimiento en el plano



UNIDAD 4 Las leyes de la dinámica

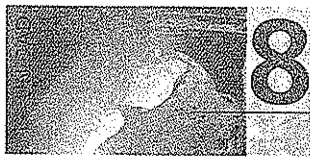
© SANTILLANA



5 El movimiento de rotación

6 La energía

7 Mecánica de fluidos

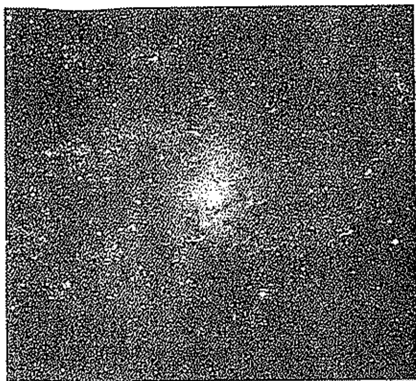


8 Termodinámica

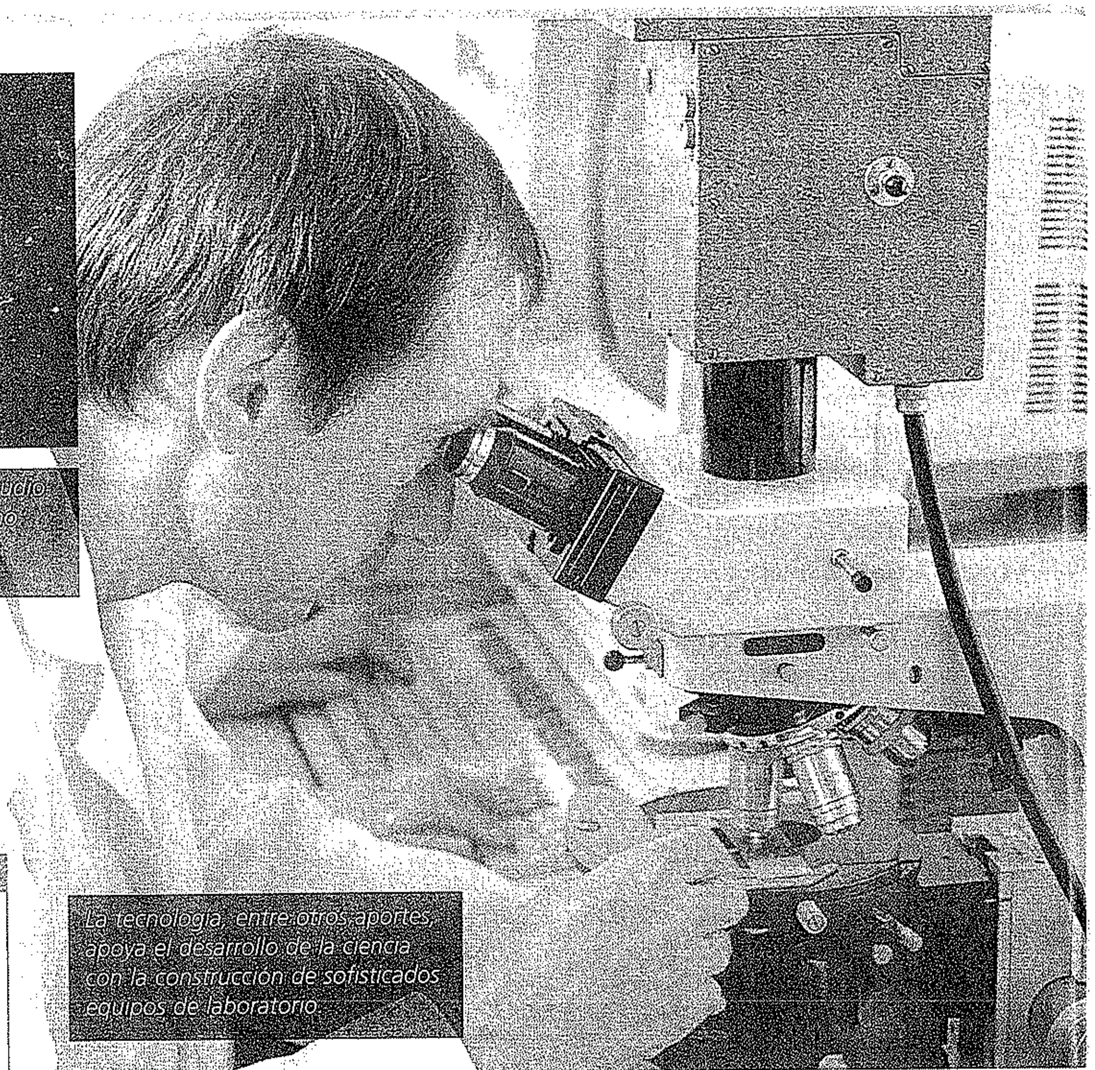
© SANTILLANA

UNIDAD

1 Introducción a la física



La física se ha ocupado del estudio de sistemas tan pequeños como los átomos y de sistemas tan gigantescos como el universo.



La tecnología, entre otros aportes, apoya el desarrollo de la ciencia con la construcción de sofisticados equipos de laboratorio.

CONTENIDO

Introducción

En todo trabajo científico, los conceptos propios de la ciencia, los métodos utilizados para la construcción de conocimientos, las aplicaciones que pueden tener dichos conocimientos y la forma como se comunican los resultados a la comunidad, cumplen un papel muy importante.

En las ciencias las mediciones son de especial importancia, ya que permiten tomar datos, cuantificar situaciones y hacer generalizaciones a partir de resultados experimentales; para representar dichas mediciones se requiere de unidades de medida como el metro, el kilogramo y el segundo, entre otras.

Los datos obtenidos a partir de la aplicación de los conceptos o de los métodos experimentales permiten el análisis de variables, para lo cual las matemáticas son el lenguaje conveniente hacia una apropiada comprensión.

A lo largo de esta unidad describiremos el trabajo en ciencias y algunos elementos fundamentales como la forma en que se expresan y se representan las medidas.

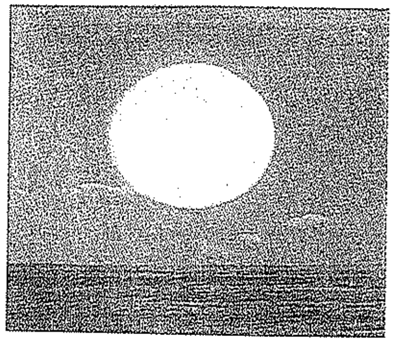
Tema 1. Cómo se construye la ciencia

1.1 Qué estudia la física

La física, como disciplina científica, indaga acerca del porqué y el cómo suceden los fenómenos naturales que observamos; en este proceso usamos nuestros sentidos y los instrumentos de medición y de observación que existen.

En este contexto, los físicos intentan descubrir las leyes básicas que rigen el comportamiento y las interacciones de la materia y la energía en cualquiera de sus formas. Así mismo, escudriñan la naturaleza de las estrellas, la luz, el tiempo, el sonido y las partículas subatómicas, entre otros fenómenos.

En conclusión, mediante la física se busca descubrir generalidades en la estructura básica del universo, para así explicar fenómenos observables en términos de principios fundamentales.



En el Sol se producen interacciones entre materia y energía.

1.2 El trabajo científico

A continuación describiremos los pasos del trabajo científico.

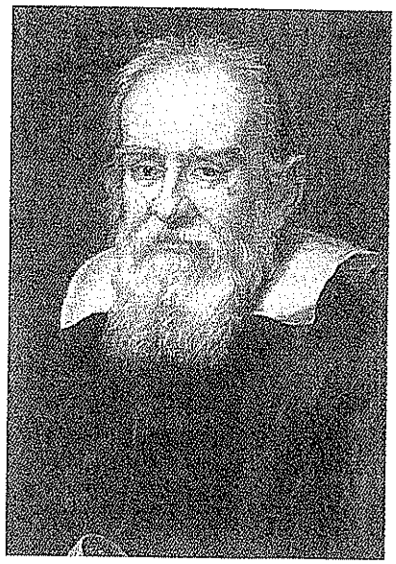
- **El trabajo científico se planifica**

Para desarrollar un trabajo, los científicos planean los objetivos y las etapas que, aunque no siempre se dan en el mismo orden, les permiten abordar problemas, explicar fenómenos, realizar descubrimientos y obtener conclusiones generales sobre el funcionamiento de un sistema en estudio.

- **El trabajo científico busca soluciones**

La esencia del quehacer científico es la capacidad humana para plantearse preguntas acerca de los sucesos más complejos e incomprensibles, por lo cual, la razón, fundamental del estudio de un fenómeno se relaciona con el interés que este despierta en el científico.

En muchas ocasiones, la motivación de los científicos se relaciona con las necesidades de la sociedad, por lo que su trabajo tiene un marcado carácter social. Un ejemplo de esto se ve en el desarrollo de vacunas para combatir enfermedades y epidemias que arremeten sobre la población.



Galileo Galilei produjo un cambio en la forma de observar los fenómenos.

- **El trabajo científico se basa en conocimientos existentes**

Para realizar su trabajo, los científicos no parten de cero, sino que en sus investigaciones aprovechan los conocimientos que existen sobre el objeto de estudio. En este sentido, se dice que la ciencia es *acumulativa*, es decir, los nuevos conocimientos se construyen sobre los anteriores y, de esta forma, dichos conocimientos pueden ser ampliados. Por ejemplo, el físico inglés Isaac Newton (1643-1727) declaró que nunca habría podido llegar a plantear sus leyes sobre el movimiento sin apoyarse en los hombros de dos gigantes: Galileo Galilei (1564-1642) y Johannes Kepler (1571-1630).

- **El trabajo científico es cualitativo y cuantitativo**

En ocasiones, el trabajo científico implica observaciones de tipo *cualitativo* en las que no es necesario tomar medidas. En estas observaciones se analiza y se describe un determinado fenómeno para establecer la causa que lo produce, los factores que intervienen en él, la relación que tiene con otros fenómenos, etc.

En otras ocasiones, el trabajo científico es *cuantitativo*, es decir, requiere de medidas rigurosas y precisas de las características de los fenómenos observados, por lo cual, en estos casos, se formulan matemáticamente las observaciones y las conclusiones.

- **El trabajo científico conduce a resultados**

Los resultados de la experimentación y del trabajo científico, en la mayoría de las situaciones, conducen a plantear generalizaciones para explicar los fenómenos.

A partir de estas generalizaciones es posible predecir bajo qué condiciones se producirá determinado fenómeno.

No obstante, nunca se puede estar seguro de que, en el futuro, no pueda darse una experiencia que sirva como contraejemplo de una generalización.

Por ejemplo, las tres leyes del movimiento planteadas por Isaac Newton en el siglo XVII son válidas para describir y predecir el movimiento de los cuerpos siempre que estos no se muevan con velocidades cercanas a la de la luz (300.000 km/s) y que su masa no sea demasiado pequeña (como la de las partículas subatómicas), caso en el cual se aplica la mecánica cuántica, desarrollada a partir de los trabajos realizados en 1901 por Planck, Einstein y De Broglie, entre otros.

- **El trabajo científico se realiza en equipo**

Aunque en un principio los científicos concebían sus ideas y experimentaban sobre ellas de manera independiente, en la actualidad se conforman equipos interdisciplinarios con permanente comunicación nacional e internacional.

Cada vez se acepta más la importancia y la necesidad de abordar en equipo problemas concretos, en forma completa y cercana a la realidad.

1.3 Un ejemplo de investigación científica

A continuación, se propone un ejemplo para ilustrar un posible proceso en la solución de la siguiente pregunta científica: ¿al suministrar calor a un cuerpo, aumenta siempre su temperatura?

El proceso que se describe a continuación trabaja en los siguientes aspectos: observación del fenómeno, búsqueda de la información, formulación de la hipótesis, comprobación experimental, trabajo en el laboratorio, conclusiones y comunicación de resultados, y elaboración de teorías.

- **Observación del fenómeno**

La observación debe ser reiterada, minuciosa, rigurosa y sistemática.

Tal vez la primera pregunta que nos formulemos sea: ¿en qué circunstancias aumenta la temperatura cuando le suministramos calor a un cuerpo?

Una primera observación nos indicará que, cuando ponemos sobre el fogón una cantidad de agua, la temperatura del líquido aumenta. Para comprobar dicho evento será necesario valernos de nuestros sentidos para percibir las diferencias de temperatura (figura 1).

Posteriormente, y para evitar errores, se usa un instrumento de medición, que en este caso, será el termómetro.

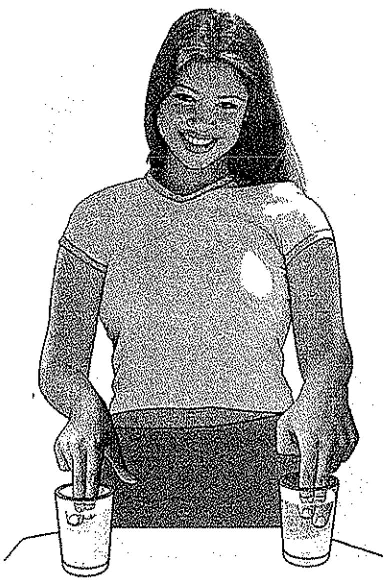


Figura 1. *Si introducimos los dedos en dos recipientes con agua a diferente temperatura, es posible que nuestros sentidos nos engañen.*

- **Búsqueda de información**

Luego de la observación es necesario consultar información acerca de la pregunta planteada en fuentes como libros, enciclopedias o revistas científicas. En este tipo de fuentes se encuentra el conocimiento científico acumulado a través de la historia. Internet resulta una herramienta útil, pero es importante verificar la información allí presente.

En el caso del ejemplo, la consulta realizada mostrará que los conceptos de calor y temperatura son diferentes y que, en algunos casos, la temperatura de las sustancias aumenta cuando se le suministra calor. Sin embargo, encontramos que en algunas situaciones particulares, al suministrar calor a una sustancia, la temperatura no aumenta.

Un caso de esta afirmación se presenta cuando la sustancia experimenta cambio de fase, es decir, cuando cambia de la fase líquida a la gaseosa o de la fase sólida a la líquida.

- **Formulación de hipótesis**

Luego de la observación y la documentación, se plantea una posible explicación del fenómeno, tratando de responder preguntas como:

"Si la temperatura no aumenta, ¿qué sucede con el calor suministrado cuando la sustancia cambia de fase?"

Esta explicación, denominada *hipótesis*, debe ser coherente con las leyes y teorías científicas aceptadas hasta el momento.

A partir de la hipótesis planteada, es posible especular acerca de *qué pasaría si se cambia algo* o *qué pasaría si las condiciones fueran diferentes*. En otras palabras, hacemos suposiciones y predicciones, que luego deberán ponerse a prueba a través de una serie de experimentos.


Un metal puede cambiar de fase cuando se somete al calor.

Volviendo al ejemplo, se sabe que los conceptos de calor y temperatura se relacionan, de manera que una posible causa del aumento de temperatura en una sustancia es el suministro de calor.

Podemos plantear una explicación, a manera de hipótesis, en los siguientes términos: *La temperatura de una sustancia no varía durante el tiempo en el cual la sustancia cambia de fase.*

- **Comprobación experimental**

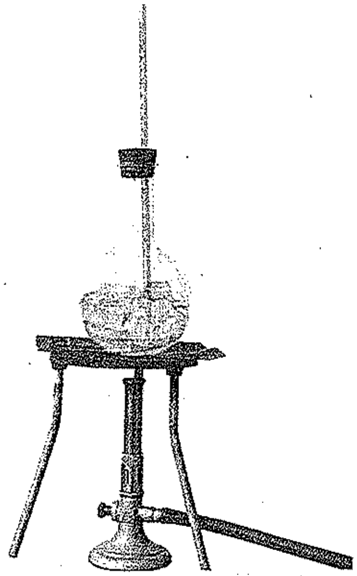
Se deben confirmar las hipótesis con experimentos que reproduzcan las condiciones bajo las cuales ocurre el fenómeno estudiado. El fenómeno tendrá validez si tiene lugar en tales condiciones y se cumplen las suposiciones y predicciones que se hicieron con base en la hipótesis.

Para el caso tratado, es posible poner un recipiente con hielo sobre el fogón de una estufa para suministrarle calor. Mientras haya hielo únicamente dentro del recipiente, la temperatura permanecerá constante.

- **Trabajo en el laboratorio**

En el laboratorio, se crean condiciones para reproducir el fenómeno estudiado; allí es posible cuantificar las variables, tomar datos y repetir las medidas tomadas por diferentes personas.

© SANTILLANA



Montaje de laboratorio para la medida de la temperatura del agua expuesta al calor.

Para nuestro problema de investigación, en el laboratorio se puede realizar el siguiente experimento:

— Se pone una cantidad de hielo dentro de un recipiente.

— Luego, se le suministra calor por medio del fuego y se registra la temperatura cada dos minutos.

— Con los datos obtenidos, se construye una tabla de valores y se analizan los registros.

Se podrá observar que, mientras haya hielo en el recipiente, la temperatura no variará.

— El paso siguiente sería explicar lo observado en los siguientes términos: *cuando las sustancias experimentan un cambio de fase mediante suministro de calor, la temperatura no varía.*

En realidad, el calor absorbido por la sustancia durante el cambio de fase es energía que aumenta la velocidad de las moléculas.

- **Conclusiones y comunicación de resultados**

Las conclusiones que se obtienen después del trabajo experimental pueden ser de dos tipos: empíricas o deductivas. En el primer caso, las conclusiones se basan en la experimentación, mientras que en el caso de las deductivas, se parte de premisas que han sido comprobadas anteriormente, para deducir otras de manera lógica. Toda conclusión debe ser divulgada a la comunidad.

- **Elaboración de teorías**

En palabras del filósofo alemán Goethe:

Toda contemplación se convierte en observación, toda observación conduce a una conjetura, toda conjetura conlleva el establecimiento de un enlace importante y se puede decir que cada vez que nosotros examinamos con atención el mundo, creamos una teoría.

Las palabras anteriores, que pueden considerarse como una guía del trabajo científico, sitúan la observación como una contemplación que puede generar conocimiento de un fenómeno. A partir de la misma, surgen hipótesis y suposiciones que representan una primera aproximación al conocimiento.

Las leyes son hipótesis comprobadas que permiten explicar algunos fenómenos y hacer predicciones acerca de los mismos. Deben ser generales y, con frecuencia, requieren del uso de las matemáticas.

Las teorías son sistemas de leyes que, relacionadas entre sí en forma coherente, permiten explicar fenómenos. Las teorías científicas, como lo hemos indicado, tienen validez hasta que se muestran limitaciones para explicar determinados fenómenos o hasta que un nuevo descubrimiento las contradice.

De acuerdo con las limitaciones de una teoría, se puede establecer el campo de aplicación, es decir, se indican los problemas en los que dicha teoría es o no suficiente.

La pregunta planteada con respecto al aumento de la temperatura quedó resuelta al comprobar la hipótesis que establece que, durante los cambios de fase, el suministro de calor no produce cambios de temperatura.

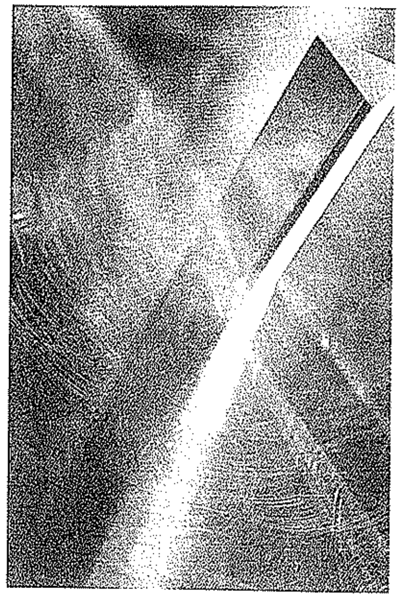
Tema 2. Magnitudes físicas

2.1 Sistemas físicos

Nuestra realidad objetiva es muy compleja y contiene una gran cantidad de propiedades para ser estudiadas; por ejemplo, si observamos una piedra, notamos que su conformación no es sencilla, ya que presenta un gran número de elementos químicos en su composición interna, seguramente con imperfecciones en su estructura cristalina; sin embargo, cuando se usa en el estudio de la caída de los cuerpos, todas estas propiedades son irrelevantes ante la posición de esta en cada instante de tiempo.

Para que la construcción de un sistema físico resulte una buena interpretación de la realidad, se hace una observación de ella. En esta interpretación se usan sólo las propiedades relevantes de los objetos que están involucradas con el fenómeno físico que se va a estudiar. Como conclusión, podemos decir que el sistema físico nos ayuda a comprender la realidad y en ese sentido, es una aproximación a ella.

Son ejemplos de sistemas físicos una estrella, un haz luminoso, un átomo de un elemento arbitrario, un resorte, el sistema Tierra-Luna o un circuito eléctrico, entre otros. Así, por ejemplo, si consideramos el sistema físico formado por un recipiente que contiene agua, la influencia de la temperatura del medio que lo rodea puede provocar que el agua hierva o que, por el contrario, se congele.



Un haz luminoso también es un ejemplo de un sistema físico.

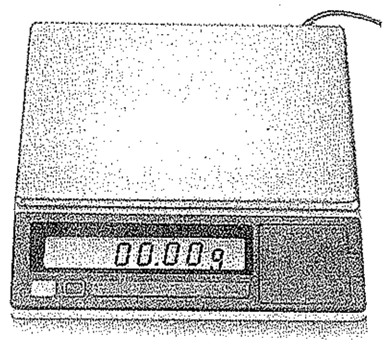
2.2 Magnitudes físicas

Para la descripción del sistema físico es imprescindible la medición, ya que permite establecer relaciones cuantitativas entre las diversas variables que intervienen en su comportamiento.

Las propiedades que caracterizan a los cuerpos o a los fenómenos naturales y que son susceptibles de ser medidas, reciben el nombre de *magnitudes físicas*. Así, la longitud, la masa, la velocidad, el tiempo y la temperatura, entre otras, son ejemplos de magnitudes físicas.

Otras propiedades, como el olor, el sabor, la bondad, la belleza, no son magnitudes físicas, ya que no se pueden medir.

Existen magnitudes físicas que son independientes de las demás y reciben el nombre de *magnitudes fundamentales*; entre ellas están la longitud, la masa y el tiempo.



Icontec ofrece sus servicios en el campo de metrología, con el objetivo de contribuir a la gestión, desarrollo y competitividad de la industria colombiana.

Algunas magnitudes se definen a partir de las fundamentales y reciben el nombre de *magnitudes derivadas*. Por ejemplo, para indicar la medida de la velocidad de un objeto se requiere de la distancia y el tiempo, por lo tanto, la velocidad es una magnitud derivada.

2.2.1 Medición de las magnitudes físicas

Al medir, se compara una magnitud física con una cantidad fija que se toma como patrón. Este patrón es denominado unidad.

Resulta habitual que las magnitudes físicas se midan utilizando instrumentos calibrados; así, la masa de un cuerpo se puede medir en una balanza de platillos, comparándola con la de otros cuerpos de masa conocida.

© SANTILLANA

El resultado en la medición de una magnitud se expresa mediante un número y una unidad. Por ejemplo, si se mide altura (l) de una persona y se toma como unidad el metro (m), el resultado debe expresarse de esta manera: l = 1,80 m, donde el número 1,80 indica cuántas unidades (metros en este caso) están contenidas en la magnitud medida (la longitud, altura, de la persona). Decir únicamente que la altura de la persona es 1,80 no tendría significado, ya que podría tratarse de 1,80 centímetros, 1,80 toneladas, etc.

2.2.2 Sistema internacional de unidades

Las mediciones fiables y exactas exigen unidades inalterables que los observadores puedan duplicar en distintos lugares. Por tal razón, en virtud de un acuerdo firmado en 1960, se estableció en la mayor parte del mundo, un sistema de unidades para científicos e ingenieros, denominado *Sistema Internacional de Unidades (S.I.)*, resultado del trabajo de la llamada Conferencia General de Pesos y Medidas, organización internacional con representación en la mayoría de países.

En la tabla 1.1 se muestran las unidades básicas del Sistema Internacional y nos referiremos a cada una de ellas a medida que avancemos en nuestro estudio de la física.

TABLA 1.1

Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente	amperio	A
Temperatura	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	Mol
Intensidad luminosa	candela	Cd

En la siguiente tabla, se indican algunos prefijos utilizados para las unidades del Sistema Internacional y el factor por el que se debe multiplicar cuando se utiliza cada uno de ellos. Por ejemplo, 3 kg equivalen a 3×10^3 g, lo que es igual a 3.000 g.

TABLA 1.2

Múltiplos			Submúltiplos		
Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo	Factor
exa	E	10^{18}	deci	d	10^{-1}
peta	P	10^{15}	centi	c	10^{-2}
tera	T	10^{12}	mili	m	10^{-3}
giga	G	10^{9}	micro	m	10^{-6}
mega	M	10^{6}	nano	n	10^{-9}
kilo	k	10^{3}	pico	p	10^{-12}
hecto	h	10^{2}	femto	f	10^{-15}
deca	D	10	atto	a	10^{-18}

A continuación, hablaremos sobre las tres magnitudes fundamentales más utilizadas en física: la longitud, la masa y el tiempo.

Es importante tener presente que las unidades de las magnitudes fundamentales han sido escogidas de manera arbitraria por la comunidad científica, teniendo en cuenta algunas condiciones de comodidad, reproducibilidad, accesibilidad y universalidad.

- **La longitud**

La unidad básica de longitud en el Sistema Internacional es el *metro* (m). Durante mucho tiempo se tomó como definición internacional de metro la distancia existente entre dos marcas hechas en una barra de platino e iridio (distancia denominada metro patrón) que se conserva en la oficina internacional de pesas y medidas de Sèvres (París). Definir de esta manera el metro no es del todo correcto, ya que cualquier material, aun el platino y el iridio, está sometido a dilataciones y contracciones por efecto de la temperatura.

A partir de1982, las unidades básicas del Sistema Internacional se definen en función de constantes totalmente invariables, en particular, el metro se define así:

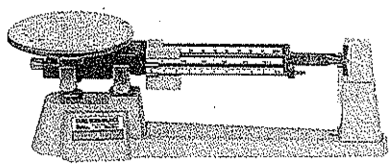
DEFINICIÓN 1.1

Un metro es la distancia que recorre la luz en el vacío en un tiempo de 1/299.972,458 de segundo.

Aunque el metro es la unidad básica de longitud en el Sistema Internacional, es usual utilizar los múltiplos y los submúltiplos del metro para determinar algunas distancias. En ocasiones, si las distancias son muy grandes se emplea el año luz, equivalente a la distancia que recorre la luz en un año.

- **La masa**

La unidad básica de masa en el Sistema Internacional es el *kilogramo* (kg). Un kilogramo fue definido desde 1889 como la masa de un bloque de platino e iridio, denominado kilogramo patrón, que se conserva en la oficina internacional de pesas y medidas de Sèvres.



La masa de los objetos se mide con la balanza.

Aunque la unidad de masa en el Sistema Internacional es el kilogramo, a veces es adecuado expresarla en otras unidades, como los múltiplos y submúltiplos del gramo. Por ejemplo, la cantidad de alguna sustancia contenida en un medicamento se expresa en miligramos (mg).

- **El tiempo**

La unidad de tiempo en el Sistema Internacional es el *segundo* (s).

Desde 1889 a 1967, el segundo fue definido como la fracción 1/86.400 del día solar medio, pero, como la duración del día experimenta variaciones, la definición actual es la siguiente:

DEFINICIÓN 1.2

Un segundo es la duración que tienen 9.192.631.770 períodos de una determinada radiación de cesio-133.

© SANTILLANA

Otras unidades de tiempo diferentes al segundo se utilizan de acuerdo con los períodos de tiempo que se quieran determinar. Por ejemplo, para referirse al tiempo que tarda un planeta de nuestro sistema solar en dar una vuelta alrededor del Sol, se utilizan los años o los días, pero para medir el tiempo que tarda una de las alas de un insecto en su ir y venir, se utilizan los milisegundos (ms).

2.2.3 Sistema británico de unidades

Aunque a lo largo del texto utilizaremos con mayor frecuencia las unidades del Sistema Internacional, ya que es universal, cabe mencionar que existen otros sistemas de unidades. Uno de ellos es el sistema británico de unidades, que se usa habitualmente en los Estados Unidos.

TABLA 1.3

Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	pie	p
Tiempo	segundo	s
Masa	slug	slug

El pie (p) es la unidad de longitud en este sistema y equivale a 30,48 centímetros. Otras unidades comunes de longitud son:

- *La pulgada* (pul), que equivale a 2,54 centímetros.
- *La milla* (mi), que equivale a 1,609 kilómetros.

El *slug* es la unidad de masa y equivale a 14,59 kilogramos.

La unidad de tiempo, al igual que en el Sistema Internacional, es el segundo.

2.3 Cómo expresar los resultados de las mediciones

2.3.1 Conversión de unidades

En física, es muy común expresar algunas cantidades en diferentes unidades de medida. Por ejemplo, determinar cuántos kilómetros hay en 1.560 metros o cuántos segundos hay en 20 minutos. El procedimiento para escribir estas cantidades es una herramienta matemática llamada *conversión.*

Algunas de estas conversiones sólo requieren realizar un cálculo mental; en otras ocasiones se hace necesaria la utilización de los *factores de conversión*, los cuales facilitan la expresión de una misma cantidad física en unidades diferentes. Estos factores de conversión se utilizan cuando se establece proporcionalidad entre las unidades. Por ejemplo, un slug equivale a 14,59 kg. En consecuencia, para convertir 30 kilogramos en x slug, escribimos la proporción:

$$\frac{1 \text{ slug}}{14{,}59 \text{ kg}} = \frac{x}{30 \text{ kg}}$$

$$x = \frac{30\ kg \cdot 1 \text{ slug}}{14{,}59 \text{ kg}} \qquad \textit{Al despejar } x$$

$$x = 2{,}06 \text{ slug} \qquad \textit{Al calcular}$$

La misma conversión se puede realizar de la siguiente manera:

$$30 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ slug}}{14{,}59 \text{ kg}} = 2{,}06 \text{ kg}$$

A la expresión 1 slug = 14,59 kg se le denomina factor de conversión.

En un factor de conversión se establece un cociente entre la unidad de un sistema y su equivalencia en otro sistema o en otra unidad del mismo sistema.

© SANTILLANA

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

1.1 En el comercio se consiguen reglas graduadas en centímetros y en pulgadas. Determinar la medida en pulgadas de una regla de 30 cm.

SOLUCIÓN:

Como 1 pulgada equivale a 2,54 cm, la conversión que se establece es:

$$30\ cm \cdot \frac{1\ pul}{2{,}54\ cm} = 11{,}81\ pul \qquad \text{Al simplificar los cm}$$

La longitud de una regla de 30 centímetros, expresada en pulgadas, es 11,81 pul.

1.2 La masa de una persona es 65 kg. ¿Cuál es su masa en slug?

SOLUCIÓN:

Se multiplica 65 kg por el factor de conversión 1 slug / 14,59 kg

$$65\ \cancel{kg} \cdot \frac{1\ slug}{14{,}59\ \cancel{slug}\ \cancel{kg}} = 4{,}46\ slug$$

Por tanto, la masa de una persona de 65 kg equivale a 4,46 slug.

2.3.2 Las cifras significativas

En la figura 2 se observa que, al determinar la longitud de una mesa con una cinta métrica graduada en centímetros, se puede afirmar que dicha longitud es de. 78,3 cm; al hacer esta medición estamos seguros de las cifras 7 y 8, pero la cifra 3 es dudosa.

Ahora, al observar la figura 3, si la medida se realiza con una cinta métrica graduada en milímetros, se puede afirmar que la medición es, por ejemplo, 783,5 mm, donde las cifras seguras son el 7, el 8 y el 3, pero la cifra dudosa es el 5.

A las cifras seguras y a la primera cifra dudosa obtenida en una medición se les denomina *cifras significativas*. En el primer caso, decimos que la medición tiene tres cifras significativas; mientras que en el segundo, decimos que tiene cuatro cifras significativas.

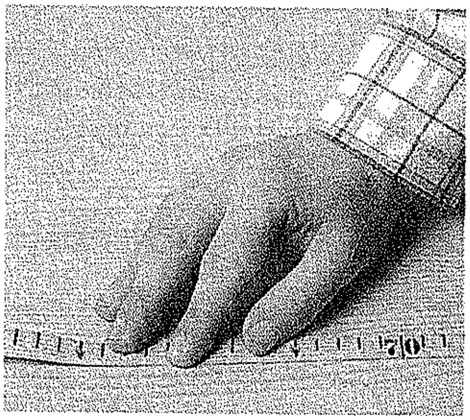


FIGURA 2. *Si la medida que expresamos en este caso es 783,5 mm, el 5 es dudoso.*

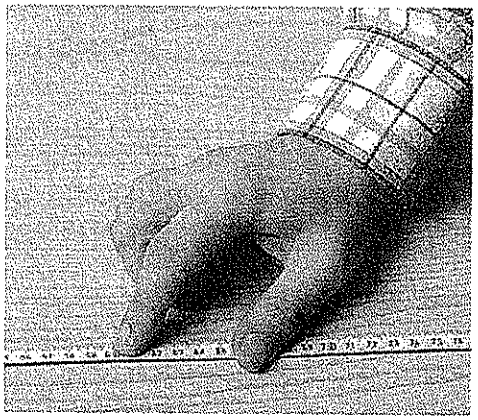


FIGURA 3. *Si la medida que expresamos en este caso es 78,3 cm, el 3 es dudoso.*

© SANTILLANA

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

1.3 El radio de la base de un cilindro de aluminio mide 1,25 cm y su altura mide 4,63 cm. Cuando se pone en el platillo de una balanza, se registra una masa de 61,3 g. Determinar la densidad del aluminio si se sabe que ésta se calcula como el cociente entre la masa y el volumen.

SOLUCIÓN:

Para calcular el volumen de un cilindro consideramos algunos conceptos geométricos.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = 3{,}14 \cdot (1{,}25\ cm)^2 \cdot 4{,}63\ cm \qquad \text{Al remplazar}$$

$$V = 22{,}7\ cm^3 \qquad \text{Al calcular}$$

Aunque el resultado obtenido con la calculadora es 22,7159375, lo redondeamos a 22,7, ya que, tanto en el radio como en la altura, se utilizaron tres cifras significativas y el resultado no debe expresarse con un número mayor que ellas.

Ahora, la densidad se expresa mediante la expresión:

$$densidad = \frac{masa}{volumen}$$

$$densidad = \frac{61{,}3\ g}{22{,}7\ cm^3} = 2{,}70\ g/cm^3 \qquad \text{Al remplazar y calcular}$$

Por tanto, la densidad del aluminio es 2,70 gramos por centímetro cúbico.

1.4 El radio de una esfera de hierro mide 1,15 cm y la densidad del hierro es 7,8 g/cm^3. Determinar la masa de la esfera, teniendo en cuenta el número de cifras significativas.

SOLUCIÓN:

El volumen de una esfera se expresa como:

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$$

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot (1{,}15\ cm)^3 = 6{,}37\ cm^3 \qquad \text{Al remplazar y calcular}$$

Ahora, la masa se expresa mediante la expresión:

$$masa = densidad \cdot volumen$$

869

$$masa = 7{,}8\ g/cm^3 \cdot 6{,}37\ cm^3 = 49{,}67\ g \qquad \text{Al remplazar y calcular}$$

La masa de la esfera es 49,67 g. Este resultado tiene dos cifras significativas.

2.3.3 La notación científica

Como resultado de los cálculos científicos, a veces aparecen magnitudes físicas que toman valores muy grandes o, por el contrario, surgen valores de medidas que, al ser comparadas con la unidad patrón, toman un valor muy pequeño. Para expresar el valor numérico de dichas magnitudes se utiliza *la notación científica*. En la notación científica se emplean las cifras significativas y las potencias de 10.

Para escribir una cantidad utilizando la notación científica, se ubican las cifras significativas con una parte entera (comprendida entre 1 y 9) y otra parte decimal, multiplicada por la correspondiente potencia de 10. Por ejemplo, la masa de un electrón es $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg, mientras que la masa de la Tierra es $6{,}0 \cdot 10^{24}$ kg. Por medio de la notación científica se pueden comparar los valores de una determinada magnitud física en forma sencilla.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

1.5 El planeta Tierra se encuentra ubicado en la galaxia conocida como la Vía Láctea. El Sol se encuentra a 30.000 años luz del centro de la Vía Láctea. Determinar esta distancia en metros.

SOLUCIÓN:

Un año luz es la distancia que recorre la luz en un año, la cual es 300.000.000 metros en un segundo, es decir, recorre $3 \times< 10^8$ metros en un segundo. Como un año tiene 31.536.000 segundos, tenemos que:

1 *año luz* $=$ *velocidad de la luz · un año*

1 *año luz* $= (3 \times 10^8\ m/s)(31.536.000\ s)$ *Al remplazar*

1 *año luz* $= 9{,}46 \times 10^{15}\ m$ *Al calcular*

Por tanto, 30.000 años luz equivalen a $(3 \cdot 10^4$ *años luz*$)\ (9{,}46 \times 10^{15}\ m) = 2{,}83 \times 10^{20}\ m$

La distancia que separa el Sol del centro de la Vía Láctea es $2{,}83 \times 10^{20}$ m, correspondiente al número 283.000.000.000.000.000.000

2.4 Cómo interpretar las unidades de medida

En el ejemplo 1.3 se obtuvo que la densidad del aluminio es 2,70 g/cm^3. Este dato permite concluir que la masa de cada cm^3 de aluminio es de 2,70 g.

En este caso, la unidad g/cm^3 se interpreta de la siguiente manera: si la densidad del hierro es de 7,9 g/cm^3, se puede decir que cada cm^3 de hierro tiene una masa de 7,9 g.

En conclusión, podemos afirmar que la densidad es una magnitud derivada, ya que para su definición, se utilizan las magnitudes masa y volumen, siendo este último una magnitud derivada de la longitud.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

1.6 El sonido viaja en el aire a una velocidad de 340 m/s, ¿cómo se podría interpretar este resultado?

SOLUCIÓN:

Si la velocidad del sonido es 340 m/s, podemos interpretar que 1 s después de generarse un sonido, este se ha propagado 340 m a partir del sitio en el cual se produjo. Por lo tanto, la velocidad es una magnitud derivada, puesto que para su definición, se consideran las magnitudes fundamentales longitud y tiempo.

© SANTILLANA

INCERTIDUMBRE

Grado de imprecisión de toda medición como consecuencia de la calibración del instrumento de medida.

2.5 Manejo de errores

Al realizar una medición es imposible evitar cierto grado de incertidumbre, pues es probable que en el procedimiento se generen errores experimentales, ya sean humanos, por variaciones del medio o por una calibración incorrecta de los instrumentos utilizados. Al medir se pueden presentar dos clases de errores que no son atribuidos al experimentador: sistemáticos o aleatorios.

Los *errores sistemáticos* se producen por limitaciones del equipo utilizado o por deficiencias en el diseño experimental. Suele suceder que este tipo de errores se reproduce cuando se repite el experimento exactamente de la misma manera.

Por ejemplo, la medida de una intensidad de corriente es 2,5 A; si el fabricante del amperímetro advierte que toda medición tiene un error de $\pm$ 0,05 A, el resultado se debe expresar como 2,5 A $\pm$ 0,05 A.

Los *errores aleatorios* se originan por causas que no se pueden controlar en cada medida. Por ejemplo, si diferentes personas midieran el espesor de un libro con una regla graduada en milímetros, obtendrían diferentes valores, ya que la apreciación de la última cifra significativa podría ser distinta.

Nos referimos a la *precisión* de una medición cuando, al repetirse esta varias veces, existe concordancia entre los valores obtenidos. Cuando en la repetición de la medida la variación entre los valores obtenidos aumenta, a esta se le atribuye una menor precisión.

Por otra parte, mencionamos la *exactitud* de una medida al expresar la proximidad de esta con determinado valor de referencia, relacionando la cercanía del valor medido al valor conocido.

Por ejemplo, cuando se determina experimentalmente la densidad del aluminio, el valor obtenido tendrá mayor exactitud cuanto más se aproxime a 2,7 g/cm^3.

A partir de la diferencia entre el valor obtenido en la medición y el valor de referencia, se definen dos tipos de errores: el absoluto y el relativo.

Error absoluto: es el valor absoluto de la diferencia entre el valor obtenido en una medición y el valor que se toma como referencia.

$$\textit{error absoluto} = |\textit{valor obtenido} - \textit{valor de referencia}| \qquad \text{ECUACIÓN 1.1}$$

Error relativo: es el cociente entre el error absoluto y el valor que se toma como referencia de la medida.

$$\textit{error relativo} = \frac{|\textit{valor obtenido} - \textit{valor de referencia}|}{\textit{valor de referencia}} \qquad \text{ECUACIÓN 1.2}$$

Como lo hemos dicho, una medida precisa de un objeto se logra con varias mediciones de él, pero determinar la cantidad máxima de errores cometidos en una medida es un problema de carácter experimental para el que no es posible dar reglas generales.

No obstante, la estadística nos permite establecer el valor promedio en la medición al calcular la media aritmética.

Por ejemplo, si una medida se realiza ocho veces y se obtienen los valores x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 y x_8, el valor promedio se obtiene mediante la expresión:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8}{8} \qquad \text{ECUACIÓN 1.3}$$

Por otra parte, es importante establecer qué tanto se alejan los datos tomados con respecto al promedio. Para ello, se calcula la desviación media, la cual se determina mediante la siguiente expresión

$$DM = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + | \ldots | + |x_n - \bar{x}|}{n} \qquad \text{ECUACIÓN 1.4}$$

El resultado de la medición se expresa como

$$x \pm DM$$

Se acostumbra a determinar el error relativo como

$$\text{error relativo} = \frac{DM}{\bar{x}} \qquad \text{ECUACIÓN 1.5}$$

Es usual expresar el error relativo en términos de porcentaje.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

1.7 El diámetro de un disco se mide cinco veces con una regla graduada en milímetros, y se obtienen los siguientes resultados: 12,2 mm; 12,1 mm; 12,3 mm; 12,0 mm; 12,2 mm.

a. Determinar el valor promedio de los datos.
b. Determinar la desviación media.
c. Expresar el resultado de la medición y el error relativo.

SOLUCIÓN:

a. *El valor promedio se calcula así:*

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5} \qquad \textit{Ecuación 1.3}$$

$$\bar{x} = \frac{12{,}2 + 12{,}1 + 12{,}3 + 12{,}0 + 12{,}2}{5} = 12{,}2 \qquad \textit{Al remplazar, calcular y aproximar}$$

b. *La desviación media se calcula por medio de la Ecuación 1.4, por tanto:*

$$DM = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + |x_3 - \bar{x}| + |x_4 - \bar{x}| + |x_5 - \bar{x}|}{5} \qquad \textit{Ecuación 1.4}$$

$$DM = \frac{|12{,}2 - 12{,}2| + |12{,}1 - 12{,}2| + |12{,}3 - 12{,}2| + |12{,}0 - 12{,}2| + |12{,}2 - 12{,}2|}{5} = 0{,}1 \qquad \textit{Al remplazar y calcular}$$

c. *La medida del diámetro se expresa como 12,2 ± 0,1 y el error relativo es*

$$\textit{error relativo} = \frac{DM}{\bar{x}} = \frac{0{,}1}{12{,}2} = 0{,}008 \qquad \textit{Al remplazar y calcular en la Ecuación 1.5}$$

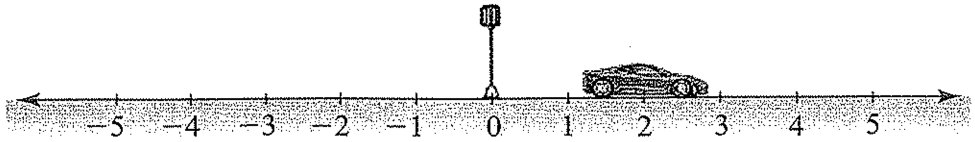
El error relativo 0,008 se expresa en términos de porcentaje como $\frac{0{,}1}{12{,}2} \cdot 100\% = 0{,}8\%$

Tema 3. Funciones y gráficas

3.1 Sistemas coordenados

En la mayoría de investigaciones es necesario efectuar medidas relacionadas con los factores que intervienen en un fenómeno. Los datos que se obtienen de las mediciones, en lo posible, se presentan por medio de representaciones gráficas que pueden ser en una dimensión, en dos dimensiones o en tres dimensiones.

- **En una dimensión** se representan los valores de una variable sobre la recta de los números reales. Por ejemplo, la posición de un objeto que se mueve en línea recta se puede representar sobre una recta, como se muestra en la siguiente figura:



- **En dos dimensiones** se utiliza el plano cartesiano (figura 4), en el que a cada punto le corresponde una pareja ordenada. Este tipo de representación es muy útil para analizar los datos obtenidos en un experimento o para representar variables.

- **En tres dimensiones** se representan puntos en el espacio, lo cual se realiza por medio de un sistema de tres ejes coordenados, perpendiculares entre sí, llamados eje x, eje y y eje z. En este caso, a cada punto del espacio le corresponde una terna (x, y, z), como se muestra en la figura 5. Por ejemplo, para describir el movimiento de un objeto que se mueve en el espacio se utilizan los tres ejes coordenados.

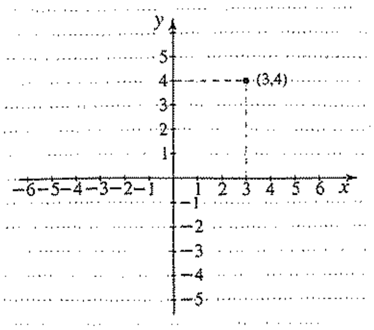


FIGURA 4. *En el plano cartesiano a cada punto le corresponde un par ordenado.*

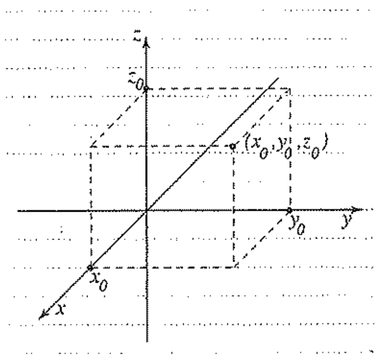


FIGURA 5

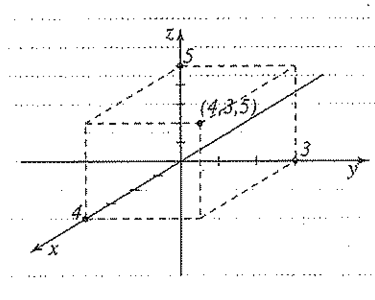
EJEMPLO

IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR

1.8 Representar gráficamente en el espacio el punto (4, 3, 5).

SOLUCIÓN:

Para representar el punto (4, 3, 5) se ubica sobre el eje x el punto cuya coordenada es 4, y sobre el eje y el punto cuya coordenada es 3. Se trazan segmentos paralelos a los ejes x y y. Luego, se traza un segmento paralelo al eje z de longitud 5 unidades.



3.2 Las variables en un experimento

Una vez determinados los factores, es decir las *variables*, que intervienen en la ocurrencia de un fenómeno, se escogen unos factores que se mantienen constantes, mientras que otros se manipulan de diversos modos. De esta manera, estamos controlando las variables que consideramos relevantes para la simulación del fenómeno.

Al realizar el experimento se estudia la forma en que varía una magnitud, llamada *variable dependiente*, cuando se producen cambios en otra, llamada *variable independiente*.

Para ilustrar la manera en que se realiza un tratamiento de datos, consideremos el estudio del alargamiento de un resorte cuando se suspenden pesas en su extremo (figura 6). En este caso, la longitud de alargamiento del resorte (A), es la variable dependiente, la masa (m) del objeto que colgamos es la variable independiente y la elasticidad del resorte es una variable controlada que mantenemos constante, pues se emplea el mismo resorte.

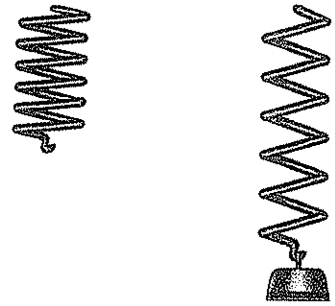


Figura 6. *Es posible encontrar la relación matemática entre la masa del objeto que se cuelga y el alargamiento producido en el resorte.*

En un experimento se puede tener más de una variable cuyo cambio afecta la variable dependiente. Por ejemplo, para estudiar el comportamiento del volumen de un gas, se tiene que este depende de la presión a la cual se somete y de la temperatura a la cual se encuentra. Una variación en la presión produce una variación en el volumen; así mismo, una variación en la temperatura produce una variación en el volumen.

Dadas las múltiples situaciones de la vida cotidiana en las cuales intervienen relaciones entre dos variables, resulta útil recurrir al concepto de función definido en matemáticas. Por ejemplo, para el caso del resorte, la variable alargamiento está presentada en función de la variable masa, pues a cada valor de la masa que se cuelga, le corresponde un único valor del alargamiento.

Como sabemos, hay varias formas de representar funciones y es posible establecer relaciones entre las distintas formas de representación.

3.3 La construcción de gráficas

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

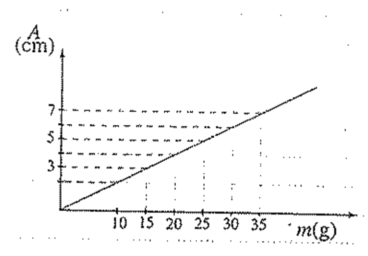
Una función f es una regla que asigna a cada elemento x de un conjunto X, un único elemento y de un conjunto Y.

Tanto las funciones como las relaciones entre dos variables se pueden representar a partir de tablas de datos. Una tabla es un arreglo, de dos filas o dos columnas, en el cual se escriben todos o algunos valores de la variable independiente y los respectivos valores de la variable dependiente. En la siguiente tabla se presentan los valores de la masa del cuerpo colgada del resorte y su respectivo alargamiento.

Masa del cuerpo colgado (g)	10	15	20	25	30	35
Alargamiento (cm)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0

La representación gráfica de una función se hace sobre el plano cartesiano. Sobre el eje x se ubican los rangos entre los cuales están los valores dados a la variable que se considera independiente. Sobre el eje y se ubican los rangos entre los cuales están los valores que se generan para la variable dependiente.

La representación gráfica de una función se obtiene al constituir en el plano cartesiano un número suficiente de parejas ordenadas. A continuación, presentamos la gráfica.



El alargamiento A del resorte depende de la masa m del cuerpo que se cuelga.

Es importante anotar que, a partir de la gráfica, se analiza el comportamiento de la función.

3.3.1 Proporcionalidad directa

DEFINICIÓN 1.3

> *Dos magnitudes son directamente proporcionales si la razón entre cada valor de una de ellas y el respectivo valor de la otra es igual a una constante. A la constante se le llama constante de proporcionalidad.*

Por ejemplo, en la gráfica presentada en la página anterior podemos observar que cuanto mayor es la masa (m) del objeto que colgamos del resorte, mayor es su alargamiento (A). Además, al duplicar la masa, el alargamiento se duplica, al triplicar la masa, el alargamiento se triplica, y así sucesivamente.

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

1.9 Un tren avanza 40 km hacia el norte cada vez que transcurre una hora.

a. Elaborar una tabla de valores para la distancia recorrida en los tiempos 1, 2, 3, 4 y 5 horas.
b. Determinar la razón entre cada distancia y su respectivo tiempo. ¿Las variables distancia y tiempo son directamente proporcionales?
c. Realizar la gráfica que representa los valores de las variables.

SOLUCIÓN:

a. El tiempo y la distancia que recorre se representan en la siguiente tabla.

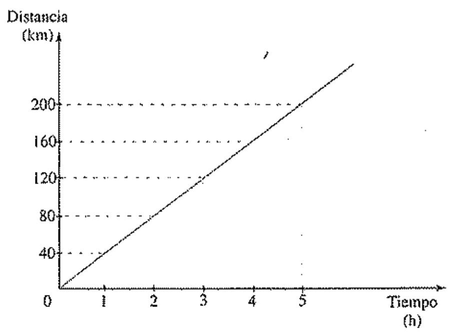
Tiempo (horas)	1	2	3	4	5
Distancia (kilómetros)	40	80	120	160	200

b. La razón entre cada valor de la distancia y su respectivo valor del tiempo se obtiene así :

$$\frac{40}{1} = 40, \frac{80}{2} = 40, \frac{120}{3} = 40, \frac{160}{4} = 40 \text{ y } \frac{200}{5} = 40$$

Las magnitudes distancia recorrida y tiempo son diretamente proporcionales, porque la razón entre sus respectivos valores es constante e igual a 40. Es decir, la constante de proporcionalidad es 40 km/h

c. En la figura se puede observar la representación gráfica de la función que relaciona las variables distancia y tiempo



Si dos magnitudes, x y y, son directamente proporcionales, se cumple que:

- El cociente entre ellas siempre es constante, es decir $\frac{y}{x} = k$, donde k se denomina constante de proporcionalidad.
- Sus valores se relacionan mediante la expresión $y = k \cdot x$

En el ejemplo 1.10, los valores de la distancia recorrida y el tiempo se pueden relacionar mediante la expresión $d = 40\ t$

Al representar, en el plano cartesiano, dos magnitudes directamente proporcionales se obtiene una recta que pasa por el origen. El valor de la pendiente de esta recta corresponde a la constante de proporcionalidad.

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

La pendiente de la recta que en el plano cartesiano pasa por los puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) se define como

$$\text{Pendiente} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Para el ejemplo 1.10 se tiene

$$Pendiente = \frac{200\ m - 0\ m}{5h - 0\ h} = 40\ km/h$$

3.3.2 Proporcionalidad inversa

DEFINICIÓN 1.4

Dos magnitudes son inversamente proporcionales cuando el producto de cada valor de una magnitud por el respectivo valor de la otra es igual a una constante, llamada constante de proporcionalidad inversa.

Por ejemplo, el tiempo, t, y la velocidad, v, empleados en recorrer determinada distancia son magnitudes inversamente proporcionales. A medida que la velocidad aumenta, el tiempo que emplea en el recorrido disminuye, de tal manera que si la velocidad se duplica, el tiempo se reduce a la mitad; si la velocidad se triplica, el tiempo se reduce a la tercera parte, y así sucesivamente.

Si dos magnitudes, x y y, son inversamente proporcionales se cumple que:

- El producto entre ellas es constante, es decir $x \cdot y = k$, donde k es la constante de proporcionalidad inversa.
- Sus valores se relacionan mediante la expresión $y = \frac{k}{x}$

EJEMPLO

1.10 Se desea cortar placas rectangulares cuya área sea igual a 36 cm^2.

a. Elaborar la tabla que muestra los posibles valores para el largo y el ancho de las placas.
b. Determinar la relación entre el largo, l, y el ancho, a, de los rectángulos.
c. Determinar la expresión matemática que relaciona el largo y el ancho de las placas.
d. Realizar la gráfica que representa los valores del largo y el ancho.

SOLUCIÓN:

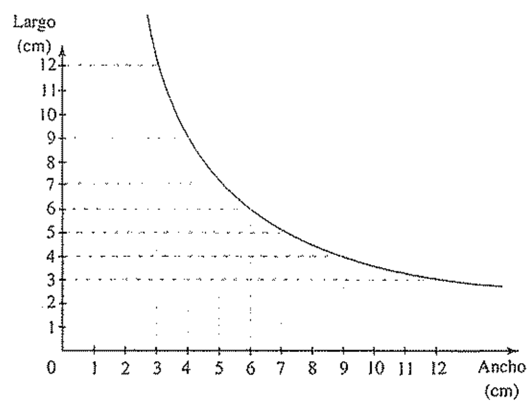
a. La tabla de valores podría ser la siguiente:

Largo (cm)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,2	9,0	12,0
Ancho (cm)	12,0	9,0	7,2	6,0	5,0	4,0	3,0

b. Observamos que, cuando el largo del rectángulo aumenta, el ancho disminuye. Además, es posible observar que al duplicar el largo, el ancho disminuye a la mitad; al triplicar el largo, el ancho disminuye a la tercera parte, etc. Así, entre el largo y el ancho de las placas de área 36 cm^2, podemos establecer una relación de proporcionalidad inversa.

c. El producto del largo, l, por el ancho, a, siempre toma el mismo valor, 36. Por tanto, $l \cdot a = 36$.

d. Al representar los datos en el plano cartesiano obtenemos la gráfica que se muestra a continuación.



3.3.3 Otras relaciones entre variables

- **Relación gráfica de una línea recta**

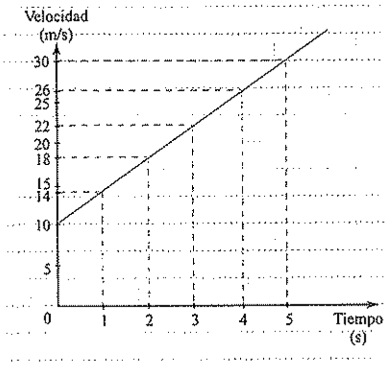
Algunas variables se relacionan de tal manera que la representación gráfica es una línea recta que no necesariamente pasa por el origen de coordenadas. En este caso, puede suceder que, cuando una variable aumenta, la otra también aumenta y, sin embargo, las variables no son directamente proporcionales. En la siguiente tabla se presentan los valores de la velocidad de un objeto para diferentes valores del tiempo.

Tiempo (s)	0	1	2	3	4	5
Velocidad (m/s)	10	14	18	22	26	30

La representación gráfica de los valores en el plano cartesiano es una recta que no pasa por el origen, como se muestra a continuación.

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

La ecuación de la recta en el plano $x - y$, cuya pendiente es m y que corta al eje vertical en $y = b$ es $y = mx + b$



Podemos determinar la ecuación de la recta mediante el cálculo de la pendiente y el valor en el que la gráfica corta al eje vertical (eje que representa la velocidad).

$$\text{Pendiente} = \frac{30\text{ m} - 10\text{ m}}{5\,s - 0} = 4\text{ m/s}$$

Por lo tanto, la ecuación de la recta que relaciona las variables v y t es

$$v = 4\,t + 10$$

- **Relación cuadrática**

Algunas magnitudes se relacionan mediante relación cuadrática, como es el caso de un objeto que se mueve en línea recta y la distancia recorrida es proporcional al cuadrado del tiempo. En la siguiente tabla se muestran los datos de la distancia y el tiempo para el movimiento de un objeto.

Tiempo (s)	0	1	2	3	4	5	6
Distancia (m)	0	2	8	18	32	50	72

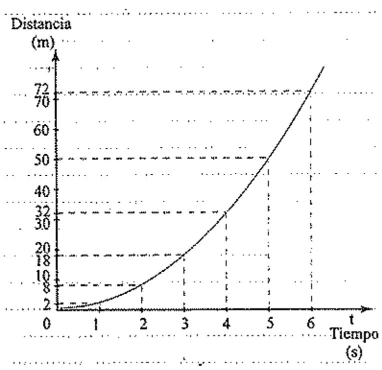


FIGURA 7. *La representación gráfica de una función cuadrática es una parábola.*

La representación gráfica de los valores de la variable se presenta en la figura 7. Se observa que, aunque la distancia aumenta cuando aumenta el tiempo, en este caso las variables no son directamente proporcionales y la gráfica no es una línea recta que pasa por el origen.

© SANTILLANA

Resumen de la unidad

SUMARIO DE CONCEPTOS

CIFRAS SIGNIFICATIVAS: cifras de un valor obtenido en una medición, de las cuales las primeras son ciertas y la última es dudosa.

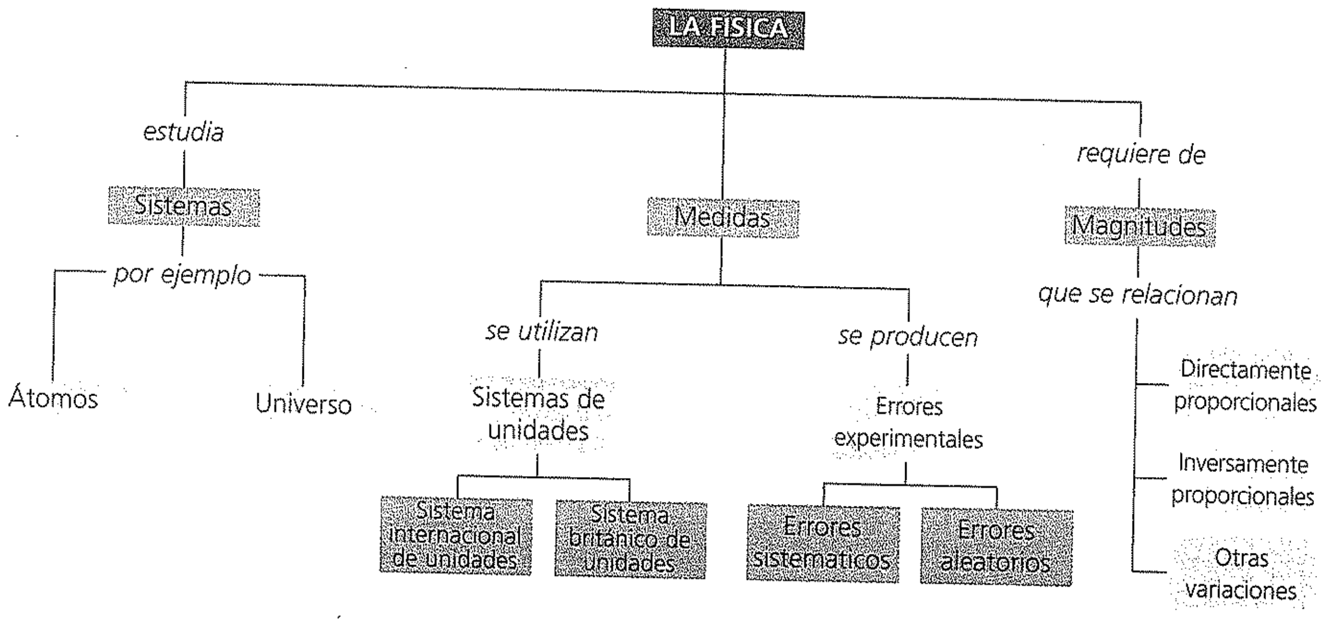
MAGNITUD FÍSICA: propiedad que caracteriza a los cuerpos o a los fenómenos naturales, y que es susceptible de ser medida.

MAGNITUDES DIRECTAMENTE PROPORCIONALES: magnitudes en la cuales la razón entre cada valor de una de ellas y el respectivo valor de la otra es igual a una constante.

MAGNITUDES INVERSAMENTE PROPORCIONALES: magnitudes en la cuales el producto del valor de una de ellas por el respectivo valor de la otra es igual a una constante.

NOTACIÓN CIENTÍFICA: forma de expresar un valor como el producto de un número entre 0 y 10 multiplicado por una potencia de 10.

MAPA DE CONCEPTOS

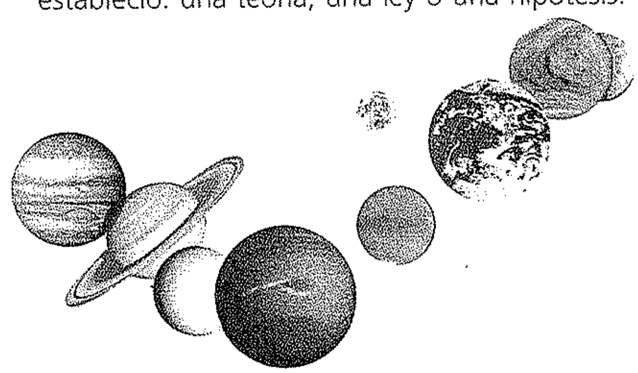


© SANTILLANA

Tema 1. Cómo se construye la ciencia

SENTIDO COMÚN, RAZONA Y EXPLICA

1. Cómo explicarías la tesis "La física es la madre de todas las ciencias".
2. Si la física es la ciencia fundamental, ¿por qué usa gran contenido matemático?
3. ¿Crees que la física puede contribuir en el desarrollo de los individuos y de la sociedad? Justifica tu respuesta.
4. Se dice que la ciencia es la culpable de todos los males de la sociedad. Desde tu punto de vista, cómo defenderías a la ciencia.
5. Si a través de la historia se ha considerado el trabajo científico como un modo muy efectivo para aplicar, organizar y adquirir nuevos conocimientos, ¿en nuestra época se puede decir que este trabajo se ha mantenido o ha evolucionado con el tiempo?
6. Un profesor explica a los estudiantes la importancia del trabajo científico en el estudio de las ciencias. Un estudiante afirma que la comprobación experimental no es necesaria para el completo desarrollo de este trabajo. ¿Cuál de los dos tiene razón? Explica tu respuesta.
7. Cuando se le pregunta a un grupo de personas sobre un mismo fenómeno, los observadores lo describen de diferente manera. ¿Se puede evitar este tipo de confusiones? Explica tu respuesta mediante un ejemplo.
8. Copérnico pensó que el Sol era el centro del sistema solar y no la Tierra. Se puede afirmar que estableció: una teoría, una ley o una hipótesis.



PROBLEMAS

9. Numera los pasos para desarrollar un estudio científico sobre:
   a. El comportamiento de un panal de abejas.
   b. Las estaciones del año.
10. Escoge un fenómeno (caso real) e intenta analizarlo aplicando los pasos del trabajo científico.
11. Realiza un cuadro comparativo en el cual analices las diferencias existentes entre la ciencia y la magia.
12. Explica cuál de los siguientes enunciados se puede considerar como una hipótesis científica:
    a. Los átomos son las partículas de materia más pequeñas que existen.
    b. Nuestro universo está contenido en otro universo cuya existencia no se ha podido detectar.
    c. Albert Einstein es el físico más grande que ha existido.
13. ¿Qué experimento podrías formular en el que sea importante tanto la observación cuantitativa como la cualitativa?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

14. Los adelantos técnicos y científicos que se han realizado en los últimos años están relacionados con la física.

    Plantea la hipótesis para la solución de un problema de tu entorno.
15. Utilizando el método científico, plantea la manera como se relaciona el movimiento de la Tierra alrededor del Sol.
16. William Herschel descubrió, en 1781, el séptimo planeta, Urano. Aun cuando había observado su movimiento por el cielo y su forma, aseguró que era un nuevo cometa.

    Otros científicos anteriormente pensaron que era una estrella fija.

    ¿Qué le permitió a Herschel llegar a esta conclusión?

    ¿De qué manera llegó Herschel a esta conclusión?

Tema 2. Magnitudes físicas

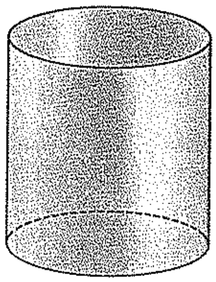
SENTIDO COMÚN, RAZONA Y EXPLICA

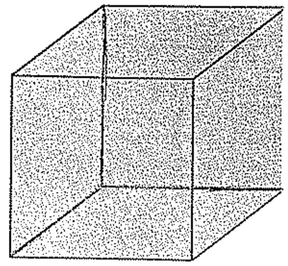
1. Alguien afirma que, una vez escogido un patrón de medida, este no se puede modificar precisamente por ser un "patrón". ¿Cómo puedes refutar tal afirmación?
2. ¿De qué manera podrías determinar rápidamente el número de letras que tiene una hoja completa de periódico?
3. Juanito le dice a Catherine que él ha logrado medir con exactitud el valor de la libertad. ¿Cuál es la inconsistencia que presenta esta afirmación?
4. ¿Cómo podrías determinar el área de la planta de tus pies?
5. Cómo explicarías la expresión "La ley es tan ancha como angosta".
6. Se dice que Enrique I de Inglaterra estableció la yarda como la longitud desde su nariz hasta la yema de su dedo más largo.

   Hoy en día, la yarda tiene un valor de 0,9144 metros. ¿Por qué crees que la medida de la yarda de Enrique I cambió?
7. Describe el método que utilizarías para determinar el diámetro de un alambre, usando una regla graduada y un lápiz.
8. Un constructor dice que la cubierta del puente tiene 200 yardas de concreto. ¿A qué se refiere?
9. Si tuvieras en tus manos una cinta métrica elástica, ¿qué inconvenientes tendrías al realizar una medición?
10. ¿Qué instrumentos elegirías al medir el diámetro de la cabeza de un alfiler?
11. ¿Crees que al levantar en hombros a un compañero de tu salón de clase, podrías establecer su masa? Justifica tu respuesta.
12. Galileo Galilei, al efectuar alguno de sus experimentos de mecánica, hizo un conteo de sus pulsaciones para medir el tiempo.

    ¿Qué desventajas le encuentras a este método?
13. Supón que dispones de los siguientes elementos:
    a. Un recipiente cilíndrico lleno hasta el borde con un líquido.
    b. Otro recipiente que tiene una forma y una dimensión diferentes.

    ¿Cómo dividirías el contenido del primer recipiente en dos partes exactamente iguales?





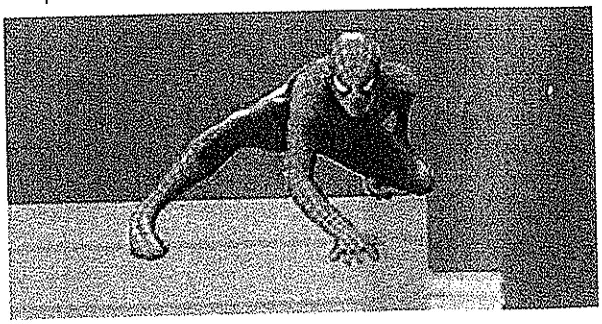
PROBLEMAS

14. La longitud de una carretera intermunicipal es de 48 km. ¿Cuál es su longitud en cm?
15. Si la masa de un objeto es 7.648 g, ¿cuál es su masa en kg?
16. ¿Cuántos nanosegundos son 1 segundo?
17. Determina tu edad en horas.
18. Si un CD-R guarda 700 Mb (megabits) de información, ¿cuántos bits de información se podrán almacenar en 20 CD-R?
19. Si tu salario anual fuera un megapeso, ¿cuántos pesos te ganarías al mes?
20. ¿Cuántos besos serían un hectobeso?
21. Un terreno rectangular tiene 200 pies de largo por 150 pies de ancho. Determina su área en metros cuadrados.
22. Un camión de carga transporta 150 libras de algodón y 42 libras de papel. Establece el peso que lleva en kilogramos.
23. Un ciclista recorre una carretera recta de 50 km. Determina la longitud de la carretera en pulgadas.

ACTIVIDADES

24. Al nacer, un bebé pesa alrededor de 3.000 gramos; si un bebé nació con un peso de 2.800 gramos, ¿cuál será su peso en libras?

25. El hombre araña trepa por un edificio que tiene 45 pies de altura. ¿Cuántos metros recorrió?



26. Si la distancia media de la Tierra al Sol es de $9{,}72 \times 10^{12}$ m, ¿cuánto tarda la luz en llegar a la Tierra?

27. Un transbordador espacial alcanza velocidades hasta de 11.000 km/h.
    a. ¿Qué distancia recorre en un minuto?
    b. ¿Qué distancia recorre en un segundo?

28. Un año luz es la distancia que recorre la luz en un año a razón de 300.000 km en 1 segundo. Calcula, en metros, la distancia que equivale a un año luz.

29. Cada dos horas una enfermera debe suministrarle a un paciente 80 mg de insulina por kg de peso. Si el peso del paciente es 60 kg, ¿cuántos mg de insulina debe suministrarle?

30. ¿Cuál es el equivalente en cm^3 de la capacidad de un motor de 2,5 litros?

31. Se tiene un paralelepípedo rectangular de lados 3,0 m y 5,2 m, y una altura de 2,5 m, ¿cuál es el volumen en cm^3?

32. Un satélite en órbita debe viajar a una velocidad de 28.000 km/h para permanecer en el espacio. ¿Qué distancia recorre el satélite en una hora?

33. Un avión alcanza una velocidad de 500 nudos. Si un nudo equivale a 1 milla/h, ¿a cuántos km/h equivale la velocidad del avión?

34. Un atleta recorre una pista a una velocidad de 10 m/s. Determina su velocidad en pies/h.

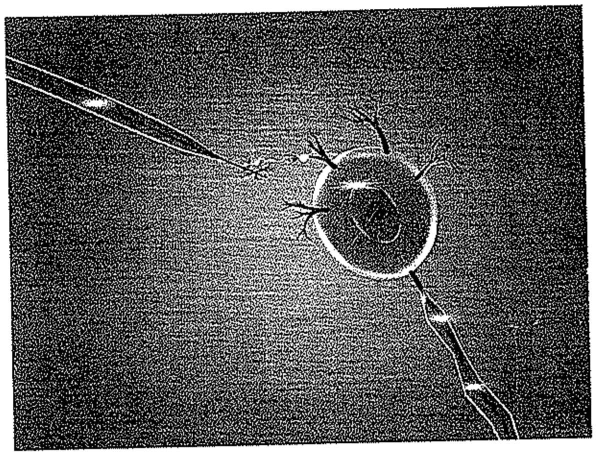
35. Superman persigue un misil que se dirige a Metrópolis a una velocidad de 20 km/h. ¿Cuál es la velocidad del misil en millas/h?

36. La velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s. Determina esta velocidad en pies/s.

37. Si la masa en kilogramos de un objeto es 100 millones, exprésala en notación científica.

38. Si el espesor de una hoja de cuaderno es de 0,0001 metros, exprésala en notación científica.

39. Las células nerviosas en el cerebro del ser humano son aproximadamente diez mil millones, expresa este número en notación científica.



40. Los astrónomos han logrado divisar en el universo objetos que se encuentran a una increíble distancia de la Tierra, como por ejemplo de 115.000.000.000.000.000.000.000 km. Expresa esta cantidad en notación científica.

41. La Tierra tarda 86.400 segundos en girar sobre sí misma. Determina en notación científica este tiempo.

42. El hombre ha logrado encontrar partículas mucho más pequeñas que el átomo. Una de estas partículas es el electrón, cuya masa en reposo es aproximadamente de $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg. Expresa este número sin utilizar la notación científica.

43. En cuatro recipientes de agua hay las siguientes cantidades de líquido: 4,56 cm^3, 5,43 cm^3, 4,73 cm^3 y 5,02 cm^3. Determina el valor promedio del agua contenida en los recipientes.

44. Al tomar la estatura de cinco estudiantes del salón, el promedio fue 1,650 m. ¿Cuál es el error absoluto para la estatura de un estudiante que mide 1,601 m?

45. Se midió el diámetro de tres duraznos y se obtuvieron los siguientes resultados: 4,562 cm, 4,956 cm, 4,220 cm. Determina el error absoluto en la medición del diámetro de cada durazno.

46. Se midieron tres ejemplares de hojas de un mismo árbol para controlar su crecimiento, se obtuvieron los siguientes datos: 5,003 cm, 7,931 cm, 6,023 cm. Hallar el valor promedio, el error absoluto y relativo en la medición del largo de las hojas.

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

47. Para embaldosinar el piso de un salón se compraron baldosas cuadradas de 25 centímetros de lado. Si el largo del salón es de 27 baldosas y el ancho es de 15 baldosas, ¿cuál será el área, en metros, del piso del salón?

48. La distancia de la Tierra al Sol es aproximadamente $146,6 \times 10^6$ km, y de la Tierra a la Luna es 384×10^3 km. ¿Cuál es la diferencia entre las dos distancias?

49. El movimiento de rotación de la Tierra se retarda a razón de 1.023 segundos por siglo. Este retardo ha sido determinado en los eclipses de Sol. Calcula el tiempo acumulado del retardo en la rotación al cabo de 15 siglos.

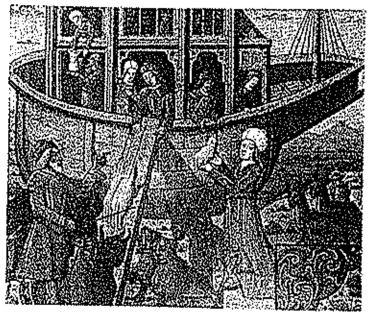
50. Se quiere forrar en tela una esfera de plomo de radio 630 cm. ¿Cuánto cuesta forrar la esfera si el cm^2 de tela cuesta $285?

51. Cada vez que el ser humano percibe algo, su cerebro tiene la propiedad de efectuar diferentes reacciones químicas, transformando unas sustancias llamadas reactivos en otras nuevas denominadas productos.

Si en 1 segundo el cerebro puede efectuar 1×10^5 reacciones químicas, ¿cuántas reacciones puede efectuar el cerebro en dos horas?

52. Según la Biblia, Noe recibió instrucciones para construir un arca de 300 codos de largo, 50 codos de ancho y 30 codos de alto.

El codo era una unidad de longitud basada en el largo del antebrazo e igual a la mitad de una yarda. ¿Cuáles pudieron ser las dimensiones del arca en metros? Si consideramos el arca rectangular, ¿cuál pudo ser su volumen en metros cúbicos?

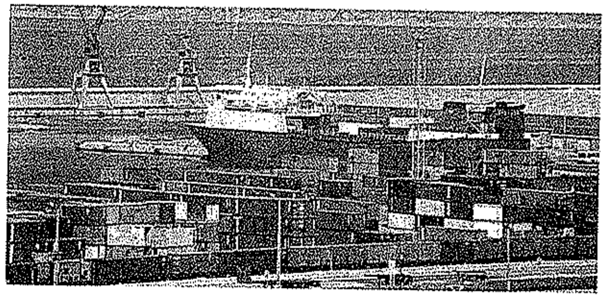


53. En 1987 los científicos anunciaron la muerte de la supernova más brillante del siglo. Esta estrella tenía originalmente una masa 20 veces mayor que la del Sol.

Si la masa del Sol es (330.000 × masa terrestre) y la masa terrestre es de 6.000 millones de millones de millones de toneladas, ¿cuál era la masa de la supernova?

54. En los últimos años hemos avanzado en nuestro conocimiento acerca de las dimensiones del universo. Encontramos la distancia a la Luna al hacer incidir un haz de luz y registrar los tiempos de regreso (c = 300.000 km/s). ¿Cómo podríamos determinar la distancia de la Tierra a un planeta del sistema solar?

55. Los barcos portacontenedores pueden llevar hasta 4.000 contenedores. Un contenedor estándar rectangular puede medir 2,5 metros por 2,5 metros por 12 metros.



¿Cuál es el volumen aproximado, en km^3, que pueden almacenar los barcos portacontenedores?

ACTIVIDADES

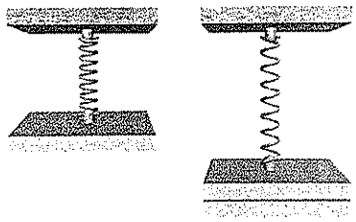
Tema 3. Funciones y gráficas

SENTIDO COMÚN, RAZONA Y EXPLICA

1. Un cubo duplica su contenido cada minuto. Si en media hora está lleno hasta la mitad, ¿en qué tiempo se llenará totalmente? Justifica la respuesta.

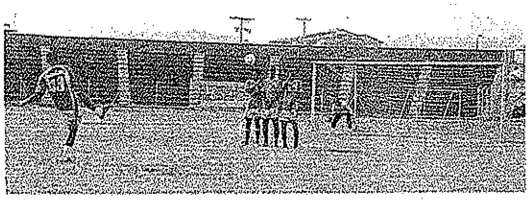
2. Un caracol cae en un pozo de 12 m de profundidad. Si cada día asciende 3 m y, en la noche, a causa del sueño, desciende 2 m, ¿en cuántos días saldrá del pozo?

3. Observa la siguiente gráfica de dos masas suspendidas en dos resortes. ¿Qué relación existe entre el alargamiento de los resortes y las masas suspendidas?



4. La velocidad de un auto aumenta cada hora el doble de la velocidad inicial. A las 4 horas la velocidad habrá aumentado cuatro veces el valor original. ¿De qué depende, en este caso, el valor de la velocidad?

5. En un partido de fútbol, cuando se cobra un tiro libre, se imprime cierta velocidad al balón, dependiendo de la fuerza que se aplique. ¿Qué clase de relación existe entre las magnitudes que intervienen?



6. Se tienen dos recipientes con igual cantidad de agua; ambos tienen un orificio, pero el orificio del segundo recipiente tiene el doble de área que el primero. ¿Qué se puede deducir respecto al tiempo de salida del agua para ambos recipientes?

PROBLEMAS

7. Teniendo en cuenta los siguientes casos, escoge la variable dependiente y la variable independiente. Explica cuáles son directamente proporcionales y cuáles inversamente proporcionales. 1
   a. La medición del tiempo que tarda el agua en calentarse hasta obtener una temperatura de 20 °C.
   b. El alargamiento que sufre un plástico al aplicársele una fuerza.
   c. El tiempo que transcurre en desocuparse un tanque al cual se le puede cambiar el diámetro del orificio de salida de agua.

8. Si en la expresión $v = \frac{x}{t}$, el valor de t se disminuye a la mitad, entonces el valor de v se:
   - Duplica
   - Cuadruplica
   - Triplica
   - Reduce a la mitad

9. A un paciente es necesario aplicarle cada tres horas una inyección de diclofenaco de 70 mg por kg de peso. ¿Cuánto diclofenaco se le suministra en 1 h, 2 h, 3 h, 4 h y 5 h a un paciente que pesa 60 kg?

10. En el laboratorio se realizaron dos experimentos en los cuales se tomó la temperatura de dos sustancias, en diferentes instantes de tiempo. 12
    Los resultados obtenidos fueron:

Sustancia 1

Temperatura	8	12	16	20	24
Tiempo	0	1	2	3	4

Sustancia 2

Temperatura	15	18	21	24	27
Tiempo	0	1	2	3	4

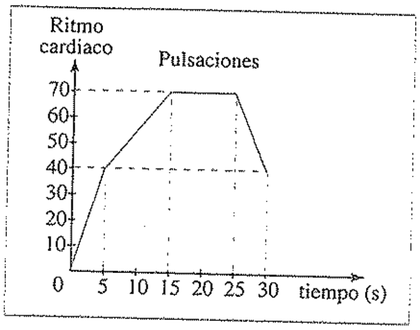
13

   a. Construye la gráfica de temperatura (T) en función de tiempo (t) en el mismo plano.
   b. Determina la ecuación que relaciona la temperatura y el tiempo para las dos sustancias.
   c. ¿Cuál de las dos sustancias aumenta con mayor rapidez la temperatura?

© SANTILLANA

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

11. Cuando se sospecha de una insuficiencia cardíaca en una persona, los médicos le realizan una prueba de esfuerzo; esta sirve para evaluar el funcionamiento del corazón cuando está sometido a un esfuerzo físico, como el ejercicio. Un paciente pedalea en la bicicleta estática y mide su ritmo cardíaco. Los resultados se muestran en la gráfica.



a. ¿Es correcto afirmar que el paciente se encontraba sin realizar esfuerzo los primeros 5 segundos? Justifica tu respuesta.

b. Cuando empieza a realizar la actividad física, ¿el ritmo cardíaco del corazón es directa o inversamente proporcional al tiempo?

c. ¿Podemos afirmar que existe un momento en la prueba en la cual el paciente estabiliza su ritmo cardíaco?

12. Si duplicamos cada una de las dimensiones de un prisma rectangular cuyo lado mayor es el doble del valor del lado menor.

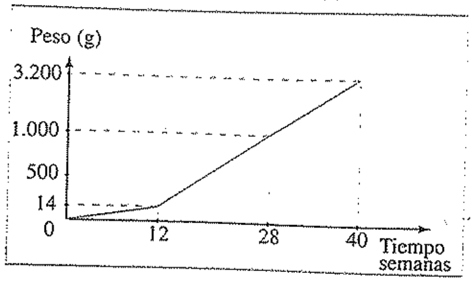
a. ¿Cuántas veces varía la nueva área con respecto a la primera?

b. ¿Qué sucede si triplicamos las dimensiones del mismo sólido?

Describe el procedimiento que seguiste para encontrar cada respuesta.

13. Una porción de pizza genera 240 calorías. Para neutralizar estas calorías es necesario realizar 60 minutos de caminata o 29 minutos de bicicleta. Si se elaborara una gráfica de las calorías-tiempo en minutos de una actividad física como la caminata, ¿es posible afirmar que obtenemos una gráfica de una función lineal constante?
Justifica tu respuesta.

14. La gráfica representa el peso de un feto desde la semana 28 hasta la semana 40.



a. ¿En qué cantidad de días el feto alcanza su mayor peso?

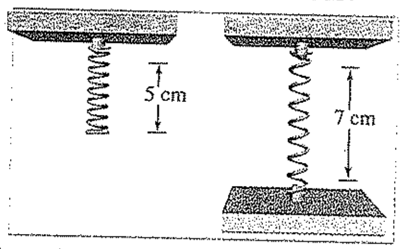
b. Cuando el feto pesa 14 g, ¿en qué semana se encuentra?

c. En la semana 28, ¿cuál es el peso del feto?

d. ¿Qué tipo de relación existe en la gráfica entre el peso y el tiempo en semanas?

e. ¿Cuál es la variable independiente y cuál es la variable dependiente?

15. En un experimento, a un resorte se le ponen un número determinado de masas con igual peso y se observa que el resorte sufre un alargamiento que depende del número de masas.



a. ¿Cuál es la ecuación que relaciona las dos variables?

b. ¿Cómo sería la gráfica que corresponda a la situación presentada en el experimento?

c. ¿Qué tipo de gráfica se obtiene?

16. Si A, B, C y D son variables para las cuales se cumple que A es directamente proporcional a B, C es inversamente proporcional a B y D^2 es directamente proporcional a B, escribe la ecuación que satisface estas condiciones.

17. El área de la superficie de un paralelepípedo regular es la suma de las áreas de las seis caras. Si duplicamos cada una de sus dimensiones, ¿en qué factor variará la nueva área con respecto a la primera?

Magnitudes físicas

LABORATORIO 1

Objetivo

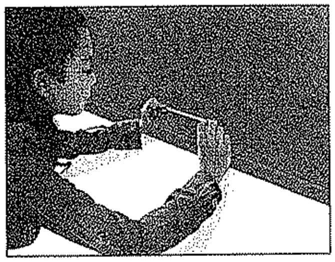
Realizar mediciones utilizando diferentes patrones de medida, establecer comparaciones con el patrón de medida en el S.I.

Materiales

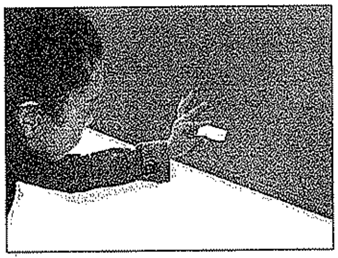
- Un lápiz.
- Un borrador.
- Una hoja tamaño carta.
- Una regla.

Procedimiento y registro

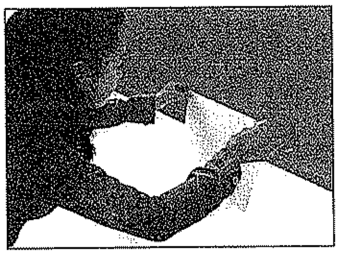
1. Mide con el lápiz las dimensiones, largo y ancho, del tablero.



2. Vuelve a medir las dimensiones (largo y ancho) del tablero, utilizando el borrador.



3. Ahora, realiza la medición utilizando la hoja. Especifica si la usaste por el largo o por el ancho.



4. Registra la cantidad de medidas obtenidas con cada patrón en la siguiente tabla.

Objeto	Largo del tablero	Ancho del tablero
Lápiz		
Borrador		
Hoja		

5. Determina en unidades del S.I. la longitud de los tres objetos utilizando una regla y registra los datos.

Objeto	Longitud (cm)	Longitud (m)
Lápiz		
Borrador		
Hoja		

6. Ahora, expresa cada dato registrado en la tabla del procedimiento 4 en unidades de longitud del S.I.

Objeto	Largo del tablero (m)	Ancho del tablero (m)
Lápiz		
Borrador		
Hoja		

Análisis de los resultados

1. Compara los resultados de tus mediciones con las de otro compañero. ¿Son iguales los resultados obtenidos? ¿Por qué? Justifica tu respuesta.
2. Cuando se utilizan diferentes unidades patrón, ¿qué cambia en la medición de los objetos?
3. ¿Cualquier objeto puede considerarse como patrón de medida universal? ¿Por qué?

Análisis de un experimento

LABORATORIO 2

Objetivo

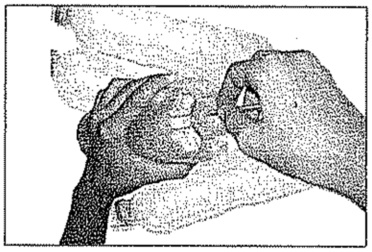
Identificar la relación entre dos variables.

Materiales

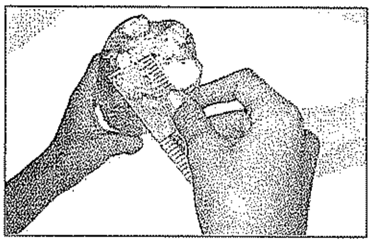
- 4 botellas plásticas de 600 mL cada una.
- 4 puntillas de diferentes diámetros.
- Una cubeta.
- Agua.
- Un cronómetro.
- Una regla.

Procedimiento y registro

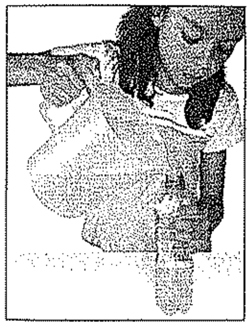
1. Realiza un único orificio de diferente diámetro, en la base de cada botella.



2. Mide el diámetro (d) del orificio en cada botella.



3. Toma una de las botellas, tapa el agujero y llénala con agua hasta que su nivel alcance una altura $h = 20$ cm.



4. Destapa el agujero y mide el tiempo (t) empleado por el agua en salir de la botella.

5. Realiza los procedimientos 3 y 4 para niveles de agua, $h = 15$ cm, $h = 10$ cm y $h = 5$ cm.
6. Realiza los procedimientos 3, 4 y 5 con las otras tres botellas.
7. Registra los diámetros y tiempos obtenidos para cada recipiente en la siguiente tabla:

TABLA DE REGISTRO

	d \ h	20	15	10	5
Botella 1					
Botella 2					
Botella 3					
Botella 4					

Análisis de los resultados

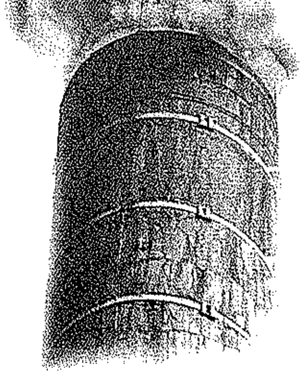
1. Determina la variable dependiente y la variable independiente del experimento.
2. Explica la relación existente entre las variables identificadas.
3. Realiza las gráficas correspondientes al comportamiento de cada botella en papel milimetrado.
4. Si en algún caso existe relación de proporcionalidad, encuentra el valor de la constante.

© SANTILLANA

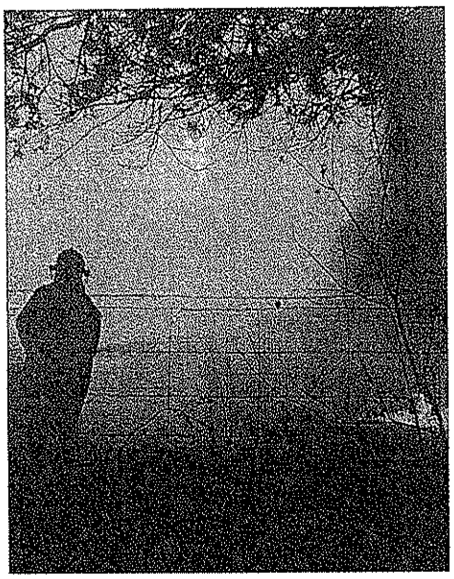
¿Cómo estás, capa de ozono?

La vida en la Tierra ha sido protegida durante millares de años por una capa especial ubicada en la atmósfera. Esta capa, compuesta de ozono, sirve de escudo protector contra las dañinas radiaciones ultravioletas del Sol.

Ese Sol que a diario nos ilumina, que permite el proceso de la fotosíntesis en las plantas, del cual obtenemos energía y muchos más beneficios, produce rayos ultravioleta nocivos que pueden causar cáncer de piel, pérdida de visión y otros daños.



Cada día la capa de ozono es más delgada, y si desapareciera, la luz ultravioleta del sol esterilizaría la superficie del globo terrestre y aniquilaría toda la vida existente en él.

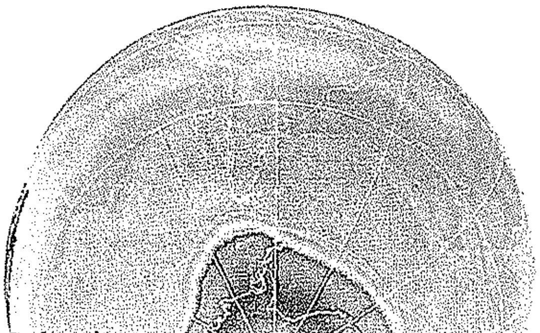


El ozono se puede medir

El ozono se encuentra presente en las capas más próximas a la superficie terrestre. Alrededor del 90% del ozono de la atmósfera está contenido en la estratosfera, región comprendida entre los 10 km y los 50 km sobre la superficie terrestre. El 10% restante está localizado en la troposfera, parte más baja de la atmósfera donde ocurren todos los fenómenos climáticos.

La concentración de ozono es mayor entre los 15 km y los 40 km, con un valor de 2,8 partículas por millón. Si todo el ozono fuese comprimido a la presión del aire al nivel del mar, este tendría sólo 3 mm de espesor. Este gas se mide en Unidades Dobson [UD]. Mil Unidades Dobson equivalen a una columna uniforme de ozono de un centímetro de espesor en condiciones normales de presión (1 atm o nivel del mar) y temperatura (273 K o cero grados Celsius). A modo de ejemplo 300 [UD] equivalen a 3 milímetros.

© SANTILLANA



Cada primavera austral se abre un agujero en la capa de ozono sobre la Antártida, tan extenso como los Estados Unidos y tan profundo como el monte Everest. En los últimos años, el agujero ha aparecido más grande cada año. En 1992, cuando el agujero alcanzó su mayor tamaño, cubría 60 millones de km^2 con lo cual, la destrucción del ozono alcanzó un 60% más que en las observaciones anteriores.

Cómo destruimos la capa de ozono

El ozono es un gas compuesto por tres átomos de oxígeno y se forma por acción de la luz solar sobre él. Así, en forma sencilla y sin especificar más a fondo los procesos químicos y físicos, la formación del ozono atmosférico se presenta debido al bombardeo de iones y electrones procedentes del sol sobre las moléculas de oxígeno.

Cualquier daño a la capa de ozono produce reducciones anormales de la misma, denominados agujeros de ozono. Estos agujeros se generan por acción de los CFC (clorofluorocarbonos), que son sustancias químicas usadas en neveras y aerosoles.

Los CFC se acumulan en la atmósfera, donde atacan la capa de ozono por medio de una reacción fotoquímica. En esta reacción, la luz ultravioleta incide sobre la molécula de CFC haciéndola liberar un átomo de cloro con un electrón libre, fuertemente reactivo que destruye las moléculas de ozono.

ÁMBITO: Desarrollo compromisos personales y sociales

APROPIACIÓN Y USO DE LA TECNOLOGÍA

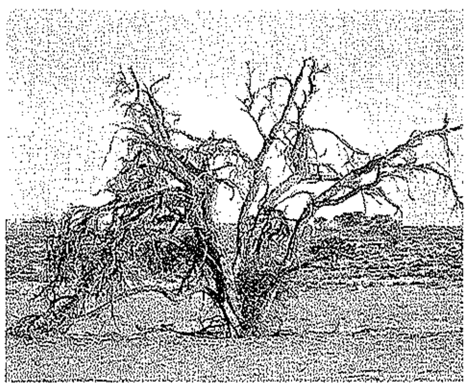
Responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué beneficios brinda la capa de ozono a nuestro planeta?
2. ¿Consideras que con la tecnología que existe en nuestro tiempo se podría construir una capa de ozono? ¿Por qué?
3. Consulta si existe algún tratado internacional para proteger la capa de ozono.
4. Investiga cuál es el tamaño del agujero de la capa de ozono hoy en día.
5. Si el 16 de septiembre es el día internacional de la preservación de la capa de ozono, que actividades se podrían realizar en tu colegio para formar parte activa de esta celebración.

TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Además del cáncer de piel, la reducción del 1% de ozono, en la capa, puede provocar entre 100.000 y 150.000 casos de cataratas, enfermedad causante de la ceguera de cerca de 15 millones de personas en todo el mundo y de problemas de visión para 30 millones.

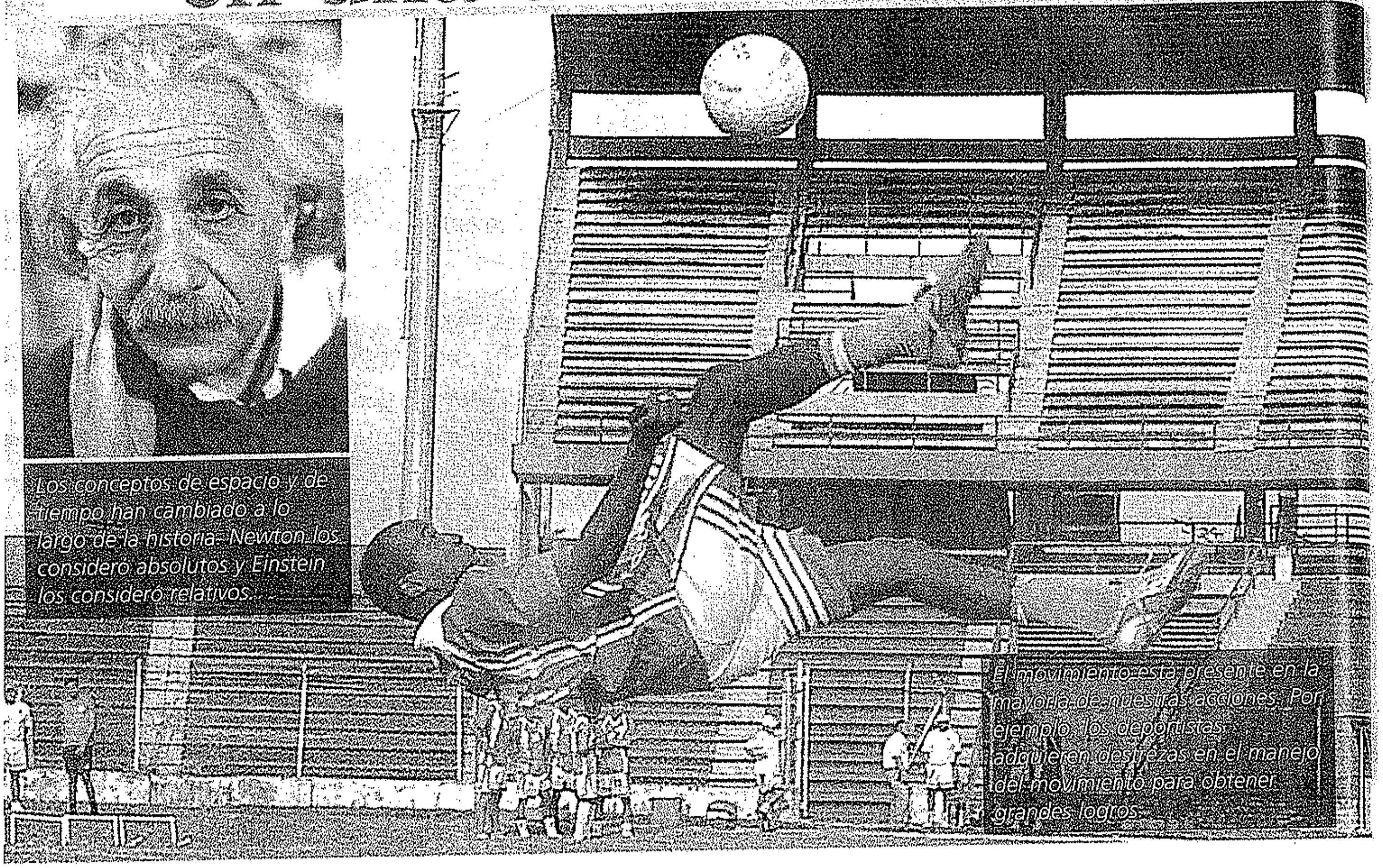
Además, el aumento de la radiación UVB provocaría cambios en la composición química de varias especies de plantas, lo cual traería como consecuencia una disminución de las cosechas y perjuicios a los bosques.



© SANTILLANA

UNIDAD 2

El movimiento en una dirección



Los conceptos de espacio y de tiempo han cambiado a lo largo de la historia. Newton los consideró absolutos y Einstein los consideró relativos.

El movimiento está presente en la mayoría de nuestras acciones. Por ejemplo, los deportistas adquieren destrezas en el manejo del movimiento para obtener grandes logros.

CONTENIDO

Introducción

El movimiento de los cuerpos es un fenómeno del que sabemos muchas cosas, ya que desde nuestra infancia, observamos que los cuerpos se mueven a nuestro alrededor, al mismo tiempo que nosotros también nos movemos.

Desde las investigaciones realizadas por Galileo y Newton en el siglo XVII se ha visto la importancia del estudio del movimiento. A partir de allí se generó una nueva concepción del universo, en la cual el movimiento de los cuerpos terrestres y celestes se rige por las mismas leyes. Esta es una de las razones por las cuales es posible que a veces tengamos dudas acerca de qué cuerpos son los que realmente se mueven y qué cuerpos permanecen en reposo.

Al hablar de movimiento es muy común escuchar expresiones como: excedió el límite de velocidad, podría ir más rápido o desde dónde viene. Estas y otras expresiones hacen referencia a conceptos propios de la física que, aunque son de uso cotidiano, tienen inmersos aspectos matemáticos importantes de analizar.

En esta unidad estudiaremos el movimiento de los cuerpos en línea recta, considerando el caso particular de los cuerpos cuando caen o cuando son lanzados hacia arriba, y obtendremos ecuaciones para describirlos.

Tema 1. El movimiento rectilíneo

1.1 El movimiento

Desde la antigüedad, el ser humano ha estudiado los fenómenos relacionados con el movimiento. La *cinemática* es la parte de la física que estudia el movimiento de los cuerpos sin preocuparse de las causas que puedan provocarlo; se encarga de abordar el estudio de las magnitudes propias del movimiento como la velocidad o la distancia recorrida.

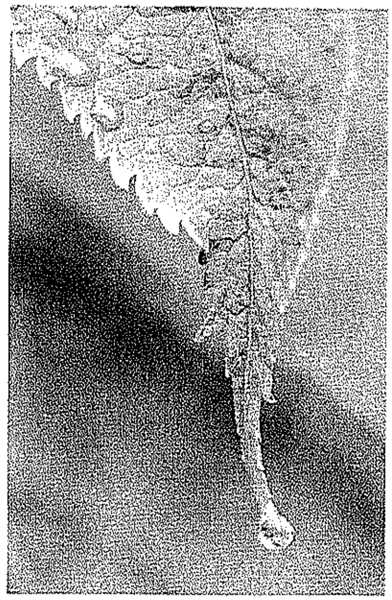
A continuación, describiremos dos conceptos previos al estudio del movimiento: sistemas de referencia y cuerpos puntuales.

- **Los sistemas de referencia**

El movimiento de los planetas puede ser descrito desde la Tierra como lo hizo Aristóteles (384-322 a.C.), quien la concebía como el centro del universo y la tomó como *sistema de referencia* para describir el movimiento de los planetas, del Sol, de la Luna y de las estrellas. También puede tomarse como sistema de referencia el Sol, cuya descripción ha permitido profundizar en el conocimiento que tenemos acerca del comportamiento de los astros.

Otra forma de pensar en un sistema de referencia se presenta cuando estando en un automóvil en reposo, percibes que este retrocede por efecto del movimiento hacia delante de un automóvil que se encontraba al lado.

De manera general, para describir el movimiento de un cuerpo es conveniente establecer ciertos sistemas de referencia que faciliten su descripción. Es decir, el cambio de posición que experimentan unos cuerpos con respecto a otros, llamados sistemas de referencia.



Hasta el objeto más sencillo de la naturaleza tiene movimiento.

DEFINICIÓN 2.1

> *Un sistema de referencia es un sistema coordenado en tres dimensiones, de tal manera que la posición de un punto cualquiera P en cierto instante de tiempo está determinada por sus tres coordenadas cartesianas (x, y, z)*

Puesto que para medir el tiempo es necesario un reloj, este instrumento también forma parte de un sistema de referencia.

Al realizar el análisis del movimiento de un cuerpo consideramos que los sistemas de referencia se encuentran en reposo. Por ejemplo, una de las señales de tránsito que indica un kilometraje determinado. Sin embargo, si el sistema de referencia fuera el Sol, tendríamos que aceptar que esta señal acompaña a la Tierra en su movimiento de rotación y de traslación.

- **Cuerpos puntuales**

Para el estudio del movimiento, muchas veces basta considerar los cuerpos como si fueran puntos geométricos, sin prestar atención a cómo se mueven las partes que los componen. Por ejemplo, una pelota pateada "con efecto" gira sobre su eje a medida que avanza, y una gota de agua se deforma mientras va cayendo.

DEFINICIÓN 2.2

Un cuerpo puntual o partícula material es un objeto que consideramos sin tamaño, que puede tener movimiento, pero que no existe en la naturaleza.

Para considerar un cuerpo como puntual no se necesita que sea pequeño. Más aún, un mismo cuerpo puede ser considerado como puntual o no, si su tamaño es relevante para explicar el fenómeno que se está estudiando. Así, por ejemplo, el tamaño de la Tierra es fundamental para describir su movimiento de rotación, mientras que, a pesar de su tamaño, podemos considerar la Tierra como un punto si queremos estudiar la órbita que describe alrededor del Sol, el cual a su vez, también puede ser considerado como un cuerpo puntual.

Para entender de manera simple los conceptos básicos de la cinemática, por el momento limitaremos nuestro estudio al movimiento de cuerpos puntuales.

1.1.1 La trayectoria y la distancia recorrida

Cuando un objeto se mueve, ocupa diferentes posiciones sucesivas mientras transcurre el tiempo, es decir, que durante su movimiento describe una línea.

DEFINICIÓN 2.3

La trayectoria es la línea que un móvil describe durante su movimiento.

Considerando la trayectoria descrita por el objeto, el movimiento puede ser:

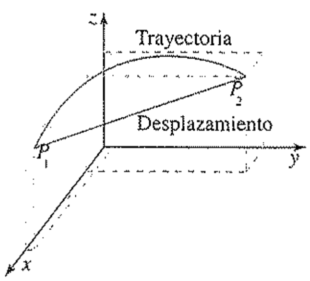
- *Rectilíneo*, cuando su trayectoria se describe sobre una línea recta.
- *Curvilíneo*, cuando su trayectoria se describe sobre una línea curva.

El movimiento curvilíneo puede ser:

- *Circular*, si la trayectoria en una circunferencia, como ocurre con el extremo de las manecillas del reloj.
- *Elíptico*, si la trayectoria es una elipse, como ocurre con el movimiento planetario.
- *Parabólico*, si la trayectoria es una parábola, como ocurre con el movimiento de los proyectiles.

DEFINICIÓN 2.4

La distancia recorrida por el objeto es la medida de la trayectoria.



1.1.2 El desplazamiento

En la figura se representa la trayectoria de un objeto que pasa de la posición P_1 a la posición P_2, describiendo un movimiento curvilíneo. Al unir las posiciones P_1 y P_2 mediante un segmento, representado por una flecha, este indicará el cambio, o variación (Δ), de posición del objeto, es decir, su desplazamiento.

DEFINICIÓN 2.5

El desplazamiento de un móvil es un segmento dirigido que une dos posiciones diferentes de su trayectoria.

Para describir el desplazamiento de un objeto se requiere especificar su medida e indicar su dirección. Por esta razón, se representa por medio de un segmento dirigido denominado *vector*.

Por ejemplo, para el caso del movimiento representado en la figura de la página anterior.

- La distancia recorrida es la medida de la línea curva descrita por el objeto en su movimiento.
- El desplazamiento es el segmento dirigido que va desde la posición inicial hasta la posición final.

La distancia recorrida y la medida del desplazamiento coinciden únicamente cuando el movimiento se produce en línea recta y en un solo sentido, por ejemplo, hacia la derecha.

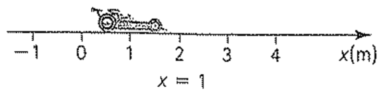


FIGURA 1

En esta unidad nos referiremos únicamente a movimientos rectilíneos; estos movimientos se representan sobre el eje x, de tal manera que la posición de un objeto queda especificada por un valor de x (figura 1).

1.1.3 La rapidez y la velocidad

Los términos rapidez y velocidad se usan indistintamente en la vida diaria pero en física es necesario hacer distinción entre ellos. El término velocidad se usa para representar tanto la magnitud (valor numérico) como la dirección con la que se mueve el objeto. Por otro lado, la rapidez hace referencia sólo a la magnitud.

- **Rapidez**

DEFINICIÓN 2.6

La rapidez es la distancia recorrida en la unidad de tiempo.

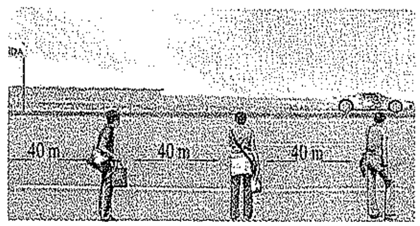


FIGURA 2

Supongamos que junto con dos amigos o amigas presencian una carrera automovilística y que cada uno o una se ubica al borde de la vía de tal manera que el primero se encuentra a 40 metros de la salida (x = 40 m) y los demás se ubican separados entre sí 40 metros, como se observa en la figura 2. Imagina también que cada uno cronometra el tiempo que emplea un vehículo en recorrer la distancia que existe entre el punto de salida y su posición. En la tabla se registraron los valores indicados.

TABLA 2.1

	Móvil 1	Móvil 2	Móvil 3
x (m)	40	80	120
t (s)	5	9,9	13,9

Es posible calcular las variaciones de las posiciones y de los tiempos y registrarlas en la tabla que aparece en la página siguiente.

© SANTILLANA

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

Si un móvil está en una posición x_1 y pasa a una posición x_2, la variación de posición se representa como

$\Delta x = x_2 - x_1$.

De igual manera, la expresión Δt indica la variación del tiempo.

TABLA 2.2

	Móvil 1	Móvil 2	Móvil 3
x (m)	40	80	120
t (s)	5	9,9	13,9
$\Delta x = x_2 - x_1$	$40 - 0 = 40$	$80 - 40 = 40$	$120 - 80 = 40$
$\Delta t = t_2 - t_1$	$5,0 - 0 = 5,0$	$9,9 - 5,0 = 4,9$	$13,9 - 9,9 = 4,0$

Al calcular el cociente entre la distancia recorrida por el móvil y el tiempo transcurrido, se obtiene un valor denominado rapidez media (v), es decir:

$$\text{Rapidez media} = v = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Tiempo empleado}} \qquad \text{ECUACIÓN 2.1}$$

DEFINICIÓN 2.7

La rapidez media es el cociente entre la distancia recorrida por el móvil y el tiempo empleado en recorrerla.

Para el ejemplo anterior, la rapidez media se registra en la tabla:

TABLA 2.3

	Móvil 1	Móvil 2	Móvil 3
x (m)	40	80	120
t (s)	5	9,9	13,9
$\Delta x = x_2 - x_1$	$40 - 0 = 40$	$80 - 40 = 40$	$120 - 80 = 40$
$\Delta t = t_2 - t_1$	$5,0 - 0 = 5,0$	$9,9 - 5,0 = 4,9$	$13,9 - 9,9 = 4,0$
Rapidez media (m/s)	8	8,2	10,2

Con la rapidez media nos referimos a la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en un intervalo de tiempo determinado. Sin embargo, para el movimiento de un objeto, podemos describir la rapidez con la que se mueve en un instante determinado. Por ejemplo, en la carrera de autos se ha calculado la rapidez media en tres intervalos de tiempo distintos, pero es muy probable que la rapidez de los autos haya variado instante a instante. A la rapidez que el objeto presenta en cada instante de tiempo se le llama *rapidez instantánea*.

- **Velocidad**

Cuando ves un cuerpo primero en un lugar y después en otro, sabes que se movió; pero si no lo seguiste en ese cambio de posición es difícil que puedas saber qué tan rápido lo hizo. Para describir un movimiento, no basta medir el desplazamiento del cuerpo ni trazar su trayectoria; debemos decir cuál fue su velocidad.

La velocidad nos dice qué tan rápido se movió el cuerpo y hacia dónde lo hizo.

DEFINICIÓN 2.8

La velocidad es el tiempo que tarda un cuerpo en realizar cierto desplazamiento.

Al calcular el cociente entre el desplazamiento total y el tiempo que tarda en recorrerlo, se obtiene la velocidad media ($\bar{v}$), es decir:

$$\textit{Velocidad media} = \bar{v} = \frac{\textit{Desplazamiento}}{\textit{Tiempo transcurrido}} \qquad \text{ECUACIÓN 2.2}$$

DEFINICIÓN 2.9

> *La velocidad media es el cociente entre el desplazamiento y el tiempo transcurrido.*

INSTANTE DE TIEMPO

Cuando, para un movimiento, tomamos intervalos de tiempo cada vez más pequeños nos referimos al término *instante de tiempo*.

Como lo hemos dicho, el desplazamiento se representa por la expresión $\Delta x = x_2 - x_1$. Si el desplazamiento ocurre durante el intervalo de tiempo transcurrido entre t_1 y t_2 ($\Delta t = t_2 - t_1$), podemos escribir la velocidad media como:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \text{ECUACIÓN 2.3}$$

La rapidez y la medida de la velocidad en el S.I. se expresan en metros por segundo (m/s), pero frecuentemente se usa el kilómetro por hora (km/h).

Los automóviles disponen de un velocímetro cuya función es registrar la medida de la velocidad en cada instante, es decir, la velocidad instantánea. La *velocidad instantánea* se especifica mediante la medida de su velocidad y su dirección en cada instante. *La rapidez instantánea* coincide con la medida de la velocidad instantánea.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

2.1 Un vehículo viaja, en una misma dirección, con una rapidez media de 40 km/h durante los primeros 15 minutos de su recorrido y de 30 km/h durante los otros 20 minutos. Calcular:

a. La distancia total recorrida. b. La rapidez media.

SOLUCIÓN:

a. La distancia total recorrida es la suma de las distancias recorridas. Al utilizar la ecuación 2.1 tenemos:

$$v = \frac{\textit{Distancia recorrida } (d)}{\textit{Tiempo empleado } (t)} \qquad \textit{Ecuación 2.1}$$

$$d = v_{\textit{primer recorrido}} \cdot t_{\textit{primer recorrido}} \qquad \textit{Al despejar}$$

$$d = 40 \text{ km/h} \cdot 0{,}25 \text{ h} = 10 \text{ km} \qquad \textit{Al remplazar y calcular}$$

$$d = v_{\textit{segundo recorrido}} \cdot t_{\textit{segundo recorrido}} \qquad \textit{Al despejar}$$

$$d = 30 \text{ km/h} \cdot 0{,}33 \text{ h} = 10 \text{ km} \qquad \textit{Al remplazar y calcular}$$

$$\textit{distancia total recorrida} = d_{\textit{primer recorrido}} + d_{\textit{segundo recorrido}}$$

$$\textit{distancia total recorrida} = 10 \text{ km} + 10 \text{ km} = 20 \text{ km}$$

La distancia total recorrida por el vehículo es 20 km.

b. Para calcular la velocidad media tenemos:

$$v = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Tiempo empleado}} \qquad \textit{Ecuación 2.1}$$

$$v = \frac{20 \text{ km}}{0{,}58 \text{ h}} = 34{,}5 \text{ km/h}$$

La rapidez media del vehículo durante el recorrido es 34,5 km/h

© SANTILLANA

1.1.4 La aceleración

Debido a que los objetos en movimiento pueden aumentar su velocidad o disminuirla, es posible afirmar que en la mayoría de movimientos la velocidad no permanece constante. Por ejemplo, cuando estás dentro de un ascensor y este empieza a subir o cuando frena repentinamente sientes algo en el estómago. Esa sensación sólo se presenta cuando la velocidad aumenta o disminuye, no se siente en el resto del trayecto del ascensor, es decir, cuando su velocidad es constante.

Estos cambios de velocidad se describen mediante la magnitud denominada aceleración.

DEFINICIÓN 2.10

La aceleración media ($\overline{a}$) es la variación de velocidad que experimenta un móvil en la unidad de tiempo

Al calcular el cociente entre el cambio de velocidad y el intervalo de tiempo necesario para que se produzca, se obtiene la aceleración media ($\overline{a}$), es decir:

$$\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \qquad \text{ECUACIÓN 2.4}$$

Puesto que en el S.I. la velocidad se mide en m/s y el tiempo se mide en segundos, la aceleración se expresa en $\frac{\text{m/s}}{\text{s}}$, lo que es equivalente a la unidad m/s^2. Es decir que la unidad de aceleración en el S.I. es el *metro por segundo al cuadrado* (m/s^2).

Puesto que la aceleración de un objeto puede variar, nos referimos a la aceleración de un cuerpo en un instante determinado como *aceleración instantánea*.

En la figura se muestran los valores de la velocidad de un automóvil para diferentes instantes de tiempo. En el velocímetro los registros de la rapidez en cada uno de los tiempos indicados muestran que la velocidad aumenta progresivamente. La tabla muestra cálculos del cambio de la velocidad en los intervalos de tiempo indicados y el valor de la aceleración en los mismos intervalos.

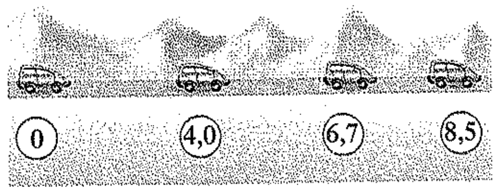


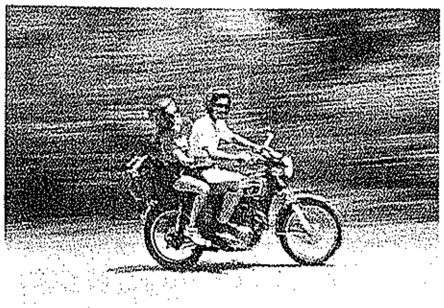
TABLA 2.4

	1	2	3	4
v (m/s)	7,7	8,5	10,0	13,8
t (s)	4,0	6,7	8,5	10,7
$\Delta v = v_2 - v_1$	7,7 − 0 = 7,7	8,5 − 7,7 = 0,8	10,0 − 8,5 = 1,5	13,8 − 10,0 = 3,8
$\Delta t = t_2 - t_1$	4,0 − 0 = 4,0	6,7 − 4,0 = 2,7	8,5 − 6,7 = 1,8	10,7 − 8,5 = 2,2
Aceleración media(m/s^2)	1,9	0,3	0,8	1,7

© SANTILLANA

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR



2.2 Una motocicleta parte de la línea de salida y aumenta repentinamente su velocidad a 72 km/h en 20 s. Determinar su aceleración media.

SOLUCIÓN:

Se debe expresar la velocidad en unidades del S.I.

$$72\,\frac{km}{h} = 72\,\frac{km}{h} \cdot \frac{1.000\ m}{1\ km} \cdot \frac{1\ h}{3.600\ s} = 20\ m/s$$

Ahora se calcula la aceleración media:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{20\ m/s - 0\ m/s}{20\ s} = 1\ m/s^2$$

Ecuación 2.4

La aceleración media de la motocicleta es 1 m/s^2.

2.3 Determinar la aceleración de un automóvil que, inicialmente, se mueve a 72 *km/h* y que se detiene en 5 s.

SOLUCIÓN:

Se expresa la medida de la velocidad en m/s.

$$72\,\frac{km}{h} = 72\,\frac{km}{h} \cdot \frac{1.000\ m}{1\ km} \cdot \frac{1\ h}{3.600\ s} = 20\ m/s$$

Al utilizar factores de conversión

Ahora, se calcula la aceleración media:

$$\alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}\ a = \frac{0\ m/s - 20\ m/s}{10\ s} = -2\ m/s^2$$

Ecuación 2.4

Al remplazar y calcular

La aceleración media es $-2\ m/s^2$. La aceleración y la velocidad tienen signos diferentes, lo cual se interpreta en términos de una disminución de la rapidez.

1.2 El movimiento rectilíneo uniforme

Para analizar este tipo de movimiento consideraremos la situación que se representa en la figura 3, en la cual una niña se desplaza en línea recta teniendo en cuenta varios puntos de referencia que están marcados por cuatro objetos sobre el recorrido mencionado

Al cronometrar el tiempo que la niña tarda en pasar por los puntos señalados, se obtienen los valores que se muestran en la tabla.

Estos valores sugieren que la velocidad de la niña ha permanecido constante durante todo el recorrido, siendo esta de 0,20 m/s.

Todo movimiento que presenta esta condición se denomina uniforme.

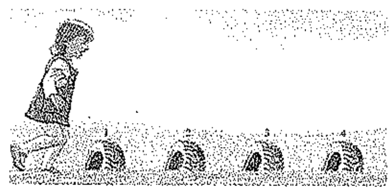


FIGURA 3

t (s)	1	2	3	4
x (m)	0,20	0,40	0,60	0,80
Δx (m)	0,20	0,20	0,20	0,20
Δt (s)	1	1	1	1
v (m/s)	0,20	0,20	0,20	0,20

DEFINICIÓN 2.11

Un cuerpo describe un movimiento rectilíneo uniforme cuando su trayectoria es recta y su velocidad es constante.

1.2.1 Ecuaciones del movimiento rectilíneo uniforme

Si en un movimiento, la velocidad instantánea v siempre es la misma, su medida debe coincidir con la medida de la velocidad media $\bar{v}$. Si la velocidad media se expresa como

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

para el movimiento uniforme la velocidad instantánea en cualquier tiempo, es

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Entre $t = 0$ s y un tiempo posterior t, el intervalo de tiempo es $\Delta t = t - 0$ s. Así, el desplazamiento en dicho intervalo igual a:

$$\Delta x = v \cdot t \qquad \text{ECUACIÓN 2.5}$$

Por lo tanto, la posición de un cuerpo en un instante cualquiera se expresa como:

$$x = v \cdot t + x_0 \qquad \text{ECUACIÓN 2.6}$$

Donde x_0 es la posición inicial del objeto. A la ecuación 2.6 se le denomina *ecuación de la posición del movimiento rectilíneo uniforme.*

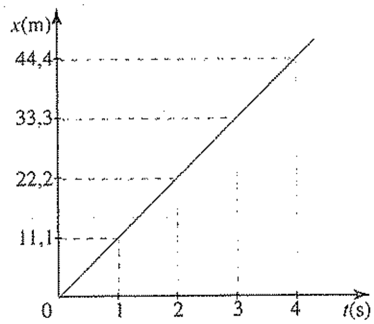


Figura 4

1.2.2 Análisis gráfico del movimiento rectilíneo uniforme

A partir del análisis gráfico es posible interpretar el movimiento rectilíneo de los objetos. A continuación presentamos el análisis de las gráficas posición-tiempo *(x-t)* y velocidad-tiempo *(v-t).*

- **Gráficas posición-tiempo** *(x-t)*

La gráfica posición-tiempo *(x-t)* de la figura 4 corresponde a un movimiento rectilíneo uniforme, puesto que

— en $t = 0$ s, el cuerpo se encuentra en $x = 0$ m

— en $t = 1$ s, el cuerpo se encuentra en $x = 11{,}1$ m,

— en $t = 2$ s, el cuerpo se encuentra en $x = 22{,}2$ m, así sucesivamente.

La variación del movimiento es directamente proporcional.

Se observa que en cada segundo el objeto se desplaza 11,1 m, lo cual indica que su velocidad es igual a 11,1 m/s.

Para comprobar que la constante de proporcionalidad de la grafica *x-t* coincide con la velocidad del móvil, calculamos la pendiente de la recta eligiendo dos puntos arbitrarios, por ejemplo

P_1 (1,0 s; 11,1 m) y P_2 (3,0 s; 33,3 m), por lo tanto tenemos que:

$$\textit{Pendiente} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$\textit{Pendiente} = \frac{33{,}3\ \text{m} - 11{,}1\ \text{m}}{3{,}0\ \text{s} - 1{,}0\ \text{s}} = 11{,}1\ \text{m/s}$$

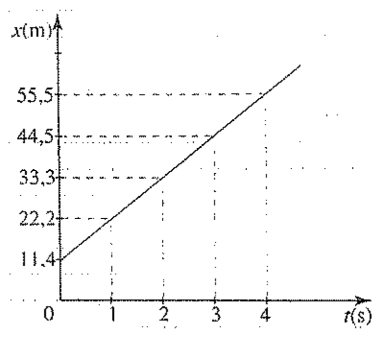


Figura 5

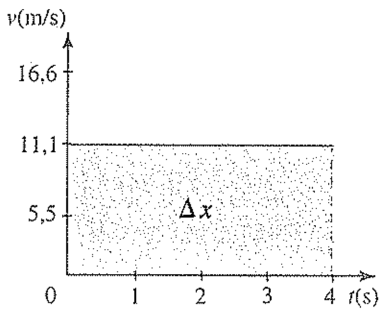
Supongamos que en $t = 0$ el objeto se encuentra en $x_0 = 11{,}1$ m moviéndose con velocidad constante igual a 11,1 m/s, la gráfica *x-t*, en este caso, es un segmento de recta, que no pasa por el origen del plano cartesiano (figura 5).

Al calcular la pendiente de la recta, se obtiene de nuevo el valor 11,1 m/s, pues el movimiento ocurre con velocidad constante. La ecuación de posición para este caso es:

$$x = 11{,}1 \text{ m/s} \cdot t + 11{,}1$$

- **Gráficas velocidad - tiempo** *(v-t).*

Cuando un objeto tiene movimiento uniforme, su velocidad es constante, por lo cual la gráfica $v-t$ es un segmento de recta horizontal como se muestra en la siguiente grafica



A partir de la gráfica y de la ecuación 2.5 podemos determinar el desplazamiento (Δx) del objeto que se mueve con velocidad de 11,1 m/s durante 4 s. Así,

$$\Delta x = v \cdot t = 11{,}1 \text{ m/s} \cdot 4{,}0 \text{ s} = 44{,}4 \text{ m}$$

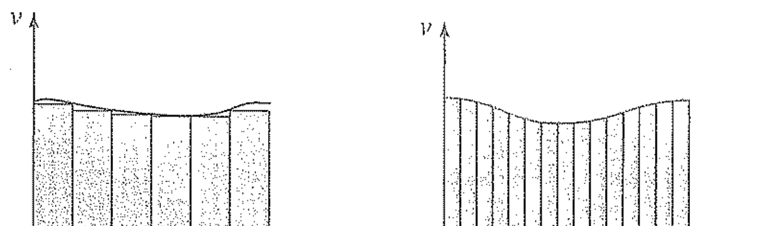
Un aspecto interesante de observar es que el área del rectángulo determinado por el eje horizontal entre 0 s y 4,0 s, y el segmento que representa la velocidad de 11,1 m/s es 44,4 m. Dicha área es igual a *vt*, es decir, al desplazamiento.

DEFINICIÓN 2.12

En una gráfica v-t, el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal corresponde al desplazamiento del móvil.

La aceleración en un movimiento rectilíneo uniforme es igual a cero, puesto que la velocidad no experimenta variación.

Si suponemos que el movimiento se realiza por tramos con velocidad constante entonces, en la gráfica *v-t*, se pueden trazar rectángulos de base muy pequeña; la suma de las áreas de estos rectángulos se aproxima al desplazamiento del móvil. A continuación, mostramos gráficamente este hecho:



Cuanto más pequeña sea la base de los rectángulos, mayor será la aproximación de la suma de sus áreas al valor del desplazamiento del móvil.

1.3 El movimiento rectilíneo uniformemente variado

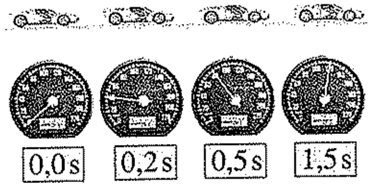


Figura 6

Cuando los carros toman la partida en una competencia de piques experimentan aceleración constante. En la figura 6 se muestra, en diferentes instantes de tiempo, el registro del velocímetro de uno de esos carros. Se puede observar que la rapidez tiene cambios iguales en iguales intervalos de tiempo, por lo tanto, al calcular la aceleración del automóvil en cada uno de los tres intervalos de tiempo, se obtiene el mismo valor. Este hecho sugiere que la aceleración es constante.

Definición 2.13

Un cuerpo describe un movimiento rectilíneo uniformemente variado cuando su trayectoria es una recta y, a la vez, su aceleración es constante y no nula.

Cuando un cuerpo describe un movimiento rectilíneo uniformemente variado, puede suceder que:

- Su rapidez aumente, si la aceleración y la velocidad tienen el mismo signo.
- Su rapidez disminuya, si la aceleración y la velocidad tienen signos contrarios.

1.3.1 La velocidad en un movimiento uniformemente variado

Como el movimiento que presenta el carro se realiza con una aceleración lineal instantánea y constante (a), el cociente entre cualquier cambio de velocidad y el tiempo empleado en producirse será siempre el mismo e igual a a. Esto quiere decir que, si la velocidad del móvil cuando el cronómetro indica $t = 0$ s es v_0 y al cabo de determinado tiempo t, la velocidad es v, se tiene que:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - 0}$$

Por lo tanto,

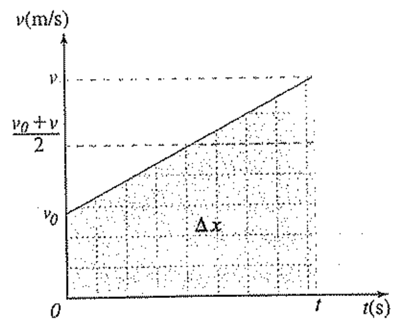
$$a = \frac{v - v_0}{t} \qquad \text{Ecuación 2.7}$$

A partir de la ecuación 2.7 se puede deducir la dependencia de la velocidad con respecto al tiempo cuando la aceleración es constante y el móvil se mueve inicialmente con velocidad v_0, es decir:

$$v = v_0 + at \qquad \text{Ecuación 2.8}$$

1.3.2 El desplazamiento en un movimiento uniformemente variado

Si el automóvil se mueve con determinada velocidad v_0 en $t = 0$ s, y acelera uniformemente hasta alcanzar una velocidad v en un tiempo t, en cada unidad de tiempo, la velocidad aumenta en la misma proporción.



Como el desplazamiento Δx se representa por el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal, entonces se puede ver que este desplazamiento es el mismo que si el móvil se hubiera movido durante el intervalo de tiempo con velocidad igual al promedio entre v_0 y v.

Es decir, podemos considerar que un movimiento rectilíneo uniformemente variado, en el cual la velocidad inicial es v_0 y la velocidad final v, sucede como si describiera un movimiento uniforme con velocidad igual al promedio de dichas velocidades.

$$\textit{Velocidad promedio} = \frac{v_0 + v}{2}$$

Puesto que en un movimiento uniforme el desplazamiento es $\Delta x = vt$, podemos escribir:

$$\Delta x = \frac{v_0 + vt}{2}, \qquad \text{donde } v = v_0 + at$$

Por lo tanto,

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

Luego,

$$\Delta x = v_0 t + \frac{at^2}{2} \qquad \text{ECUACIÓN 2.9}$$

Como $\Delta x = x - x_0$ se tiene,

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

Es decir,

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \qquad \text{ECUACIÓN 2.10}$$

La ecuación 2.10 muestra la dependencia del desplazamiento con respecto al tiempo cuando la aceleración es constante y el móvil se mueve inicialmente con velocidad v_0. Esta expresión se conoce como *ecuación para la posición en un movimiento uniformemente variado.*

A partir de la *ecuación* 2.8 y el desplazamiento de un movimiento uniforme $\Delta x = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t$, se puede obtener una expresión para calcular la velocidad final en un movimiento acelerado. Así:

$$v = v_0 + at, \qquad \text{ECUACIÓN 2.8}$$

Despejamos el valor de t, en la ecuación 2.8:

$$t = \frac{v - v_0}{a}$$

y remplazamos en la expresión para el desplazamiento:

$$\Delta x = \left(\frac{v_0 + v}{2}\right)\left(\frac{v - v_0}{a}\right) = \frac{(v_0 + v)\,(v - v_0)}{2a}$$

Ahora, resolvemos la multiplicación que aparece en el numerador:

$$(v_0 + v)\,(v - v_0) = (v_0 \cdot v) - (v_0^2) + (v^2) - (v \cdot v_0) \quad = -v_0^2 + v^2 = v^2 - v_0^2$$

Por lo que: $\quad \Delta x = \dfrac{v^2 - v_0^2}{2a}$

Despejamos la velocidad final v: $\quad v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \qquad$ ECUACIÓN 2.11

1.3.3 Análisis gráfico del movimiento uniformemente variado.

En este apartado vamos a analizar las gráficas posición-tiempo *(x-t)*, velocidad-tiempo *(v-t)* y aceleración-tiempo *(a-t)* para el movimiento uniformemente variado.

- **Gráfica de velocidad-tiempo *(v-t)***

En la figura 7 se aprecia la gráfica *v-t* del movimiento de un cuerpo que experimenta aceleración constante. Es decir, que en cada unidad de tiempo su velocidad cambia en la misma cantidad. La pendiente de la recta está dada por la expresión:

$$Pendiente = \frac{v - v_0}{t - 0} = \frac{v - v_0}{t}$$

y coincide con la aceleración expresada en la ecuación 2.7.

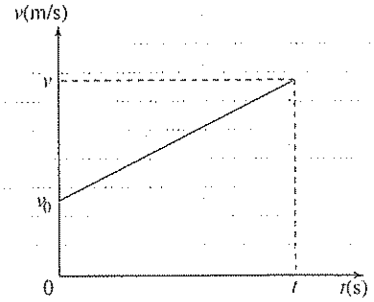
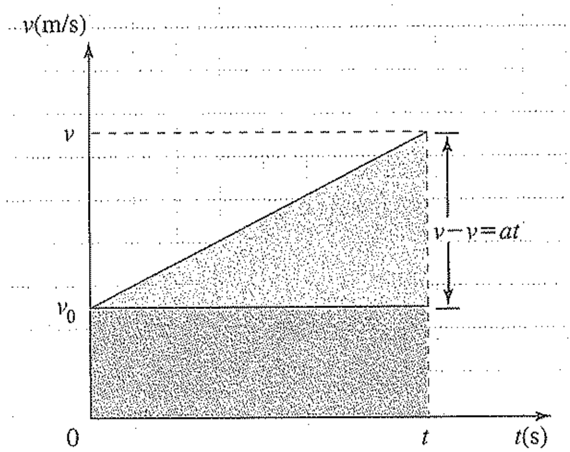


Figura 7

Definición 2.14

En una gráfica de velocidad-tiempo para un movimiento rectilíneo uniformemente variado la pendiente de la recta tiene el valor de la aceleración.

La ecuación para el desplazamiento Δx (ecuación 2.8) también se puede deducir a partir del cálculo del área que queda por debajo de la gráfica velocidad-tiempo. En la siguiente gráfica se observa que el área sombreada es igual al área del triángulo de base t y altura $v - v_0$ más el área del rectángulo de base t y altura v_0.



$$\Delta x = \text{Área rectángulo} + \text{Área triángulo}$$

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}(v - v_0)\,t, \qquad \textit{siendo } v - v_0 = at$$

de donde,

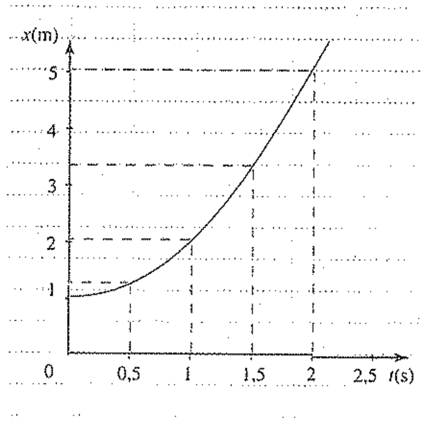
$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}\,at \cdot t$$

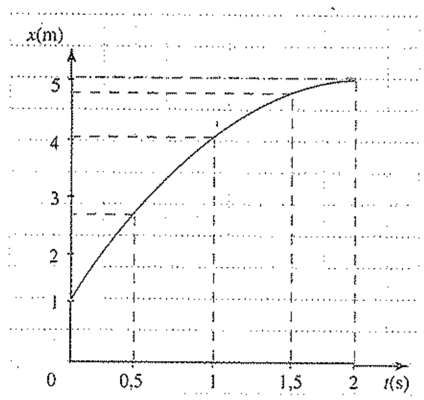
Luego

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

- **Gráfica del desplazamiento-tiempo** *(x-t)*

Como la relación entre el desplazamiento y el tiempo tiene un término cuyo factor es t^2 entonces la gráfica x-t para el movimiento uniformemente variado es una parábola.
A continuación, se muestran las gráficas x-t para un movimiento uniformemente variado con aceleración positiva (izquierda) y con aceleración negativa (derecha).





Se observa que si la aceleración es positiva, los cambios de posición son cada vez mayores en los mismos intervalos de tiempo; mientras que si la aceleración es negativa, los cambios de posición son cada vez menores.

En el movimiento rectilíneo uniforme la gráfica x-t es una recta, cuya pendiente representa la velocidad del objeto; sin embargo, cuando la velocidad no es constante, la representación x-t no es una recta y entonces debemos establecer un método para determinar la pendiente de la curva en cada punto.

Para ello trazamos la recta tangente a la curva en cada punto y la pendiente de esta recta representa la velocidad del objeto en cada instante de tiempo (figura 8).

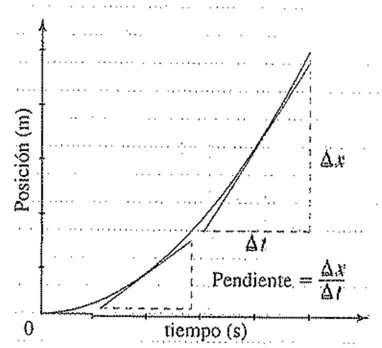


Figura 8

- **Gráfica de aceleración-tiempo** *(a-t)*

De la misma manera como representamos gráficamente en el plano cartesiano la velocidad y la posición en función del tiempo, podemos representar la aceleración en una gráfica a-t, para lo cual escribimos en el eje vertical la aceleración y en el horizontal el tiempo.

Puesto que el movimiento uniformemente variado se produce con aceleración constante, la gráfica que representa este movimiento es un segmento de recta horizontal, como el que se observa en la figura 9.

A partir de la ecuación $v = v_0 + at$, equivalente a $v - v_0 = at$, se obtiene la variación de la velocidad $\Delta v = at$, que corresponde al área del rectángulo que se forma entre la recta y el eje horizontal en la gráfica de a-t (figura 9).

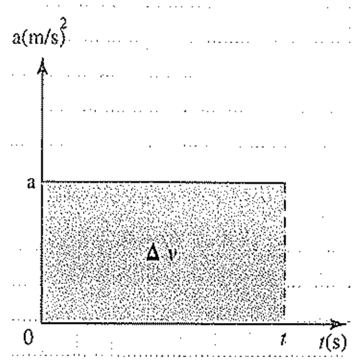


Figura 9

DEFINICIÓN 2.15

El área comprendida entre la gráfica de a-t y el eje horizontal corresponde al cambio de velocidad de un objeto.

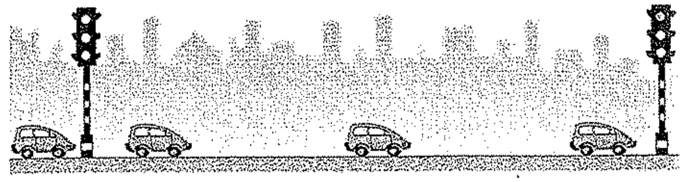
© SANTILLANA

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

2.3 Un automóvil, que se ha detenido en un semáforo, se pone en movimiento y aumenta uniformemente su rapidez hasta los 20 m/s al cabo de 10 s. A partir de ese instante, la rapidez se mantiene constante durante 15 s, después de los cuales el conductor observa otro semáforo que se pone en rojo, por lo que disminuye uniformemente la velocidad hasta detenerse a los 5 s de haber comenzado a frenar.

a. Determinar la aceleración del auto y el desplazamiento entre los dos semáforos, en cada intervalo de tiempo.
b. Realizar las gráficas *x-t, v-t y a-t.*



SOLUCIÓN:

a. Intervalo 1: *Se calcula la aceleración mediante la ecuación 2.5.*

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$ *Ecuación 2.5*

$$a = \frac{20\ m/s - 0}{10\ s} = 2\ m/s^2$$ *Al remplazar y calcular*

La aceleración es de 2 m/s².
Se calcula el desplazamiento a partir de la ecuación 2.8

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}\,at^2$$ *Ecuación 2.8*

$$\Delta x = \frac{1}{2} \cdot 2\ m/s^2 \cdot (10\ s)^2 = 100\ m$$ *Al reemplazar y calcular*

El desplazamiento en el primer intervalo es 100 m.

Intervalo 2: *La velocidad se mantiene constante y por lo tanto la aceleración es nula.*
Se termina el desplazamiento mediante la ecuación 2.4

$$\Delta x = v \cdot t$$ *Ecuación 2.4*

$$\Delta x = 20\ m/s \cdot 15\ s = 300\ m$$ *Al remplazar y calcular*

El desplazamiento en el segundo intervalo es 300 m.

Intervalo 3: *Se calcula la aceleración mediante la ecuación 2.5.*

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$ *Ecuación 2.5*

$$a = \frac{0 - 20\ m/s}{5s} = -4\ m/s^2$$ *Al remplazar y calcular*

La aceleración es $-4\ m/s^2$, lo cual indica que la velocidad y la aceleración tienen signos contrarios y se interpreta como una disminución de la velocidad.
Se calcula el desplazamiento mediante la ecuación 2.8

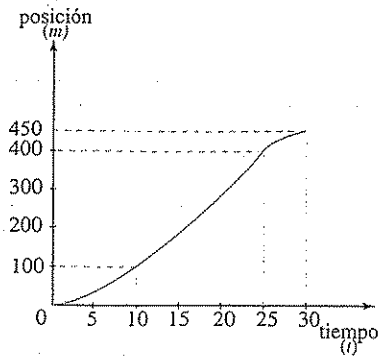
$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}\,at^2$$ *Ecuación 2.8*

$$\Delta x = (20\ m/s)(5\ s) - \frac{1}{2}(4\ m/s^2)\,(5\ s)^2 = 50\ m$$ *Al reemplazar y calcular*

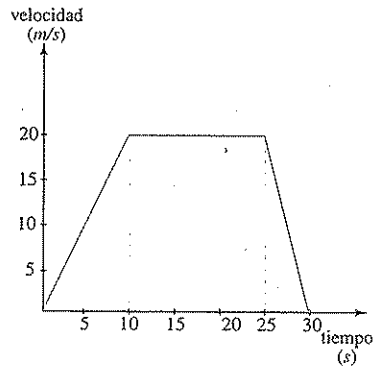
El desplazamiento en el tercer intervalo es 50 m.
En consecuencia, el desplazamiento total es: 100 m + 300 m + 50 m = 450 m.

b. Las gráficas se muestran a continuación.

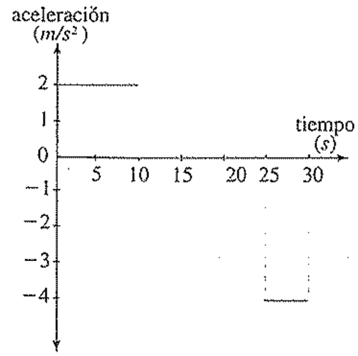
Gráfica x-t



Gráfica v-t



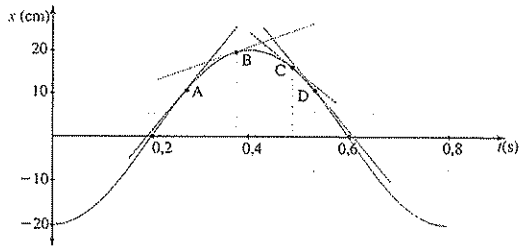
Gráfica a-t



2.4 En la figura se muestra la gráfica *x-t* para el movimiento de un objeto atado a un resorte que oscila entre los valores −20 cm y 20 cm. Analizar los cambios de posición y velocidad.

SOLUCIÓN:

Inicialmente el resorte no está ni estirado ni comprimido. Esta posición se conoce con el nombre de posición de equilibrio. Una vez el objeto x, sujeto al resorte, se aleja 20 cm hacia abajo de la posición de equilibrio, se suelta y se mueve de tal manera que:



- *a los 0,2 segundos pasa por la posición de equilibrio,*
- *a los 0,4 s está a 20 cm por encima de la posición de equilibrio,*
- *a los 0,6 segundos regresa a la posición de equilibrio,*
- *a los 0,8 s vuelve al punto de partida.*

Analicemos la velocidad del objeto. En los instantes 0,4 s y 0,8 s, el objeto cambia la dirección del movimiento; esto implica que, en dichos instantes, tiene velocidad igual a cero.

Para determinar la velocidad para algunos valores del tiempo, trazamos rectas tangentes a la curva x-t y determinamos su pendiente, pues el valor de la pendiente es la medida de la velocidad instantánea.

Podemos observar que la velocidad varía. Por ejemplo, en el instante de tiempo correspondiente al punto A, la velocidad es mayor que en el instante correspondiente al punto B. Esto quiere decir que entre 0,2 s y 0,4 s la velocidad disminuye hasta tomar el valor de 0 en $t = 0{,}4$ s.

Al analizar el movimiento entre los tiempos 0,4 s y 0,6 s encontramos que aunque la velocidad es negativa, la posición cambia más rápidamente en el instante de tiempo correspondiente al punto D que en el instante de tiempo correspondiente al punto C. Esto quiere decir que entre 0,45 y 0,65 la velocidad aumenta.

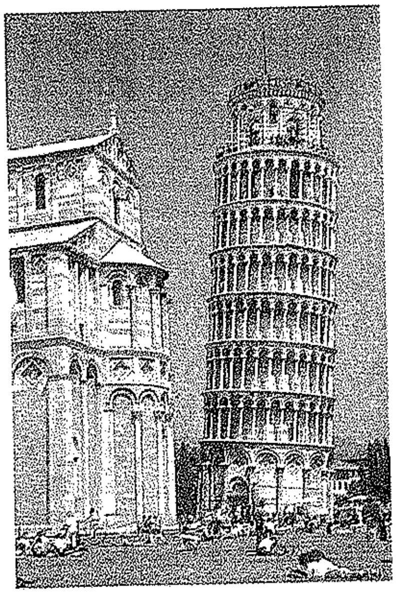
Del análisis en los tiempos comprendidos entre 0,6 s y 0,8 s, concluimos que la posición cambia cada vez más lentamente, hasta tener velocidad igual a cero en el instante $t = 0{,}8$ s. En los instantes de tiempo $t = 0{,}2$ s y $t = 0{,}6$ s el objeto se mueve más rápido puesto que alrededor de dichos instantes su cambio de posición se produce con mayor rapidez.

Tema 2. Caída libre

2.1. Cómo caen los cuerpos

En el siglo IV a.C., Aristóteles estableció que la rapidez con la que un cuerpo caía, dependía del peso del mismo ya que, según el filósofo, los cuerpos pesados caían con más velocidad que los cuerpos livianos, idea que fue aceptada durante casi 200 años como una verdad absoluta.

Galileo Galilei (1564-1642) encontraba grandes contradicciones con sus observaciones y, en 1589, realizó una serie de experiencias para refutar la teoría aristotélica de la caída de los cuerpos. Al no disponer de instrumentos precisos que pudieran medir pequeños intervalos de tiempo, realizó sus estudios utilizando planos inclinados de pequeña pendiente, por los cuales hacia rodar esferas de distinto peso. Para medir el tiempo de desplazamiento, contaba el número de gotas de agua que caían de un barril.



El revolucionario investigador comprobó que cuando las esferas eran lo suficientemente pesadas, todas tardaban exactamente el mismo tiempo en recorrer el plano, y que la velocidad de las mismas aumentaba de manera uniforme con el tiempo de caída. De esta forma afirmó: "Está claro que si una bola ligera tarda más tiempo en recorrer el plano que otra más pesada es debido a la resistencia que presenta el aire a su avance. Por eso, cuando las bolas rebasan un cierto peso, la resistencia del aire es despreciable para ellas, y todas caen con idéntica rapidez". Según cuenta la leyenda, Galileo llevó a sus alumnos de la Universidad de Pisa a la torre inclinada de esta ciudad y dejó caer desde el último piso dos objetos de pesos diferentes, demostrando ante los estudiantes que la teoría de Aristóteles estaba equivocada.

La última obra de Galileo, Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos ciencias nuevas, donde revisa y afina sus primeros estudios sobre el movimiento, abrió el camino que llevó a Newton a formular sus principios de la dinámica.

2.2 La caída de los cuerpos

Un caso particular del movimiento uniformemente variado es el de un objeto al que se le permite caer libremente cerca de la superficie terrestre. Un cuerpo que se deja caer en el vacío, se desplaza verticalmente con una aceleración constante, lo que hace que su velocidad aumente uniformemente en el transcurso de la caída.

La Tierra ejerce una fuerza de atracción, dirigida hacia su centro, a todo cuerpo que se encuentra cerca de la superficie terrestre, imprimiéndole cierta aceleración, denominada aceleración debida a la gravedad y denotada con la letra g. Se ha determinado experimentalmente que un cuerpo en caída libre, aumenta su velocidad en unos 9,8 metros por segundo cada segundo, es decir que la aceleración producida por la Tierra es constante y tiene un valor aproximado de 9,8 m/s^2.

Un cuerpo en caída libre se mueve bajo la influencia de la gravedad, sin importar su movimiento inicial. Todos aquellos objetos que se lanzan hacia arriba o hacia abajo y los que se dejan caer desde el reposo, caen libremente una vez se dejan en libertad y experimentan una aceleración dirigida hacia abajo.

© SANTILLANA

Un cuerpo que es lanzado verticalmente hacia arriba o hacia abajo experimenta una aceleracion una vez liberado.Un cuerpo en caída libre experimenta una aceleración hacia abajo igual a la aceleración debida a la gravedad.

2.3 Las ecuaciones del movimiento de caída libre

Al despreciar la resistencia del aire y suponiendo que la aceleración gravitacional no varía con la altitud, entonces el movimiento de un cuerpo en caída libre se presenta bajo una aceleración constante. Por lo tanto, las ecuaciones que describen el movimiento de los cuerpos que se mueven en el vacío en dirección vertical son las que corresponden a cualquier movimiento uniformemente variado, con un valor de aceleración, hacia abajo, igual a 9,8 m/s^2. El signo de la aceleración depende del sistema de referencia que se elija. De esta manera, las ecuaciones que rigen el movimiento de caída libre de los objetos son:

$$v = v_0 - gt \qquad \text{ECUACIÓN 2.12}$$

$$y = v_0 t \frac{1}{2} gt^2 + y_0 \qquad \text{ECUACIÓN 2.13}$$

La letra y indica la posición con respecto al punto desde el cual se considera el movimiento, debido a que cotidianamente esta letra representa el eje vertical en un sistema coordenado, que corresponde a la dirección de caída de los cuerpos.

Para el manejo de estas ecuaciones, si la parte positiva del eje y se considera hacia arriba, la aceleración g es igual a $-9{,}8$ m/s^2, mientras que si consideramos la parte positiva del eje y hacia abajo la aceleración de la gravedad g es igual a 9,8 m/s^2.

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

2.5 Un objeto se deja caer desde una altura de 12 m. Determinar:

a. Las ecuaciones de movimiento.
b. El tiempo que tarda en caer el objeto.
c. La velocidad antes de tocar el suelo.

SOLUCIÓN:

a. *Para determinar las ecuaciones de movimiento tenemos:*

$v = v_0 - gt$ — *Ecuación 2.12*

$v = (-9{,}8\ m/s^2)\ t^2$ — *Al remplazar el valor de g, $v_0 = 0$ ya que el objeto parte del reposo*

$y = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$ — *Ecuación 2.13*

$y = -\frac{1}{2}(9{,}8\ m/s^2)t^2 = (-4{,}9\ m/s^2)t^2 + 5\ m$ — *Al remplazar el valor de g, $v_0 = 0$ ya que el objeto parte del reposo*

b. *El tiempo que tarda en caer se calcula mediante la ecuación 2.13:*

$y = v_0 t - gt^2 + y_0$ — *Ecuación 2.13*

Como $y_0 = -5$ m, puesto que esta es la altura con respecto al punto desde el cual se suelta, $y = 0$, ya que es el piso. Al remplazar tenemos:

$-5\ m = -\frac{1}{2}(9{,}8\ m/s^2)t^2$ — *Al remplazar $v_0 = 0$ ya que el objeto parte del reposo*

$t = 1{,}0\ s$ — *Al despejar t y calcular*

El tiempo que tarda en caer es 1,0 s.

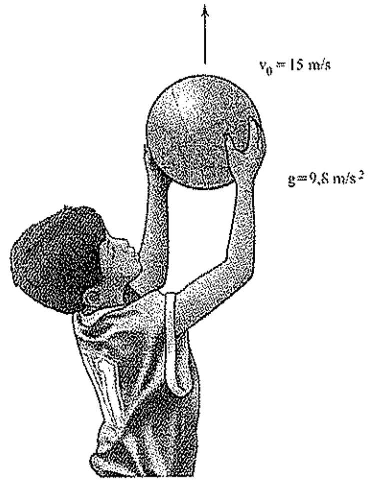
c. La velocidad inmediatamente antes de caer se calcula mediante la ecuación 2.12:

$v = v_0 - gt$	*Ecuación 2.12*
$v = -9{,}8\ m/s^2 \cdot (1{,}0\ s)$	*Al reemplazar, $v_0 = 0$ ya que el objeto parte del reposo*
$v = -9{,}8\ m/s$	*Al calcular*

La velocidad inmediatamente antes de caer es 9,8 m/s hacia abajo, pues es negativa.

2.6 Una persona arroja una pelota hacia arriba, con una velocidad inicial de 15 m/s. Determinar:

a. Las ecuaciones de movimiento.
b. El tiempo en el cual el objeto alcanza el punto más alto de la trayectoria.
c. La altura máxima.
d. Las gráficas *x-t, v-t, a-t*



SOLUCIÓN:

a. Las ecuaciones de movimiento son:

$v = v_0 - gt$	*Ecuación 2.12*
$v = (15\ m/s) - (9{,}8\ m/s^2)t$	*Al remplazar*
$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$	*Ecuación 2.13*
$y = 15\ m/s \cdot t - \frac{1}{2}(9{,}8\ m/s^2)t^2$	*Al remplazar*

b. Cuando el cuerpo alcanza la altura máxima la velocidad es igual a cero, entonces:

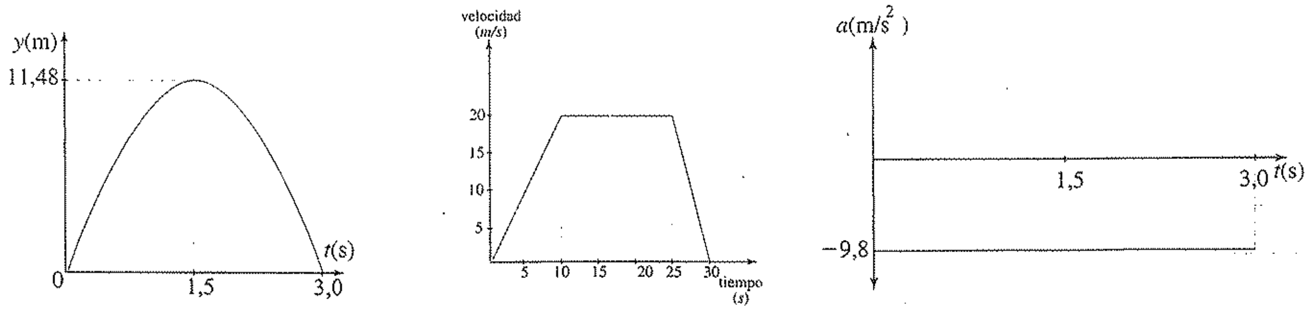
$v = v_0 - gt$	*Ecuación 2.12*
$v = 15\ m/s - (9{,}8\ m/s^2)t$	*como $v = 0$, tenemos*
$0 = 15\ m/s - (9{,}8\ m/s^2)t$	*de donde,*
$t = 1{,}5\ s$	*Al despejar t y calcular*

c. Al reemplazar el valor del tiempo en la ecuación 2.13 tenemos:

$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$	*Ecuación 2.12*
$y = 15\ m/s \cdot 1{,}5\ s - \frac{1}{2}\ 9{,}8\ m/s^2\ (1{,}5\ s)^2$	*Al remplazar*
$y = 11{,}48\ m$	*Al calcular*

La altura máxima que alcanza la pelota es de 11,48 m.

d.



Resumen de la unidad

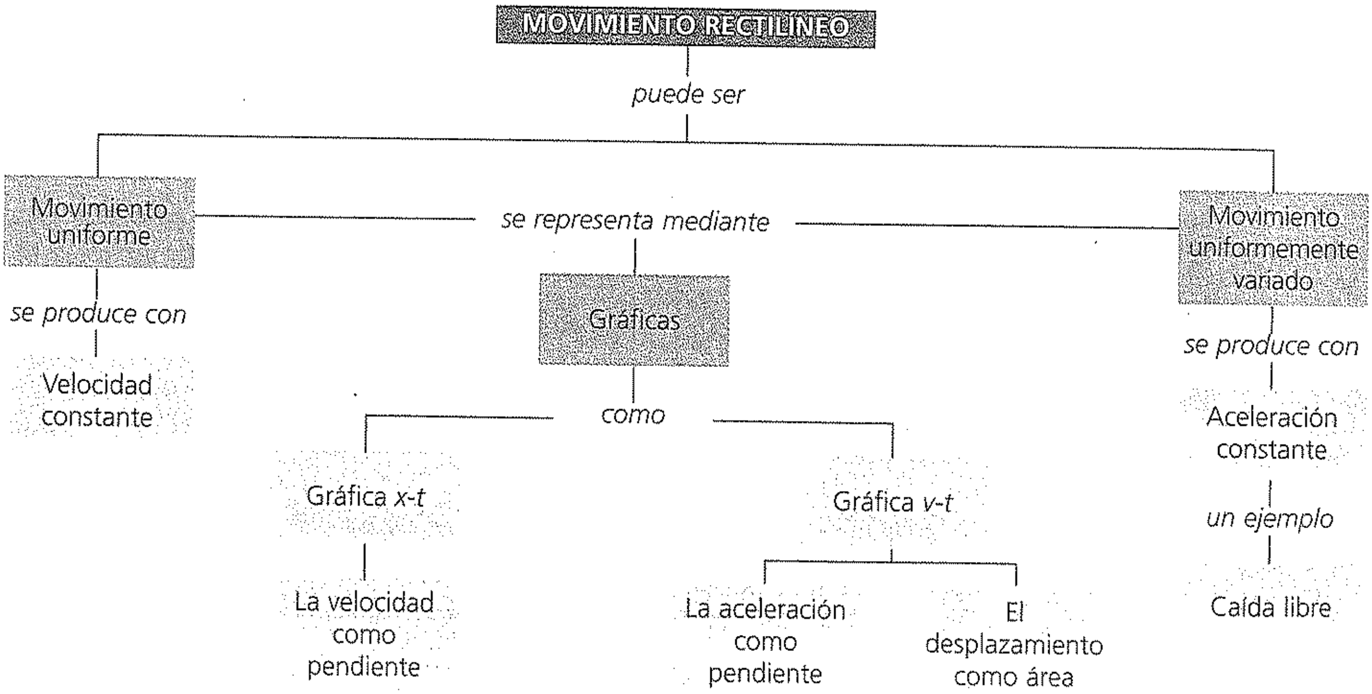
SUMARIO DE CONCEPTOS

DESPLAZAMIENTO: segmento dirigido que une dos posiciones diferentes de la trayectoria de un objeto en movimiento.

MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME: movimiento descrito por un móvil cuando su trayectoria es recta y su velocidad es constante.

MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO: movimiento que describe un móvil cuando su trayectoria es recta y su aceleración es constante y no nula.

MAPA DE CONCEPTOS



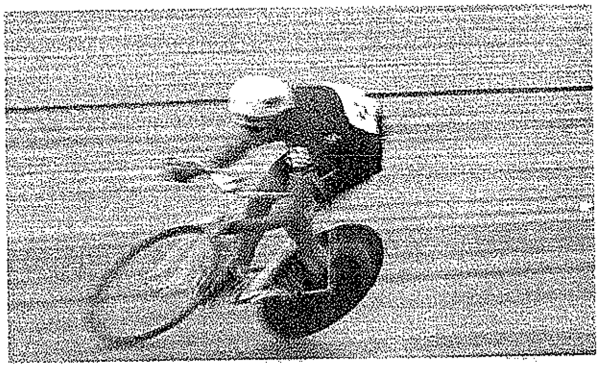
© SANTILLANA

Tema 1. El movimiento rectilíneo

SENTIDO COMÚN, RAZONA Y EXPLICA

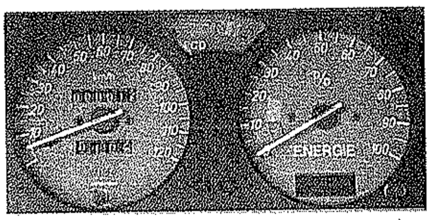
1. Cuando lanzamos una piedra, esta adquiere cierto movimiento. ¿Podemos considerarla como un cuerpo puntual? Justifica tu respuesta.

2. En una competencia de ciclismo de pista, ¿se puede identificar la forma de la trayectoria que realizan los competidores? ¿Por qué?



3. ¿A qué se debe que el movimiento o el reposo de un cuerpo dependa del sistema de referencia?

4. ¿El velocímetro de un automóvil mide la rapidez o la velocidad?



5. ¿Es posible calcular la velocidad media y la rapidez media de la trayectoria que realizas de la casa al colegio? Explica el procedimiento.

6. ¿Cómo es que un objeto puede acelerarse cuando viaja con rapidez constante, pero no cuando lo hace con velocidad constante?

7. ¿En cuál de las siguientes situaciones se tiene una mayor aceleración, en el mismo tiempo?

   a. Cuando un auto que se desplaza en línea recta, aumenta su rapidez de 50 km/h a 60 km/h.

   b. Cuando una bicicleta que se desplaza en línea recta, pasa de cero a 10 km/h.

   Justifica tu respuesta.

8. ¿Es posible que un automóvil disminuya la aceleración y, mientras tanto, aumente la velocidad? ¿Por qué?

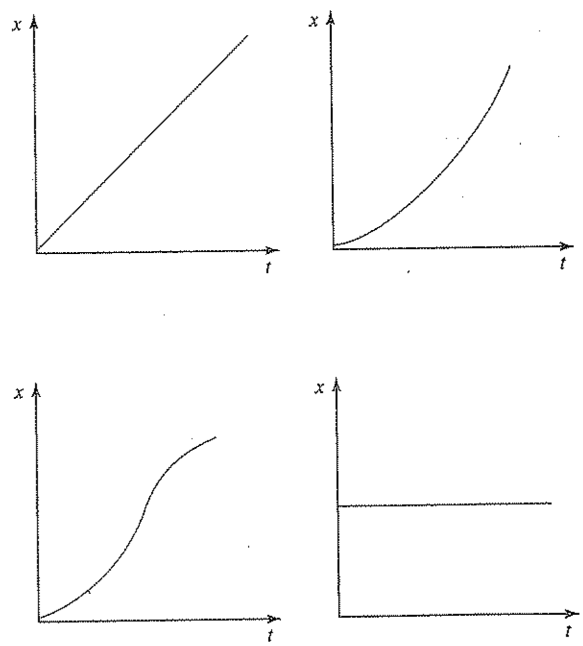
9. ¿Puede un objeto tener velocidad variable si su rapidez es constante? Justifica tu respuesta.

10. Si un automóvil se somete a una aceleración constante durante 3 segundos, en qué caso el automóvil recorre mayor distancia, ¿durante el primer segundo o durante el tercer segundo?

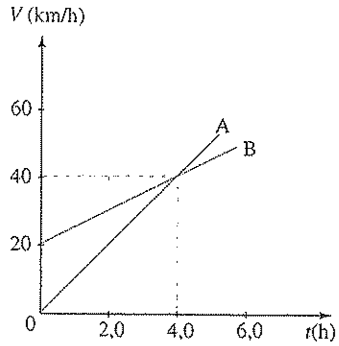
11. ¿Un objeto puede tener simultáneamente una velocidad con dirección hacia el norte y una aceleración en dirección contraria? Justifica tu respuesta.

12. ¿Es posible que un objeto tenga aceleración en el instante en que su velocidad sea nula? Justifica tu respuesta dando un ejemplo.

13. Un niño observa durante 10 segundos a un picaflor que está suspendido en el aire alimentándose de una flor en la copa de un pequeño árbol, sin cambiar su posición. ¿Cuál de las siguientes gráficas representa el movimiento del picaflor?



14. La siguiente gráfica representa el movimiento de dos autimóviles, A y B, a lo largo de la misma carretera recta. En $t = 0$ s los dos se encuentran en la misma posición. ¿Es correcto afirmar que al cabo de 4 horas ambos han recorrido la misma distancia?



PROBLEMAS

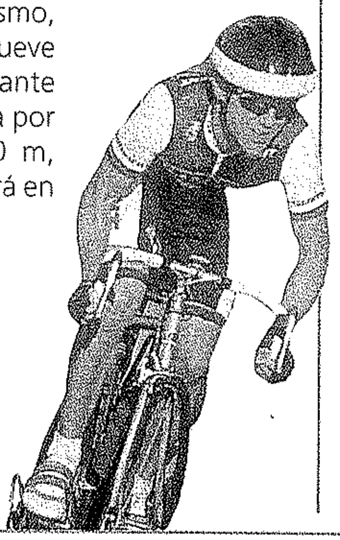
15. Un automóvil se desplaza durante 35 minutos con una velocidad media de 85 km/h. ¿Qué distancia recorre?

16. Un automóvil recorre 36 km durante una hora y media. ¿Con qué rapidez constante se mueve?

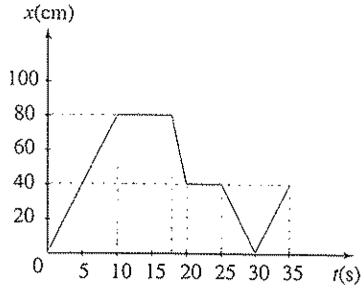
17. La velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s. Determina el tiempo que tarda en escucharse el sonido de una sirena que se encuentra situada a 10 km.

18. Calcular el tiempo que tarda un automóvil en recorrer 3 km, si viaja a una velocidad de 60 km/h. Expresar el tiempo en segundos.

19. En los mundiales de ciclismo, un ciclista de ruta se mueve con una rapidez constante de 40 m/s. Si la distancia por recorrer es de 265.200 m, ¿cuánto tiempo empleará en llegar a la meta?

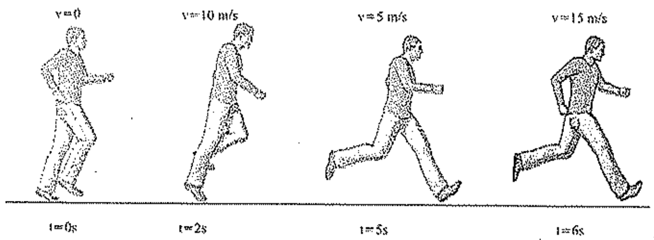


20. La gráfica de x-t corresponde al movimiento de un cuerpo que se mueve en línea recta.



a. ¿En qué intervalo (s) la rapidez es cero?
b. ¿En qué intervalos se presenta la mayor rapidez?
c. ¿En qué intervalo disminuye la rapidez?
d. ¿Cuál es el espacio total recorrido?
e. ¿Cuál es la rapidez media total?

21. En la siguiente gráfica se observa el movimiento descrito por una persona.



Determina:
a. La gráfica de velocidad-tiempo.
b. ¿En qué intervalo el móvil tiene la mayor aceleración?
c. ¿En qué intervalo el móvil tiene la menor aceleración?
d. ¿En qué momento la aceleración es nula?

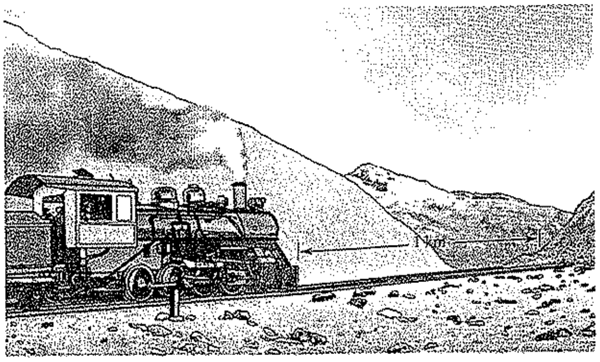
22. Un motociclista se dirige de la ciudad A a la ciudad B, por una carretera plana y recta. Los valores de la velocidad en varios instantes de su recorrido se muestran en la siguiente tabla.

t (s)	2	4	6	8	10
v (m/s)	4	8	12	16	20

a. ¿Cuál es la variación de la velocidad en cada intervalo?
b. ¿Cuál es la aceleración del motociclista?
c. ¿Se puede considerar que este es un movimiento uniformemente acelerado? ¿Por qué?

© SANTILLANA

23. Un tren viaja a una velocidad de 85 km/h. El maquinista divisa a una distancia de 1 km un derrumbe sobre la vía, por lo cual debe disminuir su velocidad a cero km/h en 20 s. Calcula qué aceleración lleva el tren para detenerse.



PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

24. Un móvil parte desde un punto *A* a las 00:00 horas con una velocidad de 50 km/h. 4 horas más tarde parte del mismo punto otro móvil con una velocidad de 150 km/h. Calcula a qué hora y a qué distancia de *A* el segundo móvil alcanza al primero.

25. Un automóvil parte desde el reposo y acelera a razón de 3 m/s² durante 10 segundos, luego, avanza con velocidad constante durante 20 segundos y, finalmente, desacelera a razón de 5 m/s hasta detenerse. ¿Cuál es la distancia total recorrida por el automóvil?

26. Dos móviles parten de un mismo punto *A* en forma simultánea con velocidades de 6 m/s y 7 m/s, hacia un punto *B*. Uno llega 10 minutos antes que el otro. Halla la distancia entre *A* y *B*.

27. En una carrera de relevos de 4 × 400 m hombres, el equipo ganador empleó un tiempo de 3 minutos 40 segundos.

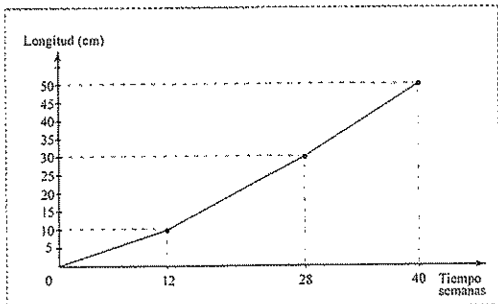
- El primer atleta tardó 1 minuto y 10 segundos,
- El segundo atleta tardó 1 minuto,
- El tercer y cuarto atletas tardaron 45 segundos, respectivamente.

a. ¿Cuál fue la rapidez media que alcanzaron en todo el recorrido?

b. ¿Cuál fue la velocidad que alcanzó cada atleta?

28. Dos automóviles A y B se encuentran separados entre sí 300 km y se mueven respectivamente con rapidez constante a 35 km/h y a 50 km/h, uno hacia el otro. ¿A qué distancia de donde estaba el automóvil B ocuparán la misma posición?

29. El período fetal en el ser humano comprende desde la semana 9 hasta la semana 40. En la gráfica se muestra la evolución de la longitud fetal en diferentes etapas del crecimiento y desarrollo intrauterino humano.

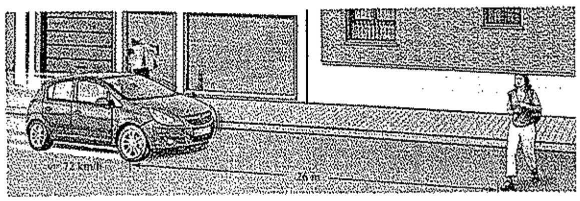


a. ¿En qué semanas se da el mayor crecimiento?

b. ¿Cuál es la rapidez de crecimiento entre la semana 0 y la semana 12? Dar la respuesta en m/s.

c. ¿Cuál es la rapidez de crecimiento del feto entre las semanas 28 a 40?

30. Un automóvil se desplaza con rapidez de 72 km/h. Cuando el conductor ve a una persona al frente, tarda 0,75 s en reaccionar, acciona los frenos y se detiene 4 s después. Si la persona se encontraba a 26 m del automóvil cuando el conductor la vio, ¿alcanzó a ser atropellada?



31. Dos autos *A* y *B* se encuentran separados entre sí una distancia igual a 500 km. Si parten a su encuentro, el auto *A* con una velocidad de 40 km/h y el *B* con velocidad de 60 km/h, a qué distancia de donde estaba el auto *B* se encuentran, si:

a. Parten al mismo tiempo.

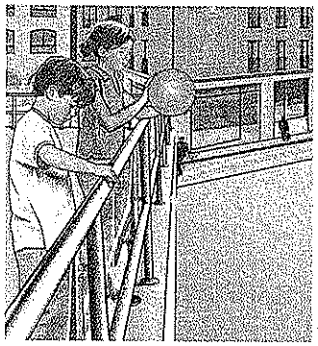
b. El auto *A* parte 10 minutos más tarde.

© SANTILLANA

Tema 2. Caída libre

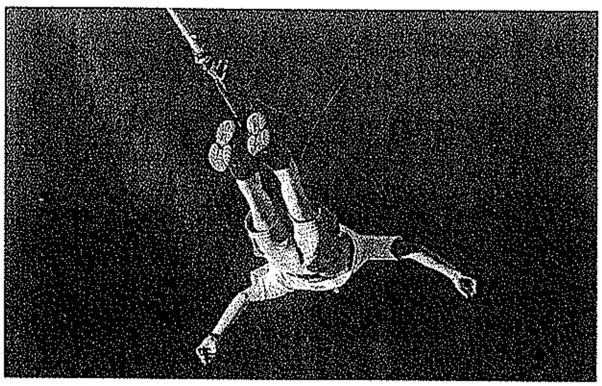
SENTIDO COMÚN, RAZONA Y EXPLICA

1. ¿El lanzamiento en paracaídas se podría considerar como un movimiento en caída libre? Justifica tu respuesta.
2. ¿En un lugar donde hay vacío los objetos caen o flotan? Justifica tu respuesta.
3. Si una persona pesada y una persona ligera se lanzan en paracaídas de igual tamaño y los abren al mismo tiempo e igual altura, ¿cuál de las dos personas llegará primero al suelo?
4. En una competencia de clavados ¿hasta qué momento se considera la caída libre del competidor: al llegar al fondo de la piscina o en el instante del ingreso al agua?
5. Dos niños dejan caer simultáneamente, desde un puente peatonal, dos objetos, tal como se muestra en la figura:

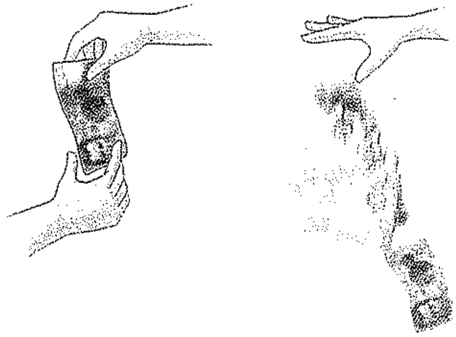


¿Cuál de los objetos llegará primero al suelo?

6. Un practicante de *bungee jumping* se lanza desde un puente sobre un río. ¿Cómo puedes describir la caída libre en este deporte?



7. Averigua el tiempo de reacción de tu mano para coger un billete, como se observa en la figura. Explica por qué es tan difícil coger el billete.



8. Una persona lanza una pelota verticalmente hacia arriba. ¿Regresará a su lugar original con la misma velocidad con la cual inició el recorrido? Justifica tu respuesta.
9. ¿Por qué si todos los cuerpos caen con la misma aceleración, al dejar caer una esfera metálica y un papel uno de ellos llega antes al suelo?
10. ¿Qué criterios se deben tener en cuenta para afirmar que una pluma y una moneda que se sueltan simultáneamente desde la misma altura caen al tiempo?

PROBLEMAS

11. Un niño subido en la montaña rusa deja caer su helado cuando está a una altura de 52 m.
    ¿Qué tiempo tardará el helado en llegar al suelo?
12. Se deja caer una piedra desde una altura de 50 m. ¿Cuánto tiempo tarda en llegar al suelo?
13. Si al dejar caer una piedra desde un edificio, tarda diez segundos en llegar al suelo, ¿desde qué altura se soltó?
14. Un objeto que se deja caer llega al suelo 5 s después de ser soltado.
    a. ¿Desde qué altura se dejó caer?
    b. ¿Cuál es la velocidad del objeto en el momento del impacto con el suelo?
15. Un objeto asciende hasta 45 m y vuelve a caer.
    a. ¿Con qué velocidad inicial fue lanzado?
    b. ¿Cuánto tiempo duró el ascenso?

ACTIVIDADES

16. Un lápiz rueda del borde de una mesa y tarda en caer 3 segundos, con una aceleración de 9.8 m/s^2. ¿Qué velocidad lleva al caer?

17. Se deja caer un objeto desde una altura de 15 m. Calcula:

a. La velocidad con la que llega al suelo.

b. El tiempo que tarda en llegar.

18. Desde un helicóptero se deja caer un objeto que tarda 15 segundos en llegar al suelo. Determina:

a. La velocidad con la que el objeto llega al suelo.

b. La altura a la cual se encuentra el helicóptero.

19. Se deja caer una piedra sobre un pozo con agua, y a los 2 segundos, se escucha el impacto de la piedra contra el agua. ¿Desde qué altura se dejó caer la piedra?

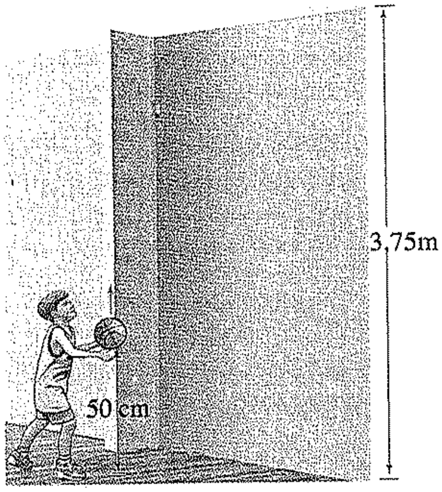
20. Se deja caer una pelota de caucho desde una altura de 30 m. Si al rebotar alcanza una rapidez igual al 20% de la rapidez con la que llegó al suelo, ¿qué altura alcanza en el rebote?

21. Se deja caer una piedra desde una altura de 80 m, y 2 segundos más tarde, desde igual altura, se lanza hacia abajo otra, que alcanza a la primera justo antes de tocar el suelo. ¿Con qué velocidad se lanzó la segunda piedra?

22. Una pelota de tenis se lanza verticalmente hacia arriba con una velocidad de 12 m/s. ¿Cuál es la altura máxima que alcanza la pelota?

23. Desde la azotea de un edificio de 90 m de altura se deja caer una bola metálica. Calcula el tiempo que tarda en llegar al suelo y la velocidad con la que llega.

24. El techo de un salón está a 3,75 m del piso. Un estudiante lanza una pelota verticalmente hacia arriba, estando la mano a 50 cm del piso. ¿Con qué velocidad debe lanzar el estudiante la pelota para que no toque el techo?



25. Una persona que se encuentra en lo alto de un edificio lanza una pelota verticalmente hacia abajo con una velocidad de 40 m/s. Si la pelota llega a la base del edificio a los 15 s, ¿cuál es la altura del edificio?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

26. En un ascensor que se mueve hacia arriba con rapidez constante de 6,5 m/s, una persona deja caer una moneda de su mano a una altura de 1,30 m con respecto al piso del ascensor. ¿Cuánto tiempo tarda la moneda al llegar al piso del ascensor?

27. Con los datos del problema anterior, considera que el ascensor se mueve con una aceleración uniforme de 3,8 m/s^2 hacia arriba al momento de soltar la moneda. ¿Cuánto tiempo tarda la moneda en llegar al piso del ascensor?

28. Desde el borde de un acantilado, un joven lanza verticalmente una piedra al mar, imprimiéndole una velocidad 20 m/s.

Si el borde del acantilado está a 50 m por encima del nivel del mar, calcula:

a. El tiempo que tarda la piedra en llegar al agua.

b. La velocidad a los dos segundos de ser lanzada.

29. La gravedad en Venus es 0,9 × gravedad terrestre (9,8 m/s^2).
Si se lanza un objeto en caída libre desde 10 metros de altura a una velocidad de 44,1 m/s, calcula:

a. ¿Cuánto tiempo tarda en llegar a la superficie de Venus?

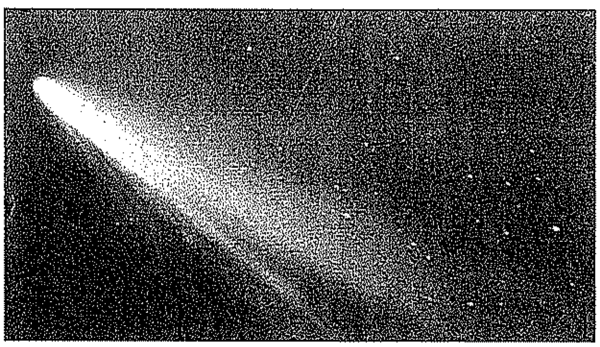
b. Si se lanzara en las mismas condiciones en la Tierra, ¿cuál sería la diferencia del tiempo empleado por el objeto al caer?

30. Óscar está de pie, sobre una plataforma de observación, a 100 metros sobre el nivel de la calle y deja caer una piedra. Jairo, que está directamente debajo en la calle, lanza una piedra hacia arriba con una velocidad de 50 m/s, en el mismo instante en el que Óscar suelta la piedra.

a. ¿A qué altura se chocan las dos piedras?

b. ¿Al cabo de cuánto tiempo?

31. La mayoría de los meteoritos que llegan a la Tierra desde el espacio son fragmentos de piedra, de metal y rastros de otros minerales. En la Tierra, la capa de la atmósfera que ocupa la parte más cercana a la corteza terrestre se llama troposfera y se extiende hasta una altura de 15 km. ¿A qué velocidad caería un meteorito desde la troposfera? (Toma la velocidad inicial igual a cero.)

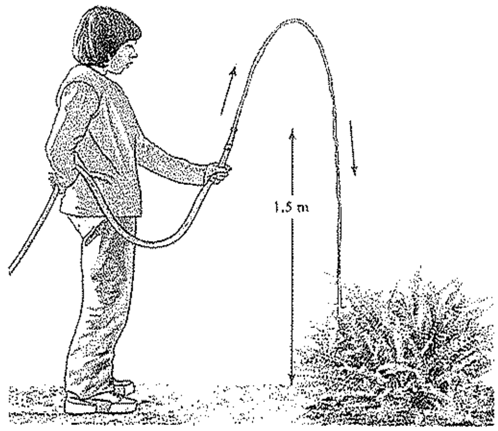


32. Desde el suelo se lanza verticalmente hacia arriba un proyectil con rapidez inicial v_0, y se comprueba que tarda 4 s en alcanzar la altura máxima. Determina:

a. La altura máxima alcanzada.

b. ¿A qué altura máxima habría llegado y cuánto tiempo habría tardado si hubiera lanzado con el doble de la rapidez inicial?

33. Una persona ajusta la boquilla a su manguera de jardín para tener un chorro de agua abundante. Apunta verticalmente hacia arriba y la altura de la tubería es de 1,5 m sobre el piso, como se observa en la figura.



Cuando mueve la boquilla apartándola de la vertical, escucha que el agua choca contra el piso a los 2 segundos. ¿Cuál es la velocidad del agua al salir de la boquilla?

34. Sea m la masa de una piedra ligera y M la masa de otra piedra más pesada. Según Aristóteles, la piedra de masa M debe caer primero al piso que la piedra m por ser más pesada. Galileo propuso la siguiente experiencia: se amarran las piedras m y M con una cuerda y se dejan caer. Si el razonamiento de Aristóteles es correcto, entonces las dos piedras se convierten en una sola, cuya masa es $m + M$, que debe caer más rápido que la sola piedra M. Pero Galileo dijo que la piedra de masa m retardaría el movimiento de la otra piedra, lo que haría que $m + M$ cayera más lentamente que la sola piedra M, lo cual entraría en contradicción con las respuestas de Aristóteles. ¿Cuál de los dos razonamientos encuentras más lógico?
Explica tu respuesta.

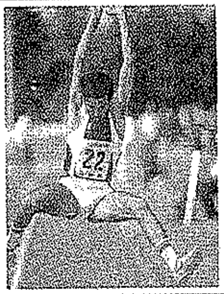
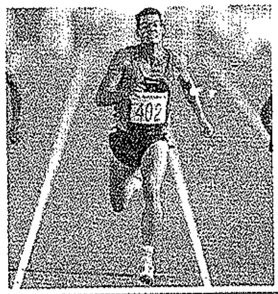
PREGUNTAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE CON ÚNICA RESPUESTA (TIPO I)

Este tipo de preguntas constan de un enunciado y cuatro opciones de respuesta (A, B, C y D). Sólo una de estas opciones es correcta.

En los juegos olímpicos participan atletas de varios países del mundo, en diferentes modalidades.

Todos con el sueño de conseguir una medalla olímpica.

En el primer día de competencias se presentaron las siguientes pruebas:

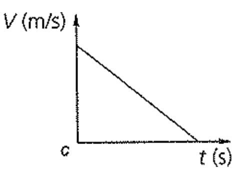
Salto largo	Lanzamiento con jabalina	Cien metros planos
		

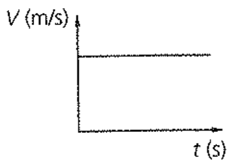
1. Si la diferencia entre la distancia de salto largo entre dos competidores es tan solo de 0,0342 m, la expresión que representa esta distancia es:

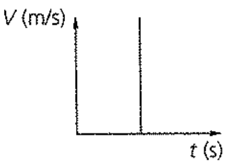
A. 342×10^{-5} m C. 342×10^{-4} m

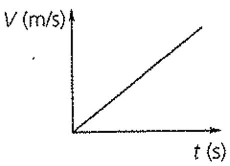
B. $34{,}2 \times 10^{-3}$ m D. 342×10^{4} m

2. Un atleta recorre la prueba de 100 m planos a cierta velocidad en 1×10^1 s. Si otro atleta recorre la misma distancia con una velocidad menor a la del primer atleta y emplea 2×10^1 segundos, la gráfica que representa esta situación es:

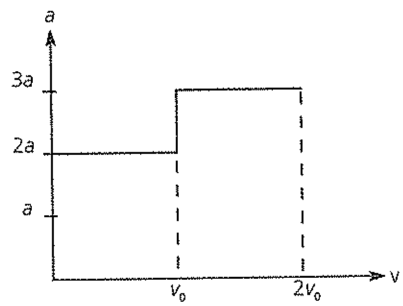
A.


C.


B.


D.


3. La gráfica de aceleración contra velocidad para el movimiento rectilíneo de un ciclista que parte del reposo es la siguiente:



Si t_1 es el tiempo que tarda el ciclista desde su arrancada hasta llegar a una velocidad v_0 y t_2 es el tiempo que tarda en pasar de v_0 a $2v_0$, se puede decir que:

A. $t_1 = t_2$

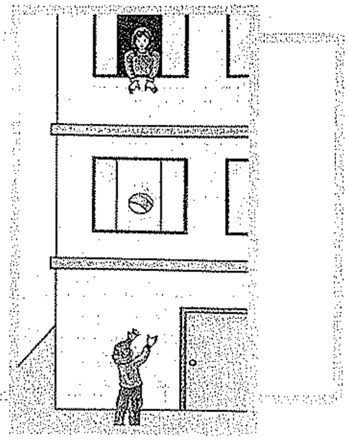
B. $t_1 = 2t_2$

C. $t_1 = \frac{2}{3}t_2$

D. $t_1 = \frac{3}{2}t_2$

Daniela y Angélica juegan, en el frente de su casa, a lanzarse un balón de voleibol.

Angélica deja caer el balón, con una velocidad v_0, desde el tercer piso de su casa, a una altura h, y Daniela se lo devuelve con una velocidad inicial igual a 2 m/s.



4. En uno de los lanzamientos, cuando la pelota se encuentra en la mitad de su trayectoria, comienza a soplar un viento hacia la izquierda. Si el aire no ejerce ninguna fuerza sobre el balón, el movimiento que describe la pelota, antes de llegar al suelo es:

A. uniformemente variado hacia la derecha.

B. acelerado pero no uniforme.

C. uniforme hacia la izquierda.

D. uniformemente variado.

5. Angélica deja caer, al mismo tiempo, dos objetos que tienen el mismo tamaño, pero uno de ellos es 10 veces más pesado que el otro. Si se desprecia el rozamiento con el aire, es correcto afirmar que llegan al suelo:

A. en momentos distintos con la misma rapidez.

B. al mismo tiempo con rapidez distinta.

C. en momentos distintos con rapidez distinta.

D. al mismo tiempo con la misma rapidez.

6. Si en un lanzamiento Daniela deja rebotar el balón contra el piso y se desprecia el rozamiento con el aire, se concluye que:

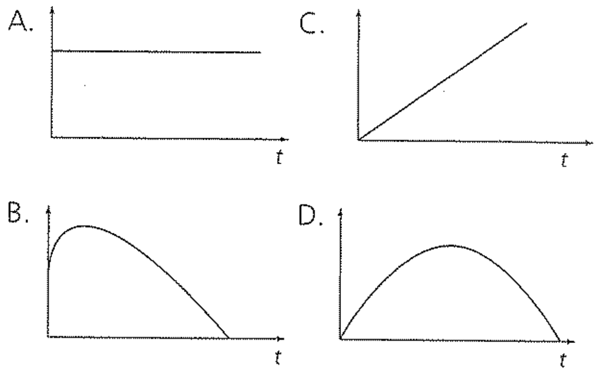
A. luego de tocar el suelo la aceleración de la pelota es cero.

B. la velocidad del balón no varía mientras cae.

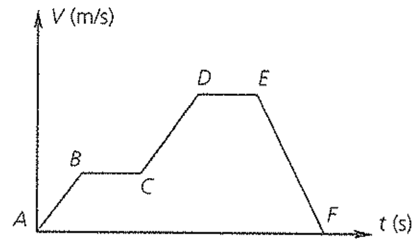
C. luego de rebotar, la altura máxima de la pelota será igual a h.

D. la aceleración del balón permanece constante mientras cae.

7. La gráfica del valor de la aceleración de la pelota en función del tiempo es:



8. Si el recorrido que realiza el bus escolar desde la casa de un estudiante hasta su colegio describe la trayectoria que se muestra en la siguiente gráfica, es posible afirmar que:



A. en el intervalo EF el movimiento es desacelerado.

B. entre A y B el movimiento es uniforme.

C. en el intervalo BC la aceleración es constante.

D. en el intervalo DE la partícula estuvo en reposo.

Movimiento rectilíneo

LABORATORIO 3

Objetivo

Reconocer el concepto de movimiento teniendo en cuenta las características que intervienen en él.

Materiales

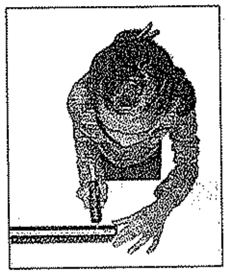
- Una regla de 50 cm.
- Una manguera pequeña transparente de 1 cm de diámetro y 50 cm de largo.
- Silicona.
- Transportador.
- Cronómetro.
- Agua.

Procedimiento y registro

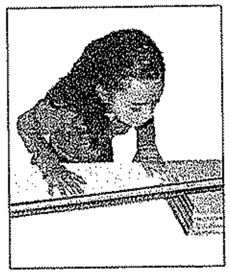
1. Toma la manguera y sella uno de los extremos, con silicona. Déjala secar por unos minutos.
2. Llena la manguera con agua casi en su totalidad, dejando alrededor de 3 mm libres en el otro extremo. Sella este extremo de la manguera con silicona. Procura que no se presente una fuga de agua.
3. Coloca la manguera sobre la regla y asegúrala con silicona para que quede fija sobre ella. Es necesario que uno de los extremos quede en el punto cero de la regla.
4. Proporciona movimiento a la burbuja de aire, colocando la regla a cierta inclinación.
5. Elige el ángulo de inclinación, Θ, con el que deseas que se presente el movimiento.
6. Mide el tiempo (t) que demora la burbuja en recorrer distancias (d) de 10 cm.

Procedimiento 1

Procedimiento 3



Procedimiento 6



7. Realiza los procedimientos 4, 5 y 6 para tres ángulos diferentes.
8. Registra los tiempos obtenidos para cada distancia, en la tabla de registro.

TABLA DE REGISTRO

θ \ d	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm

Análisis de los resultados

1. ¿Se puede determinar la velocidad de la burbuja cuando no hay inclinación en la regla? Justifica tu respuesta.
2. Cuando el ángulo de inclinación de la regla, es recto, ¿qué valor toma la velocidad de la burbuja? Explica tu respuesta.
3. Realiza las gráficas correspondientes a cada movimiento, en papel milimetrado.

Movimiento rectilíneo uniformemente variado

LABORATORIO 4

Objetivo

Analizar el movimiento de un cuerpo en un plano inclinado.

Materiales

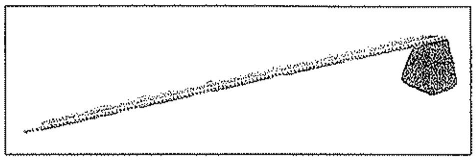
- Dos palos de balso de 1 m de largo.
- Una canica.
- Plastilina.
- Cronómetro.
- Un marcador.

Procedimiento y registro

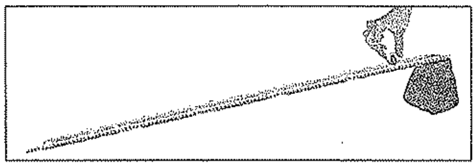
1. Junta los palos de balso y coloca entre ellos 5 trozos de plastilina, de tal manera que formes un canal de 1 cm de ancho.

2. Realiza marcas en el perfil de uno de los palos, para el origen (0 cm) y para las distancias 0,25 m, 0,5 m, 0,75 m y 1 m.

3. Forma el plano inclinado colocando una base de plastilina en uno de los dos extremos de los palos de balso, de modo que se forme un ángulo de 10° con la horizontal.



4. Deja caer la canica desde el borde superior y mide los tiempos para cada intervalo. Repite la prueba para un ángulo de inclinaciónde 15°, 30° y 45°.



5. Escribe los tiempos obtenidos para cada distancia, en la tabla de registro.

TABLA DE DATOS

θ \ d	0,25 m	0,5 m	0,75 m	1 m
10°				
15°				
30°				
45°				

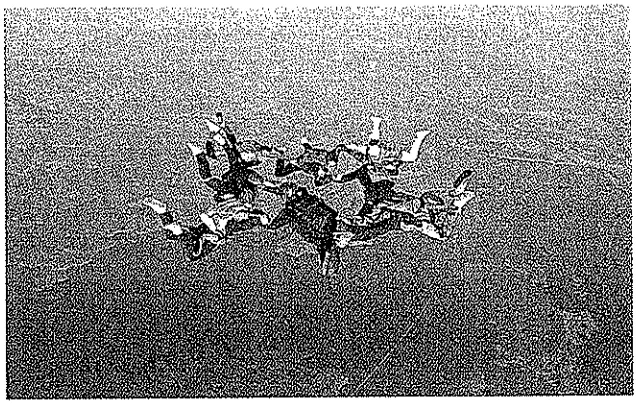
Análisis de los resultados

1. ¿Qué factores afectaron el desarrollo del experimento?
2. Si el ángulo de inclinación de los palos de balso es recto, ¿qué valor toma su aceleración? Justifica tu respuesta.
3. Con los datos registrados en la tabla, calcula la velocidad y la aceleración de la canica en cada movimiento.
4. Realiza las gráficas correspondientes a cada movimiento, en papel milimetrado.

El saber caer. Toda una ciencia

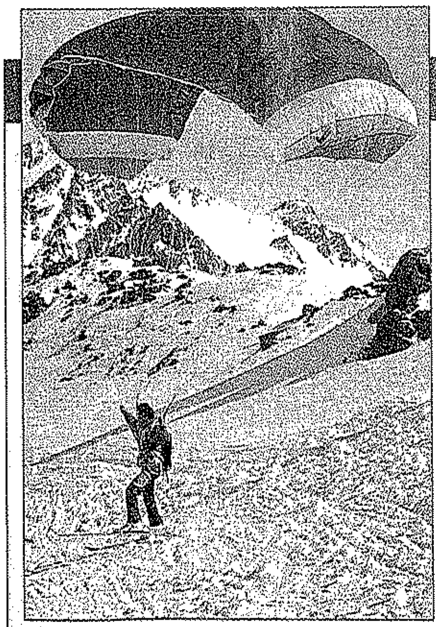
Siempre ha sido un ideal para el hombre volar hasta lugares que no permiten sus limitaciones anatómicas. Para lograrlo ha estudiado y observado el comportamiento de los animales que lo hacen y ha diseñando distintos métodos que le permiten sentir una única sensación completamente indescriptible "volar".

El paracaidismo



El paracaidismo es una disciplina dentro de los deportes de vuelo extremo, que le ha dado la posibilidad y la inolvidable experiencia al ser humano de volar. Esta experiencia, consiste en lanzarse al aire desde una avioneta, de tal forma que la persona logra volar con su propio cuerpo. Desde luego, existe un margen de riesgo como en estos tipos de deportes y, por lo general, en caso de suceder, se refiere a una falla humana o del equipo. Quienes practican esta actividad, lo hacen muchas veces para vencer el miedo a las alturas, o para vivir nuevas experiencias. Comúnmente quienes más lo hacen son personas que llevan una vida muy sedentaria.

Generalmente, la persona que se va a lanzar al aire, lleva dos paracaídas: el principal y el suplente. Es muy difícil que el primero no abra, pero en caso de que esto suceda, el segundo debe abrir normalmente. Así mismo, el paracaídas cuenta con un sistema de tipo electrónico que al superar la velocidad límite y a cierta altura, se abre automáticamente.

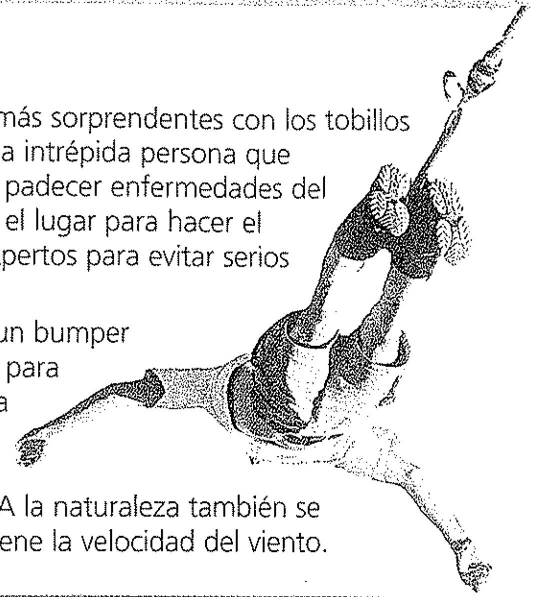


El parapente

El parapente es una actividad que consiste en ubicarse en alguna montaña que tenga una exposición de frente a los vientos dominantes de la zona y que esté expuesta al sol (así se crean las corrientes ascendentes de calor). También, se requiere que la montaña tenga acceso para subir, con una pendiente adecuada, sin árboles para poder extender los equipos y, al pie de la montaña, una área de aterrizaje plana. Posteriormente se hace el despegue y luego, el vuelo.

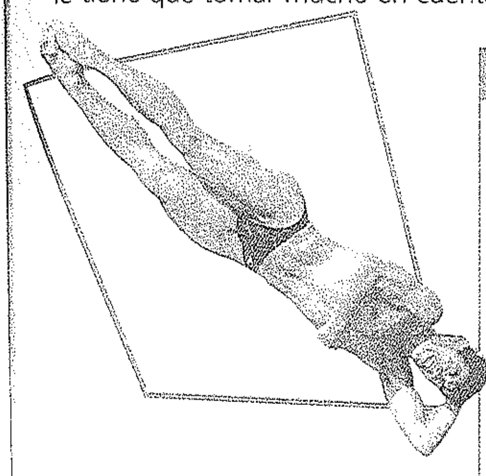
En la actualidad, el diseño y la construcción de los parapentes va de la mano con el avance de la tecnología, ya que hoy en día con el uso de computadoras, se estudian los materiales más convenientes para su elaboración. El parapente es un paracaídas perfeccionado y dirigible que cuenta con dos cuerdas, una de cada lado que permite hacer movimientos de rotación y traslación. La persona que lo usa, se ubica en una posición semisentada, como la que se adquiere en un columpio.

El bungee jumping



El salto en bungee consiste prácticamente en lanzarse desde alturas más sorprendentes con los tobillos atados a una cuerda elástica; sin embargo esto va más allá, por que la intrépida persona que decida lanzarse, tiene que contar con una buena condición física, no padecer enfermedades del corazón y por supuesto no tenerle miedo a las alturas. Por otro lado, el lugar para hacer el salto también debe estar adecuadamente elegido y preparado por expertos para evitar serios accidentes.

El equipo que se necesita para realizar el salto es: un arnés especial, un bumper acolchado para impedir entrelazamientos y un conjunto de fijaciones para que la caída sea controlada y el frenado progresivo. La cuerdá elástica que se usa, resiste hasta una tonelada de peso y está formada por bastantes tiritas entrelazadas de látex natural y otros materiales que la hacen muy segura, incluso al roce y a las acrobacias en las caídas. A la naturaleza también se le tiene que tomar mucho en cuenta en esta actividad, ya que interviene la velocidad del viento.



Los clavados

El clavado es una forma de deporte o entrenamiento que consiste en lanzarse al agua de una piscina, lago o río desde algún punto fijo o vibrátil. En el caso de sitios naturales o no adaptados para este deporte el punto fijo puede ser la orilla del cuerpo de agua, una roca, un montículo, una peña, un acantilado o incluso un puente.

Para el caso de los sitios adaptados para este deporte una plataforma o la orilla de una piscina.

El punto vibrátil puede ser un trampolín en el caso de sitios adaptados, incluso se puede dejar caer desde una cuerda tendida entre las orillas del cuerpo de agua.

ÁMBITO: Desarrollo compromisos personales y sociales

APROPIACIÓN Y USO DE LA TECNOLOGÍA

1. ¿Por qué es importante practicar un deporte?
2. ¿Cuáles son los peligros de practicar un deporte extremo?
3. Investiga cuáles son los peligros que se pueden presentar en la realización de un deporte extremo.
4. Consulta qué otros deportes también están relacionados con la caída libre.

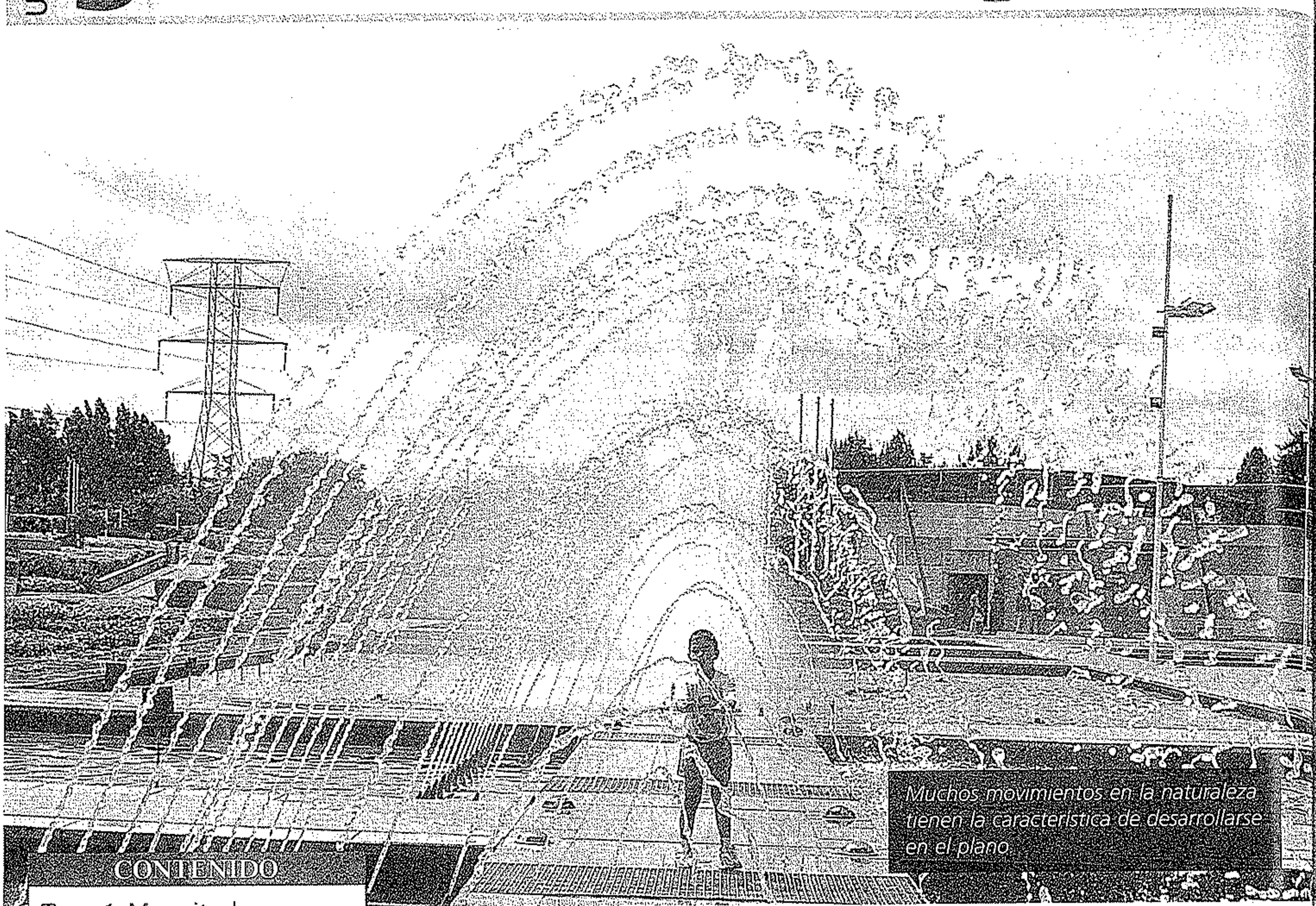
TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Actualmente, en algunos países se empieza a utilizar el término de "deporte de aventura", que se refiere a las personas que practican deportes de más alto riesgo de lo normal pero sin ser profesionales. Un ejemplo de esto es la diferencia que existe entre "espeleología" y "espeleismo". Aunque los dos términos hacen referencia a la exploración de las cavernas para conocer la flora y la fauna, el primero es practicado por los científicos y, el segundo, tiene fines deportivos y turísticos.

© SANTILLANA

UNIDAD

3 Movimiento en el plano



Muchos movimientos en la naturaleza tienen la característica de desarrollarse en el plano.

CONTENIDO

Introducción

La mayoría de los objetos que se encuentran en movimiento no siempre describen trayectorias rectas. Es muy común cambiar de dirección al caminar o al movilizarnos en cualquier medio de transporte.

Muchos movimientos se pueden describir con bastante exactitud, a partir del estudio de los movimientos en el plano, como el disparo de proyectiles o el lanzamiento de satélites, cuya trayectoria descrita resulta de la composición de dos movimientos: uno vertical y uno horizontal.

Sin embargo, en el estudio de estos fenómenos, algunas magnitudes no quedan bien definidas si no se conoce hacia donde están orientadas. Por ejemplo, no es lo mismo dirigirse a 80 km/h hacia la derecha que hacerlo, a la misma velocidad, hacia la izquierda. Por tal razón, es necesario definir su magnitud vectorial, la cual se describe mediante los vectores.

En esta unidad, estudiaremos el movimiento de los cuerpos en el plano, su relación con los vectores y la especificación de las magnitudes posición, velocidad y aceleración.

Tema 1. Magnitudes vectoriales

En la unidad anterior vimos que, para describir el movimiento de un objeto, es necesario indicar la posición, el desplazamiento, la velocidad y la aceleración en diferentes instantes. Cuando el movimiento de un objeto se produce en el plano o en el espacio, estas magnitudes se expresan por medio de vectores.

1.1 Los vectores

Algunas de las magnitudes que utilizamos para describir los fenómenos sólo requieren de un número y una unidad para quedar definidas. Por ejemplo, para indicar la temperatura del cuerpo humano basta con escribir 37 °C. En este caso, se requiere del número 37 y de la unidad °C. A estas magnitudes, como la masa, la densidad y el tiempo, entre otras, se les llama *magnitudes escalares*.

Otras magnitudes no se pueden representar solamente con un número seguido de una unidad. Por ejemplo, para indicar la velocidad de un avión se debe conocer la rapidez con que se mueve, la cual incluye un número y una unidad, pero también se necesita indicar la dirección del movimiento.

Así, es posible describir la velocidad de un avión como 800 km/h en dirección 65° hacia el noreste, caso en el cual la dirección del movimiento forma un ángulo de 65° con la línea oeste-este. De la misma manera, resultaría imposible localizar un punto a partir de otro sin conocer la dirección que se debe seguir. Es muy poco lo que se puede decir de un movimiento sin describir la dirección en que se produce, por esta razón usaremos el concepto de *vector* para tales descripciones.

DEFINICIÓN 3.1

Un vector es un segmento dirigido cuya longitud es proporcional al valor numérico de la medida que representan. Las magnitudes vectoriales se representan por medio de vectores.

La posición de un objeto con respecto a un punto es una magnitud vectorial.

En la figura 1 se ha trazado un vector $\vec{A}$ para indicar la posición del punto P con respecto al punto O.

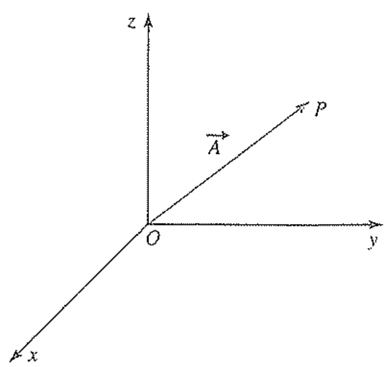


FIGURA 1

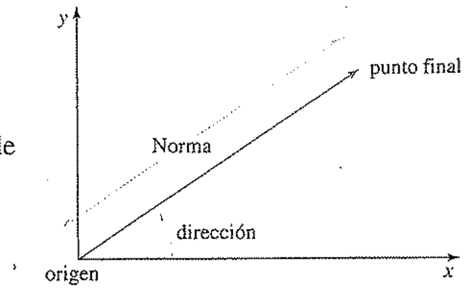
La aceleración es una magnitud vectorial pues por ejemplo, la aceleración de la gravedad mide 9,8 m/s^2 y está dirigida hacia abajo. La fuerza, de la cual nos ocuparemos en la siguiente unidad, también es un ejemplo de magnitud vectorial, pues hay diferencia entre aplicar sobre un cuerpo una fuerza hacia la derecha o aplicarla hacia la izquierda.

Todo vector tiene una *norma* y una *dirección*.

- La norma siempre es un número positivo que se expresa en las unidades de la magnitud que representa. Por ejemplo, la norma de la velocidad en el Sistema Internacional de Unidades, se expresa en m/s y corresponde a lo que hemos llamado rapidez.
- La dirección de un vector está determinada por la dirección de la recta que lo contiene. Por ejemplo, la velocidad en un movimiento rectilíneo, coincide con la dirección de la recta sobre la cual se produce este movimiento.

La dirección está representada por el ángulo que forma el vector con alguna dirección tomada como referencia. En la siguiente gráfica mostramos los elementos mencionados:

- La norma es la longitud del vector.
- La dirección es el ángulo hacia donde está dirigido.



Los vectores se notan simbólicamente con una letra y una flecha sobre la letra. Por ejemplo, la aceleración $\vec{a}$, la velocidad $\vec{v}$, la posición $\vec{r}$. La medida de un vector se representa con la misma letra pero sin flecha o entre barras. Por ejemplo, la norma del vector v, se representa por v o por $\|\vec{v}\|$.

El proceso de medida de una magnitud exige poder compararla con otra de la misma naturaleza. Para ello, se define la *igualdad* entre vectores.

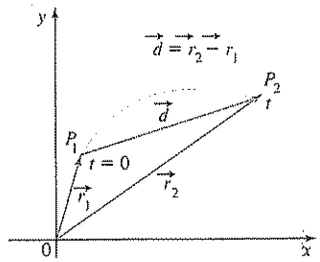
DEFINICIÓN 3.2

Dos vectores son iguales, si al trasladar paralelamente uno de ellos, se puede hacer coincidir con el otro.

1.2 El vector desplazamiento

Consideremos que un cuerpo puntual describe una trayectoria y que este cuerpo en su recorrido pasa por los puntos P_1 y P_2 como se muestra en la gráfica.

Las posiciones en los puntos P_1 y P_2 se representan por los vectores $\vec{r}_1$ y $\vec{r}_2$, respectivamente.



Esta descripción significa que en el tiempo t, tomado con respecto al instante inicial ($t = 0$ s):

- el móvil se encuentra en el punto P_2.
- ha recorrido una distancia a lo largo de la trayectoria descrita.
- se ha desplazado a partir de la posición inicial, P_1.

DEFINICIÓN 3.3

Se llama vector desplazamiento $\vec{d} = \Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ desde P_1 hasta P_2, al vector que tiene su origen en la posición inicial P_1 y su punto final coincide con la posición final P_2 del móvil.

1.3 El vector velocidad

1.3.1. Velocidad media

Para el movimiento rectilíneo hemos definido la velocidad media adquirida por un objeto como $\vec{v} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ (ECUACIÓN 2.3)

De manera análoga, como el desplazamiento en el plano se representa por el vector $\Delta\vec{r}$, definimos la velocidad media como

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \qquad \text{ECUACIÓN 3.1}$$

La velocidad media es un vector que tiene la misma dirección que el vector desplazamiento (figura 2).

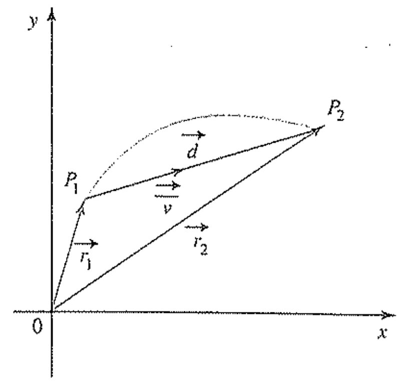


FIGURA 2

1.3.2 Velocidad instantánea

Supongamos que un cuerpo se traslada desde el punto P hasta el punto P_1, en un intervalo de tiempo Δt_1; en este caso, el vector desplazamiento es d_1 (figura 3). Si tomamos intervalos de tiempo cada vez más cortos, los vectores desplazamiento se van "ciñendo" a la trayectoria. Como la velocidad tiene la misma dirección del desplazamiento, para intervalos de tiempo cada vez más cortos, la velocidad media se aproxima a la velocidad instantánea, cuya dirección es tangente a la trayectoria.

El vector velocidad instantánea tiene las siguientes características:

- **Norma**. Medida de la velocidad, también llamada rapidez.
- **Dirección**. La dirección de la velocidad instantánea está determinada por la tangente a la trayectoria en cada punto. La flecha del vector indica la dirección en la cual se produce el movimiento.

Para cada punto de la trayectoria el vector velocidad instantánea se representa con origen en dicho punto.

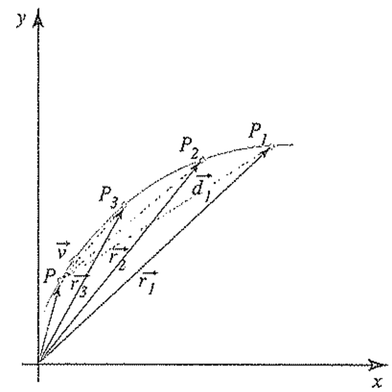


FIGURA 3

1.4 Suma gráfica de vectores

Es posible definir operaciones entre vectores. De hecho, en la gráfica que describe el vector desplazamiento (numeral 1.2 de esta unidad) representamos la operación $r_2 - r_1$ como un vector trazado desde el punto final del vector r_1 hasta el punto final del vector r_2.

Para ilustrar el significado de la suma de dos vectores, supongamos que un objeto parte del punto O y se desplaza hasta el punto A (d_1). Una vez se encuentra en el punto A, se desplaza hasta el punto B (d_2) (figura 4). Para determinar el desplazamiento desde el punto O hasta el punto B, trazamos un vector con origen en el punto O y punto final en B. El vector con punto de partida en O y punto final en B es el vector suma $d_1 + d_2$ (figura 4).

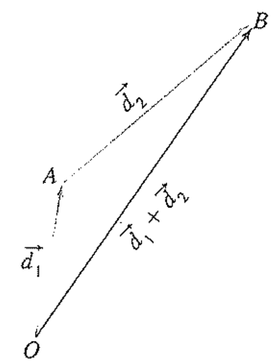
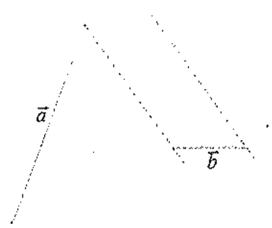


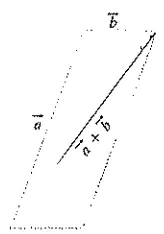
FIGURA 4

Para determinar gráficamente la suma de dos vectores se hace coincidir en el punto final de uno de ellos con el origen del otro vector, como se muestra en la figura de la izquierda (a), sin cambiar ni la norma ni la dirección de cada uno; el vector suma se obtiene al unir el origen del primero con el punto final del segundo (b).

a.



b.



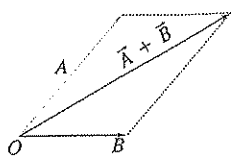


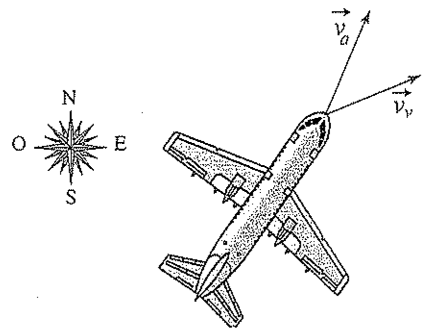
FIGURA 5

Es posible sumar dos vectores que tienen un origen común, por ejemplo, las fuerzas que actúan sobre un objeto. Para aplicar el método que hemos descrito, podemos construir un paralelogramo (figura 5). El vector suma es la diagonal del paralelogramo cuyo origen coincide con el de los dos vectores. A este procedimiento para obtener gráficamente la suma de dos vectores se le llama *regla del paralelogramo.*

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

3.1 Cuando no corre viento, un avión se mueve con velocidad $\vec{v}_a$ como muestra la figura. Si corre viento con velocidad $\vec{v}_v$, el movimiento del avión cambia de dirección. Determinar gráficamente la dirección del avión con respecto a la Tierra cuando corre viento con velocidad $\vec{v}_v$.

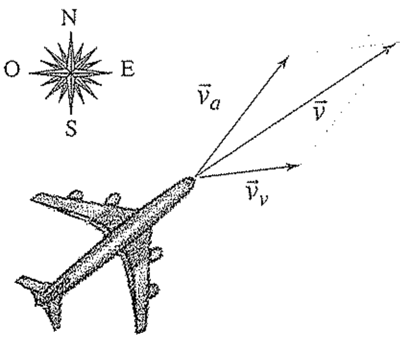


SOLUCIÓN:

La velocidad con la cual se mueve el avión con respecto a la Tierra cuando corre viento con velocidad $\vec{v}_v$ se obtiene sumando los vectores $\vec{v}_a$ y $\vec{v}_v$.
La velocidad $\vec{v}$ del avión con respecto a la Tierra es

$$\vec{v} = \vec{v}_a + \vec{v}_v$$

Gráficamente se construye el paralelogramo como se muestra en la figura.



1.5 Composición de movimientos

En la naturaleza es posible observar que los cuerpos se mueven por acción de dos movimientos, tal es el caso de los barcos que navegan en contra de la corriente. Cuando el movimiento de un móvil es el resultado de dos o más movimientos simultáneos, se dice que está sujeto a una composición de movimientos.

El estudio de este fenómeno se fundamenta en el *principio de independencia*, enunciado por Galileo.

DEFINICIÓN 3.4

Principio de independencia
Si un móvil está sometido a dos movimientos, su cambio de posición es independiente de si la ocurrencia de los movimientos se produce de forma sucesiva o de forma simultánea.

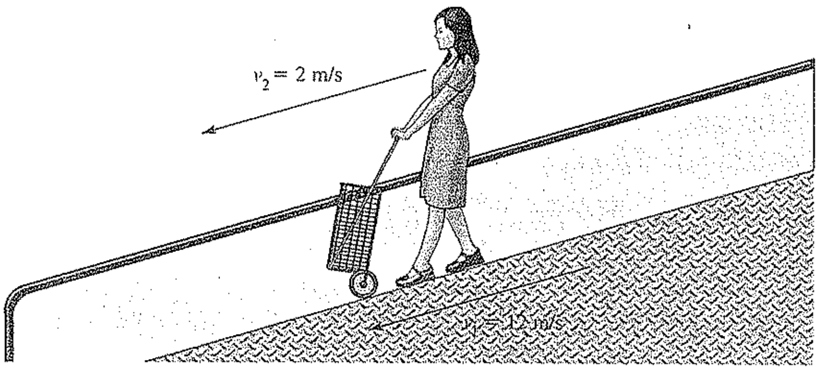
Esto significa que si, debido a un movimiento la velocidad es $\vec{v}_1$ y debido a otro movimiento la velocidad es $\vec{v}_2$, la velocidad $\vec{v}$ del objeto, resultado de la composición de los dos primeros es:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 \qquad \text{ECUACIÓN 3.2}$$

En los movimientos uniformes se pueden presentar los siguientes casos:

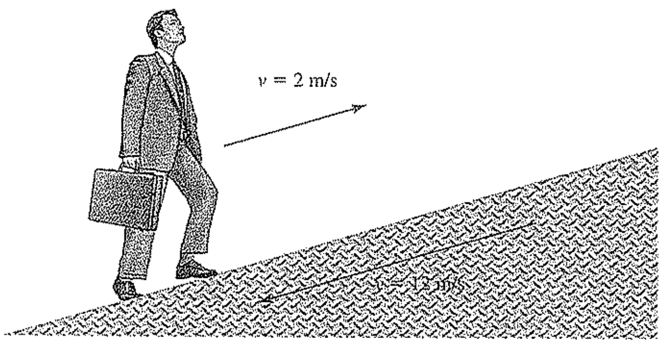
Caso 1. Movimientos en el mismo sentido

Consideremos una persona que se encuentra sobre una plataforma que se mueve hacia la izquierda, con velocidad $\vec{v}_1$. Si la persona se mueve en el mismo sentido, y con velocidad $\vec{v}_2$, con respecto a la plataforma es posible determinar la velocidad de la persona con respecto a un observador en reposo en la vía. Por ejemplo, si la velocidad de la plataforma es 12 m/s y la velocidad de la persona con respecto a la plataforma es 2 m/s, con respecto al observador situado en la vía, la velocidad de la persona es 12 m/s + 2 m/s = 14 m/s.



Caso 2. Movimientos en sentido contrario

Consideremos que la persona se mueve sobre la plataforma en sentido contrario al movimiento de esta. Por ejemplo, si la velocidad de la plataforma es 12 m/s y la velocidad de la persona con respecto a la plataforma es 2 m/s, la velocidad de la persona es 12 m/s − 2 m/s = 10 m/s.



Caso 3. Composición de movimientos perpendiculares

Si la persona se mueve en dirección perpendicular a la dirección en que se mueve la plataforma, el movimiento de la persona con respecto a un observador en la vía resulta de la composición del movimiento de la plataforma con velocidad $\vec{v}_1$ y del movimiento de la persona con respecto a la plataforma con velocidad $\vec{v}_2$. A la vez que la persona atraviesa la plataforma, se mueve lateralmente por la acción del movimiento de esta. La composición de los dos movimientos da lugar al movimiento cuya velocidad v se representa en la figura 6.

La velocidad $\vec{v}$ que resulta de la composición de los dos movimientos se expresa

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

Cuando dos vectores están contenidos en la misma recta, para determinar la norma de la suma se pueden presentar dos casos:

- Si los dos indican en el mismo sentido, se suman las normas y la dirección del vector suma coincide con la de los dos vectores.
- Si los dos vectores indican en sentidos contrarios, se restan las normas y la dirección de la suma coincide con la dirección del vector con mayor norma.

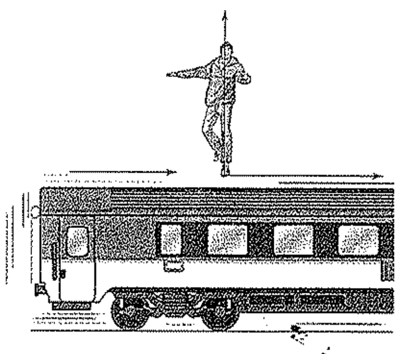


FIGURA 6

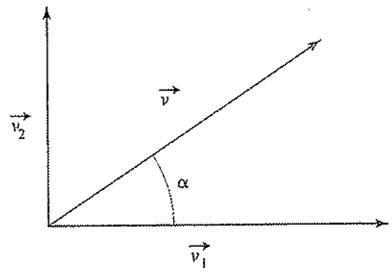
EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

3.2 Una persona se mueve sobre una plataforma en dirección perpendicular a la dirección de esta. Si la velocidad de la plataforma es 12 km/h y la velocidad de la persona es de 2 m/s, determinar la velocidad (norma y dirección) con que la persona se mueve con respecto a la vía.

SOLUCIÓN:

Primero se deben expresar todas las magnitudes en las mismas unidades de medida. Así:

$$12\ km/h = \frac{12\ km}{h} \cdot \frac{1.000\ m}{1\ km} \cdot \frac{1\ h}{3.600\ s} = 3{,}3\ m/s \quad \text{Factores de conversión}$$



La dirección del movimiento de la plataforma es perpendicular a la dirección del movimiento de la persona. Por tanto, de la gráfica de la situación se puede ver que v es la hipotenusa de un triángulo rectángulo. Así

$$v = \sqrt{(3{,}3\ m/s)^2 + (2\ m/s)^2} = 3{,}9\ m/s \qquad \text{Teorema de Pitágoras}$$

Para determinar la medida del ángulo a, tenemos

$$\tan\alpha = \frac{v_2}{v_1} = \frac{2\ m/s}{3{,}9\ m/s} = 0{,}513 \qquad \text{Pues } \tan\alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

Luego $\alpha = \tan^{-1} 0{,}513 = 27{,}1°$

En conclusión, la persona se desplaza respecto a la plataforma con una velocidad de 3,9 m/s, en la dirección determinada por el ángulo de 27,1° con respecto a la dirección de movimiento de la plataforma.

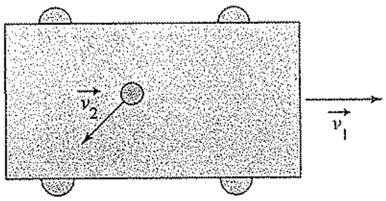


FIGURA 7

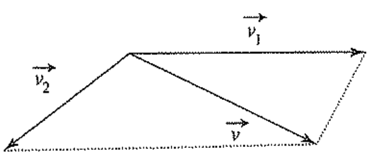


FIGURA 8

Caso 4. Composición de movimientos uniformes cuyas direcciones forman un ángulo determinado

En la figura 7 (vista superior) se muestra la dirección del movimiento de una persona sobre la plataforma sometida a dos efectos. En primer lugar, se mueve con respecto a la plataforma y, en segundo lugar, la plataforma se mueve con respecto a la vía con velocidad $\vec{v}_1$. La persona avanza con respecto a la plataforma, con velocidad $\vec{v}_2$, en la dirección señalada. Por medio de la suma de vectores combinamos estos dos efectos. La velocidad $\vec{v}$ de la persona con respecto a la vía se determina gráficamente, como se muestra en la figura 8.

1.6 Componentes de un vector

Supongamos que un avión se mueve en la dirección mostrada en la figura 9 de la página siguiente. Su velocidad es el resultado de la composición de dos movimientos, uno en la dirección del eje x y otro en la dirección del eje y.

En este caso decimos que la velocidad tiene dos *componentes rectangulares*, una en cada eje. A la componente sobre el eje x la llamamos v_x y a la componente sobre el eje y la llamamos v_y.

A partir de las componentes expresamos el vector v como:

$$\vec{v} = (v_x, v_y) \qquad \text{ECUACIÓN 3.3}$$

La norma del vector v se relaciona con las componentes por medio del teorema de Pitágoras así: $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ ECUACIÓN 3.4

Las componentes del vector $\vec{v}$ se relacionan con la norma de $\vec{v}$ y con el ángulo α mediante las siguientes expresiones trigonométricas:

$$\cos\alpha = \frac{v_x}{v} \qquad \operatorname{sen}\alpha = \frac{v_y}{v}$$

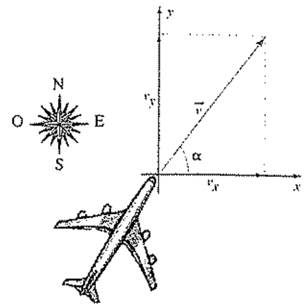


FIGURA 9

De donde:

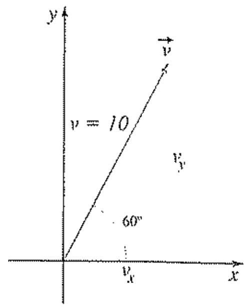
$v_x = v \cdot \cos\alpha$ ECUACIÓN 3.5

$v_y = v \cdot \operatorname{sen}\alpha$ ECUACIÓN 3.6

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

3.3 Determinar las componentes del vector v cuya norma es 10 cm y forma, con la parte positiva del eje x, un ángulo de 60°.



SOLUCIÓN:

La gráfica de la derecha es una representación de la situación.

Las componentes del vector $\vec{v}$ son:

$v_x = v \cos\alpha = 10\ cm \cdot \cos 60° = 5\ cm$ *Ecuación 3.5*

$v_y = v \operatorname{sen}\alpha = 10\ cm \cdot \operatorname{sen} 60° = 8{,}7\ cm$ *Ecuación 3.6*

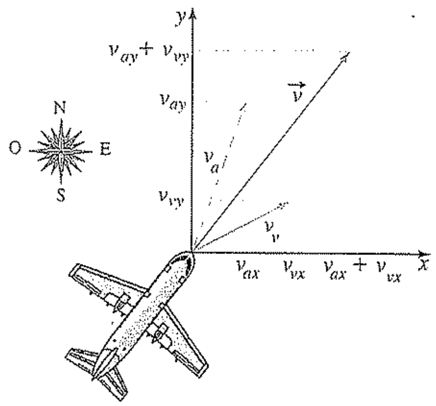
Por tanto, el vector $\vec{v}$ se expresa como $\vec{v} = (5, 8{,}7)$ con sus componentes medidas en centímetros.

1.7 Suma analítica de vectores

Para sumar dos vectores, primero se hallan sus componentes rectangulares y luego, se suman.

Paso 1. Descomposición de los vectores

En el ejemplo 3.1 consideramos un avión que se mueve cuando hay viento. Para determinar la velocidad v del avión con respecto a la Tierra, sumamos gráficamente la velocidad que tendría el avión cuando no corre viento con la velocidad del viento. Ahora resolveremos la situación a partir de las componentes de los vectores velocidad mostrados a continuación.



En esta gráfica, se ha tomado como referencia el plano cartesiano.

La velocidad del avión $\vec{v}_a$ tiene dos componentes, una sobre el eje x, a la que llamamos v_{ax} y otra sobre el eje y, a la que llamamos v_{ay}.

Por tanto, escribimos el vector velocidad del avión como:

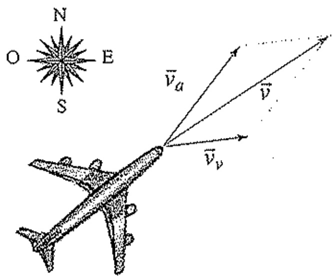
$$\vec{v}_a = (v_{ax}, v_{ay})$$

La velocidad del viento v_v tiene dos componentes v_{vx} y v_{vy}, por tanto, escribimos el vector velocidad del viento como:

$$\vec{v}_v = (v_{vx}, v_{vy})$$

Paso 2. Suma de las componentes

A continuación se muestra el vector la velocidad, $\vec{v} = \vec{v}_a + \vec{v}_v$, del avión con respecto a la Tierra.



Este vector tiene dos componentes una sobre el eje x, v_x, y otra sobre el eje y, v_y. Por tanto, escribimos el vector velocidad del avión con respecto a la Tierra como:

$$\vec{v} = (v_x, v_y)$$

Tenemos que las componentes del vector suma $\vec{v} = \vec{v}_a + \vec{v}_v$ son:

$$v_x = v_{ax} + v_{vx} \quad \text{y} \quad v_y = v_{ay} + v_{vy}$$

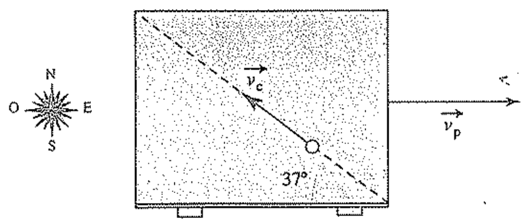
La componente en el eje x del vector suma es igual a la suma de las componentes en el eje x.

La componente en y del vector suma es igual a la suma de las componentes en y de los vectores.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

3.4 Carlos se mueve en línea recta de esquina a esquina de una plataforma en movimiento con velocidad constante de 2 m/s. La velocidad con que se mueve la plataforma es de 5 m/s hacia el oriente. En la gráfica se representa la situación.



Determinar:

a. Las componentes del vector velocidad de la plataforma.

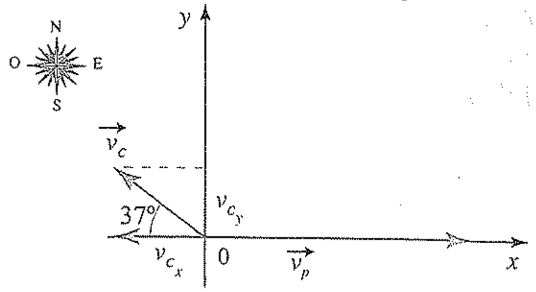
b. Las componentes del vector velocidad de Carlos con respecto a la plataforma.

c. La suma de los vectores velocidad de la plataforma y velocidad de Carlos con respecto a la plataforma.

d. La norma y la dirección de la velocidad de Carlos con respecto a la vía.

SOLUCIÓN:

Antes de iniciar con la solución, resulta bastante útil hacer una representación de la situación sobre el plano cartesiano.



a. Sea v_p el vector velocidad de la plataforma.

Las componentes de $\vec{v}_p$ se escriben como:

$$v_{p_x} = 5 \text{ m/s} \quad y \quad v_{p_y} = 0$$

Por lo tanto, $\vec{v}_p = (5, 0)$, con sus componentes medidas en m/s.

b. Sea $\vec{v}_c$ el vector velocidad de Carlos. Las componentes del vector $\vec{v}_c$ se escriben así:

$v_{c_x} = -v_c \cdot \cos 37°$ $\quad v_{c_x} = -2 \text{ m/s} \cdot 0{,}8 = -1{,}6 \text{ m/s}$ *Ecuación 3.5*

$v_{c_y} = v_c \cdot \text{sen } 37°$ $\quad v_{c_y} = 2 \text{ m/s} \cdot 0{,}6 = 1{,}2 \text{ m/s}$ *Ecuación 3.6*

Observa que a la componente en x de la velocidad le asignamos un signo menos, pues este indica la dirección negativa del eje x.

Así, $v_c = (-1{,}6;\ 1{,}2)$, con las componentes medidas en m/s.

c. La suma de los vectores $\vec{v}_p$ y $\vec{v}_c$, que se representa $\vec{v}_p + \vec{v}_c$, se determina sumando las respectivas componentes en x y en y. Así:

$$\begin{array}{l} \vec{v}_p = (5;\ 0) \\ \underline{\vec{v}_c = (-1{,}6;\ 1{,}2)} \\ \vec{v} = (3{,}4;\ 1{,}2) \end{array}$$

Las componentes del vector $\vec{v}$ están medidas en m/s.

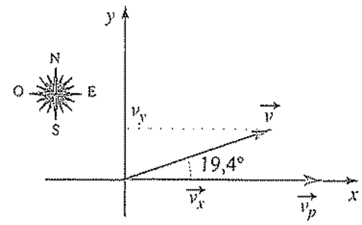
El vector $\vec{v} = (3{,}4;\ 1{,}2)$ obtenido representa la velocidad de Carlos con respecto a la vía.

d. La norma del vector $\vec{v}$ es:

$$v = \sqrt{(3{,}4 \text{ m/s})^2 + (1{,}2 \text{ m/s})^2} = 3{,}6 \text{ m/s} \qquad \textit{Ecuación 3.4}$$

La dirección está dada por el ángulo α y se determina con la función tangente. Así:

$$\tan \alpha = \frac{1{,}2}{3{,}4} = 0{,}353 \qquad \text{Por tanto, } \alpha = \tan^{-1} 0{,}353 = 19{,}4°$$



En conclusión la persona se mueve a 3,6 m/s en dirección 19,4° hacia el noreste.

Tema 2. Movimiento de proyectiles

La trayectoria seguida por un proyectil en su lanzamiento resulta de la composición de dos movimientos, uno vertical y otro horizontal.

2.1 El principio de inercia

Cuando damos un empujón repentino a un objeto que está sobre una superficie plana hecha de cemento, este empieza a moverse y, en algún momento, se detiene. Si ahora damos el empujón al mismo objeto sobre una superficie de hielo, podemos observar que, antes de detenerse, su desplazamiento es mayor con relación al desplazamiento anterior. Cabe preguntarnos, ¿un objeto se puede mover indefinidamente con sólo darle un empujón inicial?

© SANTILLANA

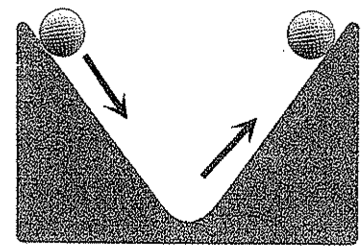


FIGURA 10

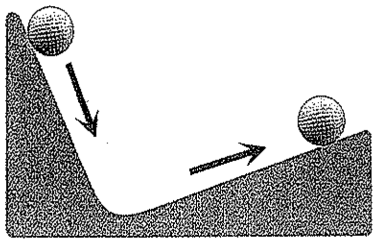


FIGURA 11

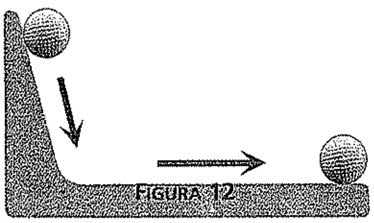


FIGURA 12

Según la física aristotélica de la antigüedad, se pensaba que, en ningún caso, el movimiento de los objetos en la Tierra podría continuar indefinidamente pues este se consideraba de carácter transitorio. En la época de Galileo, se aceptó que la tendencia natural del movimiento de un objeto, a menos que fuera interrumpido por la presencia de asperezas en las superficies con las que tuviera contacto, era continuar.

Consideremos el siguiente experimento con dos planos inclinados que se unen por sus extremos como lo muestra la figura 10. Si una esfera se suelta desde cierta altura en uno de los planos, su velocidad se incrementa con aceleración constante hasta llegar a la base del plano y, posteriormente, subirá por el otro plano hasta detenerse en un punto de altura ligeramente menor con respecto a la altura inicial desde la cual se ha soltado en el primer plano.

Al disminuir la inclinación del segundo plano, como muestra la figura 11, el resultado del experimento sigue siendo el mismo. La esfera llega a una altura un poco menor que la altura del punto desde el cual se ha soltado en el primer plano, aún cuando recorre mayor distancia.

Ahora supongamos que el segundo plano se dispone horizontalmente (figura 12) y que su superficie es perfectamente lisa, libre de asperezas, cabe esperar que la bola ruede indefinidamente manteniendo su velocidad constante.

A partir de razonamientos como los presentados en los párrafos precedentes, Galileo enunció el principio de inercia:

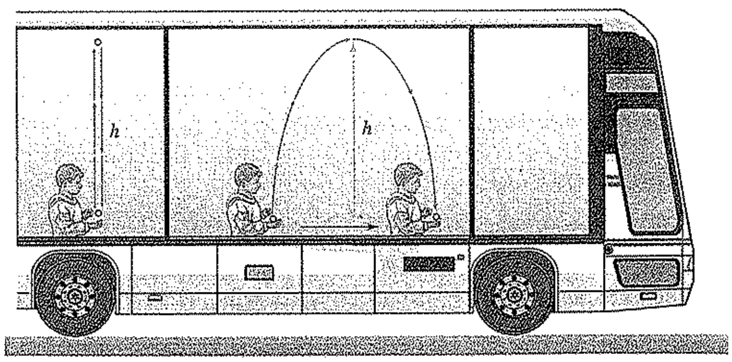
DEFINICIÓN 3.5

Un cuerpo que se mueve por una superficie plana seguirá en la misma dirección a velocidad constante si nada lo perturba.

Supongamos que una persona se transporta en un bus que se mueve con velocidad constante. Si lanza una moneda hacia arriba, ¿ésta cae de nuevo a sus manos?, ¿cae detrás de ella? o ¿delante de ella?

A continuación se muestra la trayectoria que describiría un observador dentro del bus.

El movimiento descrito desde el bus es el de un objeto que se mueve inicialmente hacia arriba con determinada velocidad hasta que alcanza velocidad cero y entonces, cae.



Para analizar lo que vería un observador en la vía, aplicamos el principio de independencia y el principio de inercia. El movimiento de la moneda tiene dos componentes independientes.

- Una corresponde al movimiento vertical de un objeto lanzado hacia arriba que regresa al punto de partida.
- La otra corresponde al movimiento horizontal con velocidad constante.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

3.5 Resuelve la siguiente situación.

Andrés lanza una moneda con velocidad de 2,45 m/s dentro de un bus que se mueve con velocidad de 10 m/s. Determinar:

a. El tiempo que emplea la moneda en alcanzar el punto más alto.
b. La altura máxima que alcanza la moneda.
c. La distancia que recorre el bus mientras la moneda está en el aire.

SOLUCIÓN:

Para analizar lo que vería un observador en la vía, aplicamos el principio de independencia y el principio de inercia.
El movimiento de la moneda tiene dos componentes independientes.

- *Una corresponde al movimiento vertical de un objeto lanzado hacia arriba que regresa al punto de partida.*
- *La otra corresponde al movimiento horizontal con velocidad constante.*

a. Para determinar el tiempo en que la moneda alcanza el punto más alto, consideremos las características de la situación dentro del bus.
En el punto más alto de la trayectoria, la velocidad de la moneda es cero. Por lo tanto,

$v = v_0 - gt$	*Ecuación 2.12*
$0 = 2{,}45\ m/s - 9{,}8\ m/s^2\ t$	*Valores dados en la situación*
$t = 0{,}25\ s$	*Se despeja el tiempo*

El tiempo en que la moneda alcanza la altura máxima es $t = 0{,}25\ s$.

b. La altura que alcanza la moneda se determina mediante la ecuación 2.13.

$$y = v_0\, t - \frac{1}{2} g t^2 = 2{,}45\ m/s \cdot 0{,}25\ s - \frac{1}{2} \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot (0{,}25)^2$$

$$y = 0{,}30\ m$$

La altura que alcanza la moneda es 0,30 m.

c. La distancia que recorre el bus mientras la moneda alcanza la altura de 0,30 m, se determina con la ecuación 2.4. Así: $\Delta x = v \cdot t = 10\ m/s \cdot 0{,}25\ s = 2{,}5\ m$

La moneda regresa a las manos de Andrés 0,5 segundos después; entre tanto, el bus se desplaza 5 m. Esta medida corresponde al doble de la distancia recorrida por él mientras la moneda asciende.

En la situación planteada en el ejemplo, si el bus está en reposo o se mueve con velocidad constante, la moneda cae en manos de quien la lanzó. El principio de inercia modificó las orientaciones que había acerca del movimiento y entonces se hizo necesario reconocer cierta afinidad entre un objeto en reposo y otro moviéndose con velocidad constante sobre una superficie plana.

2.2 Lanzamiento horizontal

Llamamos lanzamiento horizontal al movimiento que describe un proyectil cuando se dispara horizontalmente desde cierta altura con velocidad inicial v_0. Es decir, perpendicularmente a la aceleración de la gravedad g (figura 13).

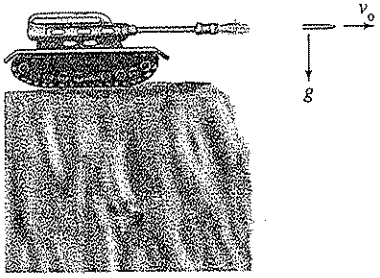
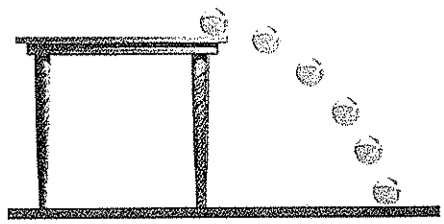


Figura 13

Analicemos ahora cuál es la diferencia entre este movimiento de lanzamiento horizontal y el de caída libre que estudiamos en la unidad anterior.

Para analizar este movimiento, supongamos que se lanza una pelota desde la superficie de una mesa en forma horizontal como se muestra a la derecha.



En el caso del lanzamiento horizontal la pelota, al caer, se desplaza horizontalmente. El movimiento se produce en el plano, en dos direcciones: una en el eje x y la otra en el eje y. Si bien, a primera vista, la trayectoria de la pelota puede parecer complicada, veremos que el hecho de descomponer el movimiento en estas dos direcciones simplificará notablemente el problema.

- **El movimiento horizontal**

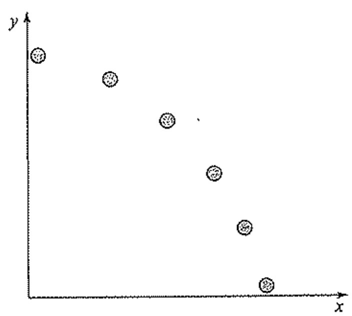
Supongamos que iluminamos la pelota desde arriba y estudiamos el movimiento de la sombra que esta proyecta sobre el piso, es decir, el movimiento horizontal que describe. Veremos que la sombra recorre espacios iguales en tiempos iguales, por lo tanto, el movimiento se realiza con velocidad constante.

Más aún, si calculáramos la velocidad con la que avanza la sombra, veríamos que coincide con la velocidad con que la pelota abandonó la superficie de la mesa. Así, en dirección horizontal la pelota se mueve siempre con la misma velocidad (no hay aceleración) por tanto, el movimiento horizontal en este caso es rectilíneo y uniforme.

- **El movimiento vertical**

Ahora supongamos que iluminamos la pelota desde el costado hacia el cual se mueve y estudiamos el movimiento de la sombra proyectada sobre una pantalla vertical al piso. Veremos que la sombra recorre espacios cada vez mayores en intervalos iguales de tiempo, es decir, que el movimiento vertical de la pelota se realiza con velocidad variable. Además, si midiéramos cómo avanza la posición de la sombra sobre la vertical, veríamos que lo hace como cualquier objeto que se encuentra en caída libre.

En la siguiente gráfica se representan los dos movimientos mencionados.



El movimiento vertical de la pelota es uniformemente acelerado, con una aceleración igual a la aceleración de la gravedad.

En conclusión el movimiento descrito se conoce como lanzamiento horizontal y, como se ha visto a partir del ejemplo, está compuesto por dos movimientos: uno rectilíneo y uniforme (en el eje x); y otro, rectilíneo uniformemente acelerado (en el eje y). La combinación de estos dos movimientos determina la trayectoria que describe el cuerpo.

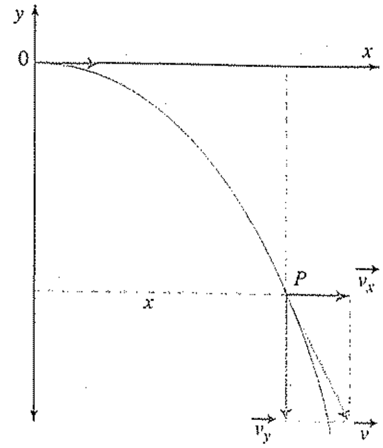


FIGURA 14

Para estudiar esta composición de movimientos rectilíneos, elijamos como sistema de referencia el que se forma por dos ejes de coordenadas cartesianas x-y en cuyo origen (0, 0) se sitúa en el punto de disparo (figura 14).

En cualquier punto de la trayectoria, la velocidad del objeto tiene por componentes v_x y v_y, es decir, que la velocidad es $\vec{v} = (v_x, v_y)$ y su dirección es tangente a la trayectoria.

Analicemos los dos movimientos, en el eje x y en el eje y, para un objeto que se lanza horizontalmente con velocidad v_0 cuando se desprecia la resistencia del aire.

- **Movimiento horizontal**

En cualquier posición, la componente v_x de la velocidad del proyectil coincide con la velocidad inicial v_0.

Es decir,

$$v_x = v_0 \qquad \text{ECUACIÓN 3.7}$$

La coordenada de la posición en el eje x se expresa como

$$x = v_0\, t \qquad \text{ECUACIÓN 3.8}$$

- **Movimiento vertical**

Es un movimiento de caída libre, con velocidad inicial cero.

Para cualquier posición, la componente v_y de la velocidad del proyectil coincide con la velocidad de caída de un cuerpo que se suelta desde la misma altura.

Por tanto, $v_y = v_{0_y} - gt$ donde $v_{0_y} = 0$, luego,

$$v_y = gt \qquad \text{ECUACIÓN 3.9}$$

La coordenada de la posición en el eje y se expresa como

$$y = v_{0_y}\, t - \frac{1}{2} g t^2$$

como $v_{0_y} = 0$, tenemos que

$$y = -\frac{1}{2}\, g t^2 \qquad \text{ECUACIÓN 3.10}$$

Para determinar la forma de la trayectoria seguida por el proyectil, a partir de la expresión $x = v_0 t$ obtenemos que $t = \dfrac{x}{v_0}$

Al sustituir esta expresión del tiempo en la ecuación 3.10 se obtiene

$$y = -\frac{1}{2} g t^2 = -\frac{1}{2}\, g \cdot \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 \text{luego } y = -\frac{x^2}{2 v_0^2}\, g$$

lo cual corresponde a la parábola, como se muestra en la figura 15.

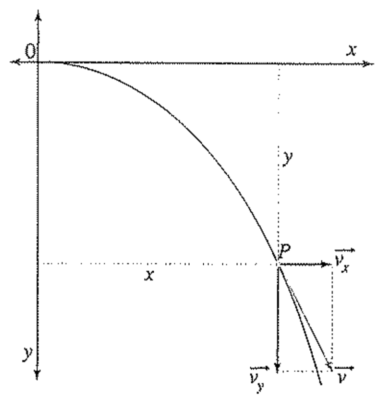


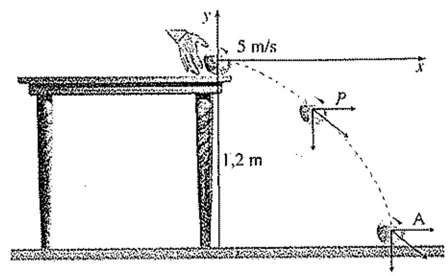
FIGURA 15

EJEMPLO

IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR

3.6 Desde la superficie de una mesa de 1,2 m de alto se lanza horizontalmente una pelota, con velocidad inicial de 5 m/s. Determinar

a. La posición de la pelota 0,2 segundos después del lanzamiento.
b. La posición de la pelota al chocar con el piso.
c. La velocidad de la pelota inmediatamente antes de chocar con el piso.



SOLUCIÓN:

La situación se puede representar con el dibujo de la derecha.

a. *Al cabo de 0,2 segundos, las coordenadas de la posición P son:*

$$x = v_0 t = 5\ m/s \cdot 0{,}2\ s = 1\ m \qquad \text{Ecuación 3.8}$$

$$y = -\frac{1}{2} g t^2 = -\frac{1}{2}\ 9{,}8\ m/s^2\ (0{,}2\ s)^2 = -0{,}2\ m \qquad \text{Ecuación 3.10}$$

La posición a los 0,2 segundos se representa por el vector (1, −0,2), con las componentes medidas en metros.

b. *Al chocar con el piso, la pelota ha empleado un tiempo equivalente al de descenso en caída libre desde la altura de 1,2 m. Así, a partir de la ecuación 3.10 se obtiene:*

$$-1{,}2\ m = -\frac{1}{2} \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot t^2 \qquad \text{luego } t = 0{,}5\ s.$$

La posición A al caer al piso, en la dirección de y es y = − 1,2 m y la posición en la dirección de x se determina mediante la expresión:

$$x = v_0 t = 5\ m/s \cdot 0{,}5\ s = 2{,}5\ m \qquad \text{Ecuación 3.2}$$

El impacto con el piso ocurre en el punto de coordenadas (2,5; −1,2), con las componentes medidas en metros.

c. *La velocidad en el eje x, en todos los puntos es $v_x = 5\ m/s$ y la velocidad en el eje y se determina mediante la ecuación 3.9.*

$$v_y = \cdot g t = -9{,}8\ m/s^2 \cdot 0{,}5\ s = -4{,}9\ m/s$$

La velocidad al llegar al piso es v = (5, −4,9), con las componentes medidas en m/s.

La norma de la velocidad es $v = \sqrt{(5\ m/s)^2 + (-4{,}9\ m/s)^2} = 7{,}0\ m/s$

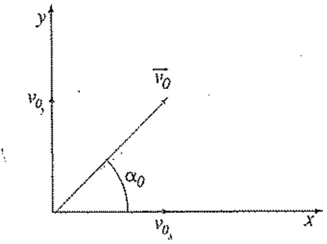


FIGURA 16

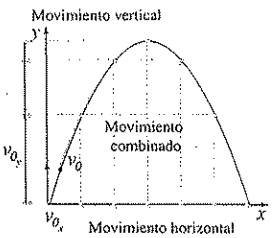


FIGURA 17

2.3 Movimiento de proyectiles

Supongamos que se lanza un objeto, con velocidad v_0, que forma con la horizontal un ángulo α_0 (figura 16). La velocidad inicial tiene dos componentes: v_{0_x} y v_{0_y}, las cuales se determinan como:

$$v_{0_x} = v_0 \cdot \cos \alpha_0$$

$$v_{0_y} = v_0 \cdot \operatorname{sen} \alpha_0$$

Al igual que en el lanzamiento horizontal, este movimiento resulta de la composición de dos movimientos: uno vertical, con velocidad v_{0_y}, que corresponde al de un objeto lanzado hacia arriba y que regresa a la tierra, y otro horizontal con velocidad constante v_{0_x} (figura 17).

La variación de la velocidad en el movimiento vertical hacia arriba es igual a la variación de la velocidad cuando se dirige hacia abajo. El cuerpo al ascender disminuye la velocidad hasta que, por un instante, su velocidad vertical es cero, en el punto más alto, y luego desciende empleando, en regresar al nivel desde el que fue lanzado, el mismo tiempo que cuando subió.

El movimiento del proyectil es la composición de un movimiento vertical bajo la acción de la aceleración de la gravedad y un movimiento horizontal en el que se recorren distancias iguales en tiempos iguales.

Si se considera el origen, es decir el punto (0, 0), en el punto de partida del proyectil, al cabo de determinado tiempo el objeto ocupa la posición (x, y) y su velocidad es $v = (v_x, v_y)$, donde:

$$x = v_x t \qquad \text{ECUACIÓN 3.11}$$

$$y = v_{0y} - \frac{1}{2} gt^2 \qquad \text{ECUACIÓN 3.12}$$

$$v_x = v_{0x} = \text{constante} \qquad \text{ECUACIÓN 3.13}$$

$$v_y = v_{0y} - gt \qquad \text{ECUACIÓN 3.14}$$

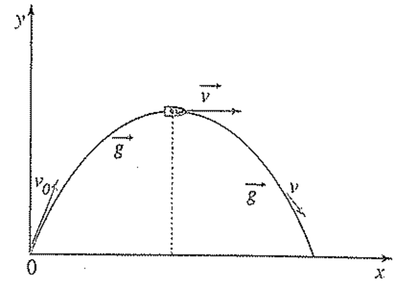


FIGURA 18

Puesto que la componente de la velocidad en el eje x es constante, su valor en cualquier instante es el mismo que en el momento del lanzamiento, v_{0x}.

La aceleración sólo tiene componente en el eje y que es la aceleración de la gravedad (figura 18).

Como lo hemos dicho, la velocidad de un objeto en cualquier punto de la trayectoria es un vector tangente a la misma.

A partir de las expresiones para x y para y es posible determinar la posición del objeto en cualquier instante de tiempo.

Por ejemplo, si se toma el sentido positivo del eje y hacia arriba, a una posición por debajo del nivel desde el cual se ha lanzado un objeto le corresponde un valor de y negativo.

EJEMPLO

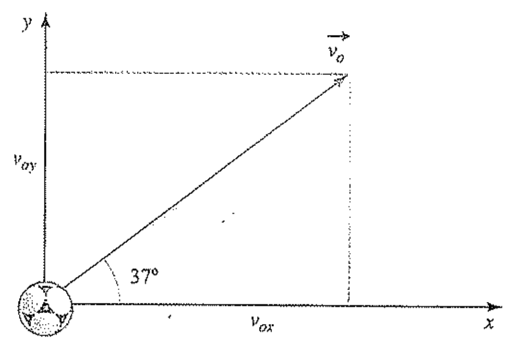
IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

3.7 Un balón se dispara con velocidad de 15 m/s formando, con la horizontal, un ángulo de 37°.

a. Determinar las componentes v_{0x} y v_{0y} de la velocidad inicial.
b. Calcular los valores de las componentes de la velocidad a los 0,5 s y a los 1,2 s.
c. Calcular los valores de las componentes de la posición a los 0,5 s y a los 1,2 s.
d. Calcular el tiempo en alcanzar la altura máxima.
e. Determinar la altura máxima.
f. Calcular la distancia horizontal que alcanza al caer al piso.
g. Dibujar la trayectoria y representar el vector velocidad y sus componentes para estos tres casos
- en el punto de partida
- en el punto más alto
- al cabo de 1,2 s

SOLUCIÓN:

La gráfica muestra una representación de la situación.



a. *Las componentes de la velocidad inicial se calculan mediante*

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha_0 = 15\ m/s \cdot \cos 37° = 15\ m/s \cdot 0{,}8 = 12\ m/s$$
$$v_{0y} = v_0 \cdot \operatorname{sen} \alpha_0 = 15\ m/s \cdot \operatorname{sen} 37° = 15\ m/s \cdot 0{,}6 = 9\ m/s$$

El vector velocidad inicial es $v_0 = (12; 9)$, *cuyas componentes están medidas en m/s.*

b. *Al cabo de 0,5 s, la velocidad en el eje x es constante y su valor es* $v_x = 12\ m/s$.
La velocidad en la dirección del eje y es:

$$v_y = v_{0y} - gt = 9\ m/s - 9{,}8\ m/s^2 \cdot 0{,}5\ s = 4{,}1\ m/s \qquad \textit{Ecuación 3.14}$$

Luego a los 0,5 s la velocidad es $\vec{v} = (12; 4{,}1)$ *con los componentes en m/s.*

Al cabo de 1,2 s, la velocidad en el eje x es $v_x = 12\ m/s$ *y la velocidad en la dirección del eje y se calcula mediante:*

$$v_y = v_{0y} - gt = 9\ m/s - 9{,}8\ m/s^2 \cdot 1{,}2\ s = -2{,}8\ m/s \qquad \textit{Ecuación 3.14}$$

Luego a los 1,2 s la velocidad es $\vec{v} = (12; -2{,}8)$ *con las componentes en m/s.*

c. *La posición al cabo de 0,5 s, se determina mediante:*

- *En el eje x:* $x = v_x \cdot t = 12\ m/s \cdot 0{,}5\ s = 6{,}0\ m$ *Ecuación 3.11*
- *En el eje y:* $y = v_{0y}\, t - \frac{1}{2} gt^2 = 9\ m/s \cdot 0{,}5\ s - \frac{1}{2}\, 9{,}8\ m/s^2 \cdot (0{,}5\ s)^2 = 3{,}3\ m$ *Ecuación 3.12*

Es decir que a los 0,5 s, ocupa la posición (6; 3,3), con las componentes medidas en metros.

La posición al cabo de 1,2 s, se calcula mediante:

- *En el eje x:* $x = v_x \cdot t = 12\ m/s \cdot 1{,}2\ s = 14{,}4\ m$ *Ecuación 3.11*
- *En el eje y:* $y = v_{0y}\, t - \frac{1}{2} gt^2 = 9\ m/s \cdot 1{,}2\ s - \frac{1}{2} \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot (1{,}2\ s)^2 = 3{,}7\ m$ *Ecuación 3.12*

Es decir que a los 1,2 s, ocupa la posición (14,4; 3,7) con las componentes medidas en metros.

d. *Para calcular el tiempo en alcanzar la altura máxima, sabemos que en el punto más alto, la componente vertical de la velocidad,* v_y, *es cero, por tanto*

$$v_y = v_{0y} - gt \qquad \textit{Ecuación 3.14}$$
$$0 = 9\ m/s - 9{,}8\ m/s^2\ t, \text{ de donde, } t = 0{,}9\ s$$

El tiempo en alcanzar la altura máxima es 0,9 segundos.

e. *Sabemos que alcanzó la altura máxima en 0,9 s, por tanto, para la altura máxima se tiene:*

$$y = v_{0y}\, t - \frac{1}{2} gt^2 = 9\ m/s \cdot 0{,}9\ s - \frac{1}{2} \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot (0{,}9\ s)^2 = 4{,}1\ m \qquad \textit{Ecuación 3.12}$$

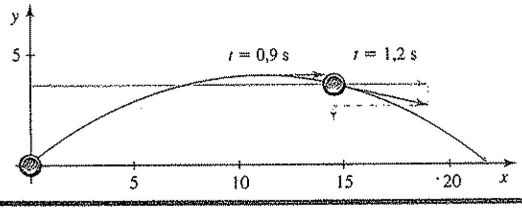
La altura máxima alcanzada por el objeto es 4,1 m.

f. *Como el objeto empleó 0,9 s en alcanzar la altura máxima, podemos concluir que tardó 1,8 s en regresar al nivel desde el cual fue lanzado, por tanto, la distancia horizontal que alcanza al llegar al piso es:*

$$x = v_x\, t = 12\ m/s \cdot 1{,}8\ s = 21{,}6\ m.$$

La posición en el punto más alto es (10,8; 4,1) y en el punto en el cual cayó es (21; 6, 0), en ambos casos las componentes se miden en metros.

g. *La trayectoria descrita por el objeto se muestra a continuación:*



© SANTILLANA

Resumen de la unidad

SUMARIO DE CONCEPTOS

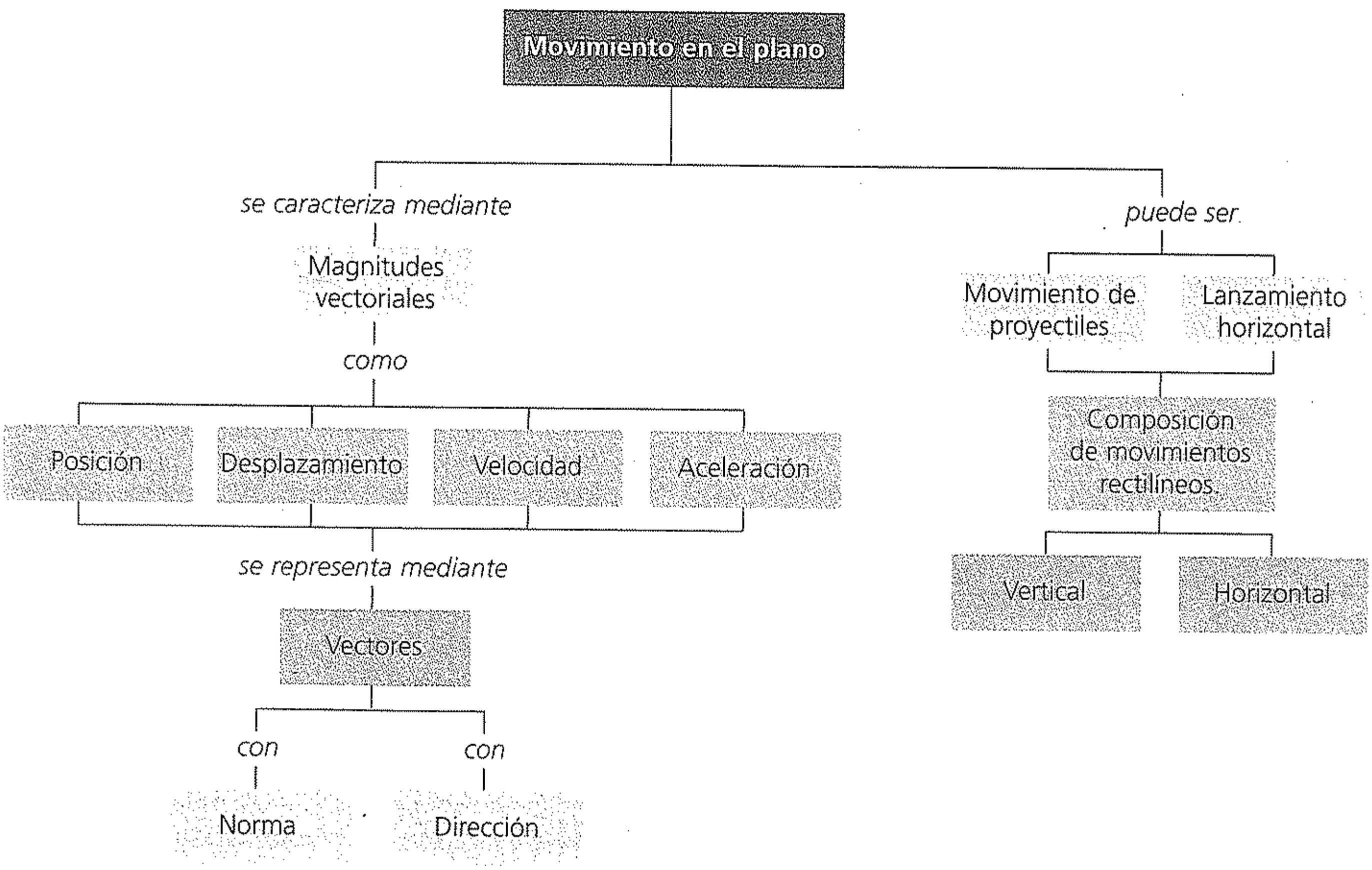
LANZAMIENTO HORIZONTAL: movimiento que describe un objeto que se lanza horizontalmente desde determinada altura.

MAGNITUD ESCALAR: magnitud que se define mediante un número y una unidad.

MAGNITUD VECTORIAL: magnitud que se representa mediante un vector.

VECTOR: segmento dirigido que se especifica mediante su norma y su dirección.

MAPA DE CONCEPTOS



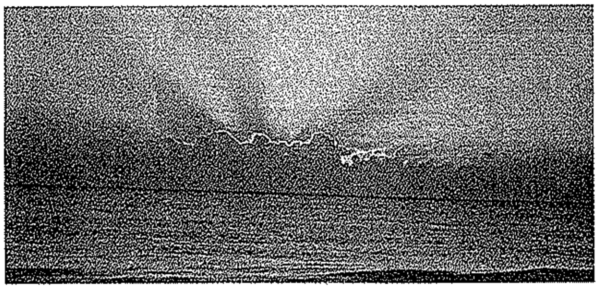
© SANTILLANA

ACTIVIDADES

Tema 1. Magnitudes vectoriales

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Podemos afirmar que la rapidez 50 m/s con la que se mueve una avestruz es una cantidad vectorial? Justifica tu respuesta.
2. ¿La trayectoria que realizas todos los días de tu casa al colegio se puede considerar como una magnitud de carácter vectorial? Justifica tu respuesta.
3. ¿Por qué la temperatura de una ciudad corresponde a una magnitud escalar?
4. ¿Por qué cuando dos automóviles circulan paralelos uno del otro en una avenida se dice que representan una equivalencia de vectores?
5. Un profesor de física explica a sus estudiantes que la luz se propaga en línea recta. Uno de ellos le pregunta al profesor si la luz del sol es una magnitud física de carácter vectorial. ¿Qué crees que responderá el profesor? Explica tu respuesta.



6. ¿Pueden dos móviles que describen la misma trayectoria tener desplazamientos distintos? Justifica tu respuesta.
7. ¿Podría un aviador o un marino encontrar su lugar de destino sabiendo sólo el tiempo que debe volar o navegar y la distancia que debe recorrer? Explica tu respuesta.
8. ¿Por qué cuando un carpintero realiza un corte a una tabla de madera con una sierra, se debe ubicar frente a la sierra y no de lado? Justifica tu respuesta.
9. Según algunas filmaciones sobre avistamientos de ovnis, se ha podido observar que estos objetos voladores cambian de dirección repentinamente. ¿Cómo se podría explicar este hecho?
10. Un jardinero corta el pasto de una cancha de fútbol con una podadora.

    ¿Por qué realiza el movimiento de la máquina hacia delante y luego hacia atrás? Justifica tu respuesta.
11. ¿Crees que un viento fuerte puede cambiar el movimiento de una mariposa que se encuentra en vuelo? Justifica tu respuesta.
12. Un avión realiza un vuelo de Bogotá a Cartagena.

    En qué situación llega más rápido, ¿cuando el viento sopla a favor o cuando el viento sopla en contra? Explica tu respuesta.
13. Un estudiante de física afirma que la lluvia es una magnitud física de carácter vectorial puesto que tiene dirección. Refuta esta afirmación.
14. Dos vectores tienen módulos diferentes, ¿la suma de estos vectores puede ser cero? Explica tu respuesta.
15. Cuando se suelta una bomba llena de helio, se eleva en el aire en línea recta. Explica tu respuesta.
16. Cuando se viaja por una carretera y está lloviendo, se observa que la lluvia cae sobre el vidrio del auto en forma inclinada. ¿Cómo explicas este fenómeno?
17. ¿Qué pasaría si en la competencia de atletismo de los 100 metros, no se marcara en el suelo el carril que le corresponde a cada atleta?
18. ¿Por qué cuando llueve es frecuente inclinar el paraguas, mientras caminamos, para evitar mojarnos?
19. Si una lancha se mueve en sentido contrario a la corriente de un río, ¿se puede decir que, en algún momento, la suma de la velocidad de la lancha y la velocidad de la corriente del río es nula? Explica tu respuesta.
20. Cuando se practica *surfing*, para avanzar con una mayor rapidez que la velocidad de la ola, se debe deslizar la tabla con un cierto ángulo respecto al frente de ola. Explica la razón por la cual sucede esto.

21. ¿Cuándo cruzas nadando una piscina realizas el mismo esfuerzo que cuando cruzas nadando un río? Explica tu respuesta.

22. ¿Qué acción se debería hacer sobre el timonel de una embarcación para que, al cruzar un río, la corriente no lo desvíe?

23. Si un nadador se mueve en un río en el mismo sentido de la corriente, ¿podemos decir que la velocidad del nadador es mayor que la velocidad del río? Explica tu respuesta.

24. Si la velocidad del flujo de la corriente en un río recto es mayor que la rapidez de una lancha en el agua, ¿podría la lancha atravesar el río? Justifica tu respuesta.

PROBLEMAS

25. 1 En su recorrido hacia el colegio un estudiante camina 5 km hacia el oeste y 10 km hacia el sur. Determina la norma y la dirección del vector desplazamiento.

26. 2 Una persona en una bicicleta realiza los siguientes desplazamientos: el primer desplazamiento es de 50 m hacia el este y el segundo desplazamiento es de 25 m hacia el norte. Encuentra la norma y la dirección del vector desplazamiento.

27. Un bus se dirige hacia el norte y recorre 15 km. Luego se mueve 8 km hacia el sureste en una dirección de 45°. Calcula la norma y la dirección del desplazamiento del bus.

28. Un excursionista que se encuentra perdido en el bosque realiza tres desplazamientos consecutivos, de tal forma que, al final, vuelve al sitio de donde partió. El primer desplazamiento es de 12 m hacia el este, y el segundo desplazamiento es de 16 m hacia el sur. ¿Cuáles serán la norma y la dirección del tercer desplazamiento?

29. Un móvil realiza dos desplazamientos. El primero tiene una norma de 125 m y forma un ángulo de 110° con el eje *x* positivo. Si el desplazamiento resultante está dirigido a un ángulo de 40° con relación al eje *x* y tiene una magnitud de 130 m, ¿cuáles son la norma y la dirección del segundo desplazamiento?

30. Un atleta corre 95 m hacía el oeste y después cambia de dirección. Al final de la carrera se encuentra a 180 m del punto de salida a un ángulo de 20° hacia el noroeste. Calcula la norma y la dirección del segundo desplazamiento.

31. Un avión que vuela hacia el sur a una velocidad de 98 m/s, es empujado por un viento que viaja a una velocidad de 45 m/s hacia el este. Determina la velocidad del avión y la dirección respecto a la Tierra.

32. Un niño explorador sale de su campamento y camina 12 km hacia el norte. Si posteriormente, recorre 15 km hacia el este, encuentra:

a. La distancia total que caminó el niño explorador.

b. El desplazamiento total desde el punto de partida.

33. Al soltar una bomba de caucho llena de helio, la fuerza ascensional la eleva a una velocidad de 17 m/s. Si la velocidad cambia horizontalmente 8 m/s, debido a un fuerte viento, encuentra la norma y la dirección de la velocidad de la bomba.

34. Una paloma vuela a 40 km/h, si vuela contra el viento y este tiene un $\frac{1}{4}$ de la velocidad del vuelo de la paloma. ¿Cuál es la velocidad real de la paloma?

35. Una persona desea cruzar un río cuya corriente se mueve con una velocidad de 2 km/h. Si la persona nada a una velocidad de 4 km/h, ¿cuáles son su velocidad y dirección con respecto a la orilla del río?

36. Un helicóptero describe una ruta hacia el aeropuerto desde el este, con una velocidad igual a 250 km/h.

Si sobre él actúa un fuerte viento que tiene una velocidad de 50 km/h y en dirección 35° sureste, determina:

a. La velocidad del helicóptero.

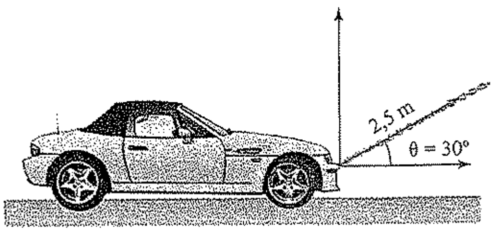
b. La dirección en la que debería orientarse el helicóptero.

ACTIVIDADES

37. Un submarino se sumerge con un ángulo de 25° con respecto a la horizontal y sigue una trayectoria en línea recta hasta alcanzar una distancia total de 6 km. ¿A qué distancia se encuentra el submarino de la superficie?

38. Un avión que vuela 900 km/h en sentido sur-norte, se encuentra con el viento que se dirige en sentido este-oeste, a una velocidad de 200 km/h. ¿Cuál es el módulo de la dirección de la velocidad del avión con respecto a la Tierra?

39. Una cadena se amarra a la defensa de un automóvil, como lo indica la figura.



Calcula las componentes horizontal y vertical de la cadena.

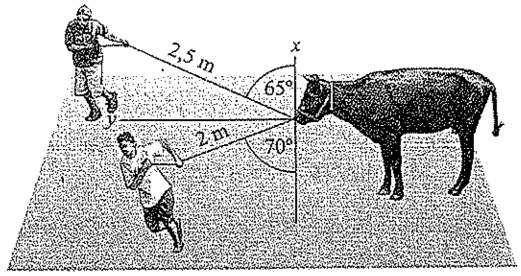
PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

40. Peter Pan va en busca de un tesoro antes de que el capitán Garfio lo encuentre. Campanita le indica las coordenadas para encontrar el tesoro: caminar 90 pasos hacia el oeste, después caminar 55 pasos hacia el noreste con una dirección de 120°, luego caminar al este 30 pasos y, por último, 40 pasos con una dirección de 20° al sur este. Representa gráficamente el recorrido y la posición en la cual está el tesoro.

41. Un gato persigue a un ratón; el ratón corre 2,5 m hacia el sur, luego gira 90° y corre 1,5 m al este; mientras tanto, el gato, desde el mismo punto de partida del ratón, corre detrás de él y se desplaza 2,91 m, con un ángulo de 30° respecto al eje *y* negativo. Determina si el gato podrá alcanzar al ratón.

42. Dos trenes que viajan con una rapidez constante de 80 km/h se aproximan el uno al otro sobre vías rectas perpendiculares entre sí. Si los trenes se encontraban equidistantes del punto de encuentro y a 50 km entre ellos, ¿al cabo de cuánto tiempo chocarán?

43. Una vaca se encuentra obstruyendo el paso vehicular en una carretera. Dos conductores se bajan de sus autos y halan cada uno de una cuerda a la vaca para retirarla de la vía como se muestra en la figura.



Determina:

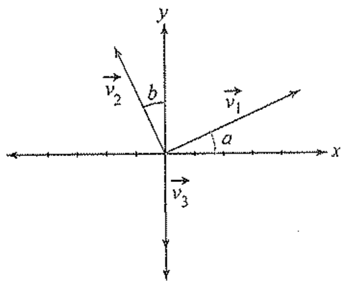
a. ¿Cuál es el vector resultante?

b. Si otra persona les ayuda a halar la vaca, ¿dónde se debe ubicar para que la suma de los tres vectores sean igual a cero?

44. El piloto de una avioneta debe mantener el rumbo de 18° al noreste para que el avión viaje hacia el este con respecto al suelo. La velocidad de la avioneta es de 320 km/h y su velocidad con respecto al suelo es de 350 km/h. Calcula la velocidad del viento.

45. Dos carros se alejan entre sí, cada uno con rapidez de 60 km/h y formando un ángulo de 100° entre ellos. Al cabo de 2 horas, ¿a qué distancia se encuentra cada uno del punto de partida?, ¿qué distancia los separa si partieron simultáneamente del mismo lugar?

46. En el gráfico se muestran 3 vectores con los siguientes valores: $\vec{v}_1 = 15$ u, $\vec{v}_2 = 90$ u, $\vec{v}_3 = 60$ u, siendo *a* y *b* de 25°.



Determina:

a. Las componentes de los tres vectores.

b. La magnitud del vector resultante y la dirección.

Tema 2. Movimiento de proyectiles

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Hacia donde se moverán las personas que viajan en un automóvil cuando este gira hacia la derecha?

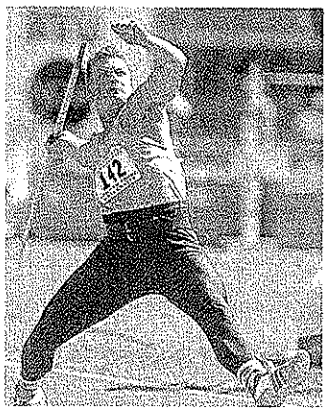
2. Se lanzan dos pelotas, una que se deja caer simplemente y una que se lanza en sentido horizontal, ¿cuál de las dos pelotas llega primero al suelo, la que se deja caer o la que se lanza en sentido horizontal? Explica tu respuesta.

3. ¿Qué sensación experimenta una persona que va en un auto al lado del conductor y este decide frenar bruscamente?

4. Dos niñas hacen una competencia y cada una, desde su mesa de trabajo, deja caer una esfera. Una es de acero y la otra es una canica, si se dejan caer al mismo tiempo las dos esferas y gana la que llegue primero al piso, ¿quién gana la competencia? ¿Por qué?

5. ¿Por qué en un partido de fútbol, cuando se cobra un tiro de esquina, suele cobrarse por el aire y no por el suelo?

6. Si en un lanzamiento con jabalina el movimiento del brazo no fuera hacia atrás de la cabeza, sino que fuera al nivel de la cadera, ¿la jabalina alcanzaría una mayor distancia? Justifica tu respuesta.



7. Galileo demostró que si se desprecia la resistencia del aire, son iguales los alcances de los proyectiles cuyos ángulos de proyección son mayores o menores de 45°. ¿Es valida esta afirmación? Explica tu respuesta.

8. Si se deja rodar una ésfera por una rampa, ¿cómo es el movimiento de la esfera cuando sale de la rampa?

9. Al lanzar horizontalmente, en un parque, una pelota de tenis y luego, una bola de billar, ¿las dos alcanzan la misma distancia horizontal? Justifica tu respuesta

10. Cuando se deja caer una pelota de una mesa, toca el suelo a cierta distancia del pie de la mesa, ¿si se empuja la pelota para impulsarla al caer, alcanzaría la misma distancia horizontal o la superaría? Justifica tu respuesta.

11. ¿Qué sucedería en una competencia de natación por clavados, si en vez de un trampolín ajustable se utilizará uno fijo hecho de cemento? Explica tu respuesta.

12. Si en un partido de béisbol el bateador golpea la pelota verticalmente hacia arriba, ¿Por qué no siempre hace *home run*? Explica tu respuesta.

13. ¿Cuál debe ser el ángulo con que se debe lanzar un objeto para que logre la mayor distancia horizontal? Justifica tu respuesta.

14. ¿La velocidad de un proyectil es constante durante su trayectoria parabólica? Explica tu respuesta.

15. Un futbolista golpea dos balones con la misma rapidez, pero con un ángulo de 30° y 60° respectivamente. ¿Cuál de los dos balones tiene mayor alcance horizontal? Justifica tu respuesta.

16. Un niño desea derribar una manzana que se encuentra en la parte alta de un árbol, para lo cual utiliza una piedra.
Si justo en el instante en que la piedra sale de la mano del niño, la manzana cae del árbol, ¿alcanzará la manzana a recibir el golpe de la piedra? Explica tu respuesta.

17. Una persona en el interior de un tren en movimiento, con velocidad constante, lanza una pelota verticalmente hacia arriba. Explica por qué la trayectoria que describe la pelota para la persona que va en el tren y para una persona que se encuentra fuera del tren es diferente.

18. Explica esta afirmación: un proyectil alcanza la mayor distancia horizontal posible si las componentes de la velocidad vertical y horizontal son iguales.

PROBLEMAS

19. Un avión en vuelo horizontal a una altura de 250 m y con una velocidad de 50 m/s, deja caer una bomba. Calcula:

a. El tiempo que tarda en llegar la bomba al suelo.

b. El desplazamiento horizontal de la bomba.

20. Un carpintero lanza un trozo de madera desde el techo de una casa ubicada a una altura de 10 m, con una velocidad horizontal de 2 m/s. ¿Cuánto tiempo tarda la madera en llegar al suelo?

21. Se lanza un cuerpo desde el origen con velocidad horizontal de 45 m/s, y con una velocidad vertical hacia arriba de 65 m/s. Determina:

a. La máxima altura.

b. El alcance horizontal.

22. Un cañón dispara una bala horizontalmente con una velocidad inicial de 150 m/s, desde una altura de 3 m. Encuentra:

a. La distancia que recorre la bala antes de chocar contra el suelo.

b. La velocidad a la cual choca la bala contra el suelo.

23. Se dispara un proyectil con velocidad inicial de 20 m/s y un ángulo de 65° con la horizontal. ¿Cuál es la velocidad y la aceleración en el punto más alto? ¿A qué distancia del punto de lanzamiento impacta en el suelo?

24. Un jugador de tejo lanza el hierro con un ángulo de 45° con la horizontal y cae en un punto situado a 30 m del lanzador. ¿Qué velocidad inicial le proporcionó al tejo?

25. Un balón es pateado con un ángulo de 60° respecto a la horizontal. Si este recorre una distancia de 25 m antes de tocar el suelo, calcula:

a. La velocidad inicial del balón.

b. La altura máxima que alcanza el balón.

26. Un jugador de béisbol golpea la pelota con un ángulo de 50° y le aplica una velocidad de 40 m/s. ¿Cuánto tiempo tarda la pelota en llegar al suelo?

27. Un electrón se lanza horizontalmente con un cañón electrónico hacia una pantalla de televisión con una rapidez horizontal de $1,5 \times 10^6$ m/s. Si la pantalla está a 50 cm, ¿qué tan debajo de la pantalla caerá el electrón?

28. Una persona empuja una pelota por una mesa de 90 cm de alto y cae a 50 cm del borde de la mesa, ¿con qué velocidad horizontal salió la pelota?

29. Se deja caer una canica horizontalmente desde un armario de 1,85 metros de alto. Si la canica choca contra el suelo en un punto que se encuentra a 1 m al pie del armario, determina:

a. El tiempo que dura la canica en el aire.

b. La velocidad inicial de la canica.

30. Si se lanza horizontalmente un balón desde la parte superior de un edificio que tiene una altura de 30 m y cae al piso en un punto que se encuentra a 50 cm de la base del edificio, calcula:

a. El tiempo en que la pelota se encuentra en el aire.

b. La velocidad inicial con la cual fue lanzada la pelota.

31. Una pelota lanzada horizontalmente desde lo alto de un edificio tarda 7 segundos en llegar al piso. Si la pelota cae a 14 m de la base del edificio.

a. ¿Con qué velocidad horizontal se lanzó la pelota?

b. ¿Cuál es la altura del edificio?

32. Desde una altura de 2 m, arriba del suelo y con un ángulo de 60° con la horizontal se dispara un proyectil. El proyectil choca contra el piso a una distancia de 18 m.

a. ¿Cuál es la velocidad inicial del proyectil?

b. ¿Cuál sería el alcance del proyectil si se lanza a 45° desde la misma altura?

33. Se arroja una piedra horizontalmente desde un puente con una altura de 49 m sobre un río con una rapidez de 20 m/s, ¿qué distancia horizontal recorrerá antes de chocar con el agua?

34. Un motociclista desea atravesar un acantilado de 5 m de ancho, utilizando una inclinación de 10° que la orilla del mismo forma con la horizontal. ¿Qué velocidad debe tener la moto en el momento que salta para lograr pasar el acantilado?

35. Ordenan a dos obreros descargar y organizar una carga de ladrillos que acaba de llegar.

Si un obrero lanza cada ladrillo con un movimiento parabólico, con una velocidad de 3 m/s y forma un ángulo con la horizontal de 30°, ¿a qué distancia debe estar el otro obrero para que reciba los ladrillos en la mano?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

36. Una pelota es lanzada desde un globo que se encuentra a una altura de 100 metros, la pelota viaja con una velocidad de 9 m/s y con un ángulo de 40° sobre la horizontal.

a. ¿Cuál es la altura máxima que alcanza la pelota?

b. ¿A qué distancia cae la pelota desde el punto en que fue lanzada?

37. Un jugador de fútbol patea un balón con una velocidad de 20 m/s y un ángulo de elevación de 40°.

Si el arquero que se encuentra a 85 m de la jugada corre a capturar el balón, ¿con qué velocidad debe correr para recoger el balón justo cuando llega a tierra?

38. Un buzo se lanza desde un trampolín que está a 3 m del nivel del agua, con una velocidad de 10 m/s y en un ángulo de 30° arriba de la horizontal. ¿Cuál es la altura máxima que alcanza el buzo respecto al agua?

39. Un cañón y un tanque enemigos se encuentran separados inicialmente a 1.080 m.

Si el tanque comienza a avanzar con una velocidad de 36 km/h y en ese mismo instante es disparado un proyectil con un ángulo de inclinación de 37° con la horizontal, ¿con qué velocidad fue disparado el proyectil?

40. Un avión de rescate vuela horizontalmente con una velocidad v_{ox} y una altura h sobre la superficie del océano, para arrojar un paquete de alimentos a unos náufragos. ¿En qué ángulo de la línea visual debe soltar el piloto el paquete?

41. Un cazador apunta directamente a su presa, al mismo nivel, a 150 m de distancia.

Si la bala sale del cañón del fusil a una velocidad de 370 m/s, ¿a qué distancia del blanco llegará?

42. En un circo, se dispara una bala humana de un cañón con velocidad de 35 km/h con un ángulo de 40° con la horizontal. Si la bala humana abandona el cañón a un metro de distancia del suelo, y cae en una red a 2 m sobre la superficie del suelo, ¿qué tiempo permanece en el aire la bala humana?

43. Desde el borde de un acantilado, se lanza horizontalmente una piedra al mar, imprimiéndole una velocidad de 20 m/s. Si el borde del acantilado está a 50 m por encima del nivel del mar, calcula:

a. El tiempo que tarda la piedra en llegar al agua.

b. La velocidad a los dos segundos de ser lanzada.

c. El desplazamiento horizontal que experimenta al llegar al agua.

d. La ecuación de su trayectoria.

44. Un obrero está de pie en una zanja de 3 m de profundidad y a 3,5 m del borde de la misma. Le lanza una herramienta a un compañero que se encuentra ubicado fuera de la zanja. Si lanza la herramienta con su mano, que se encuentra a un metro del fondo de la zanja y un ángulo de 40° con la horizontal, determina:

a. La velocidad mínima que debe tener para librar la pared de la zanja.

b. A qué distancia de la pared de la zanja toca el suelo.

45. Demuestra que la velocidad a la cual un proyectil deja el suelo es igual a su velocidad en el momento en que choca con él, al final de su trayectoria, considerando que el nivel donde se dispara es igual al nivel donde llega al suelo.

© SANTILLANA

Magnitudes vectoriales

LABORATORIO 5

Objetivo

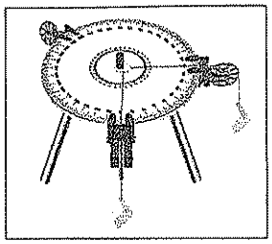
Descomponer un vector en sus componentes rectangulares utilizando la mesa de fuerzas.

Materiales

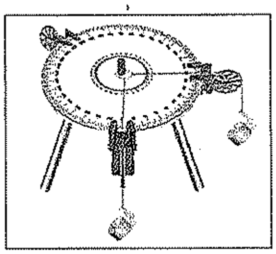
- Mesa de fuerzas.
- Masas de 100 g, 50 g, 20 g y 10 g.
- 3 porta masas.

Procedimiento y registro

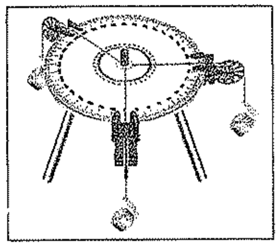
1. Ubica dos de las poleas, con sus porta pesas, en las posiciones 0° y 90°, respectivamente.



2. Pon en cada porta pesas una masa de 20 g. Observa que el anillo se desliza debido a la acción de las fuerzas.



3. Añade masas a la polea restante y deslízala hasta lograr que el anillo quede centrado sobre la mesa.



4. Escribe los datos obtenidos en la columna "experimental" de la tabla de registro y repite el procedimiento para cada caso.

TABLA DE REGISTRO

Caso	Vector (fuerza)		Resultante (magnitud y dirección)	
			Experimental	Analítica
1	$f_1 = 20$ g; $\theta_1 = 0°$	$f_2 = 20$ g; $\theta_2 = 90°$	$f =$ $\theta =$	$f =$ $\theta =$
2	$f_1 = 50$ g; $\theta_1 = 0°$	$f_2 = 40$ g; $\theta_2 = 70°$	$f =$ $\theta =$	$f =$ $\theta =$
3	$f_1 = 20$ g; $\theta_1 = 20°$	$f_2 = 70$ g; $\theta_2 = 60°$	$f =$ $\theta =$	$f =$ $\theta =$
4	$f_1 = 50$ g; $\theta_1 = 90°$	$f_2 = 100$ g; $\theta_2 = 130°$	$f =$ $\theta =$	$f =$ $\theta =$
5	$f_1 = 200$ g; $\theta_1 = 60°$	$f_2 = 50$ g; $\theta_2 = 120°$	$f =$ $\theta =$	$f =$ $\theta =$
6	$f_1 = 300$ g; $\theta_1 = 124°$	$f_2 = 190$ g; $\theta_2 = 97°$	$f =$ $\theta =$	$f =$ $\theta =$

5. Determina analíticamente la resultante y escribe los datos obtenidos en la columna "Analítica" de la tabla de registro. Ten presente que la resultante es opuesta 180° a la equilibrante.

Análisis de los resultados

1. Representa a escala, en papel milimetrado los vectores registrados en la tabla, trazando la resultante y la equilibrante. A continuación compara los resultados con los obtenidos en las columnas "experimental" y "analítica".
2. Determina el porcentaje de diferencia entre cada uno de los métodos utilizados.
3. ¿Podrías mencionar posibles causas de error experimental presentes en esta práctica? ¿Cuáles?

Movimiento de proyectiles

LABORATORIO 6

Objetivo

Observar el movimiento de un objeto que es lanzado cerca de la superficie terrestre con un ángulo de inclinación respecto a la horizontal.

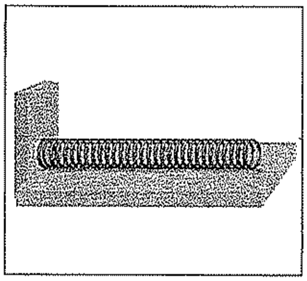
Materiales

- Resorte de compresión de 1 cm de diámetro.
- Tabla de 5 cm de ancho y de largo igual a la longitud del resorte.
- Trozo de madera de 2 cm^2 y 1 cm de espesor.
- Una canica y una esfera metálica.
- Silicona.
- Metro y transportador.
- Cronómetro.

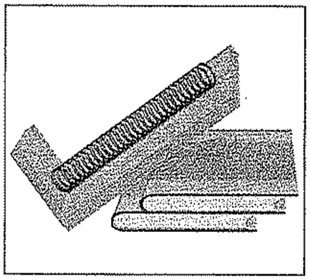
Procedimiento y registro

1. Pega el trozo de madera en una de las caras laterales de la tabla y fija en ella el resorte.
2. Determina, con el transportador, el ángulo de inclinación del montaje y mantenlo fijo en dicha posición. Para ello, puedes utilizar cuadernos o libros.
3. Ubica la canica en el resorte, comprímelo y déjalo libre para que salga disparada la canica.

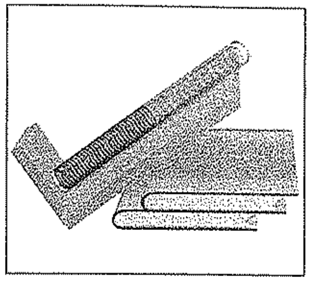
Procedimiento 1



Procedimiento 2



Procedimiento 3



4. Pide a un compañero que mida el tiempo de vuelo de la canica desde el momento de la salida hasta el momento en que cae.
5. Mide la distancia entre la salida de la canica del resorte y el punto donde cae.
6. Registra los resultados en la siguiente tabla:

TABLA DE REGISTRO

Ángulo	Distancia (m)	Tiempo de vuelo (s)
15°		
30°		
45°		
60°		
75°		

7. Repite los procedimientos 3, 4, 5 y 6 con la esfera metálica.

Análisis de los resultados

1. Encuentra el valor de las componentes de la velocidad inicial para la canica y la esfera metálica.
2. Calcula el tiempo en que la canica y la esfera metálica alcanzan la altura máxima.
3. De acuerdo con los valores que se encuentran en la tabla, encuentra el valor de la altura máxima que alcanzan la esfera y la canica.
4. ¿Si realizas la práctica con una bolita de papel, cambiarán considerablemente los valores con relación a los anteriormente obtenidos? Explica tu respuesta.

Fuente de la eterna juventud

El aumento de la esperanza de vida en la sociedad actual, ha generado una búsqueda constante del ser humano por mejorar su bienestar físico. En este sentido, la actividad física ha sido un factor determinante para mejorar la calidad de vida y disminuir los riesgos de enfermedad.

En la actualidad, existe un grupo de personas interesadas en mejorar su calidad de vida y demostrarnos que para vivir, sólo hay que tener ganas y dar lo mejor de sí. Nos referimos, a aquellos para quien el deporte es su fuente de la eterna juventud y no dudan en sentir alegría por haber llegado a la "tercera edad".

En la vejez, se debe mantener una participación activa en roles sociales y comunitarios para mantener una vida adecuada. En este sentido, el voleibol se presenta como una actividad física recreativa y en grupo que, en estas edades, mejora el bienestar físico, facilita las relaciones interpersonales y favorece el desarrollo personal.

En general, se considera que una actividad física regular produce mejoras en el individuo a cualquier edad Lógicamente se producen disminuciones asociadas con el envejecimiento, pero, a pesar de ello, los deportistas de edad avanzada pueden rendir a un elevado nivel.

El ejercicio físico también es positivo en aspectos psicológicos, incrementa la sensación de logro personal, la auto-eficacia, mejora del estado de ánimo, disminuye la depresión y la ansiedad, y reduce la sintomatología somática.

Teniendo en cuenta que el movimiento que realiza la pelota es un movimiento parabólico. Los elementos que se pueden adaptar para mejorar las condiciones del juego en los adultos mayores son:

1. **Aumento de la altura de la red:** cuando se aumenta la altura de la red se consigue que el tiempo del balón en el aire sea superior, debido a que la trayectoria que tiene que recorrer es mayor. Esto facilita los desplazamientos y permite más tiempo para ubicarse correctamente en el campo.

Factores de riesgo para padecer enfermedades con la edad

• Alimentación excesiva	• Sedentarismo
• Hipertensión	• Osteoporosis
• Tabaquismo	• Obesidad
• Alcoholismo	• Estrés y soledad

Factores que retardan el envejecimiento

• El sueño adecuado	• Buena alimentación
• Actividad física continua.	• Participación social.

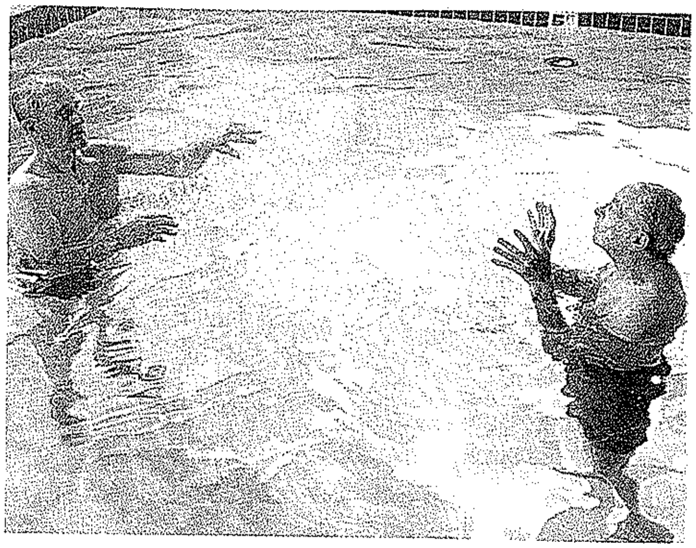
El voleibol recreativo para mayores

El voleibol es un deporte que se puede adaptar a las necesidades y a la situación de las personas mayores. Teniendo en cuenta que, en su práctica, se persiguen fines recreativos y sociales. Para facilitar la iniciación al voleibol mediante el juego, se realizan determinadas adaptaciones, respecto al juego formal.

© SANTILLANA

Sin embargo, también hay que tener en cuenta que una mayor altura de la red supone la aplicación de más fuerza en el gesto técnico para que el balón supere la red.

2. **Descenso de la altura de la red:** con una red baja hay mayor rapidez en el juego, y un intercambio más rápido de las acciones; esto ocasiona una elevada intensidad física en el juego. Sin embargo, no se requiere de una elevada fuerza para que el balón supere la red.
3. **El campo:** en general, se aconsejan canchas pequeñas para los debutantes, puesto que un excesivo tamaño del campo junto con la falta de precisión y fuerza podrían dificultar el juego.
4. **El balón:** para disminuir la velocidad del juego y evitar el dolor al contacto, el balón debe ser de goma-espuma.



ÁMBITO: Desarrollo compromisos personales y sociales

APROPIACIÓN Y USO DE LA TECNOLOGÍA

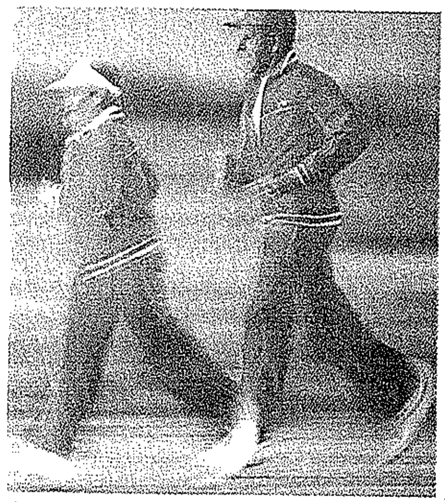
Responde las siguientes preguntas:

1. ¿Por qué razón en una cancha pequeña se consigue que las jugadas duren más tiempo y que haya más continuidad en el juego?
2. ¿Qué proporción debe existir entre el tamaño de la cancha y la cantidad de jugadores adultos mayores, para generar diversión y no un exceso de actividad física?
3. Consulta las condiciones físicas necesarias para qué un adulto mayor pueda realizar una actividad física.
4. Si las autoridades educativas de tu colegio deciden realizar una celebración especial para los adultos mayores de la localidad, ¿que actividades consideras propias para ser aplicadas este día?

TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

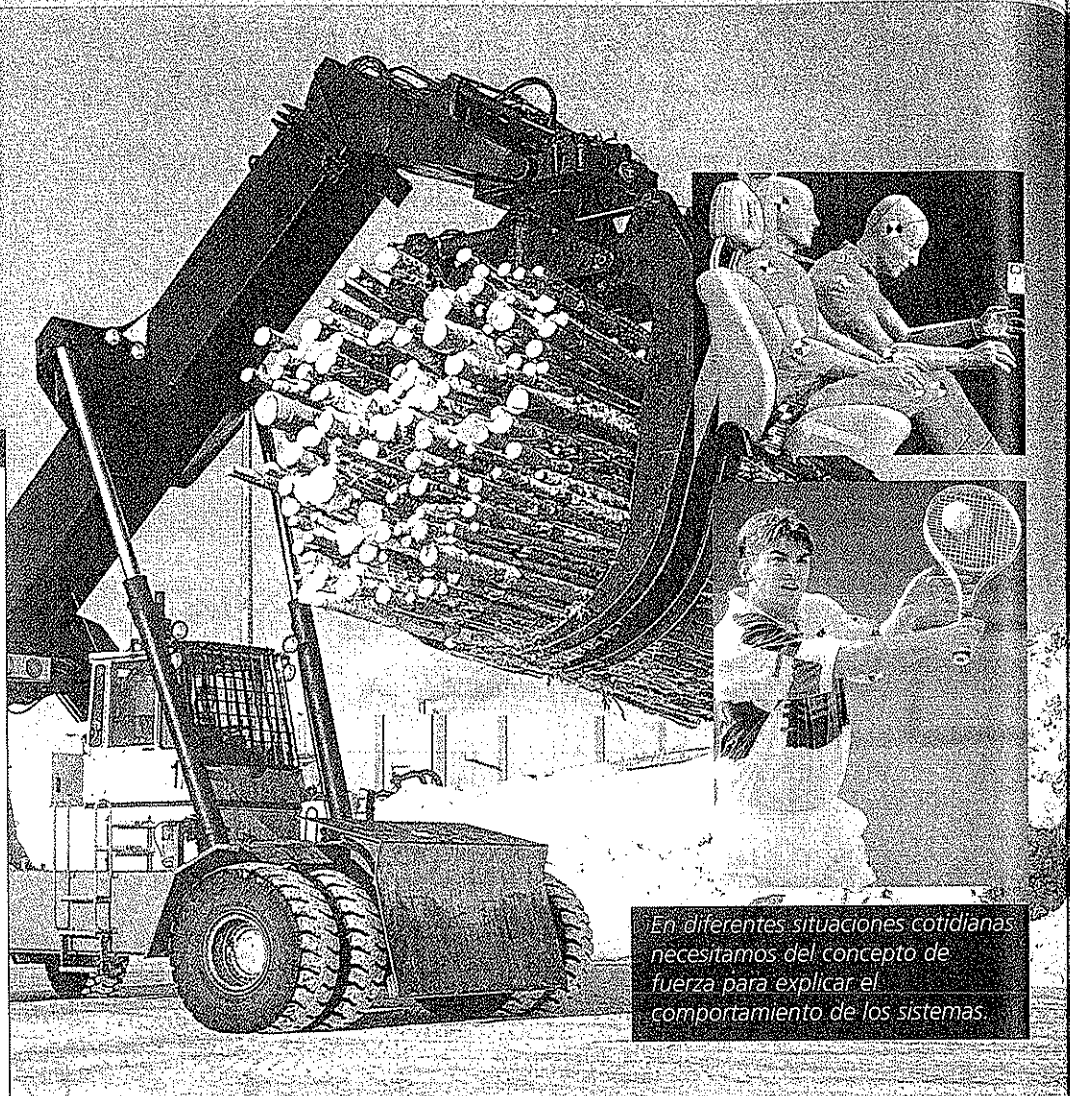
En la actualidad, se realizan estudios acerca del grado de entrenabilidad de las personas mayores. Estos estudios han demostrado que la capacidad de mejora de la resistencia es similar en los abuelos que en los jóvenes y, por consiguiente, su adaptación es independiente de los factores: sexo, edad y condición física inicial.

Se desconoce si los mecanismos de la adaptación al entrenamiento son los mismos en los jóvenes que en los abuelos, pero al parecer, pueden existir diferencias entre mecanismos centrales y periféricos: en los jóvenes, la mejora del consumo de oxígeno podría estar relacionada con la función cardiaca mientras en los abuelos sería consecutiva a una mejora de la capacidad oxidativa. Los estudios relacionados con el entrenamiento de fuerza parecen demostrar que los abuelos pueden mejorar su nivel de fuerza al incrementar el tamaño de las fibras musculares: las fibras rojas alrededor de un 33,5% y las fibras blancas un 27,6%.



UNIDAD

4 Las leyes de la dinámica



En diferentes situaciones cotidianas necesitamos del concepto de fuerza para explicar el comportamiento de los sistemas.

CONTENIDO

Introducción

Seguramente alguna vez te habrás preguntado, qué mantiene un edificio en equilibrio, qué hace que un objeto acelere o desacelere, o, cómo es el movimiento de una nave espacial cuando se desplaza por el espacio interplanetario.

Todas las situaciones anteriormente mencionadas nos sugieren la idea de movimiento, cambio de posición o de equilibrio de los cuerpos con relación a un sistema de referencia, por la acción de factores que hacen que los cuerpos se muevan, pero sean absolutamente invisibles.

Estos factores denominados fuerza, no sólo permiten el movimiento de los cuerpos; también pueden llegar a deformarlos, como ocurre cuando se aplasta una esponja.

A lo largo de esta unidad trabajaremos la dinámica que estudia la relación entre fuerzas y movimiento, apoyados en tres grandes principios que fueron enunciados por Isaac Newton y revolucionaron todo el pensamiento científico de la época en el siglo XVII.

Tema 1. La fuerza - Primera ley de Newton

1.1 Características de las fuerzas

1.1.1 Cambios de movimiento

Cuando se empuja un automóvil descompuesto (figura 1), este se pone en movimiento debido a la acción ejercida sobre él. De igual manera ocurre, cuando un montacargas sube un objeto, cuando se empuja el carrito de mercado, cuando se golpea un clavo con un martillo, cuando un jugador de fútbol detiene, patea, o cambia la dirección de la trayectoria de un balón.

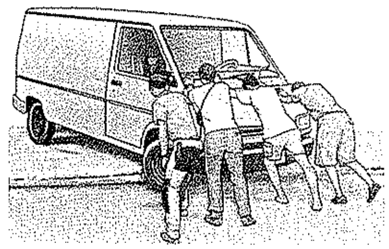


FIGURA 1

Todas estas situaciones nos permiten relacionar la fuerza con cualquier tipo de acción que ejerce un cuerpo sobre otro. Sin embargo, la fuerza no está en los objetos en sí, sino en la capacidad que tienen estos de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo.

Todas las situaciones mencionadas anteriormente, tienen en común el hecho de que son el resultado de los efectos que producen las fuerzas sobre algunos cuerpos. Aunque las fuerzas no son visibles, los efectos que producen si lo son, por ejemplo, las fuerzas responsables del movimiento de un automóvil, o del transporte de sustancias al interior del organismo de un ser vivo.

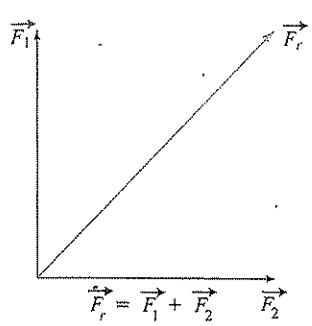
1.1.2 Equilibrio de fuerzas

Todo lo que nos rodea es afectado por alguna fuerza. Por ejemplo, la fuerza de la gravedad está actuando en todo instante sobre nuestro cuerpo, sobre nuestros objetos personales, sobre todo lo que está a nuestro alrededor.

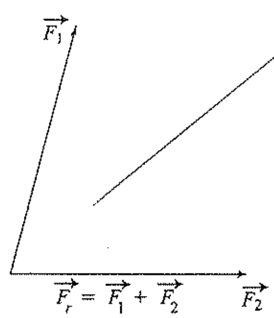
Sin embargo, identificar estas fuerzas que actúan sobre un cuerpo no es fácil, pues sus efectos a veces no son muy evidentes. En ocasiones, las fuerzas que actúan sobre un cuerpo se contrarrestan entre sí, dando la impresión de no estar presentes. En estos casos se dice que las fuerzas se anulan entre sí, originando el reposo del cuerpo.

Para que un cuerpo pierda el reposo bastaría que una de las fuerzas que actúa sobre el cuerpo sea mayor para que no exista el equilibrio. Por ejemplo, cuando un automóvil se encuentra estacionado, las fuerzas que actúan sobre él se encuentran en equilibrio, pero cuando el vehículo empieza a moverse pierde este equilibrio, debido al aumento de la fuerza ejercida por el motor.

Al igual que el desplazamiento, la velocidad y la aceleración las fuerzas son **vectores**. Es decir, cuando los vectores tienen la misma dirección pueden ser sumados directamente. Cuando no tienen la misma dirección es necesario calcular la norma de la fuerza resultante, como se representa en los dos siguientes casos.



$\vec{F_r} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$



$\vec{F_r} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$

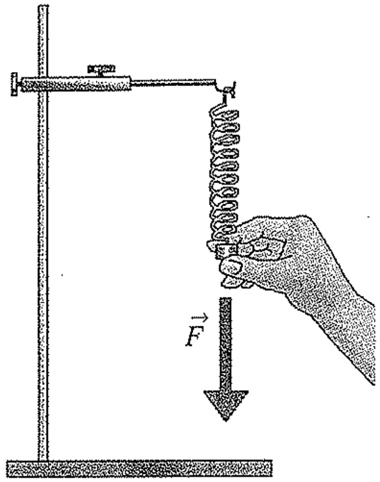


Figura 2

1.1.3 Efectos de las fuerzas

Además del efecto que tienen las fuerzas de ocasionar cambios en el estado de movimiento o de reposo de los cuerpos, existe otro efecto que también se atribuye a las fuerzas, denominado deformación. Por ejemplo, al aplicar una fuerza a un resorte en uno de sus extremos, se puede observar que el resorte se deforma, de modo que aumenta su longitud natural (figura 2).

La deformación depende del punto en el cual se aplica la fuerza, por ejemplo en el caso del resorte, la longitud de la deformación no será la misma si dicha deformación no se produce en uno de sus extremos sino en el punto medio del resorte.

DEFINICIÓN 4.1

Una fuerza es toda acción que puede variar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo o bien, producir deformación sobre él.

Las fuerzas tienen orígenes muy distintos: el viento, la atracción de la Tierra, una reacción química, un fenómeno electromagnético, una combustión, la fuerza humana.

Sobre todo cuerpo u objeto, actúan simultáneamente varias fuerzas. La suma de todas estas fuerzas recibe el nombre de **fuerza neta**, y corresponde a una única fuerza equivalente a todas las demás.

Cuando la fuerza neta es cero o nula, el objeto se encuentra en equilibrio. Si la fuerza neta es distinta de cero, no existe equilibrio y por consiguiente, el objeto adquiere un movimiento.

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$

$1 \text{ N} = 102 \text{ g-f}$

$1 \text{ libra} = 4{,}5 \text{ N}$

1.1.4 Las unidades de la fuerza

En el Sistema Internacional de Unidades la fuerza se mide en **Newton (N)**. Un newton equivale a la fuerza necesaria para sostener un cuerpo de 102 gramos en la Tierra. Por lo tanto, se dice que una fuerza de 1 N equivale a una fuerza de 102,0 gramos-fuerza (g-f).

Un newton también equivale a la medida de la fuerza que se debe ejercer sobre un kilogramo de alguna sustancia, para ocasionar una aceleración de 1 m/s^2 en la Tierra.

En el sistema británico de unidades la fuerza se mide en libras (lb), una libra equivale a la fuerza necesaria para producir una aceleración de 1 pie/s^2 en un cuerpo patrón, cuya masa equivale a 32,2 libras, una libra equivale a 4,45 N.

1.1.5 Fuerzas de contacto y a distancia

Cuando se empuja un mueble, cuando se impulsa una bola de tenis por medio de una raqueta, cuando, se patea una pelota, cuando se hala una cuerda, o cuando se deforma un objeto, existe un contacto directo entre el cuerpo que ejerce la fuerza y el cuerpo al cual se le aplica dicha fuerza.

Estas fuerzas que presentan este tipo de condición se denominan de **fuerzas de contacto.**

Una **fuerza de acción a distancia**, ocurre cuando no existe contacto directo entre los cuerpos, como por ejemplo, la atracción producida por la Tierra sobre cualquier cuerpo.

1.2 Fuerzas fundamentales

Los nuevos descubrimientos en física han revolucionado la forma de comprender la materia y las fuerzas que determinan su comportamiento. En la búsqueda por encontrar una única fuerza que explique todas las interacciones que ocurren en la naturaleza, se han encontrado cuatro fuerzas fundamentales. Dichas fuerzas explican los fenómenos que no pueden ser atribuidos a otras fuerzas. En la actualidad se consideran como fuerzas fundamentales: la fuerza gravitatoria, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil.

La fuerza gravitatoria es la fuerza de atracción existente entre dos masas, y que afecta a todos los cuerpos. Esta fuerza es de un sólo sentido, pero de alcance infinito. Newton fue el primero en plantear que debido a esta fuerza gravitatoria los objetos caen con aceleración constante en la Tierra, además de mantener en movimiento los planetas y las estrellas.

La fuerza electromagnética afecta a los cuerpos eléctricamente cargados, está implicada en las transformaciones físicas y químicas de átomos y moléculas. Esta fuerza tiene dos sentidos (positivo y negativo) y su alcance es infinito.

La fuerza nuclear fuerte es la fuerza que une los protones con los neutrones para formar los núcleos atómicos. Sin esta fuerza el núcleo no podría existir, ya que la repulsión entre los protones generaría la dispersión de estos. Su alcance es del orden de las dimensiones nucleares.

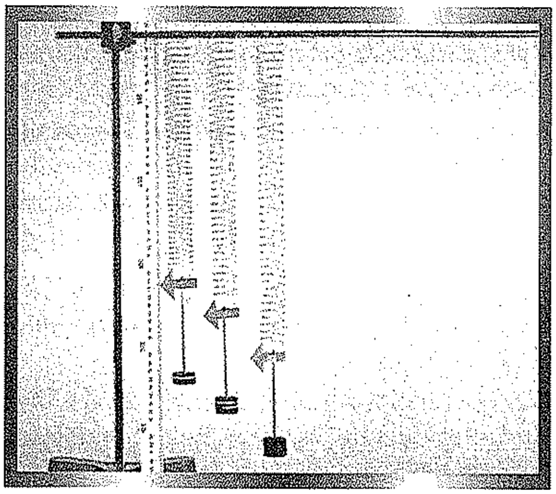
La fuerza nuclear débil actúa entre partículas elementales. Esta fuerza es la responsable de algunas reacciones nucleares y de una desintegración radiactiva denominada desintegración beta. La vida media del sol está determinada por las características de esta fuerza.

En la **teoría del todo** iniciada por Einstein, se desarrollan las ecuaciones para describir las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza en términos de una sola, esta fuerza tiene todas las propiedades necesarias para que todo sea en efecto como es.

1.3 Medición de las fuerzas - Ley de Hooke

Para determinar la intensidad de una fuerza aplicada sobre un cuerpo, se utiliza un instrumento denominado **dinamómetro**, que consiste en un resorte graduado que al ser deformado determina el valor de dicha fuerza.

Para explicar el funcionamiento de un dinamómetro, nos basaremos en las propiedades elásticas que tienen algunos materiales. Por ejemplo, si se cuelgan sucesivamente varias pesas del extremo libre de un resorte, se obtienen diferentes variaciones de su longitud con respecto a la longitud natural del resorte, como se observa en la figura.

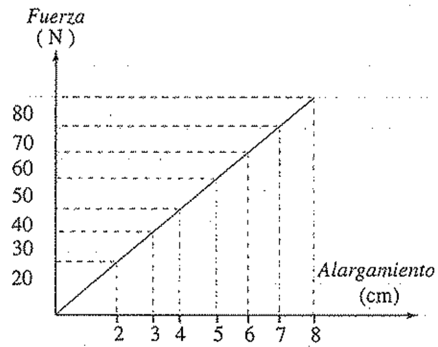


En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos en un experimento como el descrito anteriormente.

Al calcular el cociente entre cada fuerza aplicada y el respectivo alargamiento del resorte, se observa que el valor derivado es constante.

Fuerza (N)	Alargamiento (cm)	Cociente (N/cm)
20,0	2,0	10,0
30,0	3,0	10,0
40,0	4,0	10,0
50,0	5,0	10,0
60,0	6,0	10,0
70,0	7,0	10,0
80,0	8,0	10,0

Al representar gráficamente los resultados obtenidos, la gráfica es una recta cuya pendiente es igual al valor de los cocientes.



A partir de los datos de la tabla y de la gráfica se concluye que la fuerza, F, se relaciona con el alargamiento, x, del resorte. Esta relación se expresa como:

$$\frac{F}{x} = k$$

donde k recibe el nombre de **constante elástica del resorte**. En el ejemplo anterior, la constante elástica corresponde al cociente entre cada fuerza y el respectivo alargamiento calculado, es decir, $k = 10$ N/cm $= 1.000$ N/m

HERRAMIENTA MATEMÁTICA
10 N/cm = 1.000 N/m

Al realizar la misma experiencia con resortes diferentes, se obtiene una relación como la anterior, sin embargo, el valor de la constante elástica k sería distinto para cada uno, ya que esta constante depende de las características del resorte utilizado.

A partir de los resultados anteriormente descritos, se puede enunciar la ley que rige las deformaciones elásticas:

La longitud de la deformación producida por una fuerza es proporcional a la intensidad de dicha fuerza.

Esta ley publicada por el físico inglés Robert Hooke en el siglo XVII, se conoce como **Ley de Hooke** y su expresión matemática es:

$$F = kx \qquad \text{ECUACIÓN 4.1}$$

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

4.1 Se ejerce una fuerza de 200 N sobre un resorte cuya longitud es 20 cm y se observa que la longitud del resorte alcanza un valor de 25 cm. Determinar:

a. La constante elástica del resorte.
b. El alargamiento si se aplica una fuerza de 300 N.
c. La fuerza que se debe aplicar para que el alargamiento sea de 8 cm.

SOLUCIÓN:

a. El alargamiento del resorte es:

$x = 0,25\ m - 0,20\ m = 0,05\ m$

Para determinar k, utilizamos la ecuación 4.1:

$F = kx$ — *Ecuación 4.1*

$k = \frac{F}{x}$ — *Al despejar k*

$k = \frac{200\ N}{0,05\ m}$ — *Al reemplazar*

$k = 4.000\ N/m$

La constante elástica del resorte es 4.000 N/m.

b. Para calcular el alargamiento despejamos x de la ecuación 4.1, así:

$x = \frac{F}{k}$

$x = \frac{300\ N}{4.000\ N/m} = 0,075\ m$ — *Al reemplazar y calcular*

Cuando se aplica una fuerza de 300 N, el alargamiento es 7,5 cm.

c. Si el alargamiento es de 8 cm, se tiene que:

$F = kx$ — *Ecuación 4.1*

$F = 4.000\ N/m \cdot 0,08\ m$ — *Al reemplazar*

$F = 320\ N$ — *Al calcular*

La fuerza aplicada sobre el resorte para que el alargamiento sea 8 cm es 320 N.

4.2 Tres pasajeros, con una masa total de 210 kg, suben a un vehículo de 1.100 kg comprimiendo los muelles de este 3,0 cm. Considerando que los muelles actúan como un solo resorte, calcular:

a. La constante elástica de los muelles del vehículo, si la fuerza aplicada por los tres pasajeros es 2.058 N.
b. La longitud, *x*, que baja el vehículo si la fuerza aplicada es de 2.744 N. El alargamiento, si se aplica una fuerza de 300 N.
c. La fuerza que se debe aplicar al vehículo para que descienda 6 cm.

SOLUCIÓN:

a. Para determinar k, utilizamos la ecuación 4.1:

$F = kx$ — *Ecuación 4.1*

$k = \frac{F}{x}$ — *Al despejar k*

$k = \frac{2.058\ N}{0,03\ m}$ — *Al reemplazar*

$k = 68.600\ N/m$ — *Al calcular*

La constante elástica de los muelles del vehículo, para una fuerza de 2.580 N, es 68.600 N/m.

b. Para calcular el alargamiento despejamos x de la ecuación 4.1, así:

$x = \frac{F}{k}$

$x = \frac{2.744\ n}{68.600\ N/m}$ — *Al reemplazar*

$x = 0,04$ — *Al calcular*

Cuando se aplica una fuerza de 2.744 N al vehículo, este baja 4 cm.

c. Para que el vehículo descienda 6 cm, se tiene que:

$F = kx$ — *Ecuación 4.1*

$F = 68.600\ N/m \cdot 0,06\ m$ — *Al reemplazar*

$F = 4.116\ N$ — *Al calcular*

La fuerza aplicada sobre el vehículo para que descienda 6 cm, es 4.116 N.

1.4 La primera ley de Newton

1.4.1 El principio de inercia

Todos los cuerpos que nos rodean están sometidos a la acción de una o varias fuerzas, algunas de ellas a distancia y otras de contacto. Sin embargo, existen situaciones en las cuales un cuerpo se encuentra aislado del efecto de otros cuerpos o fuerzas. Por ejemplo, las naves Voyager, enviadas al espacio para explorar otros planetas, en determinados tramos de su trayectoria se encuentran fuera de la influencia de cualquier otro cuerpo y, por lo tanto, se mueven con velocidad constante. De la misma manera, si por alguna razón estuvieran detenidas, permanecerían en reposo. Lo cual nos ilustra, que el movimiento a velocidad constante y el reposo parecen indistinguibles y, por tanto, son equivalentes.

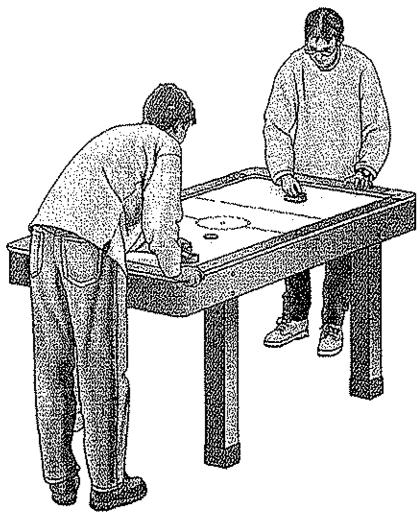
En la primera ley, denominada **el principio de inercia**, Newton establece la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el tipo de movimiento que dicho cuerpo experimenta.

DEFINICIÓN 4.2

Todo cuerpo permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme si no actúa ninguna fuerza sobre él o si la fuerza neta que actúa sobre él es nula.

En conclusión, la primera parte del principio de inercia se refiere a los cuerpos que se encuentran en reposo, y establece que sobre ellos no actúa fuerza alguna o que la suma de las fuerzas que actúan sobre ellos es nula. La segunda parte del principio de inercia establece que, si un cuerpo se mueve con velocidad constante en línea recta, entonces no actúan fuerzas sobre él o la fuerza neta es igual a cero.

La experiencia cotidiana muestra que un cuerpo que describe un movimiento rectilíneo se detiene luego de recorrer cierta distancia. Este hecho se debe a la acción del contacto con el medio material sobre el cual se mueve y que se opone al deslizamiento del objeto. Si esto no existiera, un objeto que describe un movimiento rectilíneo continuaría moviéndose indefinidamente con velocidad constante. Por ejemplo, en las mesas de aire, se pone un disco sobre una superficie con agujeros por los cuales se expulsa aire, en donde se disminuye la fuerza de contacto y se permite un libre desplazamiento del disco sobre la mesa.



Los ejemplos, que hemos considerado, ilustran cómo los cuerpos tienen la tendencia a conservar su estado de movimiento o de reposo: un cuerpo en reposo parece oponer resistencia a colocarse en movimiento y un cuerpo en movimiento parece oponer resistencia a detenerse. Esta oposición se conoce con el nombre de **inercia.**

1.4.2 Sistemas de referencia inerciales

En la vida cotidiana se presentan algunas experiencias que parecen contradecir la primera ley de Newton. Por ejemplo, un piloto de avión de acrobacias, se desplaza con velocidad constante describiendo una trayectoria rectilínea. Si no hay turbulencia, el piloto tiene la impresión de estar en reposo, y de hecho lo está con respecto a los asientos o las paredes del avión.

Ahora, si el avión disminuye su velocidad o gira, el piloto siente la tendencia a moverse hacia adelante o hacia un lado, respectivamente.

En ambos casos el piloto ve modificado su estado de reposo sin que aparentemente se haya ejercido sobre él una fuerza externa que explique el fenómeno.

Según un observador externo lo ocurrido tiene una descripción diferente. Para él, el piloto se encontraba inicialmente en movimiento rectilíneo uniforme, por lo tanto, debería permanecer en dicho movimiento.

Sin embargo, esto es precisamente lo que ocurre cuando el avión disminuye su velocidad o gira, el piloto tiende a seguir como estaba, es decir, en movimiento rectilíneo y uniforme; impresión que desde el interior del avión es completamente distinta.

La fuerza extraña que experimenta el piloto cuando el avión disminuye su velocidad o gira es consecuencia del cambio en la velocidad del avión. Estas fuerzas, denominadas **fuerzas ficticias**, surgen en sistemas de referencia que no mantienen la velocidad constante, y suelen manifestarse con sensaciones estomacales como las que tenemos en un ascensor cuando arranca o cuando se detiene.

DEFINICIÓN 4.3

Un sistema de referencia inercial es aquel en el que es válido el principio de inercia.

Así mismo, cualquier sistema que se mueva con velocidad constante con respecto a un sistema de referencia inercial, es considerado también como un sistema inercial.

Los sistemas de referencia inerciales son abstracciones cuyo propósito es facilitar la interpretación y explicación de fenómenos. Por ejemplo, nuestro sistema de referencia habitual es la superficie de la Tierra, la cual gira alrededor del Sol y también en torno a su eje, por lo tanto, no mantiene su velocidad constante con respecto al Sol.

Así mismo, el Sol gira en torno a su eje y alrededor de nuestra galaxia, lo que genera una variación en la velocidad y así sucesivamente.

En la práctica, un sistema de referencia determinado se podrá considerar como inercial si los efectos de la variación de su velocidad no son detectables, podemos considerar la superficie terrestre como sistema de referencia inercial, pues los efectos de rotación sólo se detectan en contadas experiencias.

Algunos ejemplos de sistemas de referencia no inerciales son los que se encuentran en rotación como un carrusel, o un ascensor en caída libre.

En estos sistemas de referencia la primera ley de Newton no tiene validez y por esta razón en estos casos, no se puede considerar esta ley.

© SANTILLANA

1.4.3 Masa inercial

Considera tres esferas de igual radio pero de diferente material (de hierro, de madera, de goma) y que las tres esferas se encuentran inicialmente en reposo sobre una superficie horizontal. Si a cada una de ellas le damos un pequeño golpe, la esfera más difícil de mover es la que opone mayor resistencia al cambio de su estado de movimiento, o la que tiene mayor inercia, o la que adquiere menor rapidez final.

Pero, si se realiza el mismo procedimiento con tres esferas de distinto radio pero del mismo material, se observa que la esfera más grande es la más difícil de mover, en consecuencia la inercia es una propiedad intrínseca de cada cuerpo.

De esta manera, la **masa inercial** es una medida de la resistencia de una masa al cambio de su velocidad con relación a un sistema de referencia inercial.

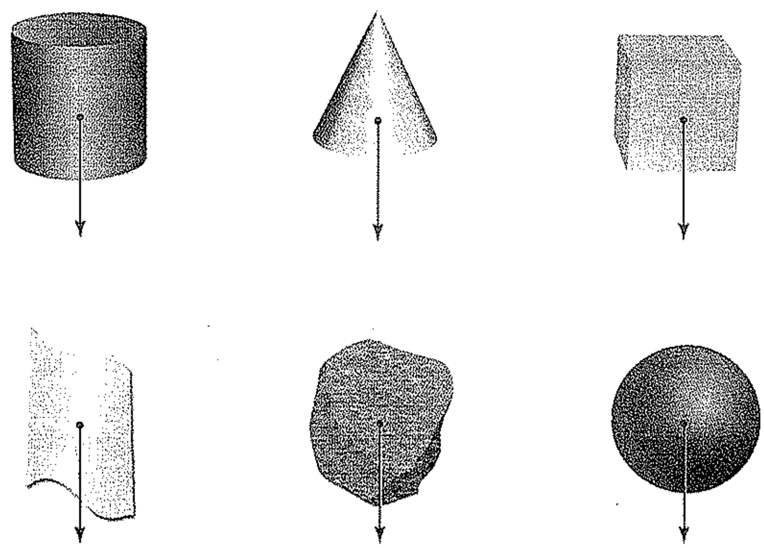
1.5 Algunas fuerzas comunes

1.5.1 El peso de los cuerpos

Una de las fuerzas básicas de la naturaleza es la interacción gravitacional, en la cual, todo cuerpo que se encuentre en la proximidad de la Tierra experimenta una fuerza de atracción gravitacional. Esta fuerza ejercida por la Tierra sobre los objetos se denomina **peso** y su vector se representa dirigido hacia el centro de la Tierra. Para los objetos que se encuentran cerca de la superficie de la Tierra representamos el vector peso hacia abajo.

Si se considera la formación de los cuerpos como una gran cantidad de pequeñas partículas, donde cada una de ellas tiene un peso determinado, el peso total del cuerpo corresponde a la suma de los pesos de dichas partículas. Siendo el punto de aplicación del vector peso el **centro de gravedad** del cuerpo, que para todos los efectos se puede considerar que en él se encuentra concentrada toda la masa del mismo. Dependiendo de la forma del cuerpo y de cómo estén distribuidas las partículas que lo conforman, el centro de gravedad se ubica a mayor o menor medida lejos del centro geométrico de dicho cuerpo.

En la siguiente figura se representan los centros de gravedad de algunos cuerpos.



EJEMPLO

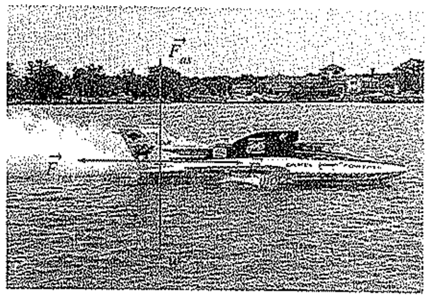
IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR

4.3 Una lancha se mueve en línea recta, en un lago, con rapidez constante. Determinar:

a. Un diagrama en el que representen las fuerzas que actúan sobre la lancha.
b. Las relaciones existentes entre las fuerzas que actúan sobre la lancha.

SOLUCIÓN:

a. Como la trayectoria de la lancha es rectilínea, sobre ella actúan las cuatro fuerzas que se muestran en la figura.



- *La fuerza ejercida por el motor, $\vec{F}_{mot}$.*
- *La fuerza ascensional, $\vec{F}_{as}$, debida a la acción que el agua ejerce hacia arriba sobre la lancha.*
- *El peso, $\vec{w}$, de la lancha.*
- *La fuerza de resistencia, $\vec{F}_{res}$, que el agua ofrece y es opuesta al movi miento de la lancha.*

b. Puesto que la lancha se desplaza a velocidad constante, de acuerdo con el principio de inercia, la fuerza neta debe ser igual a cero.

$$\vec{F}_{neta} = \vec{F}_{mot} + \vec{F}_{as} + \vec{w} + \vec{F}_{res} = \vec{0}$$

Como la fuerza neta es cero, sus componentes deben ser iguales a cero, por tanto:

En dirección horizontal	*En dirección vertical*
$\vec{F}_{mot} + \vec{F}_{res} = \vec{0}$	$\vec{F}_{as} + \vec{w} = \vec{0}$

Lo cual significa que:

$\vec{F}_{mot} = -\vec{F}_{res}$	$\vec{F}_{as} = -\vec{w}$

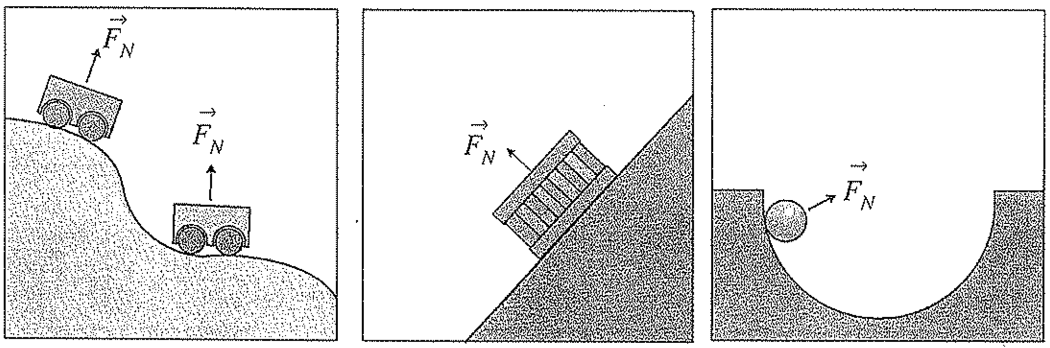
Vectorialmente se expresa como:

$\vec{F}_{mot} = -\vec{F}_{res}$	$\vec{F}_{as} = -\vec{w}$

1.5.2 La fuerza normal

Todo cuerpo situado sobre una superficie ejerce una fuerza sobre esta. Esta fuerza se denomina fuerza normal o simplemente normal. La fuerza normal ($\vec{F}_N$) es perpendicular a la superficie que la ejerce.

Cuando el plano sobre el que está situado el cuerpo es horizontal, la normal es igual al peso y de sentido contrario a él, pero no ocurre así cuando el plano es inclinado. En la siguiente figura se observan algunas representaciones de la fuerza normal.



© SANTILLANA

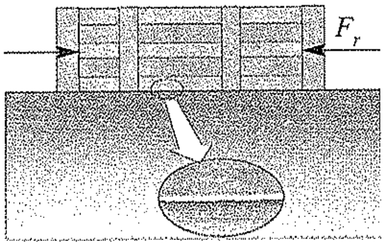


Figura 3

1.5.3 La fuerza de rozamiento

Un cuerpo que se desplaza sobre una superficie o sobre otro cuerpo, experimenta una fuerza de sentido contrario al sentido de su movimiento, dicha fuerza es ejercida por la superficie de contacto denominada y se denomina **fuerza de rozamiento** o **fuerza de fricción** *($\vec{F}_r$).*

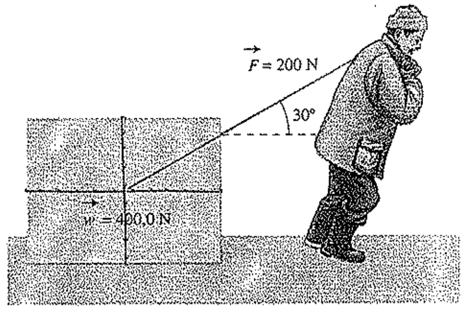
Este fenómeno se debe a que las superficies de contacto no son perfectamente lisas, sino que presentan rugosidades que encajan entre sí, produciendo una fuerza que se opone al movimiento (figura 3). La fuerza de rozamiento se representa en dirección contraria al desplazamiento.

Si no existiera el rozamiento, varios elementos no funcionarían, como por ejemplo los frenos de los automóviles. Sin embargo, el rozamiento también disminuye notablemente el rendimiento de ciertos mecanismos, como el de los pistones de un motor.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

4.4 Una caja tiene un peso de 400,0 N. Si un hombre le ejerce una fuerza de 200,0 N con una cuerda que forma con la horizontal un ángulo de 30°. Determinar:

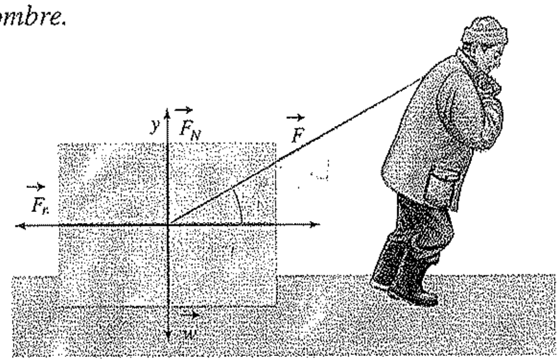


a. Las fuerzas que actúan sobre la caja.

b. La fuerza normal y la fuerza de rozamiento, si la caja se mueve con velocidad constante.

SOLUCIÓN:

a. *En la figura se muestran las fuerzas que actúan sobre la caja: El peso $\vec{w}$, la fuerza de rozamiento $\vec{F}_r$ la fuerza normal $\vec{F}_N$ y la fuerza $\vec{F}$ que ejerce el hombre.*



b. *Las componentes de la fuerza F son:*

$F_x = F \cdot \cos\theta$

$F_y = F \cdot \text{sen}\,\theta$

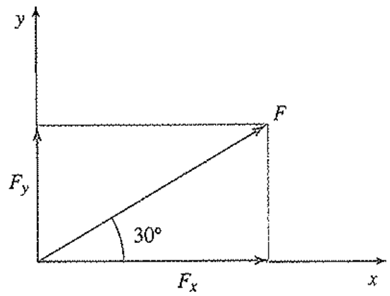
Al reemplazar y calcular tenemos que:

$F_x = 200{,}0\ \text{N} \cos 30° = 173{,}2\ \text{N}$

$F_y = 200{,}0\ \text{N}\ \text{sen}\ 30° = 100{,}0\ \text{N}$

Puesto que la caja se mueve con velocidad constante, la fuerza neta es igual a cero. Por lo tanto,

$$\begin{aligned}
\vec{F} &= (173{,}2;\ 100{,}0)\\
\vec{w} &= (0,\ -400{,}0)\\
\vec{F}_N &= (0,\ F_N)\\
\vec{F}_r &= (-F_r,\ 0)\\
\hline
\vec{F}_{neta} &= (0,\ 0)
\end{aligned}$$



Como la suma de las fuerzas verticales y horizontales es cero, entonces:

$173{,}2\ \text{N} - F_r = 0,$ luego, $F_r = 173{,}2\ \text{N}$

$100{,}0 - 400\ \text{N} + F_N = 0,$ luego, $F_N = 300\ \text{N}$

La fuerza normal mide 300 N y la fuerza de rozamiento mide 173,2 N.

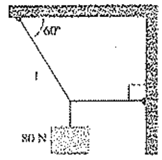
1.5.4 La tensión

Con frecuencia, se ejercen fuerzas por medio de cuerdas o hilos. Si consideramos que estos son inextensibles, las fuerzas aplicadas sobre ellos se transmiten a los cuerpos a los cuales están unidos. La fuerza que se transmite por medio de un hilo recibe el nombre de **tensión** y la dirección del hilo determina la dirección de la tensión, $\vec{T}$.

EJEMPLO

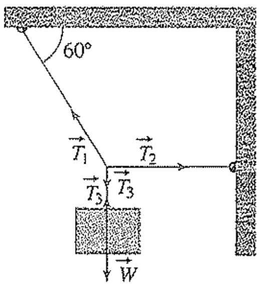
IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

4.5 Para la situación de la figura, determinar la tensión de las cuerdas si la cuerda 1 se tensiona 80,0 N.
nota: por favor ubicar o eliminar texto para acomodar esta imagen antes de la soluciòn



SOLUCIÓN:

Dibujemos las fuerzas que actúan sobre el punto de unión de las tres cuerdas: $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ y $\vec{T}_3$. Además dibujemos las fuerzas que actúan sobre el objeto que cuelga, es decir, el peso $\vec{w}$ dirigido hacia abajo y la tensión $\vec{T}_3$. La tensión $\vec{T}_3$ actúa sobre el objeto hacia arriba y sobre el punto de unión de las tres cuerdas hacia abajo.

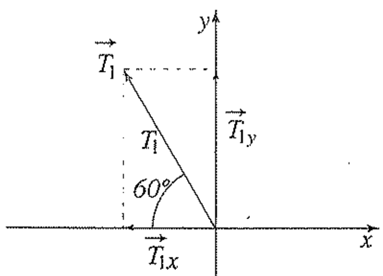


Puesto que el objeto se encuentra en reposo, la suma de las fuerzas es cero, por tanto el peso $\vec{w}$ y la tensión $\vec{T}_3$ tienen la misma norma.

Primer método de solución

Consideremos el punto de unión de las tres cuerdas y escribamos sus componentes. Las componentes de la tensión $\vec{T}_1$ son:

$$T_{1x} = -T_1 \cdot \cos 60° = -80{,}0 \cdot \cos 60° = -40{,}0\ N$$
$$T_{1y} = T_1 \cdot \operatorname{sen} 60° = 80{,}0 \cdot \operatorname{sen} 60° = 69{,}3\ N$$



La componente en x de $\vec{T}_2$ llamada T_{2_x} mide igual a la norma de $\vec{T}_2$ que denominamos T_2, pues la tensión $\vec{T}_2$ no tiene componente en y, es decir que $T_{2_y} = 0$.

A la componente en y de la tensión $\vec{T}_3$, le anteponemos un signo menos pues está dirigida hacia abajo y mide igual que la norma de T_3. La componente en x de la tensión $\vec{T}_3$ es igual a cero.

Como el sistema está en reposo, la fuerza neta debe ser cero es decir $\vec{F}_{neta} = (0, 0)$, así tenemos:

$$\begin{array}{ll} \vec{T}_1 & = (-40{,}0,\ 69{,}3) \\ \vec{T}_2 & = (T_2 \quad ,\quad 0) \\ \vec{T}_3 & = (0 \quad ,\ -T_3) \\ \hline \vec{F}_{neta} & = (0 \quad ,\quad 0) \end{array}$$

A partir de las componentes en el eje x se tiene que:
$-40\ N + T_2 = 0$, luego $T_2 = 40\ N$.
A partir de las componentes en el eje y se tiene que:
$69{,}3\ N - T_3 = 0$, luego $T_3 = 69{,}3\ N$.
Por tanto, las tensiones miden $T_1 = 80{,}0\ N$, $T_2 = 40{,}0\ N$ y $T_3 = 69{,}3\ N$.

Segundo método de solución

Se puede resolver la misma situación por medio de ecuaciones. Para ello, planteamos una ecuación para las componentes en el eje x y en el eje y.

En el eje x: $-80{,}0 \cos 60° + T_2 = 0$

De donde, $-40\ N + T_2 = 0$, *luego* $T_2 = 40\ N$.

En el eje y: $80{,}0 \cdot \operatorname{sen} 60° - T_3 = 0$

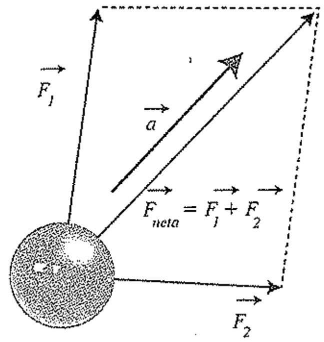
De donde, $69{,}3\ N - T_3 = 0$, *luego* $T_3 = 69{,}3\ N$.

Por tanto, obtenemos los mismos resultados, es decir, $T_1 = 80{,}0\ N$, $T_2 = 40{,}0\ N$ y $T_3 = 69{,}3\ N$.

Tema 2. Ley fundamental de la dinámica - Segunda ley de Newton

2.1 La segunda ley de Newton

Cuando sobre un cuerpo actúa una fuerza constante, este experimenta cambios de velocidad iguales para tiempos iguales, lo cual significa que una fuerza neta constante produce una aceleración constante. Por esta razón, los vectores aceleración y fuerza neta tienen la misma dirección como se observa en la siguiente figura.



Cuando cambia el valor de la fuerza neta aplicada sobre el objeto, la aceleración también cambia. Para lo cual, suponemos que sobre un mismo cuerpo se ejercen sucesivamente diferentes fuerzas netas cuyas intensidades son F_1, F_2, F_3, ..., y que, como consecuencia, los valores de la aceleración son, respectivamente, a_1, a_2, a_3, ..., es decir:

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = \ldots$$

La segunda ley de Newton, también llamada ley fundamental de la dinámica, establece la relación entre la fuerza neta que se ejerce sobre un cuerpo y la aceleración que este adquiere.

La aceleración, $\vec{a}$, de cualquier partícula material tiene en todo momento la misma dirección de la fuerza neta F_{neta} que actúa sobre ella, en donde, el cociente entre las normas del vector fuerza y del vewctor aceleración, es igual a una constante que depende de la partícula. Es decir:

$$\frac{F_{neta}}{a} = \text{constante}$$ ECUACIÓN 4.2

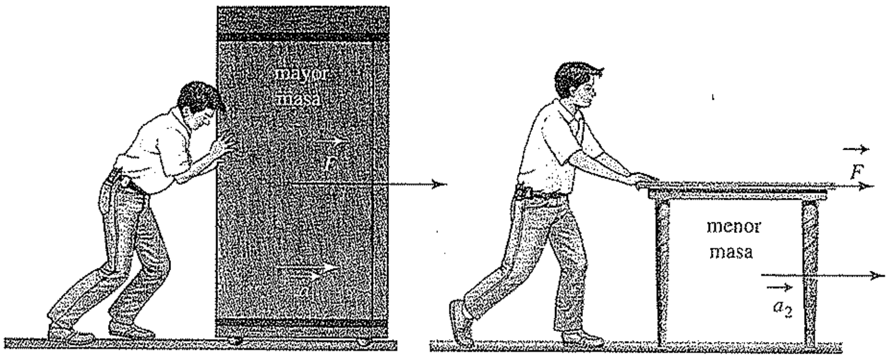
Esta expresión muestra que la fuerza neta y la aceleración son directamente proporcionales ya que se relacionan mediante una constante de proporcionalidad. A la constante de proporcionalidad se le llama **masa inercial** del cuerpo. Recuerda que en el Sistema Internacional de Unidades, la masa se mide en kilogramos (kg). En consecuencia, la fuerza neta se puede expresar como:

$$F_{neta} = m \cdot a$$ ECUACIÓN 4.3

DEFINICIÓN 4.4

La fuerza neta que se ejerce sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que dicha fuerza produce, donde la constante de proporcionalidad es la masa del cuerpo.

A partir de la expresión $F_{neta} = ma$ podemos ver que cuando a dos cuerpos se les aplica la misma fuerza, el de menor masa experimenta mayor aceleración. Esto significa que la masa inercial es una medida de la inercia de un cuerpo, es decir, de la resistencia que dicho cuerpo opone a la variación de su estado de reposo o de movimiento. Para una fuerza neta dada, cuanto mayor es la masa del cuerpo sobre el cual se aplica, menor es la aceleración que produce sobre él, como se observa en la figura.



Puesto que la dirección de la fuerza neta coincide con la dirección de la aceleración que dicha fuerza produce, cuando la fuerza neta tiene el mismo sentido del movimiento del cuerpo, la velocidad aumenta. Cuando la fuerza neta tiene sentido contrario al movimiento del cuerpo, la velocidad disminuye. Por ejemplo, podemos observar que a partir de la expresión $F_{neta} = m \cdot a$ se tiene el caso particular en el que $\vec{F}_{neta} = 0$, que equivale a afirmar que $\vec{a} = 0$, es decir que si la fuerza neta es igual a cero, el cuerpo permanece en reposo o permanece con velocidad constante, como lo establece el principio de inercia.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

4.6 Un automóvil cuya masa es 1.000 kg se mueve con velocidad de 54 km/h y se detiene después de 10 segundos de avanzar por una vía recta. Determinar la fuerza neta que actúa sobre él.

SOLUCIÓN:

Para determinar la fuerza neta, primero se expresa la velocidad en m/s, para lo cual se tiene:

$$\frac{54\ km}{h} = \frac{54\ km}{h} \cdot \frac{1.000\ m}{1\ km} \cdot \frac{1\ h}{3.600\ s} = 15\ m/s$$

Si el automóvil frena con aceleración constante, podemos determinar el valor de dicha aceleración a partir de la expresión:

$v = v_0 + at$

$0 = 15\ m/s + a\,(10\ s)$ *Al reemplazar*

$a = \dfrac{-15\ m/s}{10\ s}$ *Al despejar a*

$a = -1{,}5\ m/s^2$ *Al calcular*

La fuerza neta se calcula mediante la ecuación 4.3, así:

$F = m \cdot a$ *Ecuación 4.3*

$F = -1.000\ kg \cdot 1{,}5\ m/s^2$ *Al reemplazar*

$F = -1.500\ N$ *Al calcular*

El signo menos indica que la fuerza actúa en dirección contraria al movimiento y, en consecuencia, la velocidad del automóvil disminuye, pues la velocidad inicial era 15 m/s y la velocidad final es 0 m/s.

2.2 El peso de los cuerpos

El peso de un cuerpo se relaciona con su masa, sin embargo, se trata de dos conceptos diferentes. Un cuerpo tiene la misma masa en la Tierra que en la Luna, pero su peso es seis veces menor en la Luna que en la Tierra. Por ejemplo, a un jugador de fútbol americano le resultaría más difícil levantar un contendor de juego en la Tierra que en la Luna, pero requeriría de la misma fuerza, tanto en la Tierra como en la Luna para detenerlo, pues en ambos sitios tiene la misma masa. Por otra parte, a diferencia del peso, la masa no es una cantidad de carácter vectorial.

El peso de los objetos también varía con la altura, un cuerpo situado sobre la superficie terrestre pesa más que uno ubicado a una determinada altura. No obstante, para las alturas en las que nos movemos con respecto a la superficie de la Tierra esta variación es pequeña y puede despreciarse, por tanto podemos considerar que a cierta altura cerca de la superficie de la Tierra, el peso no varía.

Puesto que el peso, $\vec{w}$, es una fuerza podemos relacionar el peso y la aceleración de un objeto que cae a partir de la ecuación 4.3. Si la única fuerza que actúa sobre un cuerpo es el peso y la aceleración es la de la aceleración de la gravedad, g, tenemos que:

$$\vec{w} = mg \qquad \text{ECUACIÓN 4.4}$$

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

4.7 Encontrar:

a. El peso de un bloque de 72 kg.

b. La masa de una persona cuyo peso es de 150 N.

<u>*SOLUCIÓN:*</u>

Los resultados se determinan a partir de la ecuación 4.4.

a. $\vec{w} = mg$

$w = 72\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 705{,}6\ N$ — *Al reemplazar y calcular*

El peso de un cuerpo de 72 kg es 705,6 N.

b. $m = \dfrac{\vec{w}}{g}$ — *Al despejar m*

$m = \dfrac{150\ N}{9{,}8\ m/s^2} = 15{,}3\ kg$ — *Al reemplazar y calcular*

La masa de la persona es 15,3 kg.

4.8 El peso de una persona en la Tierra es 600 N. Determinar:

a. La masa de la persona.

b. El peso de la persona en la Luna, donde la aceleración de la gravedad es 1,6 m/s^2.

<u>*SOLUCIÓN:*</u>

a. Puesto que el peso es 600 N, se tiene que:

$\vec{w} = m \cdot g$ — *Ecuación 4.4*

$m = \dfrac{\vec{w}}{g}$ — *Al despejar m*

$m = \dfrac{600\ N}{9{,}8\ m/s^2} = 61{,}2\ kg$ — *Al reemplazar y calcular*

La masa de la persona es 61,2 kg.

b. Puesto que la aceleración de la gravedad en la Luna es 1,6 m/s² y la masa de la persona en la Luna es igual que en la Tierra, es decir, 61,2 kg, se tiene que el peso de la persona en la Luna $\vec{w}_{luna}$ es:

$\vec{w}_{luna} = m \cdot g_{luna}$ — *Ecuación 4.4*

$\vec{w}_{luna} = 61{,}2\ kg \cdot 1{,}6\ m/s^2$ — *Al reemplazar*

$\vec{w}_{luna} = 97{,}9\ N$ — *Al calcular*

El peso de la persona en la Luna es 97,9 N.

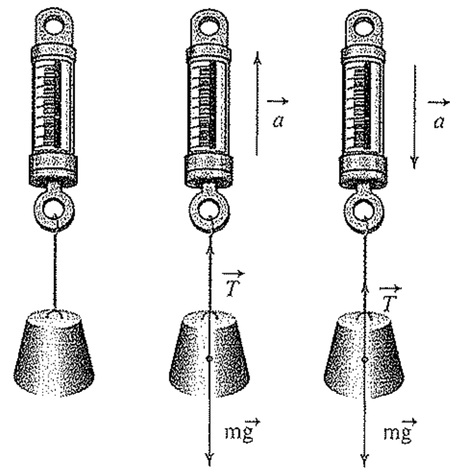
4.9 Un objeto de 10,0 kg de masa se encuentra suspendido del techo de un ascensor por medio de un dinamómetro. Determinar la lectura del dinamómetro (esta es la fuerza que él ejerce sobre el cuerpo) si:

a. El ascensor sube con aceleración de 2 m/s^2.

b. El ascensor baja con aceleración de 2 m/s^2.

SOLUCIÓN:

a. En la siguiente figura se muestran las fuerzas que actúan sobre el objeto.



Si el ascensor sube con aceleración constante de 2 m/s^2, la fuerza neta se expresa como:

$F_{neta} = m \cdot a = 10{,}0\ kg \cdot 2\ m/s^2 = 20{,}0\ N$

El peso del objeto es:

$w = m \cdot g = 10{,}0\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 98\ N$

Por tanto,

$F_{neta} = T - (m \cdot g)$

$T = F_{neta} + (m \cdot g)$ *Al despejar T*

$T = 20\ N + 98\ N$ *Al reemplazar*

$T = 118\ N$ *Al calcular*

Esto muestra que cuando el ascensor acelera hacia arriba, aparentemente el objeto pesa 118 N.

b. Si el ascensor baja con aceleración constante de 2 m/s^2, la fuerza neta se expresa como:

$F_{neta} = m \cdot a = -10{,}0\ kg \cdot 2\ m/s^2 = -20{,}0\ N.$

El peso del objeto es:

$w = m \cdot g = 10{,}0\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 98\ N$

Por tanto,

$F_{neta} = T - (m \cdot g)$

$T = F_{neta} + (m \cdot g)$ *Al despejar T*

$T = -20\ N + 98\ N$ *Al reemplazar*

$T = 78\ N$ *Al calcular*

Esto muestra que cuando el ascensor acelera hacia abajo aparentemente el objeto pesa 78 N.

2.3 La fuerza de rozamiento

Las superficies, en general, no son perfectamente lisas, sino que presentan una serie de rugosidades que en ocasiones encajan con las de otra superficie cuando se encuentran en contacto.

Por tal razón, cuando se intenta desplazar un cuerpo sobre una superficie o cuando un cuerpo se desliza sobre ella, aparece la **fuerza de rozamiento**, opuesta a la dirección del movimiento.

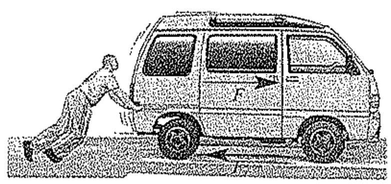


FIGURA 4

2.3.1 Fuerza de rozamiento estático

Si al intentar mover un vehículo, empujándolo, este permanece inmóvil, se puede afirmar que la aceleración del vehículo es igual a cero, debido a que la suma de las fuerzas que actúan sobre él es igual a cero.

La fuerza, $\vec{F}$, que se ejerce sobre él se equilibra con la fuerza de rozamiento, $\vec{F}_r$, mientras el objeto permanezca inmóvil. A este tipo de rozamiento se le denomina **fuerza de rozamiento estático.**

Puede ocurrir que aunque se aumente la fuerza con la cual se empuja el vehículo, este permanezca inmóvil; lo que indica que la fuerza de rozamiento estático también aumenta, es decir $\vec{F} = \vec{F}_r$.

FIGURA 5

Si dos personas empujan a la vez el vehículo, la fuerza aplicada es mayor y eventualmente puede lograr que el vehículo se ponga en movimiento, es decir, contrarrestar la fuerza de rozamiento. El valor de la fuerza de rozamiento estático que permite que esto ocurra se conoce como **fuerza de rozamiento estático máxima**, siendo este el máximo valor alcanzado hasta el momento en que el mueble empieza a moverse.

Para analizar más a fondo lo que sucede con las irregularidades de dos superficies en contacto al ser presionadas, podemos considerar cada superficie como una lija, cuyo material abrasivo corresponde a las irregularidades. Si se presiona un trozo de lija contra el otro, los granos se entrelazan y, al aplicarse una fuerza paralela a la superficie, dificultan el desplazamiento, lo cual da origen a la fuerza de rozamiento. La cantidad de material abrasivo (granos) de cada lija hace evidente fuerza de rozamiento que actúa sobre cada superficie.

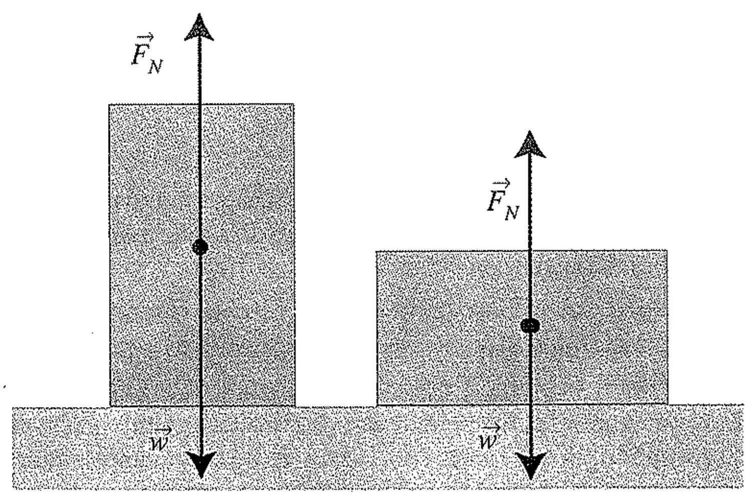
Cuanto más se presionan los trozos de lija, más se incrustan los granos del uno en la superficie del otro y en consecuencia, mayor resulta la fuerza necesaria para desplazar las superficies hasta alcanzar un valor máximo, es decir, hasta el momento en el cual un trozo de lija comienza a moverse con respecto al otro.

La fuerza de rozamiento estático máxima es proporcional a la fuerza que se ejercen mutuamente las superficies en la dirección perpendicular a ellas. Cuando un objeto se encuentra sobre una superficie, la fuerza perpendicular que la superficie le ejerce es la fuerza normal $\vec{F}_N$ (figura 5). Por tanto,

$$F_{r\,estático} = \mu_e \cdot F_N \qquad \text{ECUACIÓN 4.5}$$

La constante de proporcionalidad μ_e se denomina **coeficiente de rozamiento estático** y su valor, que por lo general es menor que 1, depende de la textura de las superficies en contacto.

La fuerza de rozamiento depende de la naturaleza de las superficies que se ponen en contacto, por ejemplo μ_e es diferente si las superficies en contacto son asfalto y caucho que si se trata de hielo y metal. Por otra parte, por depender de la fuerza normal, la fuerza de rozamiento no depende del área de las superficies en contacto de los cuerpos, siempre que la naturaleza de las caras sea la misma como se muestra en la siguiente figura.



2.3.2 La fuerza de rozamiento cinético

Una vez que la fuerza aplicada sobre un objeto supera en intensidad a la fuerza de rozamiento estático, el objeto se mueve. Cuando el objeto se encuentra en movimiento, la fuerza de rozamiento es menor que la fuerza de rozamiento estático máxima. A la fuerza de rozamiento cuando los cuerpos se encuentran en movimiento se le denomina fuerza de **rozamiento cinético** y se representa opuesta a la dirección del movimiento.

La fuerza de rozamiento cinético es directamente proporcional a la fuerza normal. La constante de proporcionalidad que, como en el caso del rozamiento estático, depende de la naturaleza de las superficies en contacto, se llama **coeficiente de rozamiento cinético** μ_c. En este caso tenemos:

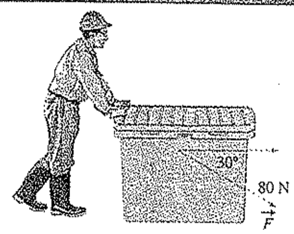
$$F_{r\,cinético} = \mu_c \cdot F_N \qquad \text{ECUACIÓN 4.6}$$

FIGURA 6.

EJEMPLO

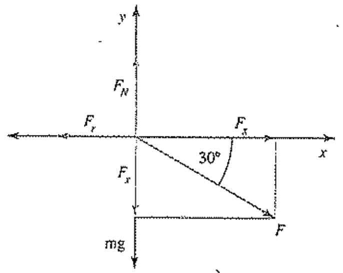
IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

4.10 Sobre una caja de masa 8,0 kg se aplica una fuerza de 80,0 N que forma con la horizontal un ángulo de 30° y este se desliza sobre una superficie plana. El coeficiente de rozamiento cinético entre el bloque y la superficie es de 0,20. Determinar la aceleración con la cual se mueve el objeto.



SOLUCIÓN:

En la siguiente figura se representa el diagrama de fuerzas correspondiente.



Las componentes de la fuerza $\vec{F}$ se calculan así:

$F_x = F \cdot \cos 30°$

$F_x = 80{,}0\ N \cdot \cos 30° = 69{,}3\ N$

$F_y = -F \cdot \operatorname{sen} 30°$

$F_y = 80{,}0\ N \cdot \operatorname{sen} 30° = 40{,}0\ N.$

El peso de la caja es:

$w = m \cdot g$

$w = 8{,}0\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 78{,}4\ N.$

No conocemos la componente en x de la fuerza de rozamiento ni la componente en y de la fuerza normal. Además, como el objeto permanece en contacto con la superficie sobre la cual se desliza, la componente en y de la fuerza neta es igual a cero. Escribimos las componentes de las fuerzas, expresadas en N.

$\vec{F} = (69{,}3;\ -40{,}0)$

$m\vec{g} = (0,\ -78{,}4)$

$\vec{F}_r = (-F_r,\ 0)$

$\vec{F}_N = (0,\ F_N)$

$\vec{F}_{neta} = (F_{neta},\ 0)$

Podemos plantear las siguientes ecuaciones para las componentes:

Para y: $-40{,}0\ N - 78{,}4\ N + F_N = 0$

De la cual podemos deducir que $F_N = 118{,}4\ N$

Para calcular la fuerza de rozamiento, tenemos que:

$F_r = \mu_c \cdot F_N$ *Ecuación 4.6*

$F_r = 0{,}20 \cdot 118{,}4\ N = 23{,}64\ N$ *Al reemplazar y calcular*

Para x: $69{,}3 \cdot N - F_r = F_{neta}$

De la cual podemos deducir que:

$F_{neta} = 69{,}3\ N - 23{,}64\ N = 45{,}66\ N.$

Para calcular la aceleración, tenemos que:

$F_{neta} = \mu_a$ *Ecuación 4.3* $\quad a = \dfrac{F_{neta}}{m}$ *Al despejar a*

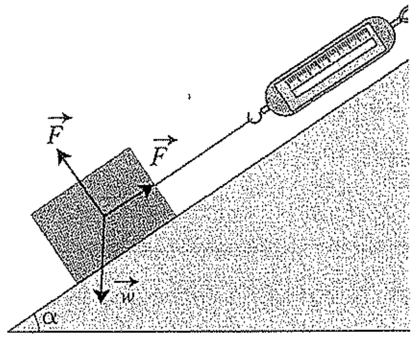
$a = \dfrac{45{,}66\ N}{8{,}0\ kg} = 5{,}7\ m/s^2$ *Al reemplazar y calcular*

La aceleración del objeto es de $5{,}7\ m/s^2$

2.4 El plano inclinado

Las superficies inclinadas como las rampas son ejemplos de planos inclinados. Un plano inclinado es una superficie plana que forma un determinado ángulo α con la horizontal.

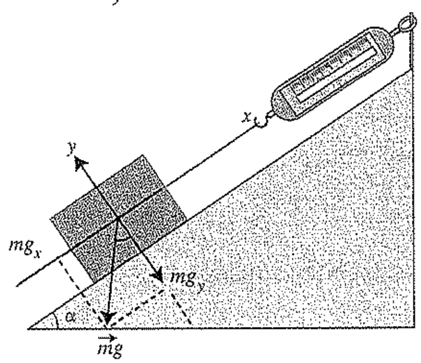
Considera que sobre un plano inclinado liso (de rozamiento despreciable) se coloca un cuerpo sujeto por un dinamómetro a la parte superior del plano tal como se muestra en la siguiente figura.



Se observa que sobre el cuerpo actúan tres fuerzas: su peso ($m\vec{g}$), la fuerza normal ($\vec{F}_N$) y la fuerza que ejerce el resorte del dinamómetro ($\vec{F}_D$). Como el cuerpo se encuentra en equilibrio bajo la acción de las tres fuerzas, se cumple que:

$$m\vec{g} + \vec{F}_N + \vec{F}_D = 0$$

El peso, $m\vec{g}$, del cuerpo puede descomponerse en otras dos fuerzas: una en el eje x (mg_x), y la otra en el eje y (mg_y), así:



Podemos escribir entonces:

$$\begin{array}{lcc} mg & = & (-mg_x, -mg_y) \\ F_N & = & (0\ , F_N) \\ F_D & = & (F_D\ , 0) \\ \hline F_{neta} & = & (0\ , 0) \end{array}$$

Por tanto,

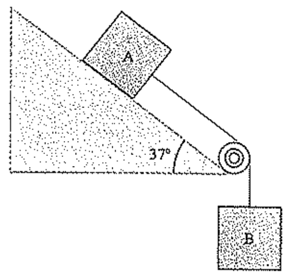
$$mg_x = F_D \;\text{ y }\; mg_y = F_N$$

Esto muestra que la componente sobre el eje y del peso, mg_y y la fuerza normal son fuerzas de igual norma pero con direcciones contrarias. De la misma manera, la fuerza $\vec{F}_D$ que ejerce el dinamómetro y la componente del peso en el eje x, mg_x, son de igual norma pero opuestas.

EJEMPLO

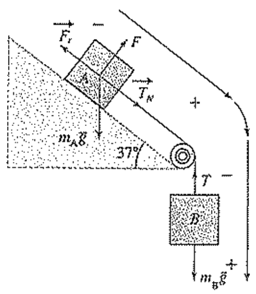
IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

4.11 Sobre un plano inclinado que forma 37° con la horizontal, se encuentra un bloque A de madera, de masa 8,0 kg, unido por medio de una cuerda a otro bloque B, de masa 4,0 kg que cuelga de la cuerda, la cual pasa por una polea situada en la parte inferior del plano. Si el coeficiente de rozamiento entre el bloque y el plano es 0,20, calcular la aceleración del sistema y la tensión del hilo.



SOLUCIÓN:

La fuerza de rozamiento que actúa sobre A se dirige hacia arriba por el plano. Para escribir las relaciones entre las fuerzas, tomemos las direcciones positivas que se indican en la siguiente figura para cada objeto respectivamente.



Bloque B:

Sobre el bloque B, únicamente actúan el peso, $m_Bg = 39{,}2$ N, y la tensión del hilo, $\vec{T}$. El peso, $m_B\vec{g}$, está orientado en la dirección del movimiento, mientras que $\vec{T}$ se dirige en sentido contrario, por lo cual al aplicar la ecuación 4.3 tenemos:

$$F_{neta_B} = 39{,}2\ N - T$$

es decir, $39{,}2\ N - T = 4{,}0\ kg \cdot a$

Bloque A:

Puesto que actúan la fuerza de rozamiento, la fuerza normal, la tensión de la cuerda y el peso, debemos considerar lo que sucede en la dirección del movimiento y en la dirección perpendicular al movimiento.

En dirección perpendicular a la dirección del movimiento actúan la fuerza normal F_N y la componente del peso,

$$-m_A \cdot g \cdot \cos 37° = -62{,}6\ N$$

En la dirección del movimiento, actúan la tensión, T, la fuerza de rozamiento, F_r y la componente del peso, mg

$$m \cdot g \cdot \text{sen}\ 37° = 47{,}2\ N.$$

La componente de la fuerza neta en el eje y es igual a cero, pues en esta dirección no hay movimiento para el bloque A.

Si suponemos que la cuerda no tiene masa, la tensión en los dos extremos de la cuerda es T y, por tanto, al escribir las componentes de los vectores tenemos:

$$\begin{array}{lcl} \vec{T} & = & (T, 0) \\ \vec{F}_N & = & (0, F_N) \\ \vec{F}_r & = & (-F_r, 0) \\ m\vec{g} & = & (47{,}2; -62{,}6) \\ \hline \vec{F}_{neta_A} & = & (8{,}0\ kg \cdot a, 0) \end{array}$$

A partir de las componentes en el eje y, la fuerza normal es:

$$F_N = 62{,}6\ N$$

Con el valor de la fuerza normal podemos calcular la fuerza de rozamiento:

$$F_r = 0{,}20 \cdot 62{,}6\ N = 12{,}5\ N$$

A partir de las componentes en el eje x:

$$T - 12{,}5\ N + 47{,}2\ N = 8{,}0\ kg \cdot a$$

Tenemos entonces las siguientes dos ecuaciones:

$$39{,}2\ N - T = 4{,}0\ kg \cdot a$$
$$T + 34{,}7\ N = 8{,}0\ kg \cdot a$$

Sumándolas, obtenemos:

$$73{,}9\ N = 12{,}0\ kg \cdot a$$

Luego, $a = 6{,}15\ m/s^2$

Calculamos la tensión a partir de cualquiera de las ecuaciones anteriores y obtenemos que:

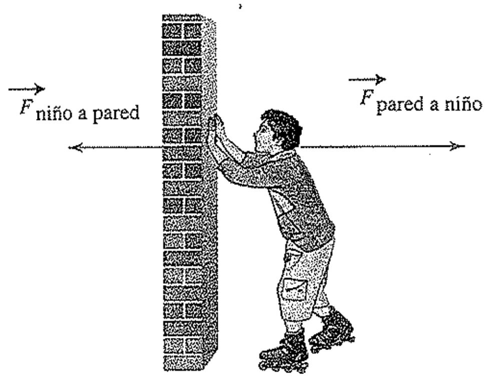
$$T = 14{,}6\ N.$$

La aceleración del sistema es $6{,}15\ m/s^2$ y la tensión de la cuerda es 14,6 N.

Tema 3. Acción y reacción - Tercera ley de Newton

3.1 La tercera ley de Newton

En la naturaleza, las fuerzas no se presentan solas, por lo general forman parte de un sistema de pares de fuerzas que actúan simultáneamente. Por ejemplo, un niño que se desliza sobre unos patines, ejerce una fuerza con sus manos sobre una pared y como consecuencia de ello, el niño se separa de la pared. Esto sucede debido a que la fuerza aplicada por el niño, genera otra fuerza contraria a la que aplico sobre la pared, como se observa en la siguiente figura.



Para explicar situaciones como la descrita enunciamos la tercera ley de Newton o principio de acción y reacción.

DEFINICIÓN 4.5

Si un cuerpo ejerce una fuerza (acción) sobre otro, este produce otra fuerza de la misma intensidad (reacción), pero opuesta sobre el primero

Es importante tener en cuenta que las fuerzas de acción y reacción se aplican sobre cuerpos distintos. Así, en el ejemplo del niño sobre patines, si consideramos que la acción es la fuerza ejercida por el niño sobre la pared, la reacción es la fuerza ejercida por la pared sobre el niño, lo cual ocasiona que este se desplace.

Las fuerzas de acción y reacción se manifiestan en la naturaleza, por ejemplo algunos animales como los calamares se desplazan cuando lanzan desde el interior de su cuerpo un líquido (tinta). El animal al expulsar la tinta ejerce fuerza sobre el líquido y, en consecuencia, por el principio de acción y reacción, el líquido ejerce fuerza sobre el animal, lo cual genera que este se desplace.

Cualquier cuerpo que se encuentre en las proximidades de la Tierra experimenta la fuerza de atracción que esta le ejerce, el peso. De acuerdo con el principio de acción y reacción, también el cuerpo ejerce una fuerza de igual intensidad y opuesta sobre la Tierra. Esto significa que debido a la fuerza ejercida por el cuerpo, la Tierra experimenta aceleración, sin embargo no se percibe, puesto que de acuerdo con la segunda ley de Newton, un objeto de mayor masa experimenta menor aceleración que uno de menor masa cuando se les ejerce la misma fuerza. Puesto que la masa de la Tierra es muy grande ($6{,}0 \times 10^{24}$ kg), la aceleración que esta experimenta es mínima.

En síntesis, dos cuerpos que interactúan mutuamente ejercen fuerzas de igual intensidad pero opuestas, una de ellas la acción y la otra la reacción. Cualquiera de las dos corresponde a la acción o a la reacción. Por ejemplo, cuando un caballo hala una carreta le ejerce fuerza y, en consecuencia, la carreta le ejerce una fuerza de igual intensidad y opuesta (figura 7). En este caso no podemos determinar cuál de las fuerzas es la acción y cuál es la reacción, ya que si consideramos que la fuerza que ejerce el caballo es la acción, entonces la fuerza que ejerce la carreta es la reacción y si la fuerza que ejerce la carreta se considera como la acción, la fuerza que ejerce el caballo es la reacción.

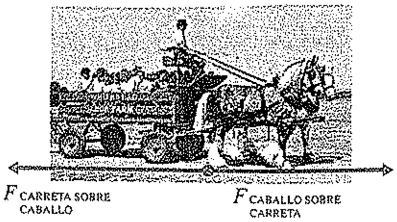


FIGURA 7

Aunque las fuerzas de acción y reacción entre pares de cuerpos, son de igual intensidad y opuestas, no ocasionan que el conjunto esté en reposo o que se mueva con velocidad constante, ya que, cada una actúa sobre un cuerpo distinto y por tanto ninguno de los dos puede estar en reposo, a menos que existan otras fuerzas que contrarresten a las anteriores. Por ejemplo, es claro que cuando el caballo hala la carreta, la pone en movimiento. De acuerdo con el principio de acción y reacción la fuerza que ejerce el caballo sobre la carreta es de igual intensidad y opuesta a la que ejerce la carreta sobre el caballo, sin embargo, las fuerzas no se anulan entre sí porque actúan sobre cuerpos diferentes y entonces no podemos esperar que el sistema carreta-caballo se encuentre en reposo o se mueva con velocidad constante.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

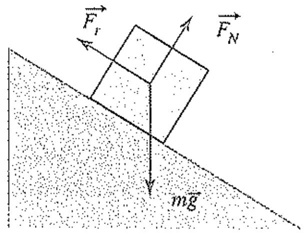
4.12 Un cuerpo se coloca sobre un plano inclinado.

a. Dibujar las fuerzas que actúan sobre el cuerpo e indicar qué cuerpo las ejerce.

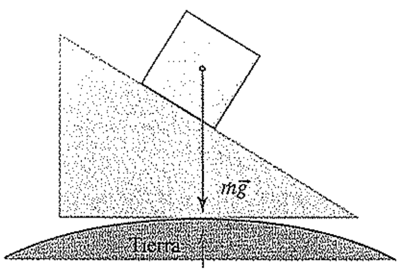
b. Determinar la fuerza de reacción a cada una de las fuerzas y representarlas gráficamente.

SOLUCIÓN:

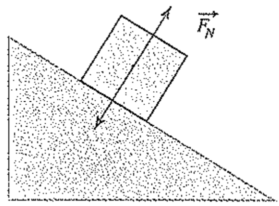
a. En la figura se representan las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.



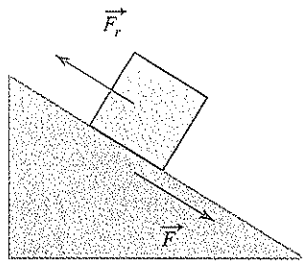
Si consideramos que el peso es la acción, entonces, la reacción es la fuerza que ejerce el objeto sobre la Tierra.



Si consideramos la fuerza normal como la acción, entonces, la reacción es la fuerza que ejerce el cuerpo sobre la superficie del plano inclinado.



La reacción a la fuerza de rozamiento es una fuerza que ejerce el cuerpo sobre la superficie como lo muestra la figura.



3.2 La cantidad de movimiento lineal

Alguna vez te has preguntado ¿cómo puede un karateka romper una fila de ladrillos sin romper su mano? ¿Por qué es más difícil detener una pelota cuando va más rápido que cuando va lento?

Para entender esto es necesario recordar el concepto de inercia.

Aquí desarrollaremos el concepto de inercia de los objetos en movimiento y estudiaremos los factores que influyen en la cantidad de movimiento. Todo objeto en movimiento opone resistencia a regresar a un estado de reposo, por lo tanto, para detener un objeto es necesario aplicar una fuerza sobre él. La experiencia nos muestra que se presenta mayor dificultad para detener un cuerpo cuando la rapidez con la que se mueve tiene un valor muy alto, o cuando su masa es mayor en comparación con la del objeto que desea detenerlo. Por lo tanto, para describir situaciones como estas debemos tener en cuenta dos factores, la masa y la velocidad de los objetos.

La relación entre la masa, la velocidad y el movimiento de un cuerpo se denomina **cantidad de movimiento lineal o momentum lineal.**

Newton, en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica,* definió la cantidad de movimiento así: *"La cantidad de movimiento es la medida del mismo, que nace de la velocidad y de la cantidad de materia conjuntamente"*. En esta definición, Newton, menciona la cantidad de materia, sin embargo, cuando definimos masa establecimos que esta es una medida de la resistencia que presenta un objeto a variar su estado de movimiento, definición que es más precisa que la de cantidad de materia.

DEFINICIÓN 4.6

El momentum lineal o cantidad de movimiento lineal, P, de un cuerpo se define como el producto de la masa del cuerpo por la velocidad.

La expresión que describe la cantidad de movimiento lineal es:

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad \text{ECUACIÓN 4.7}$$

Siendo su unidad de medida en el S.I. el $kg \cdot \frac{m}{s}$

Como el producto de una magnitud escalar (la masa, m) por una magnitud vectorial (la velocidad, v), es un vector, tenemos que la cantidad de movimiento es un vector cuya dirección coincide con la dirección de la velocidad. Por ejemplo, si un automóvil de masa 1.000 kg se mueve con velocidad 80 km/h y camión de masa 8.000 kg con velocidad de 10 km/h, podemos afirmar que los dos vehículos tienen la misma cantidad de movimiento, es decir:

$$\begin{aligned} \vec{p}_{automóvil} &= \vec{p}_{camión} \\ m_{automóvil} \cdot \vec{v}_{automóvil} &= m_{camión} \cdot \vec{v}_{camión} \\ 1.000\ kg \cdot 80\ km/h &= 8.000\ kg \cdot 10\ km/h \\ 22.222\ kg \cdot \frac{m}{s} &= 22.222\ kg \cdot \frac{m}{s} \end{aligned}$$

La cantidad de movimiento de un sistema aumenta cuando se le ejerce una fuerza neta que ocasione un aumento en la velocidad, o cuando aumenta la masa, sin variar su velocidad.

3.3 Impulso mecánico

Al cambiar la cantidad de movimiento de un cuerpo, cambia su masa o cambia su velocidad o cambian las dos cosas. La experiencia diaria nos indica que, por lo general, la masa permanece constante y lo que varía es la velocidad, es decir, se produce una aceleración. Dicha aceleración es el producto de una fuerza que actúa sobre el cuerpo durante un tiempo determinado.

Otro factor importante es el tiempo durante el cual se ejerce la fuerza. Si se aplica una fuerza por un intervalo de tiempo corto a un auto varado, el cambio en la cantidad de movimiento es pequeño, y si se aplica la misma fuerza durante un intervalo de tiempo mayor, el cambio en la cantidad de movimiento será mayor.

Si suponemos que un cuerpo se mueve en línea recta con aceleración constante y su velocidad cambia de v_0 a v durante un intervalo de tiempo Δt, entonces se tiene que:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{\Delta t}$$

Como:

$$F_{neta} = m \cdot a$$

Es decir,

$$F_{neta} = m \cdot \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{mv - mv_0}{\Delta t}$$

Si la cantidad de movimiento inicial es $p_0 = m \cdot v_0$ y la cantidad de movimiento cuando ha transcurrido el intervalo de tiempo Δt es $p = m \cdot v$, entonces:

$$F_{neta} = \frac{p - p_0}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \qquad \text{ECUACIÓN 4.8}$$

Lo cual significa que la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es igual a la variación con respecto al tiempo de la cantidad de movimiento de dicho cuerpo. Esta expresión muestra que cuanto más intensa es una fuerza, más rápido cambia la cantidad de movimiento del objeto; de la misma manera, si la fuerza no es tan intensa, la cantidad de movimiento del objeto cambia lentamente.

El producto de la fuerza que actúa sobre un cuerpo por el tiempo durante el cual esta actúa recibe el nombre de **impulso mecánico**, I. Por tanto,

$$F_{neta}\,\Delta t = p - p_0$$

$$I = F_{neta}\,\Delta t \qquad \text{ECUACIÓN 4.9}$$

De donde,

$$I = p - p_0 \qquad \text{ECUACIÓN 4.10}$$

Es decir, que la variación de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual al valor del impulso que actúa sobre el cuerpo.

Esta relación permite explicar por qué fuerzas no tan intensas como la que ejerce el lanzador en béisbol, que actúan durante un intervalo de tiempo largo (figura 8), pueden producir efectos comparables con los de fuerzas intensas como la del bateador de béisbol que actúan durante intervalos de tiempo cortos.

La unidad de medida en el S.I. de impulso es el $N \cdot s$.

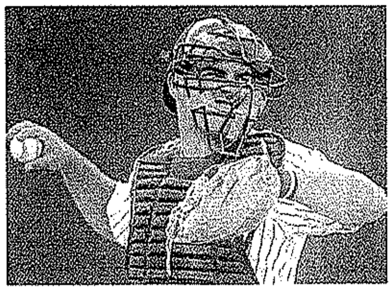


FIGURA 8

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

4.13 La masa de un balón de fútbol es 450 g. Si el tiempo de contacto entre el pie y el balón, durante un puntapié, para que este adquiera una velocidad de 20 m/s, a partir del reposo, es de 8×10^{-3} s, determinar:

a. El impulso producido por el puntapié.
b. La fuerza ejercida sobre el balón.

SOLUCIÓN:

a. La cantidad de movimiento inicial es 0 y la cantidad de movimiento final es:

$p = m \cdot v$	*Ecuación 4.7*
$p = 0{,}450\ kg \cdot 20\ m/s$	*Al reemplazar*
$p = 9\ kg \cdot m/s$	*Al calcular*

Para determinar el impulso, tenemos:

$I = p - p_0$	*Ecuación 4.10*
$I = 9\ kg \cdot m/s - 0$	*Al reemplazar*
$I = 9\ kg \cdot m/s$	*Al calcular*

El impulso producido por el puntapié es 9 kg · m/s

b. Para calcular la fuerza ejercida sobre el balón, tenemos que:

$I = F_{neta}\,\Delta t$	*Ecuación 4.9*
$F_{neta} = \dfrac{I}{\Delta t}$	*Al despejar F_{neta}*
$F_{neta} = \dfrac{9\ kg \cdot m/s}{8 \times 10^{-3}\ s}$	*Al reemplazar*
$F_{neta} = 1.125\ N$	*Al calcular*

La fuerza ejercida sobre el balón es 1.125 N.

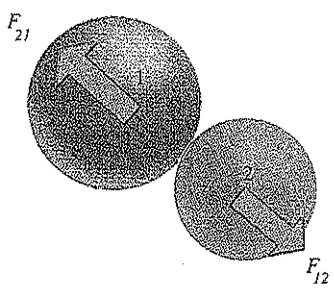


FIGURA 9

3.4 La conservación de la cantidad de movimiento

Consideremos un sistema formado por dos esferas, en donde las únicas fuerzas que actúan sobre ellas son las que se ejercen mutuamente (figura 9). Este sistema aislado se caracteriza porque la fuerza neta ejercida por objetos es igual a cero.

De acuerdo con el principio de acción y reacción, la fuerza que ejerce la esfera 1 sobre la esfera 2 (F_{12}) es de igual intensidad y opuesta a la fuerza que ejerce la esfera 2 sobre la esfera 1 (F_{21}). Es decir, $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

Como la segunda ley de Newton, expresada en términos de la cantidad de movimiento p, establece que la fuerza es igual a la variación de la cantidad de movimiento con respecto al tiempo, tenemos que las fuerzas que experimentan la esfera 1 y la esfera 2 son respectivamente:

$$F_{21} = \frac{\Delta p_1}{\Delta t} \quad \text{y} \quad F_{12} = \frac{\Delta p_2}{\Delta t}$$

Por tanto,

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta t} = -\frac{\Delta p_1}{\Delta t}$$

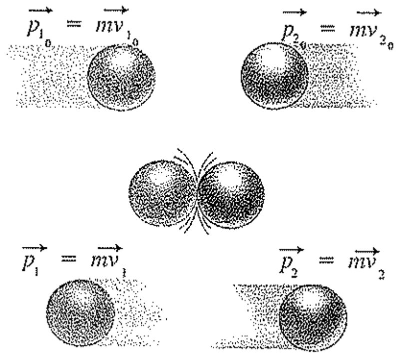
El tiempo durante el cual la esfera 1 ejerce fuerza sobre la esfera 2 es igual al tiempo durante el cual la esfera 2 ejerce fuerza sobre la esfera 1, por tanto, los cambios de cantidad de movimiento se relacionan mediante la expresión:

$$\Delta p_2 = -\Delta p_1$$

es decir,

$$p_2 - p_{2_0} = -(p_1 - p_{1_0}) \qquad \text{ECUACIÓN 4.11}$$

Lo cual significa que una disminución en la cantidad de movimiento de la esfera 1 se manifiesta como un aumento de la cantidad de movimiento de la esfera 2, como se observa en la siguiente figura.



Esta relación se expresa como:

$$p_1 + p_2 = p_{1_0} + p_{2_0} = \text{constante} \qquad \text{ECUACIÓN 4.12}$$

Se observa que la suma de las cantidades de movimiento de dos objetos que conforman un sistema aislado, antes de que interactúen, es igual a la suma de las cantidades de movimiento de los dos objetos después de la interacción, es decir:

$$p_{antes} = p_{después} \qquad \text{ECUACIÓN 4.13}$$

Por lo tanto, la cantidad de movimiento de un sistema aislado permanece constante.

El principio de conservación de la cantidad de movimiento lineal es equivalente a la tercera ley de Newton. Este principio se aplica a un sistema aislado que contenga dos o más partículas. En un sistema conformado por tres partículas que interactúan, cada uno experimenta como fuerza la suma de las fuerzas que le ejercen los otros dos.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

4.14 Después de una explosión interna un objeto de masa 4,0 kg, inicialmente en reposo, se divide en dos fragmentos, uno de los cuales, de masa 2,5 kg, sale proyectado hacia la derecha con velocidad de 40 m/s. Determinar la velocidad del otro fragmento después de la explosión.

SOLUCIÓN:

Cantidad de movimiento inicial del objeto antes de la explosión es $p_{antes} = 0$. La cantidad de movimiento final del sistema conformado por los dos fragmentos es:

$$p_{después} = p_1 + p_2 = m_1 \cdot v_1 + m_1 \cdot v_2$$
$$p_{después} = 2{,}5\ kg \cdot 40\ m/s + 1{,}5\ kg \cdot v_2$$
$$p_{después} = 100\ kg \cdot m/s + 1{,}5\ kg \cdot v_2$$

Por el principio de conservación de la cantidad de movimiento,

$$p_{antes} = p_{después} \qquad \textit{Ecuación 4.13}$$
$$0 = 100\ kg\ m/s + 1{,}5\ kg \cdot v_2 \qquad \textit{Al reemplazar}$$
$$v_2 = -66{,}6\ m/s \qquad \textit{Al calcular}$$

La velocidad del segundo fragmento, después de la explosión es $-66{,}6$ m/s. El signo negativo indica que el segundo fragmento se mueve en sentido opuesto al primer fragmento.

© SANTILLANA

3.5 Los sistemas de propulsión

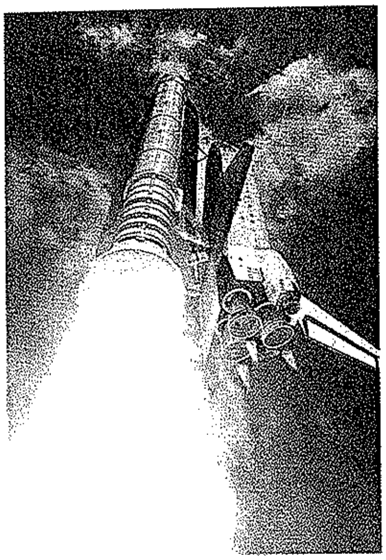


FIGURA 10

Los sistemas de propulsión como el empleado para producir el movimiento de los cohetes son una aplicación del principio de acción y reacción (figura 10). En este caso, los gases que escapan del combustible quemado son expulsados por la parte posterior del cohete y, en consecuencia, el cohete experimenta aceleración hacia adelante debida a la fuerza que le ejercen dichos gases expulsados.

Pero, ¿por qué un cohete se puede mover sin la interacción de cuerpo alguno? Supongamos que el cohete inicialmente se encuentra en reposo, entonces la cantidad de movimiento total del sistema es igual a cero. Una vez en movimiento, la cantidad de movimiento de los gases que escapan de él tiene un valor igual a la del cohete, aunque opuesta. Cuando el cohete expulsa los gases, además de recibir aceleración por efecto de la fuerza que le ejercen los gases, disminuye su masa, lo cual contribuye a que experimente un aumento en la aceleración.

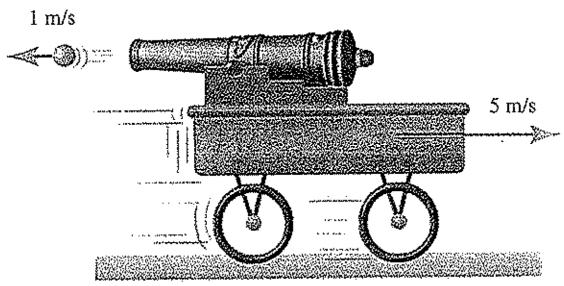
En el despegue de un cohete, los gases son expulsados a miles de metros por segundo. La velocidad de salida de los gases y la masa de ellos es aproximadamente constante, lo cual significa que la fuerza que actúa sobre el cohete es constante, pero debido a la progresiva disminución de la masa, la velocidad es cada vez mayor.

Algunos cohetes se denominan cohetes de múltiples etapas, debido a que en su trayecto, estos cohetes se despojan de algunas partes. En consecuencia, su masa disminuye significativamente, aumentando de esta manera su aceleración.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

4.15 Un pequeño carro provisto de un cañón cuya masa total es 20,0 kg se mueve con velocidad de 5,0 m/s hacia la derecha. En determinado instante dispara un proyectil de 1,0 kg con una velocidad de 1,0 m/s, con respecto a la vía. Determinar la velocidad del carro con respecto a la vía después del disparo.



SOLUCIÓN:

Antes del disparo, la cantidad de movimiento del sistema es:

$$p_{antes} = m_{inicial\ carro} \cdot v_{inicial\ carro}$$

$$p_{antes} = 20{,}0\ kg \cdot 5{,}0\ m/s = 100\ kg \cdot m/s$$

Después del disparo, la cantidad de movimiento del sistema carro proyectil es

$$p_{después} = m_{proyectil} \cdot v_{proyectil} + m_{restante\ carro} \cdot v_{carro}$$

$$p_{después} = 1{,}0\ kg \cdot 1{,}0\ m/s + 19{,}0\ kg \cdot v_{carro}$$

Como:

$p_{antes} = p_{después}$	*Ecuación 4.13*
$100\ kg \cdot m/s = -1{,}0\ kg \cdot 1{,}0\ m/s + 19{,}0\ kg \cdot v_{carro}$	*Al reemplazar*
$v_{carro} = 5{,}3\ m/s$	*Al calcular*

La velocidad del carro después del disparo es 5,3 m/s.

3.6 Colisiones

En muchas situaciones cotidianas observamos que se producen colisiones entre objetos, por ejemplo, lo que sucede con las bolas de billar, o el comportamiento de las partículas de un gas. Una colisión es una interacción entre objetos en la que se produce transferencia de cantidad de movimiento, en ausencia de fuerzas externas. La cantidad de movimiento del sistema conformado por los objetos que interactúan antes de la colisión es igual a la cantidad de movimiento después de la colisión. Para la cantidad de movimiento total de un sistema en una colisión se cumple que:

$$p_{antes} = p_{después}$$

Cuando se produce una colisión entre dos objetos que se encuentran sobre una superficie es posible que la fuerza de rozamiento actúe sobre ellas, la cual es una fuerza externa. Sin embargo, la presencia de esta fuerza no le resta precisión a los cálculos que hacemos a partir de la conservación de la cantidad de movimiento, ya que la fuerza de rozamiento es muy pequeña comparada con la fuerza que se ejercen los objetos entre sí.

Puesto que la cantidad de movimiento es un vector, cuando consideramos colisiones que ocurren en el plano, como es el caso de dos objetos que colisionan pero no frontalmente, representamos la situación en el plano cartesiano y por tanto, debemos tener en cuenta las componentes de la cantidad de movimiento tanto en el eje x como en el eje y.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

4.16 Dos bolas de pool A y B de masa m se dirigen una hacia la otra, chocando frontalmente. La bola A se mueve con velocidad de 2 m/s y la bola B con velocidad de 1 m/s.

a. Determinar la velocidad de la bola A, si después del choque la bola B se mueve con velocidad de 0,6 m/s en dirección contraria a la inicial.

b. Construir un diagrama de vectores que ilustre el movimiento de las bolas antes y después de la colisión.

SOLUCIÓN:

Determinamos la cantidad de movimiento de las bolas antes y después de la colisión. A la velocidad de la esfera B antes de la colisión le asignamos signo menos puesto que se mueve en dirección contraria a la esfera A.

$$p_{antes} = p_{A_{antes}} + p_{B_{antes}} = mv_{A_{antes}} + mv_{B_{antes}} = m\,(2\ m/s - 1\ m/s)$$

$$p_{después} = p_{A_{después}} + p_{B_{después}} = mv_{A_{después}} + mv_{B_{después}} = m\,(v_{A_{después}} + 0,6\ m/s)$$

Como,

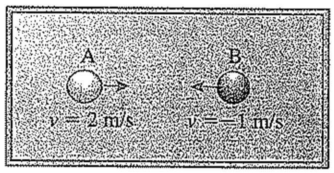
$$p_{antes} = p_{después}$$

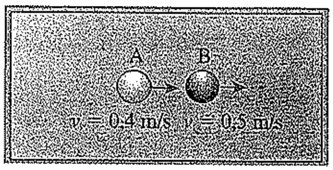
$$m\,(2\ m/s - 1\ m/s) = m\,(v_{Adespués} + 0,6\ m/s)$$

De donde:

$$2\ m/s - 1\ m/s = v_{A_{después}} + 0,6\ m/s$$

$$v_{A_{después}} = 0,4\ m/s$$





La velocidad de la esfera A después de la colisión es 0,4 m/s. No cambió de dirección.

4.17 Una esfera A de masa 0,5 kg se mueve con velocidad de 2 m/s y choca de manera no frontal con otra esfera B de masa 0,8 kg que se encuentra en reposo. Después de la colisión la esfera *A* se desvía 30° con respecto a su dirección inicial y se mueve con velocidad de 1 m/s. Determinar la velocidad de la esfera *B* después del choque.

SOLUCIÓN:

Analizamos la cantidad de movimiento del sistema antes y después de la colisión. Puesto que el proceso ocurre en el plano debemos considerar las componentes en el eje x y en el eje y.

Antes de la colisión tenemos

- *Para la esfera A:*

$P_{A_{antes\,x}} = 0{,}5\ kg \cdot 2\ m/s = 1\ kg \cdot m/s$

$P_{A_{antes\,y}} = 0$

$\vec{P}_{A_{antes}} = (1, 0)$ *Componentes medidas en* $kg \cdot m/s$

- *Para la esfera B:*

$\vec{p}_{B_{antes\,x}} = 0$ y $p_{B_{antes\,y}} = 0$

$p_{A_{antes}} = (0, 0)$

Por tanto,

$\vec{p}_{antes} = \vec{p}_{A_{antes}} + \vec{p}_{B_{antes}}$

$\vec{p}_{antes} = (1, 0) + (0, 0) = (1, 0)$ *Componentes medidas en* $kg \cdot m/s$.

Después de la colisión tenemos

- *Para la esfera A:*

$v_{Ax} = 1\ m/s \cdot \cos 30° = 0{,}87\ m/s$

$v_{Ay} = 1\ m/s \cdot \text{sen}\ 30° = 0{,}5\ m/s.$

Por tanto,

$p_{A_{después\,y}} = 0{,}5\ kg \cdot 0{,}87\ m/s = 0{,}43\ kg \cdot m/s$

$p_{A_{después\,y}} = 0{,}5\ kg \cdot 0{,}5\ m/s = 0{,}25\ kg \cdot m/s$

$\vec{p}_{A_{después}} = (0{,}43; 0{,}25)$ *Componentes medidas en* $kg \cdot m/s$

- *Para la esfera B:*

$\vec{p}_{B_{después}} = (p_{2x}, p_{2y})$

$\vec{p}_{después} = (0{,}43; 0{,}25) + (p_{2x}, p_{2y})$

$\vec{p}_{después} = (0{,}43 + p_{Bx}; 0{,}25 + p_{By})$ *Componentes medidas en* $kg \cdot m/s$

Considerando la ecuación 4.13 tenemos que:

$\vec{p}_{antes} = \vec{p}_{después}$

$(1, 0) = (0{,}43 + p_{Bx}; 0{,}25 + p_{By})$

Luego,

$1 = 0{,}43 + p_{B_x}$ y

$0 = 0{,}25 + p_{B_y}$

$p_{Bx} = 0{,}57\ kg \cdot m/s$ y

$p_{By} = -0{,}25\ kg \cdot m/s$

$0{,}8 kg \cdot v_{Bxdespués} = 0{,}57\ kg \cdot m/s$ y

$0{,}8\ kg \cdot v_{Bydespués} = -0{,}25\ kg \cdot m/s$

$v_{B_x} = 0{,}71\ m/s$ y

$v_{B_y} = -0{,}31\ m/s$

La velocidad de la esfera B después de la colisión se representa por el vector:

$\vec{V}_{B_{después}} = (0{,}71, -0{,}31)$ *Componentes medidas en m/s.*

La norma del vector velocidad de la esfera B después de la colisión es:

$$\|v_{B_{después}}\| = \sqrt{(0{,}71\ m/s)^2 + (0{,}31\ m/s)^2} = 0{,}77\ m/s$$

El ángulo que forma la velocidad con la dirección inicial de la esfera A se calcula mediante:

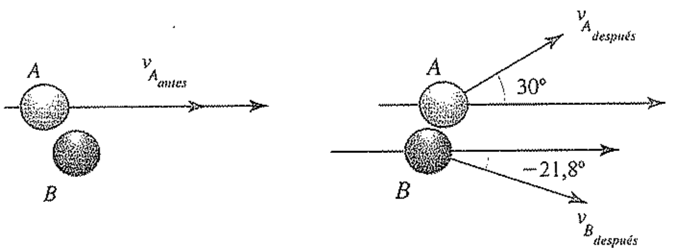
$$\tan \alpha = \frac{-0{,}31}{0{,}71} = -0{,}4$$

Luego,

$\alpha = \tan^{-1} -0{,}4.$

$\alpha = -21{,}8°$

La esfera B, se mueve con velocidad de 0,77 m/s formando un ángulo de −21,8° con la dirección inicial de la esfera A, como muestra la figura.



Resumen de la unidad

SUMARIO DE CONCEPTOS

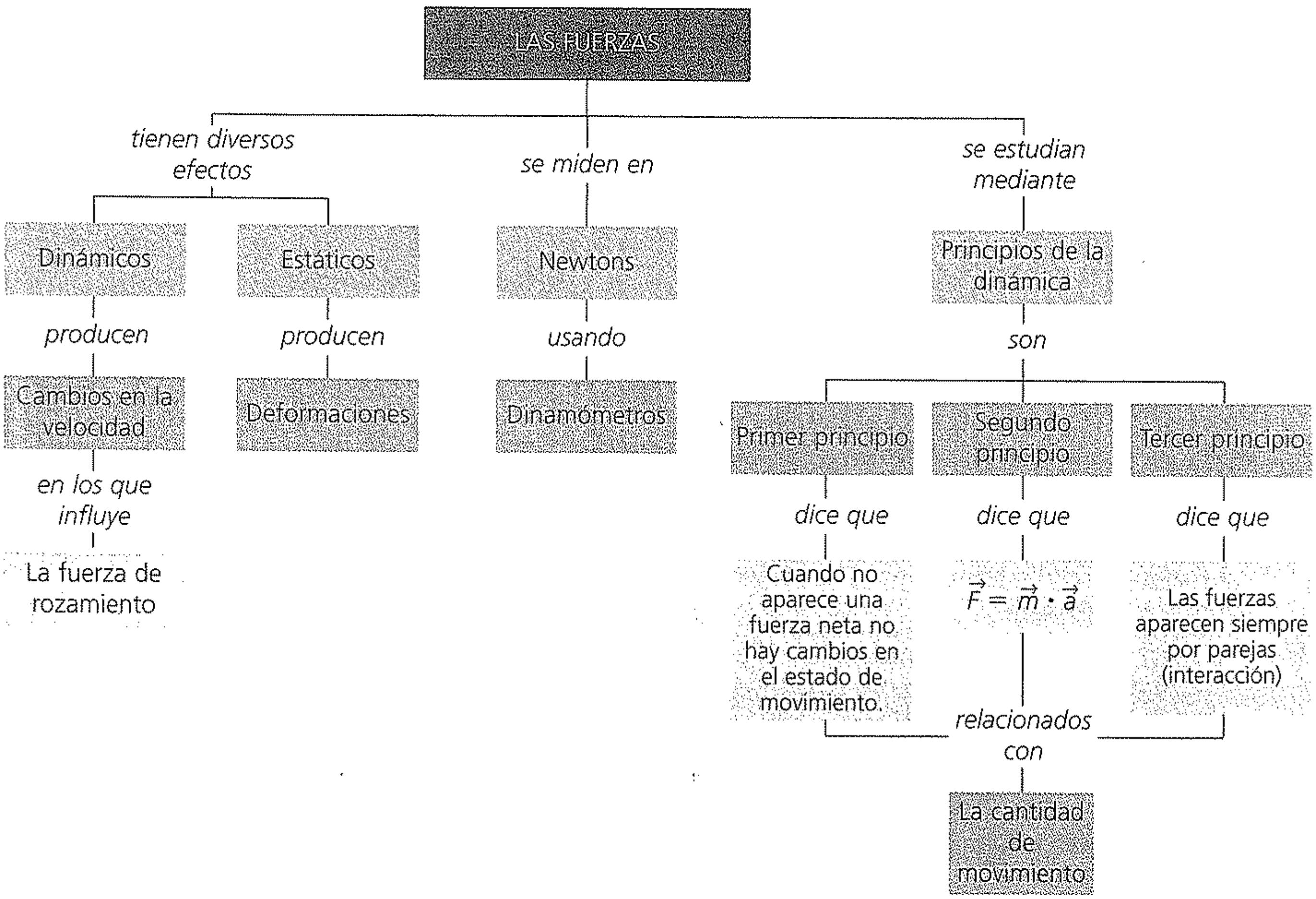
CENTRO DE GRAVEDAD: punto que se considera como punto de aplicación del peso de los cuerpos.

FUERZA DE ROZAMIENTO: fuerza que se opone al deslizamiento de un objeto sobre una superficie.

MASA INERCIAL: medida de la inercia de un cuerpo. Medida de la resistencia que un cuerpo opone a la variación de su estado de reposo o de movimiento.

PESO: fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre los objetos.

MAPA DE CONCEPTOS

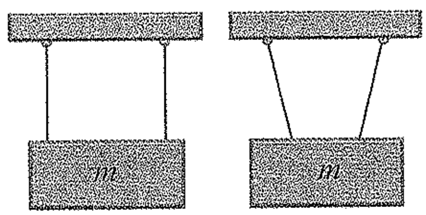


ACTIVIDADES

Tema 1. La fuerza - Primera ley de Newton

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Por qué es importante un buen funcionamiento de los amortiguadores de automóvil?
2. ¿Qué sucedería si en el *bungee jumping* la cuerda elástica que se utiliza no se cambiara nunca? Explica tu respuesta.
3. ¿Qué lesiones puede sufrir una persona mientras viaja en un auto, cuando otro auto lo choca por la parte posterior? ¿De qué depende la gravedad de las lesiones?
4. ¿Por qué razón es necesaria la utilización de las aletas en los deportes subacuáticos?
5. ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre tu cuerpo cuando te encuentras de pie sobre el suelo?
6. ¿Por qué razón puede un jugador de hockey detenerse sobre el hielo y no caerse?
7. Si te persiguiera un animal de enorme masa, como un elefante, estarías expuesto a un gran peligro. Pero si decides no correr en línea recta, sino en zigzag, la masa del animal sería de una enorme ventaja para ti. Explica la razón de este fenómeno.
8. ¿Por qué es importante el uso del cinturón de seguridad cuando se está manejando un automóvil? Explica tu respuesta.
9. ¿Por qué un cuerpo sobre el que no actúa fuerza alguna puede estar en movimiento? Explica tu respuesta.
10. ¿Por qué un cuerpo puede moverse en sentido contrario al de la fuerza neta que actúa sobre él? Justifica tu respuesta.
11. ¿Dos astronautas que se encuentran en el espacio podrían lanzarse una pelota de tenis entre sí? Explica tu respuesta.
12. ¿Qué pasaría si una persona que se encuentra parada sobre una caja de madera que apenas soporta su peso, diera un salto hacia arriba? Explica tu respuesta.
13. Cuando se comprime un auto inservible, se forma un cubo compacto. En este proceso cambiaría la masa, el peso o el volumen del objeto. Justifica tu respuesta.
14. ¿Para qué sirven los rodamientos que se ponen en ciertos mecanismos?
15. Un automóvil desea sacar un camión que se encuentra enterrado en el lodo por medio de una cadena atada a las defensas de ambos autos. El automóvil comienza a acelerar, pero no consigue moverse ni mover al camión. Explica la razón por la cual sucede esto.
16. Un tren, a gran velocidad, se desvía y se dirige hacia un muro. El maquinista aplica los frenos antes de llegar al muro, pero el tren continúa moviéndose hasta atravesarlo, ¿por qué razón el tren no pudo detenerse en el momento de aplicar los frenos? Explica tu respuesta.
17. ¿Puede estar ubicado el centro de gravedad de un cuerpo fuera de él? Justifica tu respuesta.
18. Las cuerdas para colgar ropa se encuentran sometidas a una tensión al extender las prendas. ¿Por qué la mayor tensión de la cuerda ocurre cuando la ropa se extiende verticalmente que cuando se extiende horizontalmente?
19. Se cuelgan dos objetos de igual masa de una varilla como se indica en la figura.



¿Cuál de los objetos tiene mayor probabilidad de caer a suelo?

20. ¿Qué ocurriría con el movimiento de un cuerpo si la superficie sobre la cual se desplaza no opusiera rozamiento?
21. Considera dos resortes de constante elástica tal que una es mayor que la otra. ¿Cuál de los resortes requiere una fuerza mayor si se desea estirarlos la misma distancia? Justifica tu respuesta.

PROBLEMAS

22. Un muelle de 10 cm de longitud tiene un cociente de elasticidad de 10 N/cm. ¿Cuál será su alargamiento si se aplica sobre él una fuerza de 5 N?

23. Si a un resorte de constante elástica de 200 N/m, se le aplica una fuerza de 400 N, ¿cuál es el alargamiento total del resorte?

24. Un resorte sufre un alargamiento de 2 cm cuando se le aplica una fuerza de 300 N. ¿Cuál es la constante de elasticidad del resorte?

25. Dos barcazas remolcan un trasatlántico ejerciendo fuerzas respectivas de 100.000 N y 120.000 N, en sentidos perpendiculares. ¿Cuál es la fuerza neta que actúa sobre las barcazas?

26. A un resorte se le aplican fuerzas en uno de sus extremos, por lo que sufre un alargamiento en cada instante, como lo indica la tabla:

Fuerza (N)	Alargamiento x (cm)
0	0
50	1
100	2
150	3
200	4
250	5
300	6
350	7
400	8

Determina:

a. La gráfica de la fuerza en función del alargamiento del resorte.

b. La constante de elasticidad del resorte.

c. ¿Qué fuerza se debe aplicar para que el resorte se alargue 12 cm?

27. Dos fuerzas de 4 N y 5 N, respectivamente, se aplican perpendicularmente sobre un cuerpo. ¿De qué norma y en qué dirección se debe aplicar una tercera fuerza para que el cuerpo no se mueva?

28. Un niño empuja una caja en reposo llena de juguetes sobre el piso de su habitación. El peso de la caja es de 150 N y el niño ejerce una fuerza de 90 N sobre la caja.

Con base en la información anterior:

a. ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre la caja de juguetes?

b. ¿Cuál es valor de la fuerza normal?

c. ¿Cuál es el valor de la fuerza de rozamiento?

29. Un resorte se encuentra en equilibrio. Si al suspenderle de él un objeto cuyo peso es 5 N, se estira 10 cm, ¿cuál es su constante de elasticidad?, ¿qué distancia se estira si se le coloca un peso de 500 g-f?

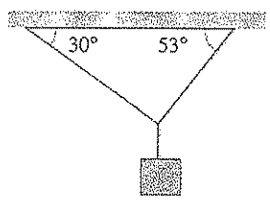
30. Una hormiga debe mover un cubo de azúcar cuyo peso es de 0,1 N, si aplica una fuerza de 2 N, ¿cuál es el valor de la fuerza de rozamiento?

31. Calcula la fuerza de rozamiento de un bloque de madera que pesa 0,5 N y que se desliza sobre una superficie de igual material, cuya constante es ($\mu = 0,2$).

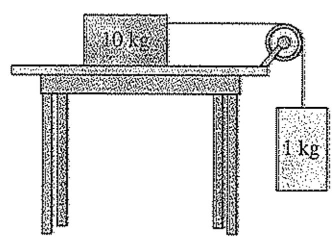
32. Sobre un cuerpo se aplica una fuerza de 20 N con un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal de 30°. ¿Cuál debe ser el valor de la fuerza de rozamiento para que el cuerpo no se mueva?

33. ¿Cuál es el valor en newton de la fuerza ejercida por una superficie plana sobre un objeto de 500 g de masa?

34. Determina las fuerzas T_1 y T_2 que actúan sobre un objeto de 100 N de peso para poder mantenerlo en equilibrio, como se muestra en la gráfica.

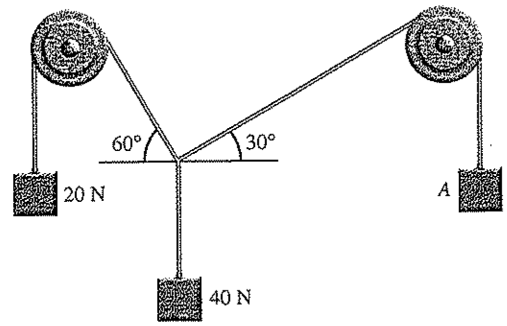


35. Determina el valor de la fuerza de rozamiento para el bloque (A) de la figura, el cual se encuentra en reposo.



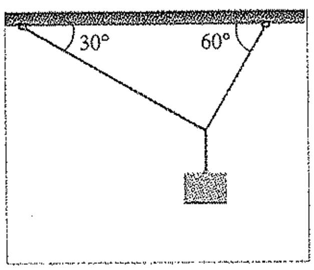
ACTIVIDADES

36. ¿Cuál es el peso del bloque *A* para que el sistema de poleas se encuentre en reposo? Dibuja las fuerzas que actúan sobre los bloques.

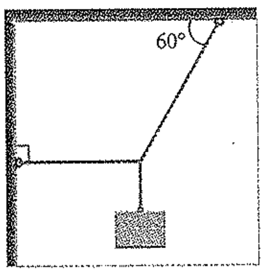


37. Determina la tensión de las cuerdas de las figuras, teniendo en cuenta que el peso del objeto es de 150 N.

a.



b.



38. Sobre un cuerpo se aplican dos fuerzas perpendicularmente, la primera es de 6 N y la segunda es de 7 N.

a. ¿Cuál es la norma de una tercera fuerza, que permite que el cuerpo permanezca en reposo?

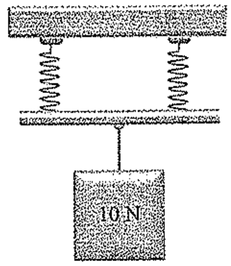
b. ¿En qué dirección se debe aplicar esta tercera fuerza?

39. Una fuerza de 300 N actúa en dirección noroeste. ¿En qué dirección se debe ejercer una segunda fuerza de 500 N, para que la resultante de los dos vectores apunte hacia el este?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

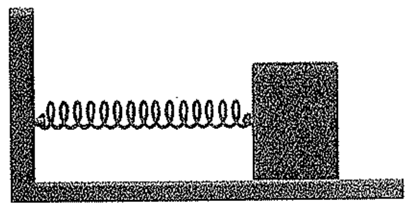
40. Un resorte, de constante elástica k_1, se estira una distancia d_1, al ser suspendido de él un objeto de masa m_1. Para que otro resorte se estire también una longitud d_1 cuando soporta una masa de $3m_1$, ¿cómo debe ser el valor de su constante de elasticidad con respecto a k_1?

41. De un sistema de dos resortes, se suspende una varilla de 20 cm, la cual sostiene un peso de 10 N como lo indica la figura.

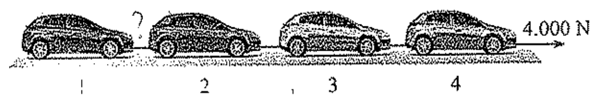


Determina cuál es el alargamiento que sufriría un resorte equivalente que puede sustituir a los dos resortes de la figura.

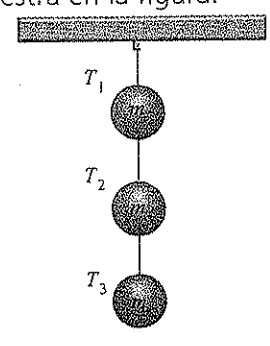
42. Determina las fuerzas que actúan en el siguiente sistema, si el resorte se está comprimiendo por una masa que se encuentra sobre una superficie de madera rugosa.



43. Los cuatro automóviles de la figura son arrastrados sin rozamiento por una fuerza de 4.000 N. Cada automóvil tiene una masa de 500 kg. ¿Cuál es la tensión de la cuerda entre el carro 1 y 2?



44. Se suspenden tres objetos de 15 kg, cada uno, como se muestra en la figura.



Calcula la fuerza en T_1, T_2 y T_3.

Tema 2. Ley fundamental de la dinámica - Segunda ley de Newton

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Por qué razón un cuchillo corta mejor cuando está recién afilado que cuando se ha utilizado en varias ocasiones? Explica tu respuesta.
2. ¿Dónde pesa más un objeto, en un avión en pleno vuelo o en una lancha al nivel del mar? Justifica tu respuesta.
3. Si un objeto no presenta aceleración alguna, ¿es posible afirmar que no actúa sobre él fuerza alguna? ¿Por qué?
4. Se tienen dos masas de diferentes tamaños. ¿Se puede afirmar que la masa de mayor tamaño tiene más peso que la masa de menor tamaño? Justifica tu respuesta.
5. Dos niños lanzan al mismo tiempo dos esferas, una de acero y una de goma, las cuales tienen el mismo diámetro. Si el niño ejerce en ambas esferas el mismo esfuerzo muscular, ¿cuál esfera adquiere mayor velocidad en menor tiempo? Explica tu respuesta.
6. Puede afirmarse que un astronauta que se encuentra en el espacio carece de peso. Justifica tu respuesta.
7. Dos niños desean determinar cuál de sus carritos llega más lejos de un solo empujón. Si los dos carros son del mismo modelo y tamaño, pero de materiales diferentes (uno de plástico y otro de metal) ¿Será justa esta competencia? ¿Por qué?
8. Un avión adquiere una rapidez en el momento del despegue a causa del empuje constante producido por sus motores. En qué instante adquiere mayor aceleración el avión, ¿en el momento que recorre la pista o un momento antes de que el avión despegue de la pista? Explica tu respuesta.
9. Crees que es posible que un astronauta se pueda impulsar en el espacio moviendo los brazos y las piernas. Justifica tu respuesta.
10. ¿Por qué razón una persona no puede empujar un tanque de guerra en el desierto? Justifica tu respuesta.
11. ¿Un automóvil, consume mayor cantidad de gasolina al desplazarse en la carretera o en las calles de la ciudad? Justifica tu respuesta.
12. ¿Qué impulsa a un cohete cuando se mueve fuera de la superficie terrestre? Explica tu respuesta.
13. Puede agujerearse de un disparo una moneda, en el espacio exterior, donde las balas no pesan. Justifica tu respuesta.
14. ¿Por qué hay que pedalear más fuerte para empezar a mover una bicicleta que para mantenerla en movimiento constante?
15. ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre un auto para que acelere? Explica tu respuesta.
16. ¿Por qué las llantas de los autos no son lisas, sino que presentan surcos?
17. ¿Por qué es más probable resbalarse al caminar sobre un piso encerado que al caminar sobre otro que no lo está?
18. ¿Por qué para desplazarse sobre el hielo se utilizan trineos y no vehículos con ruedas?
19. Los delanteros de fútbol americano son elegidos de tal manera que sea difícil detenerlos en plena carrera. Si se realizara un partido en la Luna, ¿sería más fácil detenerlos?
20. ¿Por qué un paracaidista pesado presenta una mayor rapidez final que la experimentada por un paracaidista ligero?

PROBLEMAS

21. ¿Cuál es la fuerza necesaria para que la Tierra atraiga un objeto cuya masa es igual a 10 kg?
22. Si un vehículo puede acelerar 2 m/s^2, ¿qué aceleración desarrollará si tiene que remolcar otro auto de la misma masa?
23. ¿Qué aceleración experimenta un cuerpo de 500 gramos cuando sobre él se aplica una fuerza neta de 20 N?
24. ¿Cuál es la fuerza que se necesita para levantar un objeto cuya masa es de 1.800 gramos?
25. ¿Qué fuerza se requiere para imprimirle una aceleración de 60 cm/s^2 a un cuerpo de 5 kg?

26. Si al golpear con una fuerza de 1,2 N, esta adquiere una aceleración de 5 m/s^2, ¿cuál es la masa de la pelota?

27. Un avión de 6.000 kg de masa hace contacto con el piso a una velocidad de 500 km/h y se detiene después de 10 segundos de avanzar por la pista. ¿Cuál es el valor de la fuerza de rozamiento?

28. Una piedra de 100 g de masa se deja caer desde el borde de un acantilado de 20 m de altura. Si se sabe que la piedra llega al agua tres segundos después de haber comenzado su caída, calcula la fuerza de rozamiento que aplica el aire a la piedra, suponiendo que la fuerza de rozamiento es constante.

29. Una fuerza de 85 N tira de un bloque de 43 kg horizontalmente por el piso. Si el coeficiente de rozamiento es de 0,1, encuentra la aceleración del bloque.

30. ¿Qué fuerza necesita Superman para levantar un elefante cuya masa es de 2.340 kg, si aplica una aceleración de 0,3 m/s^2?

31. Un tenista golpea la pelota de 0,2 kg con una velocidad de 20 m/s. Si el golpe proporcionado ocurrió durante un intervalo de 0,025 segundos.

a. ¿Cuál es la norma de la fuerza ejercida por el tenista?

b. Si el otro tenista responde el golpe con una fuerza de 170 N, ¿cuál fue la aceleración que aplicó a la pelota?

32. Un alambre de acero resiste una carga máxima de 5.500 N. Calcula la aceleración máxima con la cual dicho cable puede elevar un cuerpo de 400 kg sin que se rompa.

33. ¿Cuál es el valor aproximado del esfuerzo muscular para sostener en la palma de la mano una bolsa de arroz de 500 g?

34. Sobre un cuerpo de 250 g actúan a la vez dos fuerzas de 3 N y 4 N. Calcula la aceleración de dicho cuerpo si las fuerzas son perpendiculares entre sí.

35. Un cohete necesita acelerar 2 m/s^2 para poder girar. Si la masa del cohete es 25.000 kg, ¿qué fuerza se debe aplicar?

36. Una fuerza horizontal de 5.000 N acelera un vehículo de 1.200 kg a partir del reposo, ¿cuál es la aceleración del vehículo?, ¿cuánto tiempo tarda en alcanzar una rapidez de 25 m/s?

37. Dos ciclistas de masas 65 kg y 68 kg respectivamente, compiten por la medalla de oro de la prueba de velocidad pura del ciclismo de pista. Si el primer ciclista aplica una aceleración de 4 m/s^2 y el segundo 3,5 m/s^2, antes de llegar a la meta, ¿cuál de los dos ciclistas tiene la mayor probabilidad de ganar?

38. Si se aplica una fuerza constante sobre un sistema, mientras este reduce su masa en un 50%, ¿en qué porcentaje variará la aceleración?

39. Un cuerpo de 8 kg parte del reposo y recorre una distancia de 22 m en 5 segundos, debido a la acción de una fuerza constante. Determina el valor de la fuerza.

40. Para que una piedra tenga movimiento se aplica una fuerza de 25 N y una aceleración de 5 m/s^2. ¿Cuál es la masa de la piedra?

41. Las pulgas pueden saltar hasta 200 veces la longitud de su tamaño. Si una pulga salta con una aceleración de 1,7 km/s^2 y ejerce una fuerza sobre el piso de $7{,}8 \times 10^{-4}$ N. ¿Cuál es el peso de la pulga?

42. Una motocicleta de competencia cuya masa es de 450 kg puede alcanzar una velocidad de 100 km/h al cabo de 8 s de haber arrancado. Determina la fuerza que ejerce el motor de la motocicleta.

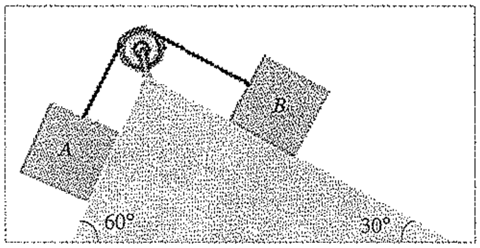
43. Una grúa de masa igual a 1.000 kg se mueve con una aceleración de 10 m/s^2. Si tiene que remolcar un auto de igual masa, ¿qué aceleración desarrollará la grúa?

44. Un objeto de 10 kg de masa se desliza sobre una superficie plana, luego de aplicarle una fuerza de 100 N que forma con la horizontal un ángulo de 37°. El coeficiente de rozamiento dinámico entre el bloque en movimiento y la superficie es de 0,30. Determina si el cuerpo se mueve con velocidad constante, en caso contrario, determina la aceleración con la cual se mueve.

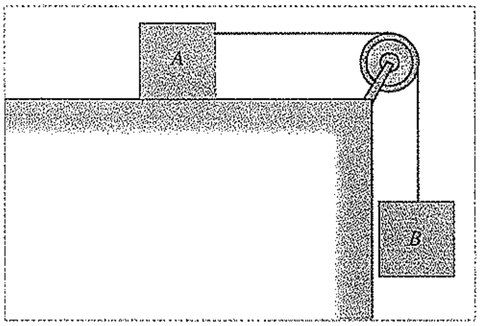
45. Un cajón de madera de 50 kg de masa se encuentra sobre una carretera de asfalto. Sabiendo que el coeficiente de rozamiento estático entre la madera y el asfalto es de 0,30, ¿se moverá el cajón si es empujado con una fuerza de 200 N?, ¿qué fuerza debe aplicarse para que se mueva con velocidad constante, si el coeficiente de rozamiento dinámico es de 0,25?

46. Determina la aceleración de los sistemas de la figura. Considera que el cuerpo *A* es de masa 5 kg y el cuerpo *B* es de masa 8 kg. El coeficiente de rozamiento entre las superficies es de 0,20, en ambos casos.

a.



b.



PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

47. Un ascensor de masa igual a 380 kg está diseñado para soportar un peso máximo de 8.150 N. De aumentar el peso máximo el cable que lo sostiene puede romperse. ¿Cuántas personas con el mismo peso pueden subir al ascensor, sin que este sufra daño alguno?

48. Un tren se 80 toneladas circula a una velocidad de 120 km/h. Cuando actúan los frenos proporciona una fuerza de 90.000 N. calcula:

a. La aceleración del tren. Expresa el resultado en m/s^2 y en km/h^2.

b. El tiempo que tarda en detenerse.

c. El espacio recorrido durante la frenada.

49. Un cuerpo de 15 kg de masa llega al pie de un plano inclinado de 60° y coeficiente de rozamiento 0,15, con una velocidad de 10 m/s. Calcula la aceleración con la que va subiendo por el plano y el espacio que recorre por él hasta detenerse.

¿Cuál será su velocidad al llegar de nuevo al pie del plano tras emprender la bajada?

50. Una fuerza de 200 N paralela a un plano horizontal actúa sobre un móvil de 7 kg. Si el coeficiente de rozamiento es 0,2.

a. ¿Cuál será la aceleración del móvil?

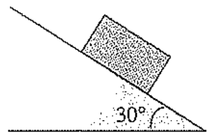
b. ¿Qué espacio recorre el móvil al cabo de 8 s?

51. Por una rampa de ángulo 30° desciende un móvil de masa 15 kg. Se le aplica una fuerza paralela a la superficie y hacia abajo de 120 N. Si el coeficiente de rozamiento es de 0,3, calcula:

a. La aceleración del móvil.

b. El espacio recorrido en 35 s.

52. Un bloque de 500 N de peso se encuentra ubicado en un plano inclinado, como lo muestra la figura:



Calcula:

a. La fuerza normal, la fuerza de rozamiento y el coeficiente de rozamiento si el cuerpo desciende con velocidad constante.

b. La fuerza normal, la fuerza de rozamiento y el coeficiente de rozamiento si el cuerpo desciende con aceleración constante de 1,5 m/s^2.

53. Un cuerpo se desliza por un plano horizontal. Su masa es de 45 kg y el valor del coeficiente de rozamiento es de 0,4. Encuentra la fuerza aplicada paralela al plano que le produce una aceleración de 2,5 m/s^2.

54. En una superficie horizontal sin fricción reposan tres bloques de masas *m*, 2*m* y 4*m* respectivamente, las cuales están en contacto entre sí. Si se aplica una fuerza *F* sobre *m*, entonces, ¿qué fuerza le aplica el cuerpo de masa 2*m* al de 4*m*?

ACTIVIDADES

Tema 3. Acción y reacción - Tercera ley de Newton

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. Cuando un deportista comienza a nadar realiza movimientos con sus brazos y piernas para poder avanzar en el agua. ¿Cuál es la razón por la cual es necesario realizar estos movimientos? Explica tu respuesta.

2. Si el peso es la fuerza que ejerce la Tierra sobre los cuerpos, entonces, ¿cuál es la fuerza de reacción correspondiente al peso? Explica tu respuesta.

3. ¿Por qué en algunas competencias de atletismo es necesario adoptar una posición especial en el momento de la partida?

4. Sobre un carrito que inicialmente se mueve con determinada velocidad, se colocan suavemente bloques, uno por uno. ¿qué sucede con la velocidad cada vez que se añade un bloque?

5. ¿Por qué es más fácil caminar sobre un piso pulido que sobre un piso alfombrado? Justifica tu respuesta.

6. Una carreta es tirada por un caballo que lee mucho. Cuando el carretero le pide que tire de la carreta, el caballo le recrimina: *mientras mayor sea la fuerza que yo haga sobre la carreta hacia delante, mayor será la fuerza que la carreta hace sobre mí, pero hacia atrás*. Entonces, ¿tiene razón el caballo en afirmar: *para qué voy a tirar de la carreta si no nos vamos a poder mover*? Justifica tu respuesta.

7. ¿Por qué se produce el retroceso cuando se dispara un arma de fuego? Explica tu respuesta.

8. ¿Por qué razón podemos llegar a caer al suelo si empujamos una pared cuando estamos de pie sobre una superficie resbalosa?

9. Si un cartucho de dinamita genera una onda explosiva, ¿podemos afirmar que contiene una fuerza? ¿Por qué?

10. Si las fuerzas de acción y reacción son de la misma intensidad y sentidos contrarios, ¿por qué no se anulan entre sí?

11. Una granada, inicialmente en reposo, estalla en dos trozos. Si uno de ellos sale hacia la derecha, ¿hacia dónde saldrá el otro trozo? Justifica tu respuesta.

12. Un patinador se encuentra en reposo, de pie sobre la pista de hielo. Otro patinador viene hacia él y lo golpea. Si el peso de los patinadores es el mismo, entonces, ¿qué ocurre con el segundo patinador después del golpe?

13. ¿Por qué no podemos levantar el asiento sobre el cual estamos sentados, con sólo ejercer con nuestras manos una fuerza hacia arriba en la parte inferior de la superficie del asiento?

14. Si un sistema de propulsión utiliza el aire para empujar el cohete, ¿qué fuerza impulsa al cohete en el espacio?

15. ¿Por qué no es posible clavar de un solo golpe una puntilla sobre una pared?

16. ¿Por qué cuando una persona camina sobre el hielo no puede avanzar con facilidad?

17. ¿De qué manera deben mover la cabeza los boxeadores cuando alcanzan a prever que van a recibir un golpe directo a la cara?

18. ¿Por qué los jugadores de béisbol prolongan su movimiento de balanceo en el momento de hacer el lanzamiento de la bola?

19. Si te encuentras de pie sobre una plataforma que flota en el centro de un estanque helado, de manera que entre tus pies y el piso no existe rozamiento, ¿qué harías para llegar a una de las orillas? Justifica tu respuesta.

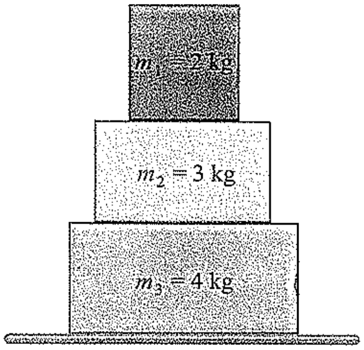
PROBLEMAS

20. Dos personas empujan una caja, cada una aplica una fuerza de 10 N, ¿cuál es la fuerza de reacción de la caja sobre las personas?

21. Un futbolista patea un balón ejerciendo sobre él una fuerza de 15 N. Calcula el valor de la fuerza de reacción.

22. Un niño patea una piedra, ejerciendo sobre ella una fuerza de 25 N. ¿Cuál es el valor de la reacción a esta fuerza?

23. Al organizar su cuarto, Julia coloca sobre su escritorio tres cajas, una encima de la otra, como se indica en la figura.



a. Dibuja todas las fuerzas de acción y reacción presentes en el sistema.

b. Describe los pares de fuerza acción-reacción.

24. Un hombre ejerce una fuerza de compresión sobre un bloque de 8 N, que se encuentra sobre una mesa. Si la fuerza de comprensión es de 4 N, ¿cuál es el valor de la compresión sobre la mesa?

25. Un cuerpo de 5 kg de masa que se mueve con una rapidez de 12 m/s se incrusta frontalmente en otro cuerpo de 3 kg que tenía una rapidez de 4 m/s. Si después del choque los dos cuerpos se mueven juntos, entonces, ¿cuál es su rapidez?

26. Una granada de 2 kg, inicialmente en reposo, estalla en dos trozos, uno de los cuales, de 0,75 kg, sale hacia la derecha a 120 m/s. Calcula la velocidad y el sentido del movimiento del segundo trozo.

27. Una pelota de tenis de 60 g de masa llega a la raqueta con una velocidad de 20 m/s, saliendo de esta tras un golpe a 10 m/s. ¿Cuál es la fuerza producida por el raquetazo si este dura 0,02 s?

28. La masa de un balón de fútbol es de 500 g. Al darle un puntapié, el contacto entre el güayo y el balón dura 9 milésimas de segundo, saliendo este último con una velocidad de 20 m/s.

Determina:

a. La fuerza con la cual es pateado el balón.

b. El impulso producido por el puntapié.

29. En una prueba de control de calidad de chalecos antibalas, se dispara una bala de 25 g con una velocidad de 250 m/s. Si el arma con la cual se realiza la prueba tiene una masa de 6,2 kg, ¿cuál es la velocidad de retroceso del arma?

30. En un juego de billar, una bola de masa 250 g se mueve con una rapidez de 10 m/s y choca con la banda formando un ángulo de 45°. Si rebota con una velocidad de 8 m/s y un ángulo de 60°, entonces, ¿cuál es el cambio en la cantidad de movimiento?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

31. Dos canicas impulsadas por dos niños, se mueven en direcciones perpendiculares con velocidades de 2,5 m/s y 3,5 m/s, respectivamente. Si al chocar las dos canicas quedan unidas, encuentra el valor de la velocidad (norma y dirección) con la cual se mueven después del choque.

32. Un objeto de masa 8 kg inicialmente en reposo estalla dividiéndose en tres fragmentos. Dos de los fragmentos, cada uno de 3 kg de masa, salen con velocidad de 12,5 m/s, formando entre sí un ángulo de 80°. Determina el valor de la velocidad del tercer fragmento.

33. Una ballesta dispara una flecha, de 15 gramos de masa, que se mueve con una velocidad de 120 m/s y se dirige hacia una caja de madera de masa 15 g, que se encuentra en reposo sobre una mesa. El coeficiente de rozamiento entre la caja de madera y la superficie de la mesa es de 0,6. Si la flecha se incrusta en la caja, determina:

a. La velocidad con que se mueve el conjunto caja-flecha inmediatamente después del impacto.

b. El espacio recorrido por el conjunto hasta quedar en reposo.

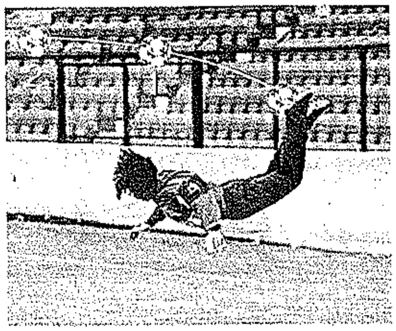
34. Un dardo de masa m es disparado y choca contra un bloque de icopor de masa M, que se encuentra suspendido de un cable. Después del choque, el dardo queda incrustado en el bloque de icopor, este se eleva a una altura h. Expresa la velocidad del dardo antes de chocar contra el bloque de icopor en función de las masas y de la altura h.

PREGUNTAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE CON ÚNICA RESPUESTA (TIPO I)

Este tipo de preguntas constan de un enunciado y cuatro opciones de respuesta (A, B, C y D). Sólo una de estas opciones es correcta.

En un partido amistoso entre Colombia e Inglaterra el arquero colombiano Rene Higuita hizo famosa su espectacular jugada llamada "el escorpión".

La trayectoria descrita por el balón en esta genial jugada es un caso particular de movimiento parabólico de un objeto. Observa la foto.



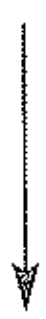
1. Si el valor de la aceleración en el punto 1, es a_1 y el valor de la aceleración en el punto 2, es a_2, es válido afirmar que:

A. $a_1 < a_2$
B. $a_1 = a_2 = 0$
C. $a_1 > a_2$
D. $a_1 = a_2 \neq 0$

2. De los siguientes vectores, el que corresponde a la aceleración del balón en el punto 1, es:

A. 

C. 

B. 

D. 

3. La velocidad con la que viaja un proyectil se puede descomponer en sus componentes vertical y horizontal. Respecto a la velocidad horizontal se puede afirmar que:

A. siempre es igual a la velocidad vertical.
B. anula a la velocidad vertical.
C. es constante.
D. cambia constantemente.

4. Si se conoce el valor de las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial con que viaja un vector y se desea conocer el valor de la velocidad inicial resultante se debe:

A. realizar su suma algébrica.
B. multiplicar su producto escalar.
C. realizar su suma vectorial.
D. simplificar su producto escalar.

5. Cuando el balón alcanza la altura máxima, su velocidad es igual a:

A. v_0
B. $v_0 \cdot \text{sen}\ \alpha$
C. $v_0 \cdot \cos \alpha$
D. cero.

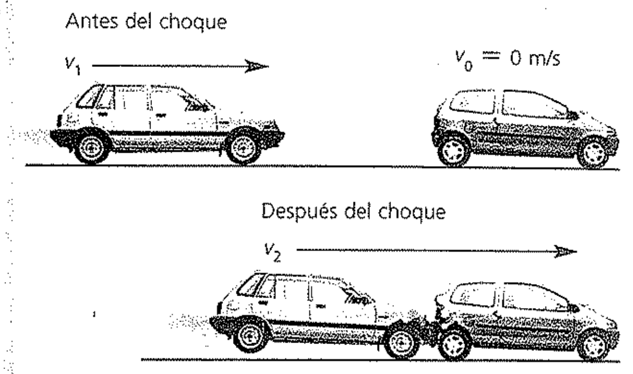
6. Si el balón se lanza con una velocidad de 7 m/s y forma un ángulo de 42° con la horizontal.
A los 0,4 segundos sus componentes son:

A. $v_x = 5{,}2$ m/s
$v_y = 4{,}7$ m/s
B. $v_x = 5{,}2$ m/s
$v_y = 8{,}6$ m/s
C. $v_x = 9{,}1$ m/s
$v_y = 8{,}6$ m/s
D. $v_x = 8{,}6$ m/s
$v_y = 9{,}1$ m/s

Un automóvil que circula por una avenida se queda sin frenos y choca contra otro que se encuentra estacionado a un lado de la calle.

De tal manera que los automóviles continúan juntos en la dirección del primero, tal como se muestra en la figura.

Aunque el tiempo que dura el choque es muy pequeño los automóviles sufren cierta deformación.



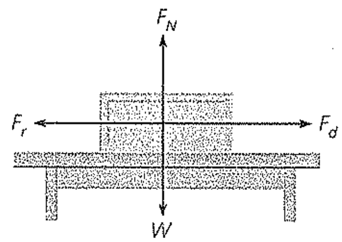
7. Cuando se apaga el motor del primer automóvil a causa del impacto, no existe fuerza que resista el rozamiento en las llantas, lo que hace que los vehículos se detengan. No es correcto afirmar que con la información suministrada:
   A. se puede conocer la reacción que se produce en el otro automóvil.
   B. se puede afirmar que después del choque de los automóviles tiene diferente velocidad antes de quedar quietos.
   C. no se puede conocer donde pararan los automóviles.
   D. se puede conservar la cantidad de movimiento.

8. Si el material de los automóviles permite un choque totalmente elástico. Se puede decir que la velocidad del automóvil es:
   A. desconocida.
   B. cero.
   C. con la que se movía el primer automóvil.
   D. no se puede identificar.

9. Supongamos que uno de los autos viaja a 40 km/h hacia el sur, mientras que el otro viaja a 30 km/h hacia el norte. Si ambos tienen la misma masa y al chocar de frente continúan juntos, la velocidad con la cual se moverán es:
   A. 5 km/h al sur
   B. 5 km/h al norte
   C. 40 km/h al sur
   D. 40 km/h al norte

10. Si a un cuerpo de masa *m* se le aplican dos fuerzas, una horizontal *x* y la otra vertical *y*. ¿Es posible afirmar que se puede calcular la fuerza resultante?
   A. sí, porque es suficiente con conocer una componente.
   B. no, porque se desconoce el ángulo que forma la fuerza resultante con la componente *x*.
   C. sí, porque se conocen los dos componentes.
   D. no, porque se desconoce la masa del cuerpo.

11. En la figura se muestran cuatro fuerzas que actúan sobre un ladrillo que se mueve a la derecha con velocidad constante.



Se puede afirmar que:
   A. $F_r > F_d$
   B. $F_N > W$
   C. $F_d > F_r$
   D. $W > F_N$

12. Si el bloque de la figura pesa 20 N y los coeficientes de fricción son $\mu_e = 0{,}40$ y $\mu_c = 0{,}20$; el valor mínimo de la fuerza aplicada *F*, para que el bloque se ponga en movimiento es:
   A. 4,0 N
   B. 5,0 N
   C. 10,0 N
   D. 20,0 N

Fuerza neta

LABORATORIO 7

Objetivo

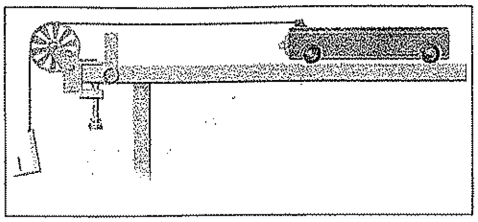
Determinar la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo inicialmente en reposo.

Materiales

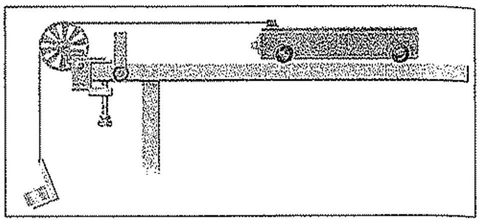
- Un carro dinámico.
- Una cuerda.
- Una polea.
- Una regla o una cinta métrica.
- Una balanza.
- Soporte para masas y masas.
- Un cronómetro.

Procedimiento y registro

1. Determina la masa del carro, para ello utiliza la balanza.
2. Ubica la polea en el extremo de la mesa. Coloca el portapesas y engancha el carro con la cuerda, de tal forma que pase por la polea.



3. Mide la distancia (x) entre el carro y el borde de la mesa.
4. Pon una masa en el portamasas y deja que el carro se desplace libremente hasta el borde de la mesa.



5. Registra, en la siguiente tabla, el tiempo empleado por el carro en el recorrido y calcula su aceleración mediante la expresión:

$$a_{exp} = \frac{2 \cdot x}{t^2}$$

TABLA DE REGISTRO

$m_{pesa\ que\ cuelga}$	m_{carro}	x (m)	t (s)	$a_{experimental}$	$a_{teórica}$

6. Repite el procedimiento anterior, aumentando la masa en el carro o la masa colgante.
7. Determina la aceleración teórica aplicando la segunda ley de Newton como si no existiese rozamiento entre el carro y la mesa, y registra los datos en la tabla.

$$a_{teo} = \frac{m}{m + m_{carro}} \cdot g$$

Análisis de los resultados

1. Representa gráficamente las relaciones:
   - m_{pesa} en función de a_{exp}
   - $m_{carro\text{-}pesa}$ en función de a_{teo}
2. ¿Cómo varía la aceleración si aumentamos m_{carro} y no la masa colgante?
3. ¿Cómo variarían los resultados de la experiencia si se modifica la superficie de desplazamiento?
4. ¿Cómo crees que cambiaría el resultado de la experiencia si se utiliza un bloque de caras rectangulares en lugar del carro dinámico?

Fuerza de rozamiento estática

LABORATORIO 8

Objetivo

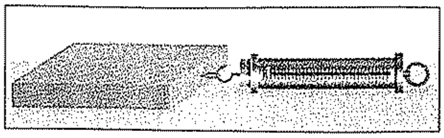
Medir el rozamiento entre dos superficies.

Materiales

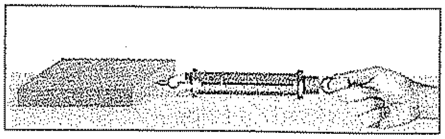
- Bloques de caras rectangulares de diferentes materiales (hierro, madera, aluminio, icopor, etc.), de iguales dimensiones.
- Un dinamómetro.
- Masas.

Procedimiento y registro

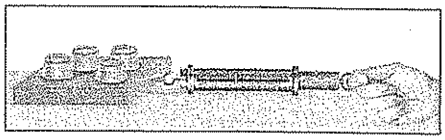
1. Determina el peso de cada bloque, por medio del dinamómetro.



2. Ubica sobre la mesa uno de los bloques y engánchalo con el dinamómetro.
3. Comienza a halar, con suavidad, del dinamómetro hasta que el bloque empiece a moverse.



4. Repite el procedimiento anterior colocando sobre el bloque diferentes masas.



5. Calcula el valor de la fuerza de rozamiento mediante la siguiente expresión y registra el valor obtenido:

Fuerza de rozamiento = Lectura del dinamómetro

6. Registra los datos obtenidos en la siguiente tabla.

TABLA DE REGISTRO

Peso del cuerpo que se desliza (W)	Fuerza de rozamiento (F_r)

7. Realiza la misma experiencia con los otros bloques de caras rectangulares y registra los datos obtenidos en una nueva tabla.

Análisis de los resultados

1. Representa, gráficamente, los resultados de cada tabla y responde:
   - ¿Qué representa la pendiente de la recta obtenida en la gráfica?
   - ¿Cuándo es máximo el valor de la fuerza de rozamiento? ¿Por qué?
   - ¿Variarían los resultados si sustituyera el plano horizontal por un plano inclinado? Justifica tu respuesta.
2. Determina el coeficiente de rozamiento en cada uno de los casos.
3. Señala las posibles fuentes de error para los resultados obtenidos.

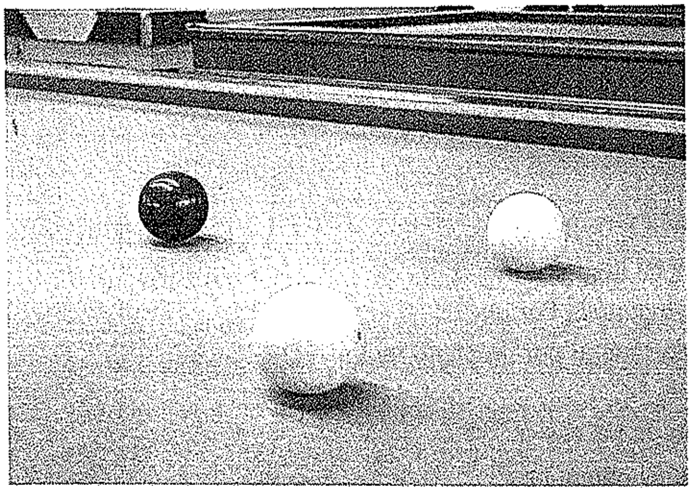
Físico entretenimiento "el billar"

El billar es un deporte que se practica sobre una mesa tapizada, generalmente con un paño de color verde. Sobre esta mesa puede rodar un número variable de bolas, confinadas sobre tableros perimetrales recubiertos en la parte de contacto, por bandas de material elástico.

El billar, que desde comienzos del siglo XVI constituye un verdadero y lujoso mueble destinado al esparcimiento doméstico (en lo que tiene de artística la mesa sobre la que se juega), ha seguido las variantes de estilo del Renacimiento, al igual que los demás muebles de salón y gabinete. El nombre proviene de los tacos o punteros que sirven para empujar las bolas de marfil, que en Francia eran llamados *billiard*. De ellos, pasó el nombre a todo el juego y de aquí a la mesa que sirve para su práctica.

El juego de billar

El juego se basa en los choques entre las bolas y en el choque de las bolas con las bandas. La jugada comienza impulsando una de las bolas con el taco, el cual lleva adosada en su extremo anterior una suela de cuero encargada de transmitir el movimiento a la bola (a este movimiento se le conoce como tacada). Esta suela se recubre cada pocas tacadas con un polvo antideslizante, denominado tiza.



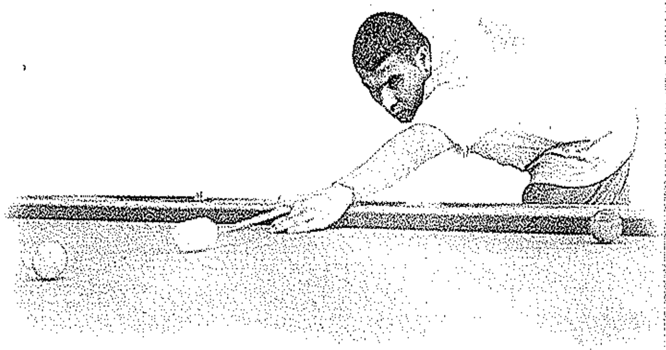
Actualmente las bolas son de materiales sintéticos con cualidades elásticas similares a las del marfil.

El primero de todos los juegos de billar es el de *carambola* que se juega con una bola roja y dos bolas blancas, las cuales se diferencian por un punto negro que tiene una de ellas; o bien una bola blanca, una bola amarilla y una bola roja. Los jugadores tacan alternativamente con las bolas blancas (o amarilla) y la carambola consiste en golpear con la bola jugadora las otras dos. Cuando se realizan carambolas seguidas, se conocen como series y esto da derecho a seguir tacando; en caso de fallar la carambola, pasa el turno al otro jugador que taca con la blanca contraria a la que usó el anterior.

Modalidades del billar

Teniendo en cuenta la ejecución de las carambolas, hay diversas modalidades en el juego del billar. Cada una de estas modalidades implementa distintas formas de tacar, que imprimen diferentes efectos tanto a la bola que golpea como a las otras. También se utilizan diferentes fuerzas y ángulos lo cual añade al movimiento diferentes aceleraciones, que permite que la fuerza sea transmitida de una bola a la otra; esto produce una reacción a causa del choque de las bolas. Las modalidades más conocidas en el juego del billar son:

1. **Libre:** esta modalidad consiste en que la bola jugadora taque a las otras dos con o sin tocar las bandas.
2. **Tres bandas:** es obligatorio que la bola jugadora haya tocado al menos tres bandas antes de completar la carambola.
3. **Pool:** la mesa consta de seis agujeros, en los cuales deben introducirse las bolas en orden numérico ascendente.
4. **Artístico o de fantasía:** consiste en ejecutar carambolas difíciles de un catálogo de posiciones preestablecidas.



ÁMBITO: Desarrollo compromisos personales y sociales

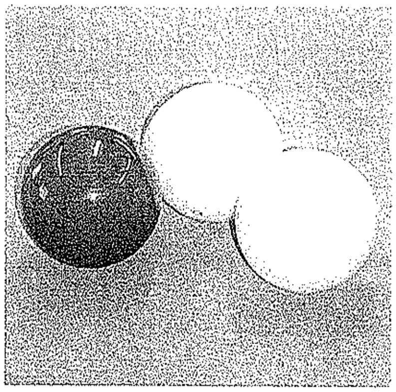
APROPIACIÓN Y USO DE LA TECNOLOGÍA

1. ¿Por qué en los últimos años en el billar se ha incrementado la participación de las mujeres?
2. ¿Qué sucedería si se jugara en una mesa de billar que no está tapizada?
3. ¿Por qué razón se emplean en las mesas de billar las bandas elásticas y en ocasiones con un incremento en su temperatura?
4. ¿Cuál es el objetivo de aplicar efectos a una bola en el juego del billar?
5. Consigue 3 canicas e intenta identificar los efectos que se producen en el choque entre ellas. Dibuja cada acción y elabora la explicación para cada caso.

TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

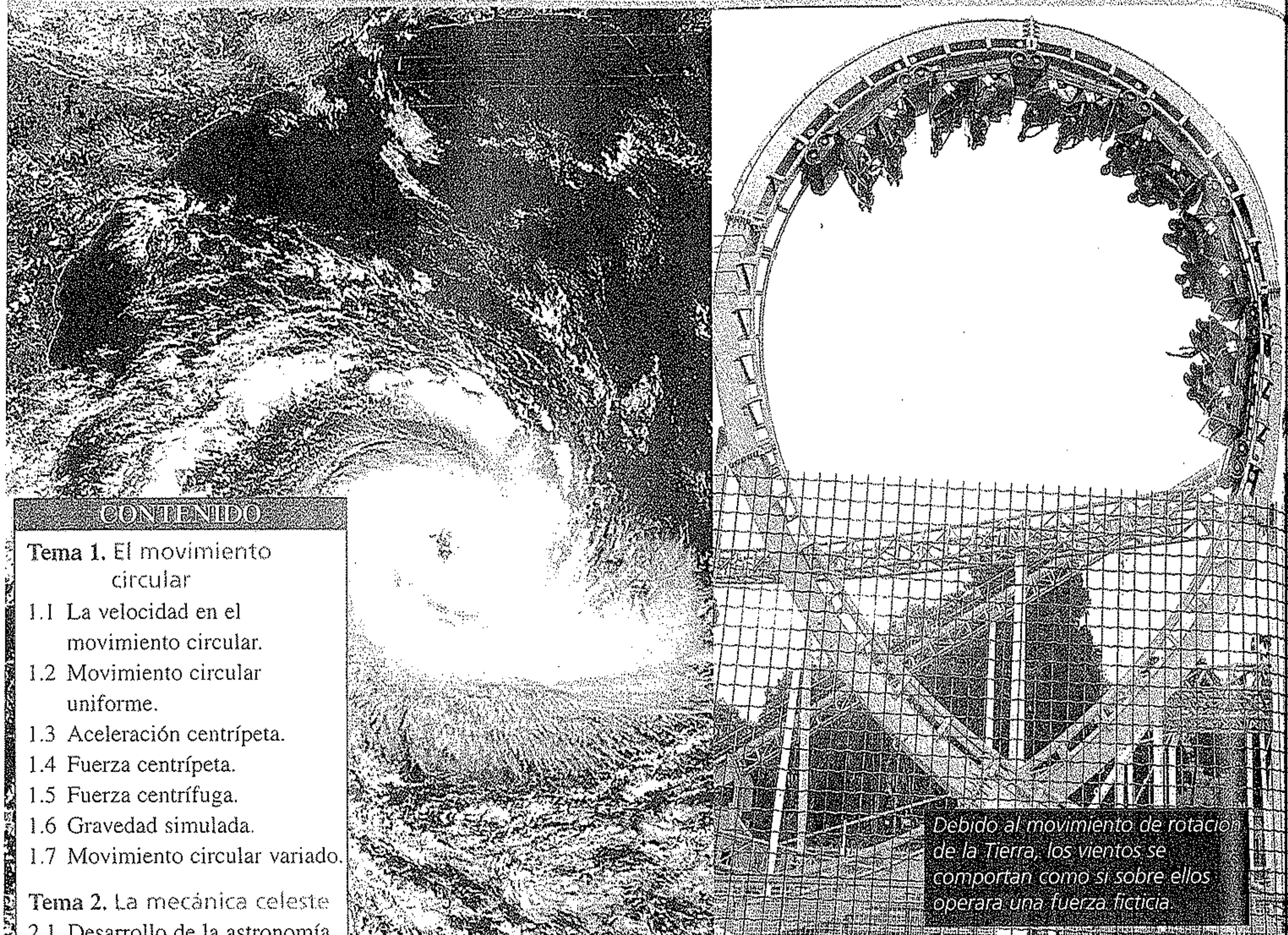
Choque de dos bolas de billar: cuando dos bolas de billar chocan, las direcciones de sus velocidades justamente después del choque forman 90°. Sin embargo, deja de cumplirse la condición de que las bolas de billar ruedan sin deslizarse, y como consecuencia de ello, la velocidad e incluso sus direcciones cambian durante un cierto tiempo, hasta que se restablece la condición de rodar sin deslizar. Las direcciones finales de las velocidades de las dos bolas dejan de formar 90°.

Cuando una bola golpea a otra que encuentra en reposo esta ejerce una fuerza sobre la segunda, produciéndole un movimiento de acción y a su vez la reacción de la segunda bola hace que la primera llegue al reposo.



UNIDAD 5

El movimiento de rotación



Debido al movimiento de rotación de la Tierra, los vientos se comportan como si sobre ellos operara una fuerza ficticia.

CONTENIDO

Introducción

Hasta el momento hemos contemplado los objetos como partículas puntuales. Sin embargo, cuando consideramos que los objetos tienen dimensiones, debemos ampliar nuestro estudio al movimiento de los cuerpos sólidos, los cuales no pueden ser considerados como cuerpos puntuales debido a que pueden experimentar movimiento de rotación.

Los movimientos de rotación, muy frecuentes en la naturaleza, no sólo son descritos por los objetos celestes; muchos mecanismos como motores y máquinas basan su funcionamiento en este movimiento.

En esta unidad, estudiaremos el movimiento de rotación y estableceremos su relación con el movimiento de los objetos celestes.

Tema 1. El movimiento circular

1.1 La velocidad en el movimiento circular

1.1.1 La velocidad angular

Consideremos dos ciclistas que se mueven describiendo circunferencias, uno al lado del otro en una pista circular (figura 1). Si el radio de la circunferencia que describe el ciclista 1 es de 20,0 metros, la distancia recorrida mientras da la vuelta es:

$$s = 2\pi \cdot r$$

$$s = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 20{,}0\ \text{m} = 125{,}6$$

Ahora, si el ciclista da la vuelta en 8 segundos, tenemos que su rapidez media es:

$$\text{Rapidez media} = \frac{125{,}6\ \text{m}}{8\ \text{s}} = 15{,}7\ \text{m/s}$$

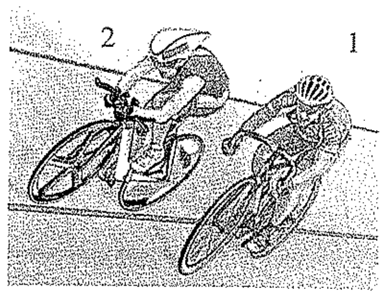


FIGURA 1

Para que se cumpla la condición de que los dos ciclistas permanezcan uno al lado del otro, el radio de la trayectoria del ciclista 2 debe ser mayor que el radio de la trayectoria del ciclista 1. Por tanto, la rapidez del ciclista 2 debe ser mayor que la rapidez del ciclista 1. Como, la línea que une la rueda frontal de cada bicicleta con el centro de las trayectorias, describe el mismo ángulo para instantes iguales; cada cuerpo describe una trayectoria circular denominada **desplazamiento angular** $\Delta\theta$.

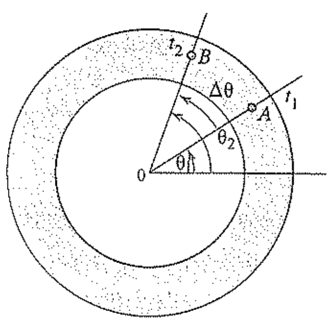
HERRAMIENTA MATEMÁTICA

2π rad equivale a 360°

DEFINICIÓN 5.1

El desplazamiento angular, $\Delta\theta$, se define como el ángulo determinado por la línea que une el centro de la trayectoria con el objeto. Su unidad de medida en el S.I. es el radián (rad).

En la siguiente figura, se ilustra el desplazamiento angular de un objeto que se mueve desde del punto A al punto B.



Se puede observar que el objeto en el instante t_1 ocupa la posición determinada por el ángulo θ_1 y en un instante posterior t_2 ocupa la posición determinada por el ángulo θ_2. Por tanto, la velocidad angular media, ω, que describe el movimiento del objeto, es el cociente entre el ángulo de barrido $\Delta\theta$ y el tiempo empleado Δt. Es decir,

$$\vec{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \qquad \text{ECUACIÓN 5.1}$$

En el S.I., la velocidad angular se mide en radianes por segundo (rad/s) y se suele escribir s^{-1}.

Para el ejemplo de la introducción, se puede decir que los ciclistas no se mueven con la misma rapidez; sin embargo, la velocidad angular para los dos es la misma, ya que, para el mismo instante, los ángulos barridos por los dos son iguales.

La expresión para la velocidad angular media es análoga a la definición de velocidad media definida en la unidad 2. Sabemos que cuando el intervalo de tiempo se hace muy pequeño, la velocidad media se aproxima a la velocidad instantánea. Así mismo, cuando el intervalo de tiempo para un objeto que describe un movimiento circular se hace muy pequeño, la velocidad angular media se aproxima al valor de la velocidad angular instantánea.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

5.1 La distancia media de la Tierra al Sol es $1{,}5 \times 10^{11}$ m. Si se considera que la trayectoria que describe la Tierra alrededor del Sol es circular. Determinar:

a. La velocidad angular de la Tierra alrededor del Sol.
b. La rapidez de la Tierra alrededor del Sol.

SOLUCIÓN:

a. *Para determinar la velocidad angular, sabemos que la Tierra da una vuelta alrededor del Sol en 365 días, es decir, en $3{,}2 \times 10^7$ segundos. Por tanto,*

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\omega = \frac{2\pi \ rad}{3{,}2 \times 10^7 \ s} = 2{,}0 \times 10^{-7} \ rad/s$$

La velocidad angular de la Tierra en su movimiento alrededor del Sol es $2{,}0 \times 10^{-7}$ rad/s.

b. *Para determinar la rapidez, tenemos que:*

$$Rapidez\ media = \frac{distancia\ recorrida}{tiempo\ empleado} = \frac{2\pi \cdot 1{,}5 \times 10^{11} \ m}{3{,}2 \times 10^7 \ s} = 2{,}9 \times 10^4 \ m/s$$

La rapidez de la Tierra es $2{,}9 \times 10^4$ m/s, lo cual equivale a 104.400 km/h

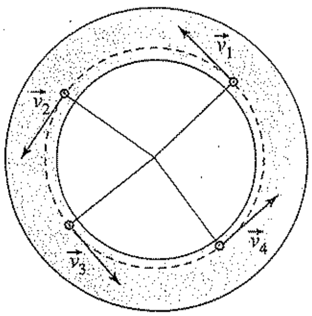


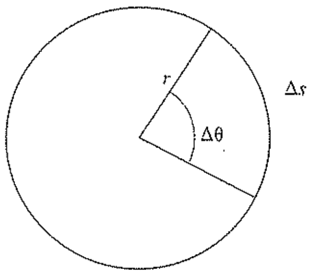
Figura 2

1.1.2 Relación entre la velocidad lineal y la velocidad angular

Para un objeto que describe una trayectoria circular, como la representada en la figura 2, el vector velocidad instantánea $\vec{v}$ es tangente a la trayectoria, cuya norma corresponde a la rapidez v del objeto en determinado instante. La velocidad en un movimiento circular se denomina **velocidad lineal.**

En algunas situaciones, por ejemplo en el movimiento de traslación de la Tierra, a velocidades angulares muy pequeñas le pueden corresponder diferentes velocidades lineales, lo cual nos indica que la velocidad angular no siempre determina la velocidad lineal con la que un móvil describe un movimiento circular. Por tal razón, en un movimiento circular, es conveniente conocer los valores de las dos velocidades, angular y lineal, para establecer el valor de la rapidez con que se produce el movimiento.

Cuando un objeto describe una trayectoria circular de radio r, al desplazamiento angular, $\Delta\theta <$ le corresponde una distancia recorrida, Δs, tal como se observa en la siguiente figura.



Es decir, $\Delta s = r \cdot \Delta\theta$, de donde, $\Delta\theta = \dfrac{\Delta s}{r}$ ·

Ahora, como $\vec{\omega} = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$, tenemos que:

$$\vec{\omega} = \frac{\Delta\vec{s}/r}{\Delta t} = \left(\frac{1}{r}\right)\left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)$$

Siendo $\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ la rapidez media v del objeto, es decir:

$$\vec{\omega} = \left(\frac{1}{r}\right)(\vec{v}) = \frac{\vec{v}}{r}$$

Por tanto, la relación entre la norma de la velocidad lineal y la velocidad angular es:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \cdot r \qquad \text{ECUACIÓN 5.2}$$

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

5.2 El segundero de un reloj mide 1 cm. Para el movimiento del extremo y del punto medio del segundero determinar:

a. La velocidad angular. **b.** La velocidad lineal.

SOLUCIÓN:

a. *Como la velocidad angular es igual para todos los puntos del segundero, tenemos que*

$\vec{\omega} = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$ *Ecuación 5.1.*

$\vec{\omega} = \dfrac{2\pi\ rad}{60\ s}$ *Al reemplazar*

$\vec{\omega} = 0{,}1\ rad/s$ *Al calcular*

La velocidad angular de cualquier punto del segundero es 0,1 rad/s, lo cual equivale a 6° en cada segundo.

b. *La velocidad lineal se calcula por medio de la ecuación 5.2, así:*

- *Para el extremo del segundero,*
  $v = 0{,}1\ s^{-1} \cdot 1\ cm = 0{,}1\ cm/s$
- *Para el punto medio del segundero, tenemos:*
  $v = 0{,}1\ s^{-1} \cdot 0{,}5\ cm = 0{,}05\ cm/s$

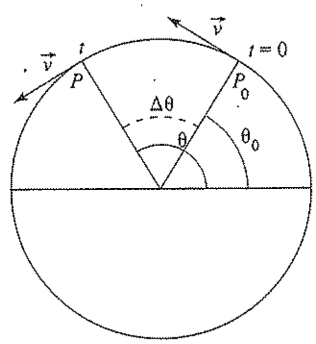
La velocidad lineal del punto medio del segundero es 0,05 cm/s y la de su extremo es 0,1 cm/s. Aunque la velocidad angular es igual en todos los puntos del segundero, el extremo del segundero se mueve con mayor rapidez.

1.2 Movimiento circular uniforme

Cuando la norma de la velocidad lineal de un objeto que describe un movimiento circular permanece constante a lo largo de la trayectoria, se dice que dicho movimiento es **circular uniforme**. Dado que en este movimiento, la norma de la velocidad lineal, v, y el radio de la trayectoria, r, son constantes, se puede concluir a partir de la expresión $v = \omega r$, que la velocidad angular, ω, también es constante. En consecuencia, el valor de la velocidad angular media coincide con el valor de la velocidad angular en cualquier instante. Por tanto,

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \qquad \text{ECUACIÓN 5.3}$$

En la siguiente figura se representa el movimiento circular uniforme que describe un cuerpo.



Se puede observar que:

- En el instante $t = 0$ s, el objeto se encuentra en la posición P_0 cuyo vector posición, con respecto al centro de trayectoria, forma un ángulo θ_0 con el semieje horizontal positivo.
- En el instante posterior t, el objeto se encuentra en la posición P, cuyo vector posición, con respecto al centro de trayectoria, forma un ángulo θ con el semieje horizontal positivo.

Por tanto, tenemos que el desplazamiento angular en el tiempo t es $\Delta\theta$, es decir:

$$\Delta\theta = \omega \cdot t \qquad \text{ECUACIÓN 5.4}$$

En la siguiente tabla, se establece una analogía entre el movimiento rectilíneo uniforme y el movimiento circular uniforme.

TABLA 5.1

Movimiento rectilíneo uniforme	Movimiento circular uniforme
v = Constante	ω = Constante
$\Delta x = v \cdot t$	$\Delta\theta = \omega \cdot t$

Se puede verificar que en ambos casos la forma de las ecuaciones es la misma, sólo que, para el movimiento rectilíneo el desplazamiento Δx, y la velocidad, v, se miden metros y m/s, respectivamente. Mientras que, para el movimiento circular uniforme, el desplazamiento angular, $\Delta\theta$, se mide en radianes y la velocidad angular, ω, en rad/s.

Todo objeto que describe un movimiento circular uniforme emplea siempre el mismo tiempo en realizar una vuelta o revolución. Este tiempo se denomina **período** y la cantidad de revoluciones que realiza el objeto, **frecuencia.**

DEFINICIÓN 5.2

El período se define como el tiempo que tarda un objeto que describe un movimiento circular uniforme, en realizar una revolución. Se denota con la letra T y se expresa en unidades de tiempo.

DEFINICIÓN 5.3

La frecuencia (f) es el número de revoluciones que realiza un objeto en cada unidad de tiempo. Se expresa en revoluciones por segundo (rev/s), lo cual, usualmente, se escribe como s^{-1}. En ocasiones, la frecuencia se expresa en revoluciones por minuto (r.p.m.).

Si un cuerpo describe un movimiento circular uniforme y en un tiempo t realiza n revoluciones, el período y la frecuencia se expresan como:

$$T = \frac{t}{n} \quad \text{y} \quad f = \frac{n}{t}$$

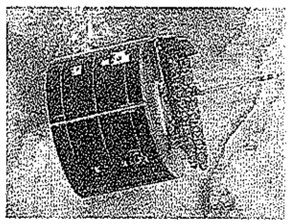
Por tanto, el período T y la frecuencia f se relacionan mediante la expresión:

$$f = \frac{1}{T} \qquad \text{ECUACIÓN 5.5}$$

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

5.3 Los satélites geoestacionarios siempre se encuentran sobre el mismo punto de la Tierra a una distancia de 36.000 km de la superficie terrestre. Determinar:



a. El período de revolución de un satélite geoestacionario
b. La frecuencia del satélite.
c. La distancia recorrida por el satélite en 1 día.
d. La velocidad angular de la trayectoria.
e. La rapidez del movimiento.

SOLUCIÓN:

a. Puesto que el satélite siempre se encuentra sobre el mismo punto de la Tierra, su período de revolución coincide con el período de revolución de la Tierra, es decir, T = 24 horas.

b. Para determinar la frecuencia tenemos que:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{24\ h} = 0{,}04\ rev/h$$

La frecuencia del satélite es 0,04 rev/h

c. Como el radio de la Tierra es 6.400 km, tenemos que el radio de la trayectoria del satélite, es:

$$r = 6.400\ km + 36.000\ km = 42.400\ km$$

Por tanto, la distancia recorrida por el satélite en un día es:

$$2\pi \cdot r = 2\pi \cdot 42.400\ km = 266.407\ km$$

d. Para determinar la velocidad angular tenemos:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{24\ h} = 0{,}26\ rad/h$$

El valor de la velocidad angular del satélite es igual al de la velocidad angular de un punto de la Tierra.

e. Para la medida de la velocidad lineal:

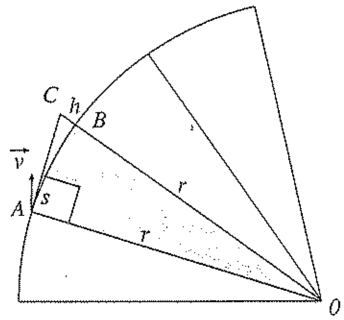
$$Rapidez = \frac{distancia\ recorrida}{tiempo\ empleado}$$

$$Rapidez = \frac{266.407\ km}{24\ h} = 11.100\ km/h$$

La rapidez del satélite es 11.100 km/h y es mayor que la rapidez de un punto del ecuador.

1.3 Aceleración centrípeta

Cuando un objeto describe un movimiento circular uniforme su rapidez permanece constante; sin embargo, su velocidad cambia de dirección, es decir, experimenta aceleración. Para determinar dicha aceleración considera que el movimiento circular es la composición de dos movimientos, uno en línea recta con velocidad constante y otro hacia el centro O de la trayectoria, como se muestra en la siguiente figura.



Se observa que para un tiempo t, el objeto presenta un movimiento circular con velocidad lineal, $\vec{v}$, que describe el arco AB de longitud s. En el movimiento a través de este arco se puede considerar que el objeto se desplaza en línea recta una distancia aproximada s y, al mismo tiempo, se dirige hacia el centro de la circunferencia una distancia h. Al aplicar el teorema de Pitágoras, al triángulo OAC cuyos lados miden r, s y $r + h$, tenemos que:

$$(r + h)^2 = r^2 + s^2$$

por tanto,

$$r^2 + 2 \cdot r \cdot h + h^2 = r^2 + s^2$$

es decir,

$$2 \cdot r \cdot h + h^2 = s^2$$

Si hacemos el intervalo de tiempo muy pequeño, el segmento AB se aproxima a la trayectoria curva. En este caso, la cantidad h^2 se hace extremadamente pequeña en comparación con $2 \cdot r \cdot h$, siendo $2 \cdot r \cdot h = s^2$, por tanto:

$$h = \frac{s^2}{2 \cdot r}$$

Como la distancia s recorrida con rapidez constante se expresa como $s = v \cdot t$, entonces:

$$h = \frac{v^2 \cdot t^2}{2 \cdot r}$$

Luego, para el movimiento en dirección hacia el centro de la circunferencia:

$$h = \frac{1}{2}\left(\frac{v^2}{r}\right) t^2$$

Al comparar esta expresión con la obtenida para un objeto que describe un movimiento acelerado $\Delta x = \dfrac{a \cdot t^2}{2}$, tenemos que la aceleración en la dirección hacia el centro es:

$$a_c = \frac{v^2}{r} \qquad \text{ECUACIÓN 5.6}$$

Esta aceleración se denomina **aceleración centrípeta** y es experimentada por los cuerpos que describen un movimiento circular. Por tanto, cuando un cuerpo describe un movimiento circular está sometido a una aceleración centrípeta representada por un vector dirigido hacia el centro de la circunferencia (figura 3).

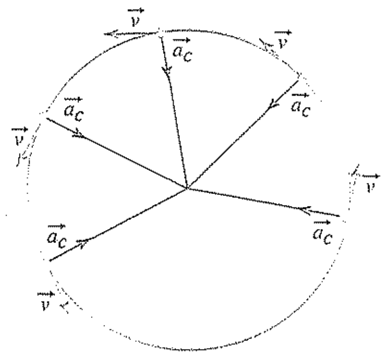


FIGURA 3

1.4 Fuerza centrípeta

Si sobre un cuerpo en movimiento no actúa fuerza alguna o la fuerza neta es cero, el cuerpo describe un movimiento rectilíneo uniforme. Pero, si el cuerpo describe un movimiento circular, su trayectoria no es rectilínea y, en consecuencia, su velocidad cambia de dirección constantemente, lo cual significa que debe actuar alguna fuerza sobre él. A la fuerza que ocasiona dicho cambio en la dirección se le conoce como **fuerza centrípeta**.

El vector fuerza centrípeta $\vec{F}_c$ se representa en dirección radial hacia el centro de la trayectoria y es perpendicular al vector velocidad (figura 4). En este movimiento circular uniforme aunque la norma de la velocidad permanece constante, se presenta una aceleración centrípeta, a_c, en la misma dirección y sentido de $\vec{F}_c$.

De acuerdo con la segunda ley de Newton, para un cuerpo de masa m, que gira con velocidad v y describe una circunferencia de radio r, $\vec{F}_c$ es igual a:

$$F_c = m \cdot a_c$$

Donde, $a_c = \dfrac{v^2}{r}$, por tanto:

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{r} \qquad \text{ECUACIÓN 5.7}$$

Es importante definir que la fuerza centrípeta que actúa sobre un cuerpo es ejercida por uno o más cuerpos y actúa en la dirección radial hacia el centro de la trayectoria. Así la fuerza centrípeta puede ser según el caso, elástica, de rozamiento, gravitacional, eléctrica, entre otras.

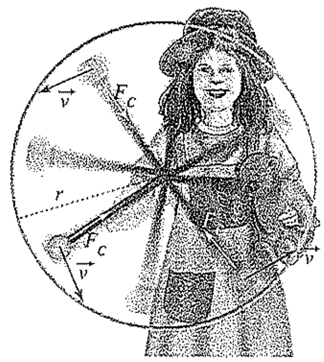


FIGURA 4

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

5.4 Un automóvil de masa 1.000 kg toma una curva de 200 m de radio con velocidad de 108 km/h (30 m/s). Determinar la fuerza de rozamiento necesaria para que el automóvil continúe su trayectoria sobre la vía circular.

SOLUCIÓN:

Como, el automóvil describe un arco de circunferencia, debe actuar sobre él una fuerza centrípeta, $\vec{F}_c$, que en este caso es la fuerza de rozamiento, $\vec{F}_r$, ejercida por el piso de la carretera sobre las ruedas, ocasionando que el automóvil siga sobre la vía y no se salga en la dirección que indica la velocidad tangencial.

Por tanto,

$$F_r = F_c$$

Luego,

$$F_r = m \cdot \frac{v^2}{r} \qquad \textit{Ecuación 5.7.}$$

$$F_r = 1.000\ kg \cdot \frac{(30\ m/s)^2}{200\ m} = 4.500\ N \qquad \textit{Al reemplazar y calcular}$$

La fuerza de rozamiento que actúa sobre el automóvil es de 4.500 N.

5.5 En el modelo de átomo de hidrógeno de Bohr, un electrón gira alrededor del núcleo. Si la fuerza centrípeta que experimenta el electrón debido a la fuerza eléctrica que ejerce el protón sobre él es $9{,}2 \times 10^{-8}$ N, el radio del átomo igual a 5×10^{-11} m y la masa del electrón es $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg, determinar la velocidad con la cual gira el electrón.

SOLUCIÓN:

Puesto que la fuerza centrípeta es igual a la fuerza eléctrica $\vec{F}_e$, al despejar v de la ecuación 5.7, tenemos que:

$$v = \sqrt{\frac{F_e \cdot r}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{(9{,}2 \times 10^{-8}\, N)\,(5 \times 10^{-11}\, m)}{(9{,}1 \times 10^{-31}\, kg)}} \qquad \textit{Al reemplazar}$$

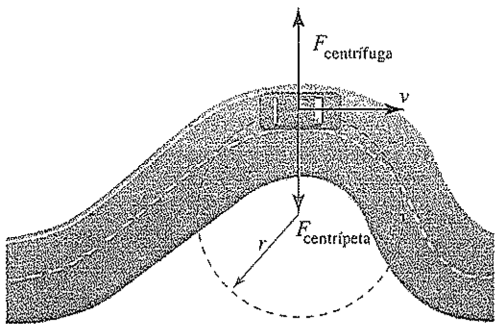
$$v = 2{,}5 \times 10^{7}\ m/s \qquad \textit{Al calcular}$$

La velocidad del electrón alrededor del protón en el modelo de átomo de hidrógeno de Bohr es de $2{,}5 \times 10^{7}$ m/s

1.5 Fuerza centrífuga

En algunos contextos se afirma que sobre un cuerpo que describe un movimiento circular actúa una fuerza centrífuga. Para determinar los casos en los cuales es adecuado utilizar el término, consideremos la siguiente situación: cuando viajamos en un vehículo y este toma una curva hacia la derecha, podemos sentir que estamos siendo empujados hacia la izquierda. Lo contrario ocurre si el vehículo gira hacia la izquierda, ya que nos inclinamos hacia la derecha. Este efecto es denominado **fuerza centrífuga**, designada así porque tiende a empujar los cuerpos hacia fuera de la curva tomada.

Pero, en realidad no se trata de una fuerza, sino de una de las apreciaciones de la ley de la inercia, ya que al girar el vehículo, sobre él actúa la fuerza centrípeta, pero nosotros que nos encontramos en el interior del vehículo no estamos bajo los efectos de ella, y en coherencia con la ley de la inercia, continuamos moviéndonos en línea recta, sin tomar la curva, siendo esto realmente lo que percibimos como fuerza centrífuga. De esta manera, podemos considerar que la fuerza centrífuga es de igual intensidad y dirección que la fuerza centrípeta, pero de sentido opuesto, como se representa en la siguiente figura.



Aunque la fuerza centrífuga es de igual intensidad y dirección que la fuerza centrípeta, una no es reacción de la otra, ya que la fuerza centrífuga sólo existe en sistemas de referencia no inerciales y es considerada como una fuerza ficticia, es decir, que aparenta ser real, pero no existe al ser analizada en un sistema de referencia inercial.

1.6 Gravedad simulada

En la actualidad, es muy frecuente escuchar hablar acerca de las exploraciones a los planetas más cercanos a la Tierra, pero sabemos que las condiciones en el espacio exterior no son las más favorables para el cuerpo humano. Por ejemplo, la sensación de ingravidez o microgravedad resulta ser nociva para el cuerpo humano, por tanto se hace prácticamente necesario generar la existencia de una gravedad simulada en el interior de las naves espaciales, similar a la terrestre.

Pero, ¿cuál sería la manera de producir gravedad simulada en el espacio? Sabemos que la fuerza de gravedad representa la atracción entre masas y su resultado final es generar una aceleración, por tanto, el producir una aceleración constante sobre la nave espacial haría posible generar una gravedad simulada. Sin embargo, este método no es tan favorable ya que el consumo de combustible para mantener los motores encendidos, seria excesivo.

Un resultado similar puede lograrse a través del movimiento de rotación de un objeto, el cual al girar con determinada frecuencia, genera una aceleración centrípeta que se encarga de simular la aceleración de la gravedad, es decir, que $g = \omega^2 \cdot r$. Pero esta rotación debe ser lenta si se desea garantizar a los viajeros una adaptación gradual a las nuevas condiciones de vida, pues una rotación muy vertiginosa produciría en el cuerpo humano náuseas y otros efectos colatelares. Este tipo de movimiento suele ser aplicado en algunas atracciones mecánicas (figura 5).

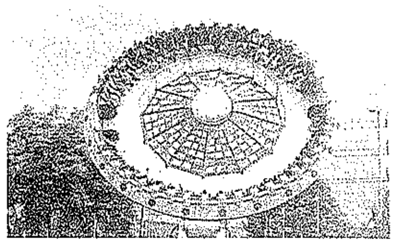
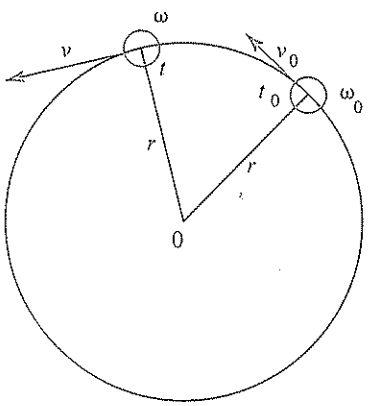


FIGURA 5

1.7 Movimiento circular variado

1.7.1 La aceleración angular

En la siguiente figura se representa un cuerpo que describe un movimiento circular, el cual experimenta una variación (aumento o disminución) de la velocidad angular.



Se puede observar que en el instante t_0 la velocidad angular del objeto es ω_0 y que en un tiempo posterior t la velocidad angular es ω. Por tanto, la aceleración angular media $\vec{\alpha}$ es:

$$\vec{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0} \qquad \text{ECUACIÓN 5.8}$$

La unidad de aceleración angular en el SI es el radián por segundo al cuadrado (rad/s^2), que se acostumbra escribir s^{-2}.

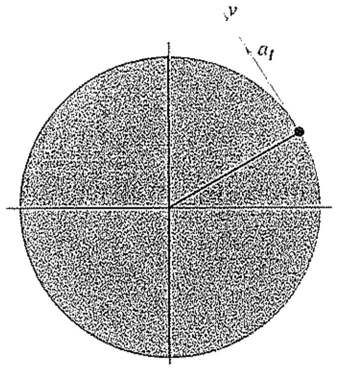


FIGURA 6

En la figura anterior se puede observar que en el instante t_0, la velocidad lineal es $v_0 = \omega_0 r$ y en un instante posterior t, la velocidad lineal es $v = \omega r$. Por tanto,

$$\vec{\alpha} = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0} = \frac{\frac{v}{r} - \frac{v_0}{r}}{t - t_0} = \frac{1}{r} \cdot \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Como $\vec{\alpha} = \frac{\vec{a}}{r}$, entonces,

$$\vec{a} = \vec{\alpha} r$$

Siendo $\vec{a}$ tangente a la trayectoria, por lo cual se denomina aceleración tangencial (figura 6), e indica la variación de la norma de la velocidad lineal con respecto al tiempo. En general, la norma de la aceleración tangencial, a_t, se relaciona con la aceleración angular mediante la expresión:

$$a_t = \alpha r \qquad \text{ECUACIÓN 5.9}$$

1.7.2 El movimiento circular uniformemente variado

Un cuerpo describe un movimiento circular uniformemente variado cuando la aceleración angular es constante. Por tanto, si en el instante $t = 0$, la velocidad angular del objeto es ω_0 y un instante posterior t la velocidad angular es ω, la aceleración angular se expresa como:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t}$$

Es decir, la velocidad angular de un movimiento circular uniformemente variado es:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \qquad \text{ECUACIÓN 5.10}$$

y la ecuación para el desplazamiento en este movimiento es:

$$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{\alpha t^2}{2} \qquad \text{ECUACIÓN 5.11}$$

En la siguiente tabla se establece una analogía entre el movimiento rectilíneo uniformemente variado y el movimiento circular uniformemente variado.

TABLA 5.2

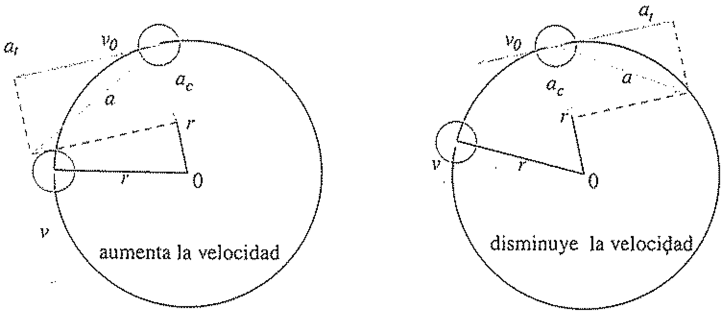
Movimiento rectilíneo uniformemente variado	Movimiento circular uniformemente variado
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$\Delta x = v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{\alpha t^2}{2}$

1.7.3 Las componentes de la aceleración

En un movimiento circular uniformemente variado, se determinan dos tipos de aceleración: la aceleración tangencial $\vec{a}_t$ y la aceleración centrípeta $\vec{a}_c$.

- La aceleración tangencial, $\vec{a}_t$, se relaciona con la variación de la norma de la velocidad.
- La aceleración centrípeta, $\vec{a}_c$, se relaciona con la variación de la dirección de la velocidad.

En la siguiente figura se representan los vectores aceleración tangencial, $\vec{a}_t$, que es tangente a la trayectoria y la aceleración centrípeta, $\vec{a}_c$, cuya dirección es radial y de sentido dirigido hacia el centro de la trayectoria.



Se puede observar que:

- si la aceleración tangencial, $\vec{a}_t$, tiene el mismo sentido de la velocidad, v_0, entonces el cuerpo aumenta su velocidad.
- si la aceleración tangencial, $\vec{a}_t$, tiene sentido contrario a la velocidad, v_0, entonces el cuerpo disminuye su velocidad.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

5.6 Un disco con una frecuencia de 45 r.p.m., se detiene después de 5 s. Calcular su aceleración angular.

SOLUCIÓN:

Una frecuencia de 45 r.p.m. equivale a 0,75 rev/s, así

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{,}75\ s^{-1}} = 1{,}33\ s$$

Luego, la velocidad angular inicial es:

$$\omega_0 = \frac{2\pi\ rad}{1{,}33\ s} = 4{,}72\ rad/s$$

Como la velocidad angular final es 0, tenemos que:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_i} = \frac{0 - 4{,}72\ rad/s}{5\ s} = -0{,}944\ rad/s^2$$

5.7 Sobre una superficie, gira un objeto atado a una cuerda de 50 cm de longitud con velocidad de 5 m/s. Por efecto de la fricción, el objeto disminuye su velocidad con aceleración angular constante y se detiene a los 4 segundos. Determinar:

a. La velocidad angular inicial del objeto. **b.** La aceleración angular.
c. La aceleración tangencial del objeto. **d.** El desplazamiento angular.

SOLUCIÓN:

a. La velocidad angular se calcula al despejar ω de la ecuación 5.2, así:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{5\ m/s}{0{,}5\ m} = 10\ rad/s$$

b. La aceleración angular se calcula a partir de la ecuación 5.10, así:

$$\alpha = \frac{0 - 10\ rad/s}{4\ s} = -2{,}5\ rad/s^2.$$

c. La aceleración tangencial está dada por

$$a_t = -2{,}5\ s^{-2} \cdot 0{,}5\ m = -1{,}2\ m/s^2$$

d. El desplazamiento angular se obtiene mediante la ecuación 5.11:

$$\Delta\theta = 10\ s^{-1} \cdot 4\ s + \frac{(-2{,}5\ s^{-2})(4\ s)^2}{2} = 20\ rad$$

Tema 2. La mecánica celeste

2.1 Desarrollo de la astronomía

El problema de la interpretación del movimiento de los cuerpos celestes ha sido estimado desde la antigüedad. Los hombres primitivos se maravillaron con el espectáculo que ofrecía el universo y todos los fenómenos que en él se mostraban. Pero ante la imposibilidad de encontrarles alguna explicación, estos fueron asociados con la magia, y se buscó en el cielo la causa de los sucesos que se presentaban en la Tierra. Esto, unido a la superstición y al poder que daba el conocimiento de las estrellas, dominó las creencias humanas durante varios años.

Sin embargo, gracias al desarrollo que se supone en todo pueblo, poco a poco, fue llevando a la humanidad por rumbos nuevos acerca de una ciencia que se fue creando a partir de la observación de los astros y que, hoy en día, se denomina astronomía.

En el progreso astronómico primitivo, los seres humanos fijaron su atención en el objeto más luminoso que observaban: el Sol. Más adelante se centraron en la Luna y, finalmente, en las estrellas y los planetas.

Inicialmente, la observación de los movimientos cíclicos del Sol, la Luna y las estrellas mostró su utilidad para la predicción de fenómenos como el ciclo de las estaciones, cuyo conocimiento era útil, ya que de ello dependía directamente la supervivencia del ser humano: si la actividad principal era la caza, se hacía fundamental predecir el instante en que se producía la migración estacional de los animales que le servían de alimento; posteriormente, cuando nacieron las primeras comunidades agrícolas, era de vital importancia conocer el momento exacto para sembrar y, también, para recoger los frutos.

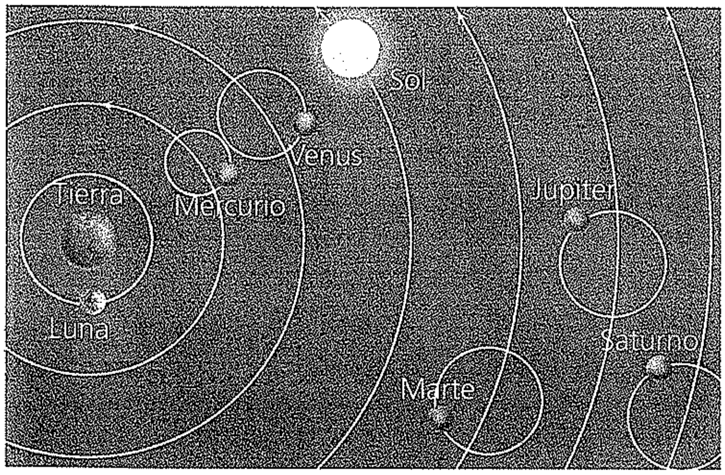
El fenómeno del día y la noche fue un hecho explicado de manera obvia, fundamentado en la presencia o ausencia del Sol en el cielo. De esta manera, el **día** fue tal vez la primera unidad de tiempo utilizada. De igual forma, fue importante reconocer que la calidad de la luz nocturna dependía de la fase de la Luna, y el ciclo de veintinueve a treinta días otra manera cómoda de medir el tiempo. Así, los calendarios primitivos se basaron en el ciclo de las **fases de la Luna**. Con respecto a las estrellas, para los observadores fue sencillo entender que son puntos brillantes que guardan entre sí las mismas distancias relativas, es decir, conservan un esquema fijo. De esta manera, parecería natural interpretar que las estrellas se encontraban fijas a una especie de bóveda sólida que rodeaba la Tierra, pero que el Sol y la Luna no deberían estar incluidos en ella: la Luna, noche tras noche cambia su posición relativa, y hasta visiblemente, en el curso de una misma noche. Para el Sol, esto es menos obvio, ya que, cuando el Sol está en el cielo, las estrellas no son visibles; pero, el cielo nocturno contiene las estrellas de la otra mitad del cielo, y el aspecto de esta mitad visible cambia noche tras noche.

Más adelante, en Grecia, se observaron avances importantes en cuanto a la astronomía. Se podía ubicar, a simple vista, siete cuerpos celestes: la Luna, el Sol, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Además, plantearon teorías relacionadas con la forma de la Tierra y el movimiento de los astros: sostenían que la Tierra era redonda y el centro del universo. Por otra parte, consideraron que las estrellas y otros cuerpos, celestes se movían con respecto a la Tierra siguiendo trayectorias circulares que, para ellos, eran las trayectorias perfectas.

Para los griegos, el cielo (por ser el lugar donde habitan los dioses) era perfecto e inmutable y la Tierra (donde viven los seres humanos), imperfecta, en la cual todas las cosas podían cambiar. Esta teoría permaneció vigente en Europa por mucho tiempo.

Durante muchos siglos se analizaron los cielos para predecir la posición de los astros; sin embargo, fue Ptolomeo quien recogió y desarrolló un modelo, de gran exactitud y muy complejo, iniciado por Aristóteles, y denominado **modelo geocéntrico**. Este modelo consistía, como lo muestra la siguiente figura, en:

- La Tierra en el centro y ocho esferas rodeándola. En ellas estarían la Luna, el Sol, las estrellas y los cinco planetas conocidos en aquel tiempo: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno.
- Los planetas se movían en círculos más internos engarzados a sus respectivas esferas. La esfera más externa era la de las estrellas fijas, las cuales siempre permanecían en las mismas posiciones relativas, las unas con respecto a las otras, girando juntas a través del cielo.



Este modelo no describía con claridad que había detrás de la última esfera, pero desde luego, no era parte del universo observable por el ser humano.

La teoría de Ptolomeo encajó bien con una interpretación rígida y literal de la Biblia: la Tierra debía ser perfecta, en reposo y situada en el centro mismo del universo. Por ello, el modelo geocéntrico se mantuvo en vigor a lo largo de toda la Edad Media, como un dogma más de la Iglesia oficial. Pero este modelo de Ptolomeo presentó algunas dificultades:

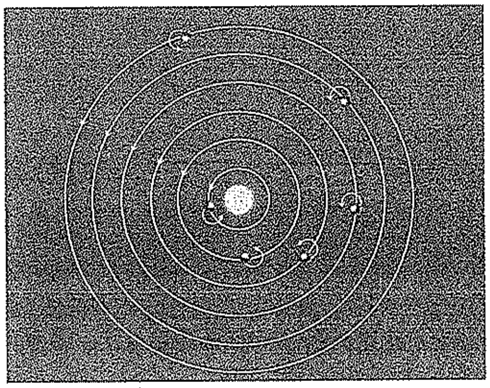
- La explicación del movimiento de la Luna, sobre todo con el tamaño aparente que debería presentar en las cuadraturas: Ptolomeo debía suponer que la Luna seguía un camino que la situaba en algunos instantes dos veces más cerca de la Tierra que en otras, por lo que habría ocasiones en que la Luna debería aparecer con tamaño doble del que realmente tiene.
- Aceptaba la suposición arbitraria de que los centros de los epiciclos de Venus y Mercurio estaban permanentemente fijos en una línea trazada desde la Tierra al Sol; o sea, los deferentes de ambos planetas, al igual que el Sol, se movían una vez cada año alrededor de la Tierra.
- Las predicciones de las posiciones planetarias se apoyaban en medidas de ángulos, no de distancias.

Otro antiguo observador griego, Aristarco de Samos en el siglo II a.C., había propuesto el **modelo heliocéntrico**, según el cual el Sol estaba en el centro del universo y la Tierra era sólo un planeta que giraba a su alrededor. Sus ideas quedaron en el olvido porque se consideraban en contra del sentido común, pero fueron rescatadas en el siglo XVI por Nicolás Copérnico, un astrónomo polaco, quien estudiando los movimientos del Sol, la Luna y los planetas, intentó encontrar un modelo cosmológico inteligible de todo el universo. Copérnico propuso un sistema solar con el Sol en el centro y los planetas describiendo trayectorias circulares a su alrededor.

Además, Copérnico consideró que la Tierra describía un movimiento de rotación diario hacia el Este, girando sobre un eje inclinado, y que los planetas, incluida la Tierra, se movían en circunferencias, cuyo centro se ubicaba en un punto cercano al Sol.

De esta manera, fue posible explicar por qué el Sol parece estar más cerca de la Tierra en algunas épocas del año que en otras: para el hemisferio norte el Sol parece estar más lejos de la Tierra en verano.

Copérnico asignó un orden a los planetas a partir del Sol: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno. Para explicar el movimiento de los planetas, ideó un sistema de epiciclos, en el que cada planeta se movía en un círculo superpuesto a su gran órbita circular alrededor del Sol, como se observa en la siguiente figura.



En la época de Ptolomeo y la de Copérnico, los datos que se utilizaban para calcular las posiciones de los astros no eran muy precisos. Conclusión a la cual llegó Tycho Brahe, un noble y astrónomo danés quien cambió las técnicas de observación y el nivel de precisión de las mismas.

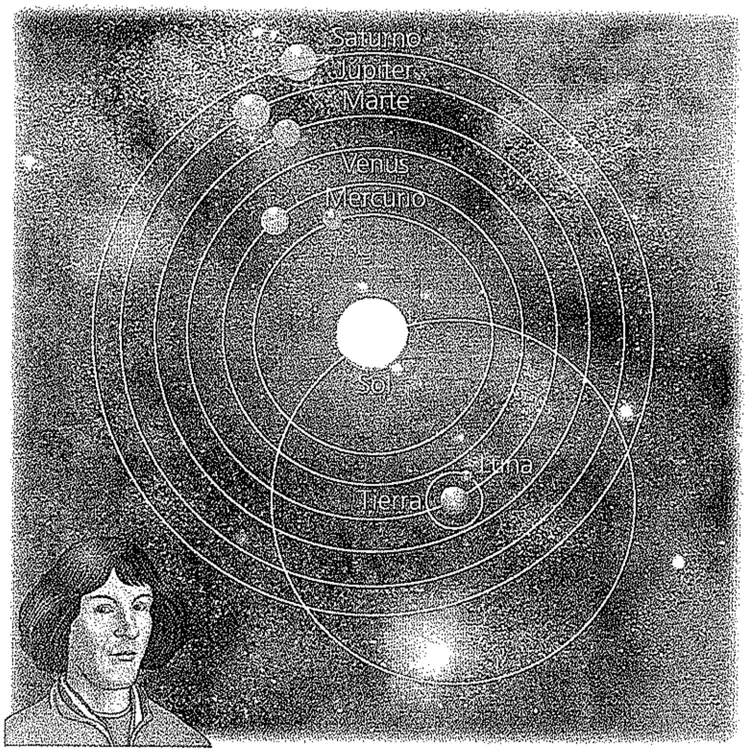
Tycho consiguió apoyo económico del rey Federico II, quién le donó la isla de Huen para construir el castillo de Uraniborg, que significa "Castillo de los Cielos". Allí se dedicó a construir los instrumentos necesarios para hacer nuevas mediciones. Muy pronto Uraniborg se convirtió en un completo instituto de investigación, el cual, incluso, contaba con su propia imprenta para publicar los trabajos de investigación. De esta manera, Uraniborg se consolidó en el lugar de reuniones de científicos, técnicos y estudiantes interesados en la astronomía.

Sin embargo, Tycho observó que Uraniborg no era adecuado para grandes hallazgos, por lo cual construyó un observatorio subterráneo llamado Stjerneborg, "Castillo de estrellas", que constaba de cinco salas de observación con distintos instrumentos. Las observaciones se hacían por medio de un techo móvil.

Como en aquella época no había telescopio, Tycho diseñó y construyó aparatos enormes que, al ser fijados a las paredes del edificio, le permitían realizar mediciones de gran precisión. Los procedimientos de Tycho resultaron muy eficaces y los datos que obtuvo, de una precisión asombrosa.

Dos eventos importantes ocurrieron en esta época. En 1572, apareció en el firmamento una estrella que, al inicio, fue muy brillante y después fue perdiendo su brillo hasta que desapareció en una constelación denominada Casiopea, y en 1577, la aparición de un cometa. Para ese entonces, Tycho ya tenía instrumentos para calcular su posición y encontró que estos hechos se presentaban más allá de la Luna.

Estos fenómenos ponían en tela de juicio las bases de la astronomía griega: los cielos no eran inmutables, sino que cambiaban. Sin embargo, no eran suficientes estas ideas para derrumbar la teoría establecida. El mismo Tycho no dudaba, de que la Tierra fuera el centro del universo, pero, al mismo tiempo, admiraba el modelo propuesto por Copérnico, así que decidió hacer su propio modelo combinando los dos anteriores, denominado modelo **geoheliocéntrico:**



Cuando Tycho Brahe murió, en 1601, su asistente Johannes Kepler obtuvo todos los datos de las observaciones de Marte.

Kepler decidió investigar por qué los planetas estaban separados de esa forma y por qué sólo hay seis planetas visibles. Durante años, buscó responder a estas preguntas mediante modelos geométricos. En Praga, en el nuevo observatorio de Tycho, Kepler se dedicó a estudiar la órbita de Marte. Después de un año y medio de esfuerzos inútiles, utilizando todo tipo de combinaciones de círculos para predecir la posición del planeta a lo largo del año, concluyó que la órbita de Marte no era un círculo y que no existía ningún punto específico alrededor del cual su movimiento fuera uniforme, es decir, con velocidad constante.

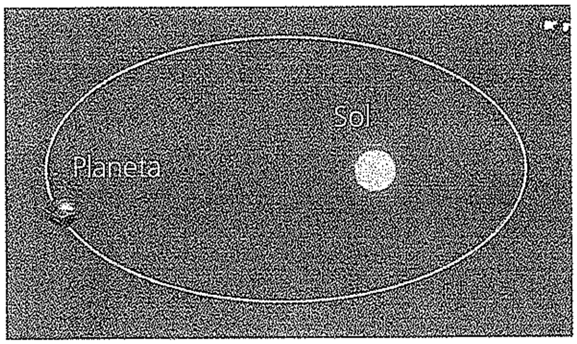
De acuerdo con sus observaciones, la órbita de Marte era alargada, pero no tenía una teoría que explicara por qué era así. Después estudió la órbita de la Tierra y encontró una relación que le sorprendió por su simplicidad: la línea que une el Sol a un planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales. Esta relación permitía encontrar fácilmente las posiciones de los planetas. Con esta relación, Kepler calculó la órbita de Marte y encontró, finalmente, que era una elipse y que el Sol estaba en uno de sus focos.

De esta manera, descubrió las conocidas leyes de Kepler.

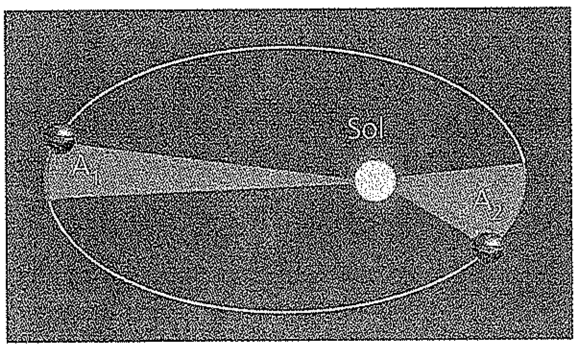
2.2 Leyes de Kepler

Las leyes de Kepler son leyes empíricas muy fuertes y relativamente simples. Con ellas Kepler realizó diferentes cálculos, que fueron publicados en 1627.

- *Primera ley*: los planetas se mueven en órbitas elípticas alrededor del Sol, que permanece en uno de los focos de la elipse. Cada planeta se mueve alrededor del Sol describiendo una elipse.



- *Segunda ley*: los planetas se mueven de tal forma que la línea trazada desde el Sol a su centro barre áreas iguales, en intervalos de tiempo iguales.



Tras años de observación y de soportar pobreza, enfermedades y otras penalidades, Kepler, encontró su tan anhelada tercera ley.

- *Tercera ley*: los cuadrados de los períodos de revolución (T) de los planetas son proporcionales a los cubos de su distancia promedio al Sol (R).
  En términos matemáticos esta ley se escribe como:

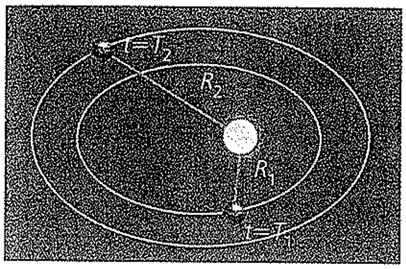
  $$T^2 = kR^3 \qquad \text{ECUACIÓN 5.12}$$

  Donde k es una constante, T es el período del planeta y R es la distancia promedio del planeta al Sol.

Es decir, que para cualquier planeta del sistema solar, se cumple que:

$$\frac{(\text{Período de revolución})^2}{(\text{Distancia promedio al Sol})^3} = \text{constante}$$

Esta ley es diferente a las otras dos, ya que no se refiere a un solo planeta, sino que relaciona un planeta con cada uno de los otros, como se representa en la siguiente figura:



En la tabla 5.3, se pueden observar las distancias promedios al Sol y el período de revolución de los planetas del sistema solar.

TABLA 5.3

Planeta	T·(s)	R·(m)
Mercurio	$7{,}6 \times 10^6$	5.8×10^{10}
Venus	$1{,}9 \times 10^7$	$1{,}1 \times 10^{11}$
Tierra	$3{,}15 \times 10^7$	$1{,}5 \times 10^{11}$
Marte	$5{,}9 \times 10^7$	$2{,}3 \times 10^{11}$
Júpiter	$3{,}7 \times 10^8$	$7{,}8 \times 10^{11}$
Saturno	$9{,}2 \times 10^8$	$1{,}4 \times 10^{12}$
Urano	$2{,}6 \times 10^9$	$2{,}9 \times 10^{12}$
Neptuno	$5{,}2 \times 10^9$	$4{,}5 \times 10^{12}$
Plutón	$7{,}8 \times 10^9$	5.9×10^{12}

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

5.8 A partir de la aplicación de la tercera ley de Kepler y con los datos de la tabla 5.3, determinar el valor de la constante para el planeta Tierra y para el planeta Venus.

SOLUCIÓN:

Para la Tierra:

$$k = \frac{(T_{Tierra})^2}{(R_{Tierra})^3} \quad \text{. Al despejar k de la ecuación 5.12}$$

$$k = \frac{(3{,}15 \times 10^7\ s)^2}{(1{,}5 \times 10^{11}\ m)^3} = 2{,}9 \times 10^{-19} s^2/m^3 \text{ Al calcular.}$$

Para Marte:

$$k = \frac{(T_{Marte})^2}{(R_{Marte})^3} \quad \text{Al despejar k de la ecuación 5.12.}$$

$$k = \frac{(5{,}9 \times 10^7\ s)^2}{(2{,}3 \times 10^{11}\ m)^3} = 2{,}9 \times 10^{-19}\ s^2/m^3 \text{ Al calcular.}$$

El valor de la constante en la tercera Ley de Kepler para los planetas del sistema solar es $2{,}9 \times 10^{-19}\ s^2/m^3$.

5.9 Considerar que la trayectoria del Sol es circular y calcular la rapidez media del movimiento de Plutón alrededor del Sol. Compararla con la rapidez de la Tierra cuyo valor es $2{,}9 \times 10^4$ m/s.

SOLUCIÓN:

Como el radio de la órbita es igual a la distancia media que separa a Plutón del Sol y su valor es $5{,}9 \times 10^{12}$ m, la distancia recorrida mientras Plutón da una revolución es:

$$2\pi \cdot R = 2\pi \cdot 5{,}9 \times 10^{12}\ m = 3{,}7 \times 10^{13}\ m$$

Por tanto, la rapidez es:

$$v = \frac{3{,}7 \times 10^{13}\ m}{7{,}8 \times 10^9\ s} = 4{,}7 \times 10^3\ m/s$$

La rapidez de Plutón en su órbita es $4{,}7 \times 10^3$ m/s, la cual es el 16% de la rapidez con la cual la Tierra recorre su órbita alrededor del Sol.

El trabajo de Kepler contribuyó en la aceptación del modelo planetario heliocéntrico, pero aún quedaban dificultades por vencer: romper con la tradición que exigían las órbitas circulares de los astros y la consideración acerca de que la Tierra tenía un lugar privilegiado en el centro del universo.

En 1604, con la aparición de una nueva estrella en el cielo, Galileo se convenció, gracias al estudio de la obra de Kepler, de que la hipótesis de la inmutabilidad de las estrellas no se cumplía.

Para este tiempo, debido a la invención del telescopio, Galileo observó que la Luna no era lisa, sino que tenía cráteres, e incluso, calculó la altura de algunas montañas. Este descubrimiento se unió al de la observación de los satélites que giran alrededor del planeta Júpiter, como si fuera un sistema solar en miniatura; contrario a lo que pensaban los griegos acerca de que todos los astros giraban alrededor de la Tierra.

Después de la muerte de Galileo, el modelo propuesto por Kepler se difundió, y poco a poco fue aceptado. Uno de los problemas que se debatió entonces fue la idea de cómo un objeto podía mantener un movimiento elíptico alrededor del Sol. Entonces, el astrónomo Edmund Halley se propuso resolver la controversia, para ello dirigió sus inquietudes a su gran amigo Isaac Newton.

La impresionante obra de Newton comenzó con la definición de la masa, el momento, la inercia y la fuerza. Después, presentó las tres leyes del movimiento y una gran cantidad de descubrimientos matemáticos y físicos que tenían que ver con los problemas que preocupaban a los científicos de su época. Tal vez su contribución más importante es la ley de la gravitación universal.

2.3 La gravitación universal

2.3.1 La ley de gravitación universal

Los planetas describen una trayectoria elíptica alrededor del Sol y puesto que no describen movimiento rectilíneo uniforme, debe actuar sobre ellos una fuerza centrípeta que produce el cambio en la dirección del movimiento.

Isaac Newton, en el siglo XVII, explicó el origen de esta fuerza en lo que se conoce como ley de gravitación universal.

DEFINICIÓN 5.4

Dos cuerpos cualesquiera de masas m_1 y m_2, separados una distancia r se atraen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

La cual se expresa como:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$ ECUACIÓN 5.13

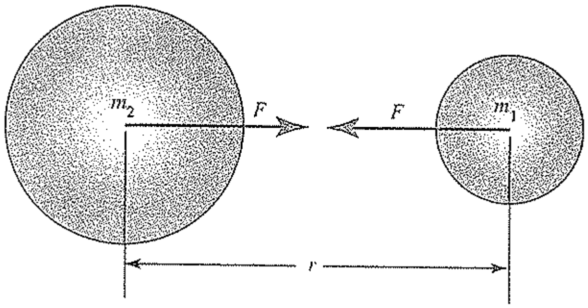
Donde G se denomina constante de gravitación universal y su valor en el S.I. es:

$$G = 6{,}67 \times 10^{-11} \frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{kg}^2}$$

La fuerza se produce siempre entre dos cuerpos (atracción gravitatoria), pero muchas veces, por su pequeño valor no se manifiesta.

© SANTILLANA

Es importante notar que, de acuerdo con el principio de acción y reacción, las fuerzas que los cuerpos se ejercen son de igual intensidad y opuestas, como se puede observar en la siguiente figura.



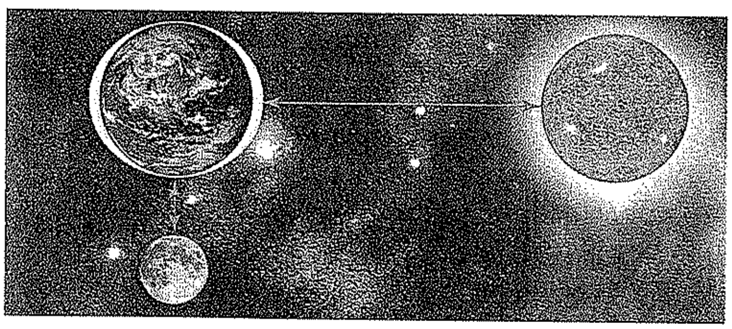
De acuerdo con la ley de gravitación universal, el Sol ejerce sobre los planetas una fuerza de atracción, F, directamente proporcional a la masa del Sol, M_s, y a la masa del planeta, m_p, en consideración. Siendo además, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, r, que separa los centros de ambos astros. Es decir,

$$F = G \cdot \frac{M_s \cdot m_p}{r^2} \qquad \text{ECUACIÓN 5.14}$$

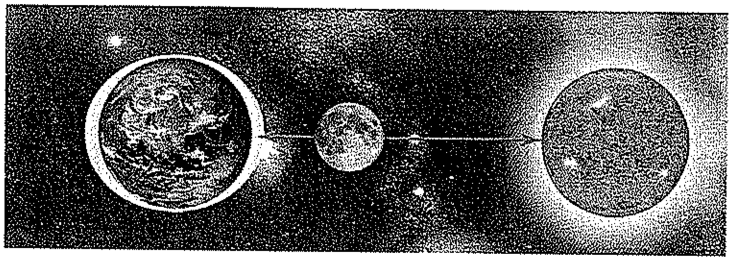
Newton con su interpretación del universo estableció que el movimiento de los planetas obedece a las mismas leyes que se aplican al movimiento de los cuerpos en la Tierra.

Debido al movimiento de rotación de la Tierra y a la acción de la fuerza gravitacional se puede explicar la producción de las mareas. En las siguientes figuras se representan las mareas solares (figura a), cuyo resultado se produce debido a la atracción ejercida por el Sol y las mareas lunares (figura b), las cuales resultan de la atracción ejercida por Luna. En las figuras, las escalas de tamaños de la deformación del agua están aumentadas con respecto al tamaño de la Tierra, con el fin de hacer visibles los efectos.

a.



b.

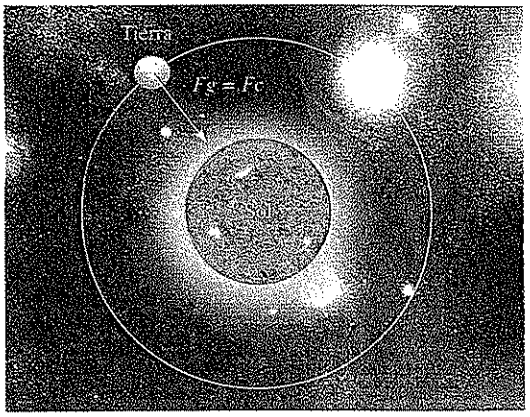


EJEMPLO

IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR

5.10 Aunque la trayectoria de los planetas es elíptica, determinar la masa del Sol, a partir del período revolución de la Tierra alrededor de él y de la distancia que los separa, asumiendo que la trayectoria es circular.

SOLUCIÓN:



La Tierra en su movimiento alrededor del Sol experimenta fuerza centrípeta, la cual se percibe como fuerza gravitacional. Si la velocidad de la Tierra en su órbita alrededor del Sol es $2,9 \times 10^4$ m/s, entonces tenemos que:

$$F_{grav} = F_c$$

Como $F_{grav} = G \cdot \frac{M_s \cdot m_T}{r^2}$ *y* $F_c = \frac{m_T \cdot v^2}{r}$ *entonces,*

$F_{grav} = F_c$ *es:*

$$G \cdot \frac{M_s \cdot m_T}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$G \cdot \frac{M_s}{r^2} = \frac{v^2}{r} \qquad \textit{Al simplificar por } m_T$$

Al reemplazar se obtiene:

$$\left(6,67 \times 10^{-11}\, N \frac{m^2}{kg^2}\right) \cdot \frac{M_s}{(1,5 \times 10^{11}\, m)} = (2,9 \times 10^4\, m/s)^2$$

Luego,

$$M_s = \frac{(2,9 \times 10^4\, m/s)^2\, (1,5 \times 10^{11}\, m)}{6,67 \times 10^{-11}\, N \cdot \frac{m^2}{kg^2}} = 1,9 \times 10^{30}\, kg$$

La masa del Sol es $1,9 \times 10^{30}$ kg. Este resultado nos permite afirmar que es posible determinar la masa de un objeto celeste a partir del período de revolución y del radio de la órbita de un objeto que gira alrededor de él.

2.3.2 Masa inercial y masa gravitacional

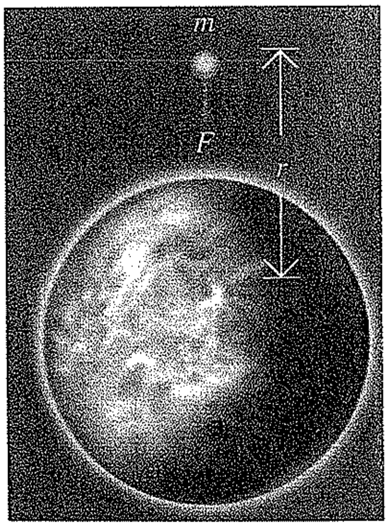


FIGURA 7

Cuando un objeto de masa m se suelta cerca de la superficie de la Tierra, actúa sobre él una fuerza de atracción dirigida hacia el centro del planeta y experimenta una aceleración que mueve al objeto de su posición inicial. A partir de la ley de gravitación universal, sabemos que sobre el objeto actúa la fuerza gravitacional F_g que se expresa como:

$$F_g = G \cdot \frac{m_T \cdot m}{r^2}$$

Donde m_T es la masa de la Tierra, m la masa del objeto, denominada **masa gravitacional**, y r es la distancia que separa el cuerpo del centro de la Tierra (figura 7).

Pero, esta fuerza origina que el objeto experimente una aceleración, que de acuerdo con la segunda ley de Newton, se define como:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

En esta expresión la masa del objeto, m, es una medida de la inercia del cuerpo, por lo cual se denomina **masa inercial**.

Para determinar la relación entre la masa inercial y la masa gravitacional, igualamos las dos expresiones para F y obtenemos que:

$$m \cdot a = G \cdot \frac{m_T \cdot m}{r^2}$$

Si las dos masas, representadas por m en ambos miembros de la igualdad tienen el mismo valor, obtenemos que:

$$a = G \cdot \frac{m_T}{r_{Tierra}^{\ 2}}$$

Así, para un objeto cerca de la superficie de la Tierra, cuya distancia al centro es $r_{Tierra} = 6{,}4 \times 10^6$ m, tenemos que:

$$a = 6{,}67 \times 10^{-11}\, N\, \frac{m^2}{kg^2} \cdot \frac{6{,}0 \times 10^{24}\ \text{kg}}{(6{,}4 \times 10^6)^2} = 9{,}8\ \text{m/s}^2$$

Este resultado muestra que suponer que las masas inercial y gravitacional tienen el mismo valor, nos lleva a encontrar un resultado que ya hemos utilizado y es que la aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra es 9,8 m/s^2. Lo cual sugiere que nos podemos referir a la masa inercial o a la masa gravitacional indistintamente como la masa del cuerpo, aunque no debemos perder de vista que sus significados son diferentes.

Así mismo, tenemos que la aceleración de la gravedad a una distancia r del centro de la Tierra es:

$$g = G \cdot \frac{m_T}{r^2} \qquad \text{ECUACIÓN 5.15}$$

Cuyo resultado indica que la aceleración de la gravedad en un punto ubicado en las proximidades de la Tierra depende de la masa de la Tierra y de la distancia a la que se encuentra el punto con respecto al centro de ella. Por tanto, cuando la distancia a la superficie de la Tierra aumenta, la aceleración de la gravedad disminuye.

En la tabla 5.4, se presentan las masas y los radios del Sol y los planetas.

TABLA 5.4

Planeta	Masa (kg)	Radio (m)
Sol	$2{,}0 \times 10^{30}$	$7{,}0 \times 10^{8}$
Mercurio	$3{,}3 \times 10^{23}$	$2{,}4 \times 10^{6}$
Venus	$4{,}9 \times 10^{24}$	$6{,}1 \times 10^{6}$
Tierra	$6{,}0 \times 10^{24}$	$6{,}4 \times 10^{6}$
Marte	$6{,}4 \times 10^{23}$	$3{,}4 \times 10^{6}$
Júpiter	$1{,}9 \times 10^{27}$	$71{,}8 \times 10^{6}$
Saturno	$5{,}6 \times 10^{26}$	$60{,}3 \times 10^{6}$
Urano	$8{,}7 \times 10^{25}$	$25{,}6 \times 10^{6}$
Neptuno	$1{,}0 \times 10^{26}$	$24{,}7 \times 10^{6}$
Plutón	$1{,}2 \times 10^{22}$	$1{,}16 \times 10^{6}$

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

5.11 Determinar a qué altura con respecto a la superficie de la Tierra la aceleración de la gravedad es igual a la aceleración de la gravedad en la Luna.

SOLUCIÓN:

La aceleración de la gravedad en la Luna es 1,6 m/s^2. Por tanto,

$$g = G \cdot \frac{m_T}{r^2} \qquad \textit{Ecuación 5.15}$$

$$r = \sqrt{\frac{G \cdot m_T}{g}} \qquad \textit{Al despejar } r$$

$$r = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11}\, N \frac{m^2}{kg^2} \cdot 6{,}0 \times 10^{24}\ kg}{1{,}6\ m/s^2}} = 1{,}6 \times 10^7\ m \qquad \textit{Al reemplazar y calcular}$$

A una distancia de 16.000 km con respecto al centro de la Tierra, la aceleración de la gravedad es 1,6 m/s^2. Puesto que el radio de la Tierra es 6.400 km, la aceleración de la gravedad a una altura de 9.600 km con respecto a la superficie de la Tierra es 1,6 m/s^2.

2.3.3 El valor de la constante de gravitación universal

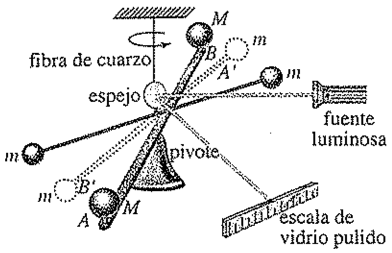


Figura 8

Se dice que en 1798, el físico británico Henry Cavendish "pesó la Tierra" cuando determinó experimentalmente el valor de la constante de gravitación universal. En la figura 8, se muestra el esquema del aparato utilizado por Cavendish para medir la fuerza gravitacional que ejercen dos cuerpos pequeños entre sí.

Los dos cuerpos de masa m están en los extremos de una varilla que cuelga de un hilo delgado construido de una fibra de cuarzo. Debido a la fuerza que las masas M, ejercen sobre las masas m, se produce una rotación en la varilla y, por tanto, el hilo se retuerce, es decir, que experimenta torsión. El ángulo de rotación de la varilla es proporcional al efecto producido por la fuerza que experimentan las esferas sujetas a la varilla. Por tanto, una medida cuidadosa del ángulo de rotación permite determinar la medida de la fuerza gravitacional que se ejercen las esferas de masas m y M.

Al calcular la fuerza, a partir de la medida del ángulo de rotación, la distancia que separa las esferas y la masa de estas, Cavendish obtuvo un valor para la constante de gravitación universal G. Una vez se determinó el valor de la constante de gravitación universal, G, fue posible determinar la masa de la Tierra.

Como la constante de gravitación universal tiene el mismo valor para la interacción entre cualquier par de objetos, haber obtenido su valor permitió determinar algunos datos acerca de los objetos celestes.

EJEMPLO — IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR

5.12 A partir del valor de la aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra, determinar:

a. La masa de la Tierra.

b. El radio que debería tener un planeta con la misma masa de la Tierra para que la aceleración de la gravedad en la superficie fuera el doble.

SOLUCIÓN:

a. *Para determinar la masa de la Tierra tenemos que:*

$$g = G \cdot \frac{m_T}{r^2} \qquad \textit{Ecuación 5.15}$$

Al despejar m_T de la ecuación, obtenemos:

$$m_T = \frac{g \cdot r^2}{G}$$

Al reemplazar se tiene:

$$m_T = \frac{(9{,}8\ m/s^2)(6{,}4 \times 10^6\ m)^2}{6{,}67 \times 10^{-11}\ N\ \frac{m^2}{kg^2}}$$

luego,

$m_T = 6{,}0 \times 10^{24}\ kg$

La masa de la Tierra es de 6×10^{24} kg.

b. *Para calcular el radio, despejamos r de la ecuación 5.15, por tanto:*

$$r = \sqrt{\frac{G \cdot m_T}{g}}$$

Como la aceleración de la gravedad debe ser el doble, entonces:

$$r = \sqrt{\frac{G \cdot m_T}{2g}}$$

$$r = \sqrt{\frac{\left(6{,}67 \times 10^{-11}\ N\frac{m^2}{kg^2}\right) \cdot \left(6{,}0 \times 10^{24}\ kg\right)}{2\ (9{,}8\ m/s)^2}} \qquad \textit{Al remplazar}$$

$$r = 4{,}5 \times 10^6\ m \qquad \textit{Al calcular}$$

El radio del planeta debería ser $4{,}5 \times 10^6$ m, cuyo valor es menor que el radio de la Tierra.

Tema 3. Rotación de sólidos

3.1 Cuerpos rígidos

Anteriormente, habíamos considerado los objetos como partículas puntuales, y establecimos que una condición para que una partícula permanezca en reposo es que la suma de las fuerzas que actúan sobre ella debe ser cero. Si consideramos que los objetos no son partículas puntuales, sino que tienen dimensiones, podemos encontrar que sobre un objeto pueden actuar fuerzas cuya suma es cero y sin embargo, no se encuentra en reposo ni se mueve en línea recta con rapidez constante.

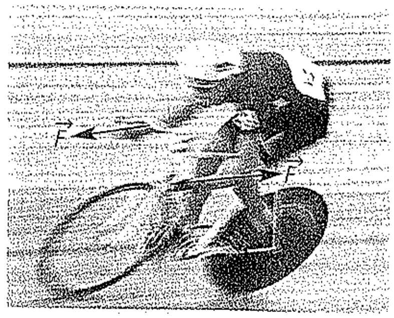


FIGURA 9

Por ejemplo, cuando un ciclista va a tomar una curva, puede ejercer fuerzas de igual intensidad a cada uno de los lados del manubrio (figura 9). Estas fuerzas son aplicadas en direcciones contrarias y, sin embargo, el manubrio no permanece en reposo sino que gira. Así, cuando consideramos que los objetos tienen dimensiones y que no son simplemente partículas puntuales, necesitamos una condición adicional para que un objeto con dimensiones se encuentre en reposo, pues no basta con que la fuerza neta sea igual a cero.

DEFINICIÓN 5.5

Los cuerpos rígidos son sólidos cuya forma es definida debido a que las partículas que los conforman se encuentran en posiciones fijas unas con respecto a otras.

Cuando se aplican fuerzas sobre un cuerpo rígido, se produce un movimiento de rotación sobre él, que depende de la dirección de las fuerzas y de su punto de aplicación. Por ahora, para comparar los efectos producidos por las fuerzas, diremos que ellas producen mayor o menor efecto de rotación. La expresión, mayor o menor efecto de rotación se refiere a la intensidad de la aceleración angular al momento de aplicar determinada fuerza.

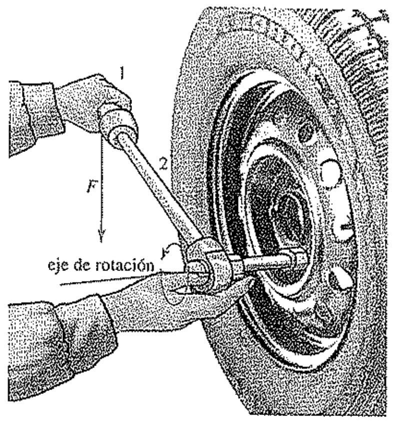


FIGURA 10a

Un ejemplo cotidiano de movimiento de rotación, se presenta al desmontar la llanta de un vehículo (figura 10a). Al aplicar una fuerza perpendicular sobre la barra en el punto 1, se produce un mayor efecto de rotación que al aplicar la misma fuerza en el punto 2. Por tal razón, resulta más fácil soltar la tuerca cuando se aplica la fuerza en el punto 1 de la barra.

Para describir las fuerzas que producen rotación debemos establecer un eje de rotación que para el caso de la figura 10a, el eje de rotación pasa por el punto *O*.

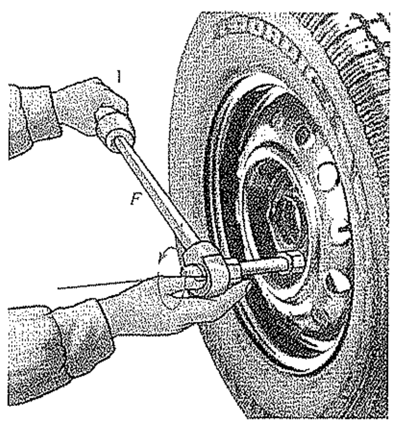


FIGURA 10b

En la figura 10b se puede observar que no se produce efecto de rotación cuando aplicamos una fuerza paralela a la barra, ni tampoco se produce efecto de rotación si la fuerza se aplica en la parte de la barra que coincide con el eje de rotación.

Por otra parte, cuanto mayor es la distancia del punto de aplicación de la fuerza al eje, mayor es el efecto de rotación que esta produce. Por ejemplo, para abrir la puerta de un vehículo, cuanto más lejos de las bisagras ejercemos una fuerza, menor intensidad deberá tener dicha fuerza. De esta manera, si queremos lograr el máximo efecto de rotación, es necesario aplicar dicha fuerza en forma perpendicular al plano de la puerta. Si la fuerza aplicada se realiza sobre el borde en el cual se encuentran las bisagras, la puerta no rota.

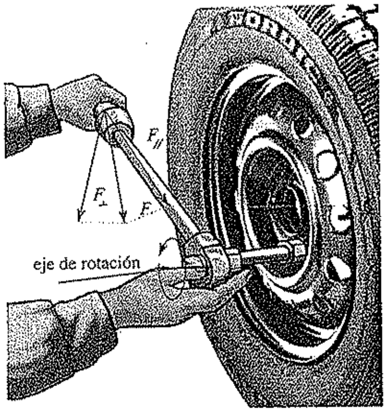
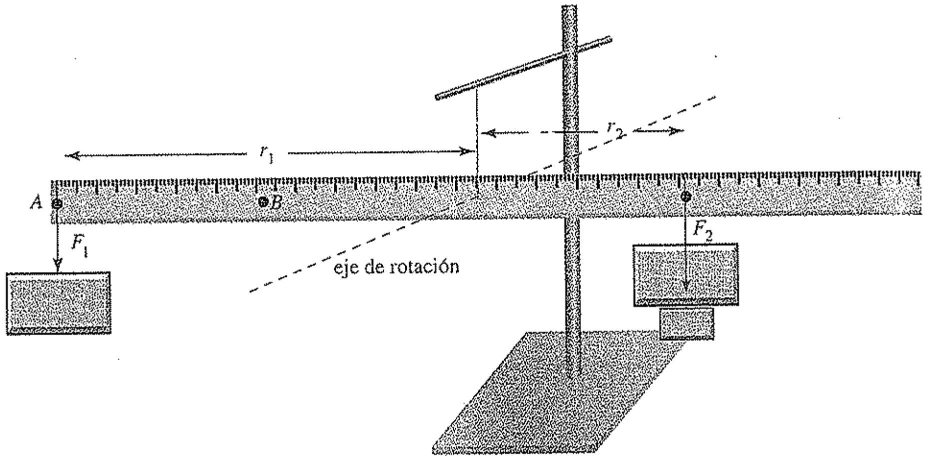


FIGURA 11

Ahora, si la fuerza que se aplica forma determinado ángulo con la barra, de tal manera que no es ni perpendicular ni paralela a ella (figura 11), en este caso, la fuerza $\vec{F}$ tiene dos componentes, la fuerza perpendicular a la barra, $F_{\perp}$, y la fuerza paralela a la barra $F_{//}$. De estas dos, sólo la fuerza perpendicular produce el efecto de rotación, pues como lo hemos dicho, las fuerzas paralelas a la barra no producen efecto de rotación.

En síntesis, se produce un efecto de rotación cuando la fuerza no es paralela a la barra o cuando su punto de aplicación es diferente al punto por el que pasa el eje de rotación.

En la siguiente figura, se muestra una regla suspendida de un hilo, a la cual se cuelga una pesa en el punto A.



Se observa que en el punto A actúa una fuerza, F_1, que produce un efecto de rotación sobre la regla. Pero, si se ejerce otra fuerza F_2 en el lado derecho de la regla, esta puede quedar en equilibrio y en posición horizontal, aunque esta fuerza no se aplique en el otro extremo. Esto se debe a que la fuerza, F_2, contrarresta el efecto de rotación producido por la fuerza F_1.

Cuando la fuerza se aplica en otro punto, por ejemplo en el punto B, ubicado entre el centro del eje de rotación y el extremo A, se requiere una fuerza, F_3 de mayor intensidad que F_1.

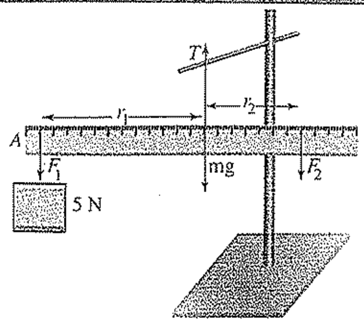
Si las fuerzas F_1 y F_2 aplicadas sobre la regla son perpendiculares a esta, la regla no gira y permanece horizontal siempre que la fuerza F_1, aplicada a una distancia r_1 del eje de rotación y la fuerza F_2, aplicada a una distancia r_2 del eje de rotación, cumplan la siguiente relación:

$$r_1 \cdot F_1 = r_2 \cdot F_2 \qquad \text{ECUACIÓN 5.16}$$

Es importante destacar que la tensión que ejerce la cuerda que sostiene la regla no produce efecto de rotación porque está aplicada en el punto O del eje de rotación. En esta situación se representa el peso de la regla en su centro de gravedad, propiedad de todo cuerpo homogéneo. Un cuerpo es homogéneo si, al dividirlo en pequeñas partes de igual tamaño, todos pesan igual. En los cuerpos homogéneos de forma regular como una lámina rectangular o circular el centro de gravedad coincide con su centro geométrico.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR



5.13 Una regla de un metro de longitud y peso igual 3 N se suspende de un hilo. Si en el extremo izquierdo se cuelga un objeto de 5 N, determinar:

a. La distancia al eje de rotación (punto de donde suspende la regla) a la que se debe aplicar una fuerza de 20 N para que la regla permanezca en equilibrio.

b. La tensión que soporta la cuerda que sostiene la regla.

SOLUCIÓN:

a. *El peso mg de la regla y la tensión que ejerce el hilo que la sostiene no producen efecto de rotación, puesto que están aplicadas en el eje de rotación. Como, las fuerzas F_1 y F_2 son perpendiculares a la regla se tiene que:*

$r_1 \cdot F_1 = r_2 \cdot F_2$ *Ecuación 5.16*

$r_2 = \dfrac{r_1 \cdot F_1}{F_2}$ *Al despejar r_2*

$r_2 = \dfrac{0{,}50\ m \cdot 5\ N}{20\ N} = 0{,}125\ m$ *Al reemplazar y calcular*

La fuerza de 20 N se debe aplicar a 12,5 cm del punto O.

b. *Se debe cumplir que las fuerzas aplicadas sobre la regla sumen cero, por tanto, para determinar la tensión de la cuerda, tenemos que:*

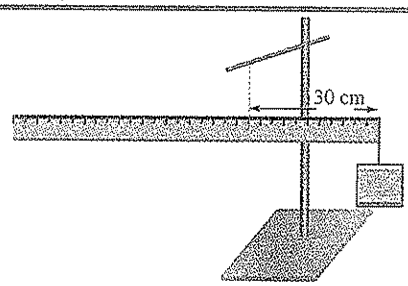
$$\vec{T} = (0, T)$$
$$mg = (0, -3)$$
$$\vec{F}_1 = (0, -5)$$
$$\vec{F}_2 = (0, -20)$$
$$\vec{F}_{neta} = (0{,}0)$$

Luego,

$$T - 3\ N - 5\ N - 20\ N = 0$$

De donde, $T = 28\ N$.

La tensión que soporta la cuerda mide 28 N.

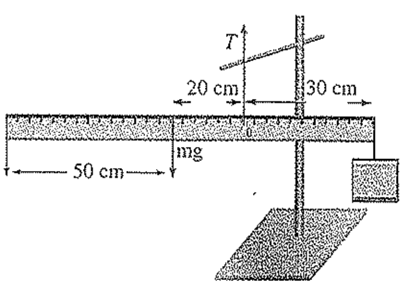


5.14 Una regla de 100 cm se suspende de una cuerda en un punto ubicado a los 30 cm de uno de sus extremos. Al colgar una pesa de masa 200 gramos en dicho extremo, la regla permanece horizontal. Si el punto de aplicación del peso en la regla es su punto medio, determinar:

a. El peso de la regla. b. La masa de la regla.

SOLUCIÓN:

a. *Sobre la regla actúan la tensión de la cuerda que la sostiene, la fuerza ejercida por la pesa cuya masa es 200 g y el peso mg de la regla. La tensión no produce efecto de rotación pues está aplicada en el eje de rotación.*



La fuerza F aplicada por la pesa es igual a su peso, es decir:

$$F = m \cdot a = 0{,}200\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 1{,}96\ N$$

Por tanto,

$$F_2 = \frac{r_1 \cdot F_1}{r_2} = \frac{0{,}30\ m \cdot 1{,}96\ N}{0{,}2\ m} = 2{,}94\ N$$

El peso de la regla es 2,94 N.

b. *La masa de la regla se obtiene mediante la expresión:*

$$m \cdot g = 2{,}94\ N$$

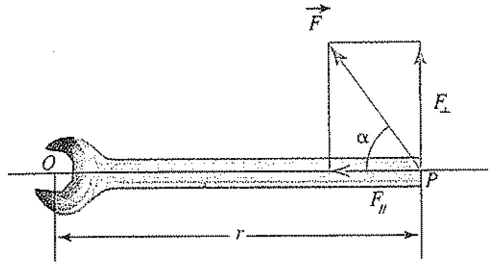
Luego,

$$m = \frac{2{,}94\ N}{9{,}8\ m/s^2} = 0{,}3\ kg$$

La masa de la regla es 300 g.

3.2 Torque o momento de una fuerza

En la siguiente figura se representa una llave sobre la cual se aplica una fuerza $\vec{F}$ en el punto P. En donde r corresponde a la distancia entre el eje de rotación O y el punto de aplicación de la fuerza; mientras que α es el ángulo que forma la fuerza con la línea OP.



Se puede observar que para la fuerza $\vec{F}$, se pueden determinar dos componentes perpendiculares, una paralela a la línea OP que se nota con $F_{//}$ y otra perpendicular a la misma línea que se nota con $F_{\perp}$. Pero, como se ha venido mencionando, sólo la fuerza perpendicular a la línea OP es la que produce un efecto de rotación.

Para estudiar el efecto de rotación producido por una fuerza que se aplica sobre un cuerpo rígido, debemos tener en cuenta la intensidad y la dirección de dicha fuerza, además de la distancia entre el punto de aplicación y el eje de rotación.

Definimos **torque o momento**, τ, de una fuerza $\vec{F}$ aplicada a una distancia r del eje de rotación como:

$$\tau = r \cdot F_{\perp}$$ ECUACIÓN 5.17

Puesto que la línea que une el eje de rotación y el punto de aplicación forma con la fuerza $\vec{F}$ un ángulo α, tenemos que:

$$F_{\perp} = F \cdot sen\, \alpha$$

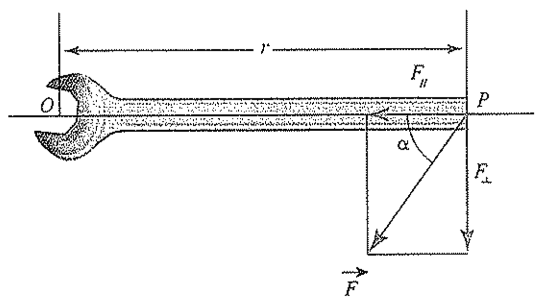
Luego,

$$\tau = r \cdot F\, sen\, \alpha$$ ECUACIÓN 5.18

En el S.I. el torque se expresa en N · m.

Cuando comparamos los efectos de rotación producidos por las fuerzas $\vec{F}$ representadas en la figura anterior, encontramos que tales efectos se producen en sentidos contrarios, lo cual hace necesario que consideremos los torques positivos o negativos según sea el sentido de la rotación que produce la fuerza aplicada.

Si la fuerza aplicada produce una rotación en dirección contraria al movimiento de las manecillas del reloj, consideramos que el torque es positivo (figura anterior), en caso contrario el torque es negativo, como lo muestra la figura.



Aplicando la definición de torque a la situación anterior tenemos que:

- Si la fuerza aplicada es perpendicular a la línea que une el eje de rotación y el punto de aplicación de la fuerza (figura 12a), entonces a partir de la ecuación 5.18 obtenemos:

$$\tau = r \cdot F\, sen\, \alpha$$
$$\tau = r \cdot F\, sen\, 90°$$

Como el sen 90° = 1, entonces,

$$\tau = r \cdot F$$

- Si la fuerza aplicada es paralela a la línea que une el eje de rotación y el punto de aplicación de la fuerza (figura 12b), de esta manera:

$$\tau = r \cdot F\, sen\, \alpha$$
$$\tau = r \cdot F\, sen\, 0°$$

Como el sen 0° = 0, entonces,

$$\tau = 0$$

- Si la fuerza se aplica sobre el eje de rotación (figura 12c), r es igual a cero, por tanto, $\tau = 0$.

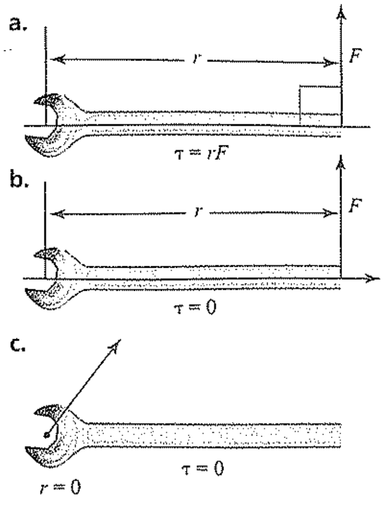
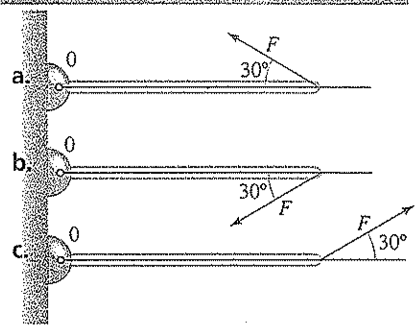


FIGURA 12

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

5.15 En la figura se muestran tres barras de 2 metros de largo que pueden girar alrededor de un pivote, O. En uno de los extremos se aplica una fuerza de 50 N que forma con la barra un ángulo de 30°. Determinar el valor del torque en cada caso.



SOLUCIÓN:

a. *En la figura a, la fuerza F produce rotación alrededor del pivote en dirección contraria a las manecillas del reloj, por tanto, el torque es positivo, es decir:*

$\tau_F = r \cdot F \cdot sen\, \alpha$	*Ecuación 5.18*
$\tau_F = 2\ m \cdot 50\ N \cdot sen\ 30°$	*Al reemplazar*
$\tau_F = 50\ N \cdot m$	*Al calcular*

El torque τ_F producido por la fuerza F es 50 N · m.

b. *En la figura b, la fuerza F produce rotación alrededor del pivote en la dirección de las manecillas del reloj, por tanto, el torque es negativo.*

$\tau_F = -r \cdot F \cdot sen\, \alpha$	*Ecuación 5.18*
$\tau_F = -2\ m \cdot 50\ N \cdot sen\ 30°$	*Al reemplazar*
$\tau_F = -50\ N \cdot m$	*Al calcular*

El torque producido por las fuerza F es −50 N · m.

c. *En la figura c, la fuerza F produce rotación alrededor del pivote en dirección contraria a las manecillas del reloj, por tanto, el torque es positivo.*

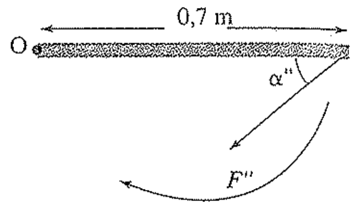
$\tau_F = r \cdot F \cdot sen\, \alpha$	*Ecuación 5.18*
$\tau_F = 2\ m \cdot 50\ N \cdot sen\ 30°$	*Al reemplazar*
$\tau_F = 50\ N \cdot m$	*Al calcular*

El torque producido por la fuerza F es 50 N · m.

5.16 De acuerdo con la figura, calcular el valor del torque para los siguientes casos:

a. La fuerza $\vec{F}$ mide 50 N, es aplicada a 0,7 m del eje y el ángulo α" entre la fuerza y la barra mide 37°.

b. La fuerza $\vec{F}$ mide 50 N, es aplicada a 0,7 m del eje y el ángulo α" entre la fuerza y la barra mide 53°.



Sentido de la rotación

SOLUCIÓN:

a. El torque está dado por:

$$\tau = -r \cdot F \cdot sen\, \alpha$$

Como el ángulo mide 37°, el torque es:

$$\tau = -0{,}7\, m \cdot 50\, N \cdot sen\, 37° = -21{,}06\, Nm$$

Se considera negativo porque debido a esta fuerza, la barra gira en el sentido de las manecillas del reloj.

b. Como el ángulo mide 53°, el torque es:

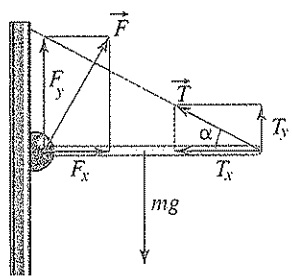
$$\tau = -r \cdot F\, sen\, \alpha$$

$$\tau = -0{,}7\, m \cdot 50\, N\, sen\, 53° = -27{,}9\, Nm$$

Se considera negativo debido a que la barra gira en la dirección de las manecillas del reloj.

3.3 Condiciones de equilibrio para cuerpos rígidos

En la siguiente figura, se representa una barra homogénea de longitud l sujeta a una pared mediante un pivote. Una cuerda que forma con la barra un ángulo α la sostiene por el otro extremo.



Cuando la barra permanece en equilibrio estático, se debe cumplir que la suma de las fuerzas que actúan sobre ella sea igual a cero.

Por otra parte, como la barra no experimenta movimiento de rotación, la suma de los torques producidas por las fuerzas que actúan sobre ella es igual a cero. Esto es equivalente a afirmar que, la suma de los torques de las fuerzas que producen rotación en el sentido de las manecillas del reloj, es igual a, la suma de los torques de las fuerzas que producen rotación en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Entonces, tenemos dos condiciones para que un cuerpo rígido permanezca en equilibrio estático:

- La fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es cero, es decir:

$$\vec{F} = (F_x, F_y)$$
$$\vec{T} = (-T_x, T_y)$$
$$\underline{m\vec{g} = (0, -mg)}$$
$$\vec{F}_{neta} = (0, 0)$$

- El torque neto (suma de los torques) con respecto a cualquier eje de rotación es cero:

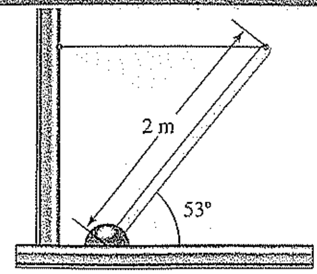
$$-\tau_{mg} + \tau_T + \tau_F = 0;\ (\tau_F = 0)$$

EJEMPLO

IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR

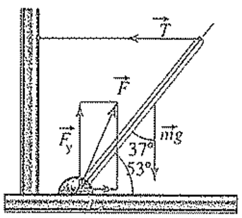
5.17 Una barra homogénea de 2 m de largo y peso 100 N está sujeta por uno de sus extremos a una pared vertical por medio de una cuerda. El otro extremo está sujeto al piso por medio de un pivote. Determinar:

a. La tensión que soporta la cuerda.
b. La fuerza ejercida por el pivote *O* sobre la barra.



SOLUCIÓN:

a. *Dibujamos las fuerzas que actúan sobre la barra. El pivote O ejerce una fuerza F cuyas componentes son F_y ejercida hacia arriba y F_x que evita que la barra se deslice hacia la pared. El peso de la barra se representa en el centro de la misma. La cuerda ejerce una tensión T.*



Puesto que la tabla se encuentra en equilibrio, la fuerza neta es igual a cero, por tanto:

$\vec{F} = (F_x, F_y)$ *De donde,* $F_x = T$

$\vec{T} = (-T, 0)$ $F_y = 100\ N$

$m\vec{g} = \underline{(0, -100)}$

$\vec{F}_{neta} = (0, 0)$

b. *Elegimos como eje de rotación el pivote O, lo cual facilita los cálculos dado que no conocemos la norma del vector $\vec{F}$. Con esta elección para el eje de rotación, el torque producido por la fuerza $\vec{F}$ es cero. Como el torque neto es cero, tenemos que:*

$$-\tau_{mg} + \tau_T + \tau_F = 0$$

$$-\frac{l}{2} \cdot mg \cdot sen\ 37° + l \cdot T \cdot sen\ 53° + 0 = 0$$

$$-\frac{2\ m}{2} \cdot 100\ N \cdot sen\ 37° + 2\ m \cdot T \cdot sen\ 53° = 0$$

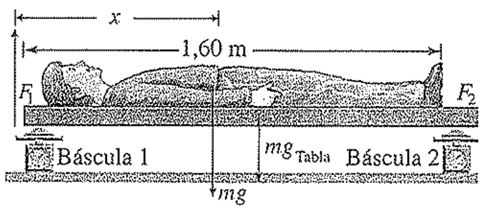
$$T = 37{,}7\ N$$

Como $F_x = T$ tenemos que $F_x = 37{,}7$ N.

Por tanto, la tensión que ejerce la cuerda es 37,7 N y la fuerza ejercida por el pivote es el vector (37,7; 100) con sus componentes medidas en N, cuya norma es 107 N y forma con el piso un ángulo de 69°.

5.18 Para determinar su centro de gravedad, una persona se acuesta en una tabla homogénea horizontal de peso 50 N que está apoyada sobre dos básculas, tal como se muestra en la figura. Si la báscula 1 indica una medida de 266 N y la báscula 2 indica una medida de 234 N, determinar:

a. El peso de la persona.
b. La posición del centro de gravedad de la persona.



SOLUCIÓN:

a. *En la figura se representan las fuerzas que actúan sobre el conjunto tabla-persona. Puesto que las básculas marcan entre las dos un peso de 266 N + 234 N = 500 N y la tabla pesa 50 N tenemos que el peso de la persona es 450 N.*

b. *Para determinar la posición del centro de gravedad, tomamos como eje de rotación O, la báscula 1 y llamamos x a la distancia entre el centro de gravedad de la persona y el punto O.*

El torque producido por la fuerza F_1 es igual a cero. Como el sistema se encuentra en equilibrio, la suma de los torques es igual a cero. Por tanto,

$$\tau_{F_1} + \tau_{F_2} + \tau_{mg_{tabla}} + \tau_{mg_{persona}} = 0$$

$$0 + 1{,}60\ m \cdot 234\ N - 0{,}80\ m \cdot 50\ N - x \cdot 450\ N = 0$$

$$x = 0{,}74\ m$$

El centro de gravedad de la persona está a 74 cm por debajo de la parte superior de la cabeza.

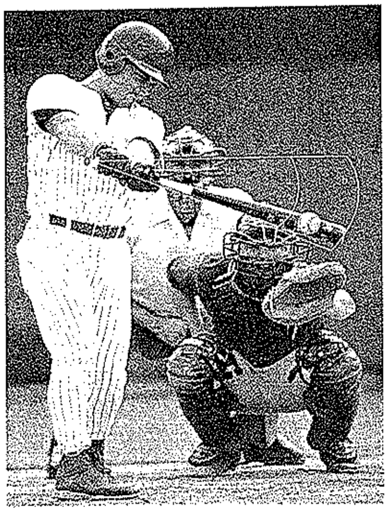


FIGURA 13

3.4 La cantidad de movimiento angular

Consideremos que un bateador produce sobre el bate un movimiento de rotación (figura 13). Aunque la velocidad angular de todos los puntos del bate sea la misma, no todos los puntos se mueven con la misma velocidad lineal, puesto que hay puntos del bate que se encuentran a mayor distancia del eje de rotación que otros y, como lo hemos estudiado, cuanto mayor es la distancia del punto al eje de rotación, mayor es la velocidad lineal. De la misma manera, la cantidad de movimiento de un trozo de bate tomado en el punto A es menor que la cantidad de movimiento de un trozo de bate idéntico tomado en el punto B, pues aunque sus masas son iguales, sus velocidades lineales son diferentes.

En la figura 13 se muestra la trayectoria descrita por el punto A del bate que gira alrededor del punto O. Si la cantidad de movimiento de una partícula en el punto A del bate es p, decimos que el valor de la cantidad de movimiento angular, L, de dicha partícula es:

$$L = r \cdot p \qquad \text{ECUACIÓN 5.19}$$

Es decir, que a un cuerpo que describe una trayectoria circular de radio r, se le asigna cantidad de movimiento angular, L que se calcula como el producto de su radio por la cantidad de movimiento. Si la norma de la velocidad es constante, la norma de la cantidad de movimiento, p, es constante, por tanto, la cantidad de movimiento angular, L, es constante. Por otra parte, la aceleración tangencial de un objeto que describe un movimiento circular uniforme es cero, por lo cual, sobre él no actúan fuerzas en la dirección tangencial (dirección perpendicular al radio). En consecuencia, no actúan torques sobre el objeto.

Tenemos entonces que, si sobre un objeto que gira alrededor de un eje no actúan torques, la cantidad de movimiento angular se conserva.

Si un cuerpo describe una trayectoria circular de radio r y la norma de la cantidad de movimiento es p, la cantidad de movimiento angular es:

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

Como, $v = \omega \cdot r$ tenemos que:

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

A partir de esta expresión, concluimos que, si la cantidad de movimiento angular L de un sistema se conserva al disminuir el radio, r, aumenta la velocidad angular, ω. Este hecho explica por qué los deportistas que se lanzan desde altos trampolines encogen sus piernas para disminuir el radio y así aumentar su velocidad angular.

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

5.19 Calcular el momento angular de una pelota de 200 g que gira en el extremo de un hilo, en un círculo de 1,0 m de radio, a una velocidad de 9,54 rad/s.

SOLUCIÓN:

El momento angular de la pelota está dado por la expresión

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

Por tanto:

$$L = (0{,}200\ kg)(9{,}54\ rad/s)(1{,}0\ m)^2$$

$$L = 1{,}908\ N \cdot m$$

El momento angular de la pelota es 1,908 N · m

Resumen de la unidad

SUMARIO DE CONCEPTOS

ACELERACIÓN TANGENCIAL: aceleración tangente a la trayectoria que se relaciona con la variación de la norma de la velocidad.

ACELERACIÓN CENTRÍPETA: aceleración cuya dirección es radial hacia el centro de la trayectoria.

CUERPO RÍGIDO: cuerpo sólido con forma definida debido a que las partículas que lo conforman se encuentran en posiciones fijas unas respecto a otras.

FUERZA CENTRÍPETA: fuerza que actúa sobre un cuerpo que describe una trayectoria curva, en dirección radial y hacia el centro.

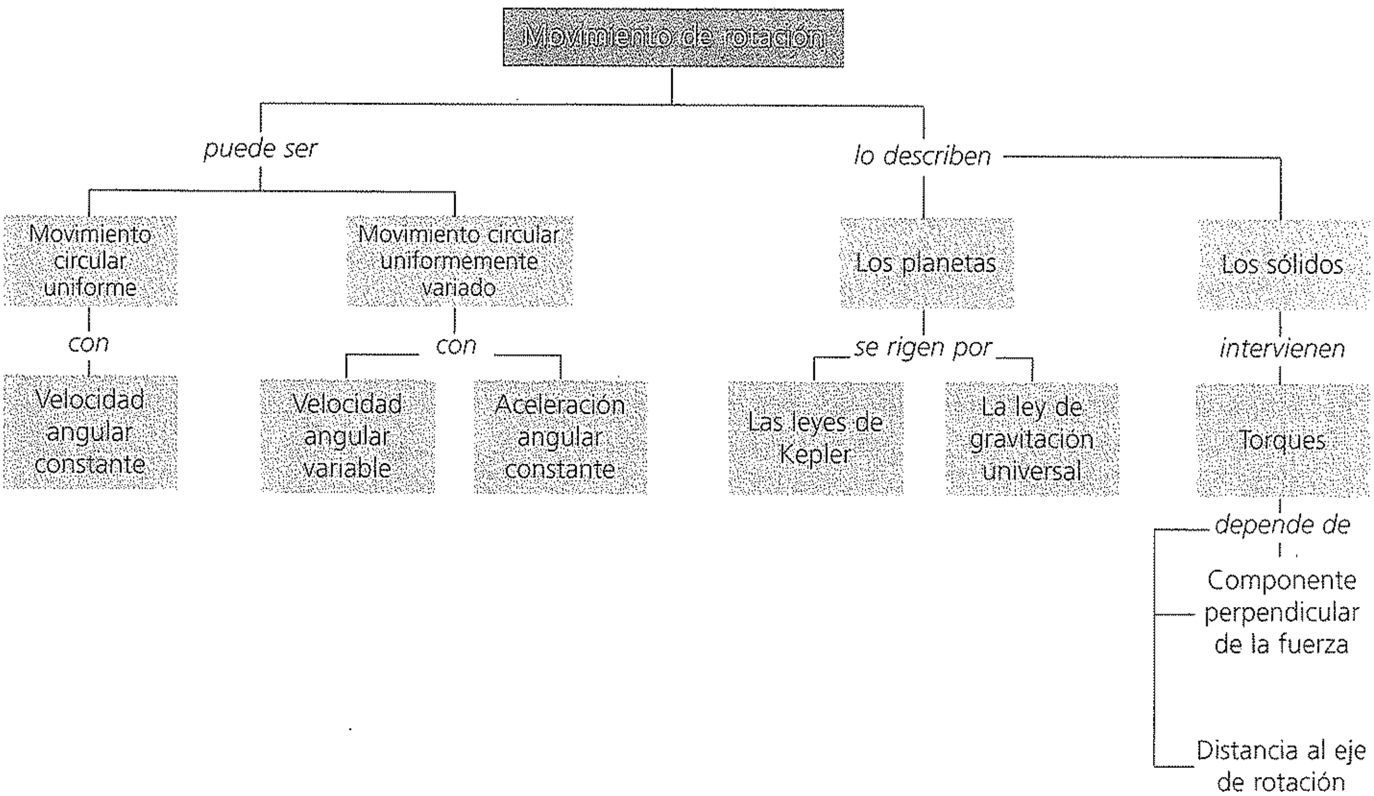
MODELO GEOCÉNTRICO: modelo en el que se considera la Tierra en el centro del universo.

MODELO HELIOCÉNTRICO: modelo en el que se considera que los planetas giran alrededor del Sol.

MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME: movimiento descrito por un objeto que sigue una trayectoria circular con velocidad angular constante.

TORQUE O MOMENTO DE UNA FUERZA: producto del valor de la componente perpendicular de la fuerza aplicada sobre un objeto por la distancia al eje de rotación.

MAPA DE CONCEPTOS

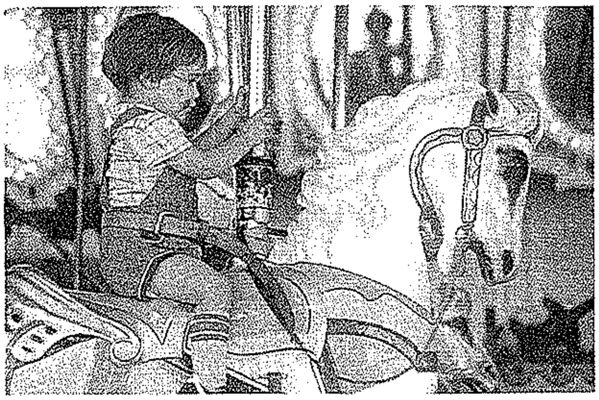


© SANTILLANA

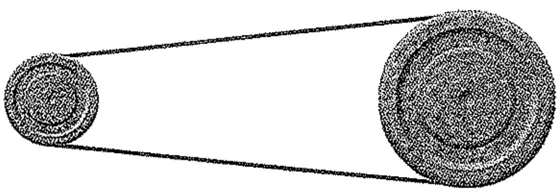
Tema 1. El movimiento circular

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

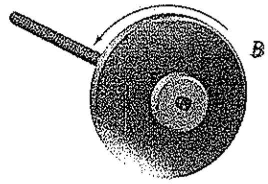
1. En un carrusel infantil, algunos caballos se encuentran ubicados más cerca al borde que otros. ¿Cuáles caballos se mueven con mayor rapidez, los que se encuentran cerca del centro o los que se encuentran cerca del borde exterior? Justifica tu respuesta.



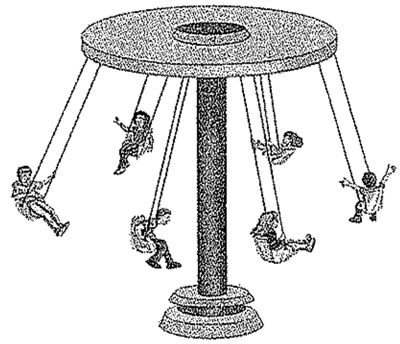
2. ¿Por qué en una competencia de ciclismo de pista, cuando un competidor desea adelantar a otro lo hace por la parte interior de la pista?
3. ¿Tiene la misma velocidad angular una persona que está situada cerca de uno de los polos de la Tierra que otra situada en el ecuador?, ¿qué puedes afirmar de su velocidad?
4. Se hacen girar las ruedas de una bicicleta antigua, la cual tiene una rueda cuyo tamaño es tres veces mayor que la segunda rueda. ¿Cuál de las dos ruedas emplea mayor tiempo para dar una vuelta?, ¿por qué?
5. Si dos ruedas se unen por una correa como se muestra en la figura, ¿qué sucede con cada rueda y con este sistema? Explica tu respuesta.



6. ¿Por qué cuando un trompo está girando y choca contra un obstáculo, sale disparado?
7. Si un automóvil toma una curva a muy alta velocidad ¿entonces podemos decir que el cinturón de seguridad ejerce sobre la persona una fuerza centrípeta o una fuerza centrífuga? Justifica tu respuesta.
8. ¿Cuál de las tres ruedas de la gráfica posee una mayor velocidad?



9. ¿Cómo giran las ruedas traseras de un tractor con respecto a sus ruedas delanteras? ¿Cómo se relacionan sus velocidades angulares?
10. Una araña camina de afuera hacia adentro en línea recta sobre un disco en movimiento. Describe el movimiento de la araña para un observador que se encuentra fuera del disco.
11. Una piedra atada a una cuerda, gira a causa del movimiento de la mano de un niño. ¿Qué pasaría con la piedra si la cuerda se rompe? Explica tu respuesta.
12. ¿Por qué cuando un tiovivo se encuentra en movimiento, las cuerdas que sostienen las sillas se inclinan hacia fuera? Explica tu respuesta.



13. Un automóvil se desplaza con velocidad constante por una carretera rectilínea. ¿Cómo son las velocidades angulares de todos los puntos de una de sus ruedas?, ¿cómo son sus velocidades lineales?

14. Si se coloca un objeto sobre un disco que está girando, ¿qué pasa con el objeto? Justifica tu respuesta.

15. Las curvas en las carreteras se construyen con peralte. ¿De qué factores depende que el constructor le dé mayor o menor ángulo de peralte a la curva?

16. ¿Es posible que un cuerpo que describe un movimiento circular uniforme pueda tener aceleración centrípeta? Justifica tu respuesta.

17. Cuando la regla de una bicicleta en movimiento arroja barro, ¿en qué dirección es lanzado?

18. ¿Por qué en la prueba de atletismo de los 400 metros planos, los corredores no se colocan todos en la misma línea de pista, sino que lo hacen formando una diagonal? Explica tu respuesta.

19. ¿Por qué no es cierto que la velocidad lineal de un objeto que describe un movimiento circular uniforme permanece constante?

PROBLEMAS

20. Una rueda tiene un diámetro de 10 m, si la rueda describe una vuelta cada 15 segundos.
    a. ¿Cuál es la distancia recorrida por un punto de la periferia de la rueda?
    b. ¿Cuál es la rapidez en dicho punto?

21. ¿Cuál es la velocidad lineal y angular que describe una hormiga situada en la superficie de un disco de radio 35,2 cm, si el tiempo que emplea en dar una vuelta es de 12 segundos?

22. Si un ciclista realiza tres vueltas en una pista circular, empleando en total 8,56 minutos, ¿cuál es su velocidad angular?

23. Encuentra la velocidad angular y la velocidad lineal de un disco que posee un movimiento circular uniforme, si su período es de 1,8 s y su radio de 80 cm.

24. Un móvil recorre una circunferencia de 15 cm de radio, dando dos vueltas cada 3 segundos.
    a. ¿Cuál es su velocidad tangencial?
    b. ¿Cuál es su aceleración centrípeta?

25. Un patinador recorre una pista circular por su periferia. Si la pista tiene un diámetro de 20 m y el tiempo que emplea en dar una vuelta el ciclista es de 1,28 minutos:
    a. ¿Cuál es la velocidad angular?
    b. ¿Cuál es la velocidad lineal del ciclista?

26. Un objeto describe un movimiento circular uniforme y da 250 vueltas en 1.200 segundos, si la circunferencia que describe tiene un radio de 75 cm, calcula:
    a. La velocidad angular.
    b. La velocidad lineal.
    c. La aceleración centrípeta.

27. Si la hélice de un helicóptero gira a 17.500 r.p.m., calcula:
    a. Su frecuencia.
    b. Su período de revolución.

28. Un CD gira a 2.000 r.p.m.
    a. Determina el período de revolución.
    b. Calcula la velocidad angular con que gira.

29. Si un motor gira 5.000 r.p.m., calcula:
    a. Su período de revolución.
    b. Su velocidad angular.

30. Un aro gira a 200 r.p.m. ¿Cuál es el tiempo que tarda en dar una vuelta?

31. Calcula la velocidad lineal de un volante que posee un movimiento circular uniforme de 2.500 r.p.m. y un radio de 0,9 m.

32. ¿Cuál es la frecuencia de un disco de 6 cm de radio, que gira con una velocidad lineal de 12 cm/s?

33. Un objeto se sitúa a 0,7 m del centro de giro de un disco. Si la velocidad lineal del objeto es de 16 m/s.
    a. ¿Cuál es su período?
    b. ¿Cuál es su velocidad angular?

34. Una rueda gira con un período de 4 s, a 0,35 metros del centro, calcula:
    a. La velocidad angular.
    b. La velocidad lineal.

35. Calcula la rapidez lineal y la aceleración centrípeta de un objeto ubicado en el ecuador, si el radio de la Tierra es de 6.400 km.

36. Una de las ruedas de un auto de juguete describe un movimiento circular, realizando 20 vueltas en 8 segundos.

a. ¿Cuál es su frecuencia?

b. ¿Cuál es el período de su movimiento?

37. Una bicicleta se desliza a 50 km/h de rapidez. Si el diámetro de las ruedas es 60 cm, calcula la rapidez angular de las ruedas.

38. En una bicicleta, el piñón de los pedales tiene 20 dientes y el piñón trasero 10. Cada vez que los pedales dan una vuelta, ¿cuántas vueltas da la rueda trasera?

39. Una partícula se mueve con una rapidez de 15 m/s y demora 3 s en completar la trayectoria circular. Calcula:

a. La velocidad angular de la partícula.

b. La aceleración centrípeta.

40. Un niño juega con un yoyo haciéndolo girar. Si el yoyo tiene una masa de 0,3 kg y la cuerda de la cual está amarrado tiene una longitud de 0,7 m. ¿Qué tensión se produce en la cuerda al realizar el yoyo una vuelta completa cada segundo?

41. Una rueda de 35 cm de diámetro realiza 40 giros en 9 segundos. Determina su período, frecuencia, velocidad angular, velocidad lineal y aceleración centrípeta.

42. Un auto, cuyas ruedas tienen un diámetro de 80 cm, parte del reposo y acelera uniformemente hasta alcanzar 72 km/h en 20 s. ¿Cuántas vueltas alcanza a dar cada rueda en ese tiempo?

43. En una fabrica, uno de los aparatos se maneja con una rueda de radio 30 cm y velocidad angular de 20 rad/s.

A partir del momento en que el aparato es desconectado, la rueda tarda 2,5 segundos en detenerse. ¿Cuántas vueltas alcanza a dar la rueda en ese tiempo?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

44. Un automóvil recorre una pista de carreras circular que tiene un radio de 45 m y tarda 10 segundos en dar una vuelta.

¿Qué fuerza deben ejercer las llantas del automóvil contra el piso si el automóvil tiene una masa de 610 kg, para poder mantener su movimiento circular?

45. Una esfera cuya masa es de 20 g gira en un plano horizontal con velocidad angular constante. En un determinado instante de su movimiento, la esfera se encuentra en el punto (4, 5) y 20 s después en el punto (24, 25), describiendo media revolución. ¿Cuál es el valor de la fuerza centrípeta que actúa sobre la bola?

46. Un auto recorre una pista circular de 1.609 km de radio y da 30 vueltas cada 20 minutos, calcula:

a. El período y la frecuencia.

b. La velocidad lineal.

c. La velocidad angular.

d. La aceleración centrípeta.

47. Un vehículo que toma con velocidad v, una curva peraltada de radio r. Si el coeficiente de rozamiento estático de μ y la masa m. Plantea la ecuación para hallar el ángulo de peralte de la curva.

48. En un parque de diversiones, varias personas se divierten en un tiovivo. Cuando el tiovivo se encuentra en funcionamiento, las cadenas que sostienen las sillas forman un ángulo de 25° con la vertical. Si tarda 7 segundos en dar una vuelta, calcula:

a. La velocidad angular del sistema.

b. La velocidad lineal de una silla, si la longitud de cada cadena es de 5 m.

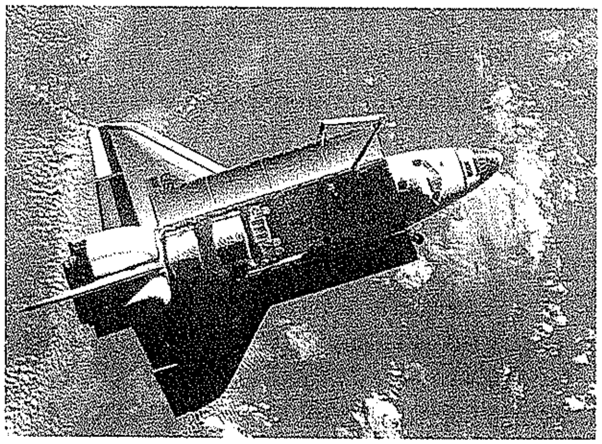
c. La tensión en la cadena, si en la silla va montada una persona de 63 kg de masa y la silla tiene 9 kg de masa.

49. Dos bloques de masas m_1 y m_2 están conectados entre sí, de tal manera que ambos giran alrededor del centro con una frecuencia f. Si las distancias al centro son R_1 y R_2, encuentra la tensión del cable que las une.

Tema 2. La mecánica celeste

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Por qué razón cuando miras el cielo en diferentes épocas del año, no siempre ves las mismas estrellas? Justifica tu respuesta.
2. Si todos los objetos se dirigen al centro de la Tierra, ¿por qué razón la Luna no se estrella con la Tierra?
3. ¿Qué sucedería con el polo norte y con los países que se encuentran en el ecuador, si la Luna no ejerciera fuerza e inclinara la Tierra para producir las estaciones? Justifica tu respuesta.
4. ¿Por qué razón la Tierra se mantiene en su órbita alrededor del Sol? Explica tu respuesta.
5. Si un observador en la superficie terrestre observa un satélite estacionario, ¿puede afirmar que éste se encuentra inmóvil? Justifica tu respuesta
6. Si no existiera ninguna fuerza de atracción sobre un satélite, ¿cuál sería su trayectoria?
7. ¿En cuál lugar pesará más un objeto, en el polo norte o en el ecuador? Justifica tu respuesta.
8. Si pudieras volar como Superman, y despegaras en línea recta hacia el espacio, ¿crees que volverías otra vez a la Tierra? Explica tu respuesta.
9. ¿Cuándo crees que consume más combustible un trasbordador espacial, cuando viaja de la Tierra a la Luna o cuando viaja de la Luna a la Tierra? Explica tu respuesta.



10. ¿Se puede asociar el movimiento que realiza la pelota de la ruleta de un casino con el movimiento que realiza la Tierra alrededor del Sol? Justifica tu respuesta.
11. En una clase de física, el profesor explica a sus estudiantes que la Tierra ejerce hacia los cuerpos una fuerza de atracción. Un estudiante afirma que este fenómeno se puede comparar con la atracción que ejerce un imán hacia una puntilla de hierro. ¿Es cierta esta afirmación? Explica tu respuesta.
12. ¿Es más rápido el movimiento de la Tierra cuando está más cerca del Sol que cuando se encuentra más lejos de él? ¿Por qué?
13. ¿En qué factor se incrementa el peso de una persona si la masa de la Tierra fuera cuatro veces mayor?
14. Si llevas un reloj de péndulo desde el ecuador al polo norte, ¿se adelantará o se atrasará? Justifica tu respuesta.
15. Si en nuestro sistema solar se descubriera un pequeño planeta cuyo período fuera de dos años y medio, ¿cuál debería ser su distancia media al Sol?

PROBLEMAS

16. Un globo con helio se eleva desde la superficie de la Tierra a una altura de 50 km. ¿Cuál es la aceleración de la gravedad a esa altura?
17. Un estudiante de astronomía afirma que descubrió un planeta pequeño, cuyo período es $T = 5$ años y la distancia media al Sol $r = 600$ millones de km.
    a. ¿Es posible que tales datos confirmen la tercera ley de Kepler?
    b. ¿Existirá este planeta en nuestro sistema? Justifica tu respuesta.
18. Dos novios se encuentran separados de su centro una distancia igual a 2m. Él tiene una masa de 68 kg y ella una masa de 60 kg, ¿cuál es la fuerza de atracción que existe entre la pareja?
19. ¿A qué altura sobre la superficie de la Tierra, la aceleración de la gravedad terrestre es de 4,9 m/s^2?

ACTIVIDADES

20. Calcula la fuerza gravitacional que la Luna ejerce sobre tu cuerpo en kg.

21. Dos masas de 4 kg y 5 kg respectivamente, se atraen por medio de una fuerza de $5{,}6 \times 10^{-9}$ N. Calcula a qué distancia se encuentran las masas.

22. Dos trenes están separados por su centros una distancia de 8 m. Si los trenes se encuentran en rieles contiguos y la masa de cada uno es igual a 298.000 kg, ¿qué fuerza gravitacional existe entre ellos?

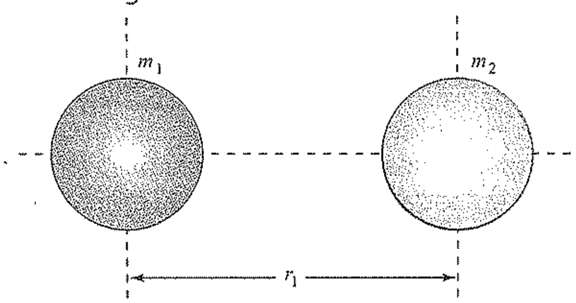
23. Dos naves extraterrestres, cada una con una masa igual de 1.800 kg, se encuentran en órbita a 40 m de distancia una de la otra.

a. ¿Cuál es el valor de la fuerza gravitacional existente entre ellas?

b. ¿Cuál es la aceleración inicial que la fuerza gravitacional le imprime a cada una?

24. Una de las lunas de Júpiter conocida como Calixto tiene un período de rotación de 169 días en torno al gigante planeta. Si la fuerza gravitacional es de $1{,}9 \times 10^{24}$ N, ¿cuál sería el nuevo valor de esta fuerza si la masa de Júpiter se redujera a la mitad?

25. Dos esferas se encuentran separadas, como lo indica la figura.



Si las dos masas son iguales en su peso de 220 lb y la distancia que las separa de centro a centro es 1,5 m, ¿cuál es la atracción gravitacional existente entre ellas?

26. Si Plutón tiene un período de traslación expresado en años de 248 y la distancia del Sol en u.a. (unidades astronómicas) es de 39,4, ¿cuántas vueltas daría la Tierra alrededor del Sol, mientras Plutón da una vuelta?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

27. Debido a la rotación de la Tierra el peso de cualquier objeto experimenta una variación.

a. ¿En qué porcentaje cambiará el peso de una persona de masa 55 kg que se encuentra situada en el polo, cuyo diámetro polar es de 12.714 km?

b. Si otra persona de 62 kg se encuentra ubicada en el ecuador donde el diámetro ecuatorial de la Tierra es de 12.756 km, ¿en qué porcentaje cambiaría el peso de esta persona?

28. La fuerza de atracción gravitacional entre una bala de un arma, cuyo peso es 15 kg y una esfera de vidrio, con su centro a 25 cm de distancia, es de $1{,}5 \times 10^{-9}$ N. ¿Cuál es la masa de la esfera de vidrio?

29. Se tiene una esfera de acero con un masa de 1 kg. Si la fuerza de atracción gravitacional es 10 N, ¿a qué distancia de la Tierra se encontraria?

30. El Sol tiene una masa de $1{,}9891 \times 10^{30}$ kg y un radio $6{,}96 \times 10^{8}$ m. Calcula:

a. El valor de la gravedad en su superficie.

b. El peso un objeto de 60 kg situado allí.

31. Un objeto tiene un peso en un determinado planeta y es el doble que en la Tierra. Calcula el valor de la gravedad en dicho planeta.

32. Una estrella gira alrededor de otra en una órbita de radio 8×10^{10} m. Si el período de revolución es de 12,6 años, determina la masa de la estrella alrededor de la cual gira la otra.

33. La aceleración de la gravedad en la Luna es de $1{,}6\ m/s^2$. Calcula:

a. El peso en la Luna de una persona cuya masa es de 70 kg.

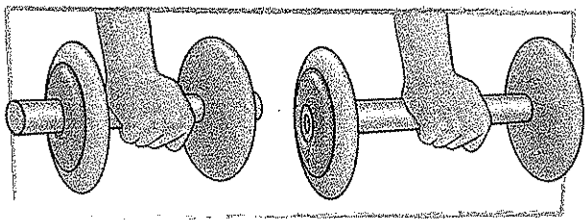
b. La altura que alcanzaría una pelota lanzada desde el suelo en dirección vertical con una velocidad de 25 km/h.

34. Si se sabe que la masa de la Tierra es de 6×10^{24} kg y que su radio es de 6.378 km, calcula la fuerza sobre un satélite artificial de 200 kg de masa que orbita a 36.000 km de altura.

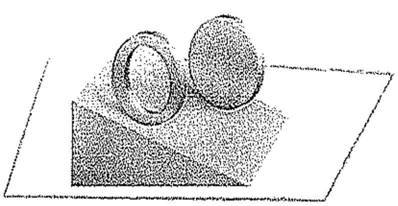
Tema 3. Rotación de sólidos

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

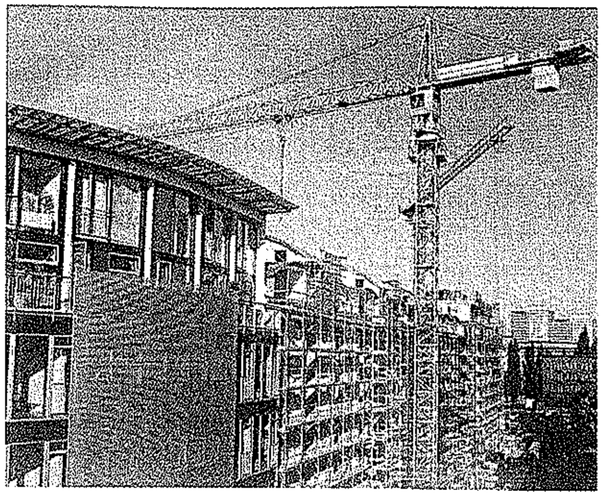
1. ¿Por qué los equilibristas de los circos cuando cruzan un cable que se encuentra a cierta altura del suelo, llevan una barra larga en sus manos? Explica tu respuesta.
2. ¿Qué debes hacer para balancear una silla sobre una de sus patas? Justifica tu respuesta.
3. ¿Por qué los peldaños de una escalera tienen igual longitud?
4. En cuál de los dos casos de la gráfica es más fácil hacer girar el sistema. Justifica tu respuesta.



5. ¿Por qué los platos de una balanza deben ser de igual masa?
6. ¿Por qué se utilizan las perillas de las puertas en la orilla y no en el centro? Explica tu respuesta.
7. ¿Donde está ubicado tu centro de gravedad?
8. ¿Por qué cuando tropezamos contra algún objeto tenemos la tendencia a apurar la marcha para no caer?
9. En un plano inclinado se colocan dos objetos los cuales se dejan rodar como se muestra la figura. Si los dos tienen el mismo diámetro e igual masa, ¿cuál de los dos se moverá más rápido en menos tiempo? Justifica tu respuesta.



10. En algunas ocasiones al hacer un barquito de papel y colocarlo sobre el agua este se vuelca. ¿Por qué sucede esto? Explica tu respuesta.
11. ¿Qué condiciones debe cumplir el sistema de la figura para que se encuentre en equilibrio y no se mueva? Explica tu respuesta.



12. Si quisieras dejar un lápiz en forma horizontal sobre uno de tus dedos. ¿Cómo deberías colocarlo?
13. ¿Por qué no es posible colocar en equilibrio sobre una mesa una pirámide en alguno de sus vértices?
14. Un luchador para no dejarse caer, flexiona las rodillas y separa los pies. ¿Por qué razón debe tomar esta posición? Explica tu respuesta.
15. ¿Qué efectos produce sobre el giro de un clavadista que en su trayectoria hacia la piscina acerque las rodillas al pecho?
16. Algunos cables que transportan la electricidad casi siempre se encuentran curvados hacia abajo. ¿Por qué no se elimina esta curvatura tensando el cable?
17. Dos hombres cargan en los hombros una vara con un racimo de bananos. Si éste se encuentra más cerca de uno de los dos, ¿cuál de ellos realizará mayor fuerza? Justifica tu respuesta.
18. ¿Por qué una persona puede sufrir dolores de espalda cuando levanta un objeto pesado en una postura inadecuada?
19. ¿Por qué las mujeres en las últimas etapas del embarazo deben inclinarse hacia atrás para caminar?

ACTIVIDADES

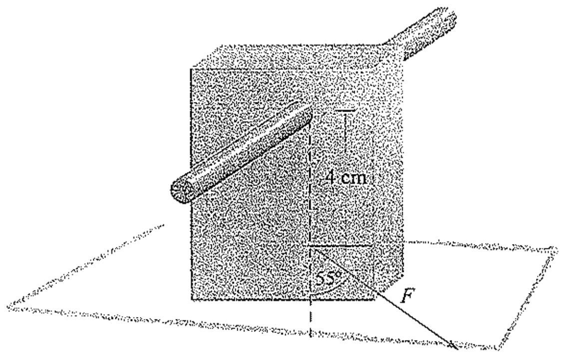
PROBLEMAS

20. Calcula el torque ocasionado por una fuerza de 15 N aplicada sobre una barra a 25 cm de su punto de apoyo.

21. ¿Cuál es el torque generado por una fuerza de 50 N aplicada perpendicularmente sobre una barra a 30 cm del punto de apoyo?

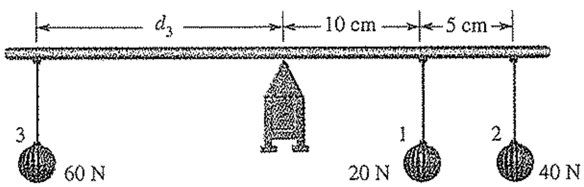
22. Una barra rígida homogénea de 5 N y 50 cm de largo está sostenida por dos cables atados en sus extremos. Si se coloca un peso de 5 N sobre la varilla a 20 cm del lado derecho, ¿qué tensión ejercen los cables?

23. El sistema mostrado en la figura está hecho con madera y puede girar sobre su eje.

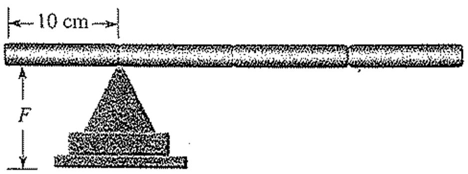


Calcula el torque de la fuerza F de 5 N, aplicada a 4 cm del eje.

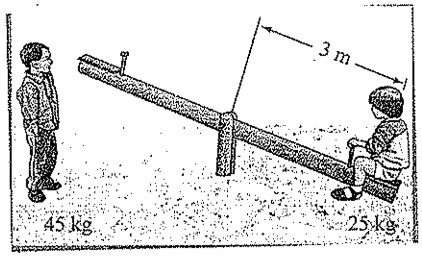
24. ¿Cuál es el valor de la distancia d_3 para que el sistema de la figura se encuentre horizontal y en equilibrio?



25. ¿Cuál es el torque generado por una fuerza de 15 N aplicada sobre una barra, tal como indica la figura?

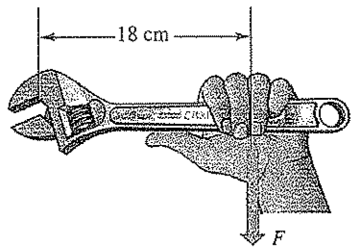


26. Dos hermanitos juegan en un balancín. ¿Dónde se debería sentar el niño para que la tabla de 6 m de longitud esté equilibrada?



27. Un cuerpo de 8 kg se coloca en la mitad de una varilla rígida de 0,75 m, pivoteada en uno de sus extremos y sostenida en el otro por una cuerda. Si la masa de la varilla es 2 kg, calcula la tensión de la cuerda.

28. Encuentra el valor del torque producido por la mano sobre la llave de tuercas, si la fuerza aplicada es de 18 N.



29. Determina la magnitud del momento angular de un disco sólido uniforme de 50 cm de radio y 3 kg de masa, que gira a 6 rev/s con respecto a un eje que pasa por el centro en forma perpendicular al plano del disco.

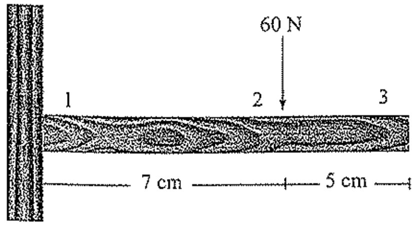
30. Dos masas esféricas de 6 kg cada una, se encuentran conectadas entre sí por una barra de 1.2 m de largo. Determina el momento de inercia del cuerpo respecto a:

a. Un eje perpendicular a él y que pase por su centro C.

b. Un eje normal a él y que pase por una de las esferas.

31. Una esfera de masa 5 kg y radio 30 cm gira a 30 rev/s con respecto a un eje que pasa por el centro en forma perpendicular al plano de la esfera. Calcula la magnitud del momento angular de la esfera.

32. Calcula el torque de la fuerza de 60 N, con relación a los puntos 1, 2 y 3 de la figura.

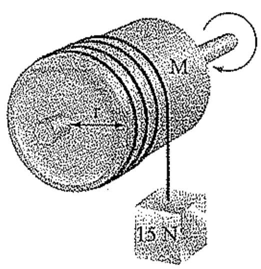


33. ¿Se encontrarán en reposo dos discos concéntricos de 15 cm y 10 cm de radio, en los cuales se aplican fuerzas de 2 N y 3 N, respectivamente?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

34. Una tabla de 95 N tiene una longitud de 15 m, y está apoyada en dos soportes, cada uno de los cuales dista 1 m del extremo de la tabla. Si se coloca un bloque de 350 N sobre la tabla a 2,5 m del extremo, encuentra la fuerza ejercida por cada soporte sobre ella.

35. Una cuerda se enrolla alrededor de un cilindro de radio 0,3 m y masa 6 kg, que gira sobre un eje horizontal, como se muestra en la figura.



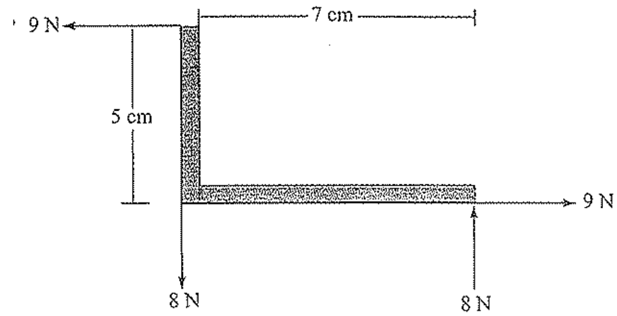
Si el extremo de la cuerda es halado por una fuerza constante de 15 N, calcula:

a. El momento de fuerza ejercido sobre el cilindro.
b. La aceleración angular del cilindro 3 segundos después de ser aplicada la fuerza.
c. La aceleración del extremo de la cuerda.
d. El ángulo a través del cual el cilindro ha girado.
e. La longitud de la cuerda que haló el disco.

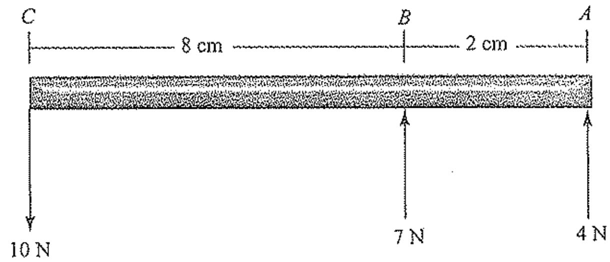
36. ¿Cuál es el valor del momento de inercia angular de una piedra de esmerilar cilíndrica uniforme de masa 3 kg y de 18 cm de radio cuando gira a 15.000 r.p.m.? ¿Cuál es el torque necesario para detenerla en 15 s?

37. Un patinador sobre hielo hace un giro sobre sus pies, con los brazos estirados a una rapidez angular de 5 rad/s. Si posteriormente cierra los brazos, ¿cuál es el cambio producido en la rapidez angular?

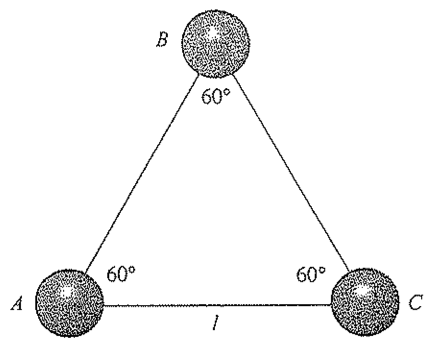
38. Sobre la escuadra de la figura están actuando varias fuerzas. Verifica si la escuadra se encuentra en equilibrio.



39. En la figura se muestra una barra sobre la cual actúan varias fuerzas. Encuentra la suma de los momentos.



40. Encuentra el momento de inercia del sistema con respecto al eje *AB* y a un eje paralelo que pasa por los vértices, teniendo en cuenta que las esferas son de igual masa.



Movimiento circular uniforme

LABORATORIO 9

Objetivo

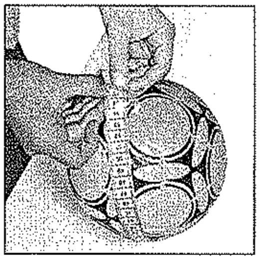
Identificar el movimiento circular uniforme que describe un cuerpo.

Materiales

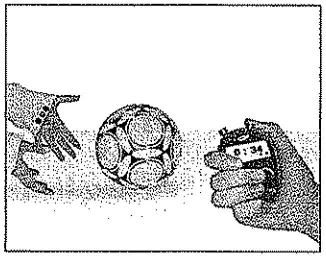
- Un balón.
- Cronómetro.
- Cinta de enmascarar o aislante.
- Metro.

Procedimiento y registro

1. Realiza una marca con la cinta sobre el balón, de tal manera que cuando gire logres verla.
2. Mide con el metro la longitud (s) de la circunferencia del balón y encuentra el valor del radio (r) mediante la expresión:
   $$s = 2 \cdot \pi \cdot r$$



3. Pon a girar el balón con tus manos, y pide a un compañero que mida con el cronómetro el tiempo que tarda el balón, en dar dos vueltas.



4. Realiza el procedimiento anterior, midiendo el tiempo que tarda el balón en dar 5, 8, 10 y 20 vueltas. En todos los casos, debes procurar hacer girar el balón con la misma fuerza.
5. Registra los datos obtenidos en la siguiente tabla.

TABLA DE REGISTRO

No. de vueltas	Tiempo (segundos)
2	
5	
8	
10	
20	

6. Con los datos registrados en la tabla, encuentra la velocidad angular para cada número de vueltas realizadas por el balón.
7. Encuentra el período y la frecuencia del movimiento del balón.

Análisis de los resultados

1. Si no ejerces la misma fuerza en todos los movimientos, ¿los datos obtenidos permitirán un análisis adecuado del fenómeno? Explica tu respuesta.
2. Comprueba que la aceleración centrípeta en un movimiento circular está dada por la expresión:
   $$a_c = \omega \cdot r^2$$
3. Explica los posibles errores experimentales que se generaron durante el proceso y propón soluciones para ellos.

Equilibrio para cuerpos rígidos

LABORATORIO 10

Objetivo

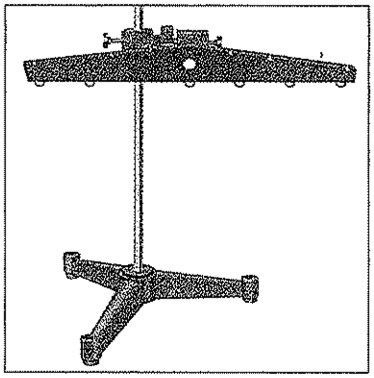
Identificar las condiciones de equilibrio para cuerpos rígidos.

Materiales

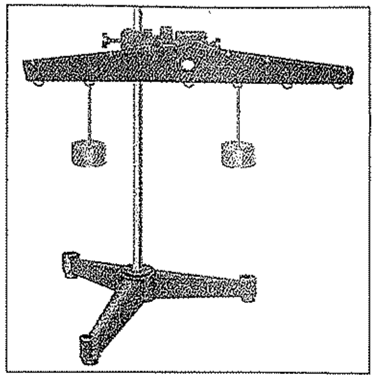
- Soporte.
- Barra rígida.
- Pesas de igual masa.
- Portapesas con gancho.
- Metro.

Procedimiento y registro

1. Ubica la barra rígida sobre el soporte de tal manera que quede horizontal, es decir en equilibrio, alrededor de su eje de rotación.



2. Pon una masa a la derecha del eje de rotación de giro y trata de establecer el equilibrio usando otra masa igual a la anterior.



3. Calcula el peso de cada una de las masas.
4. Mide las distancias a las que se encuentran las pesas del eje de rotación.
5. Calcula los momentos o torques que produce cada masa.
6. Escribe los datos obtenidos en la tabla de registro.

TABLA DE REGISTRO

No. de masas	Distancia al eje de rotación (cm)	Torque
2		
3		
4		
5		
6		

7. Realiza el procedimiento anterior colgando 3, 4, 5 y 6 masas, y modificando las distancias con respecto al eje de rotación. Registra los datos en la tabla.

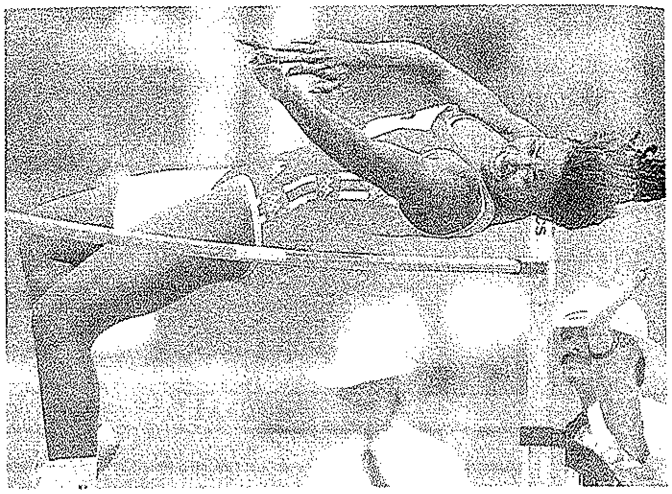
Análisis de los resultados

1. ¿Qué relación encuentras entre los valores de los torques obtenidos para cada una de las fuerzas aplicadas a equilibrar la barra?
2. Calcula el valor del torque neto para cada uno de los casos.
3. Determina la fuerza que ejerce el soporte sobre la regla cuando esta se encuentra en equilibrio.
4. Plantea un ejemplo en el cual la suma de las fuerzas que actúan sobre un sólido sea cero, y sin embargo este no se encuentre en equilibrio.

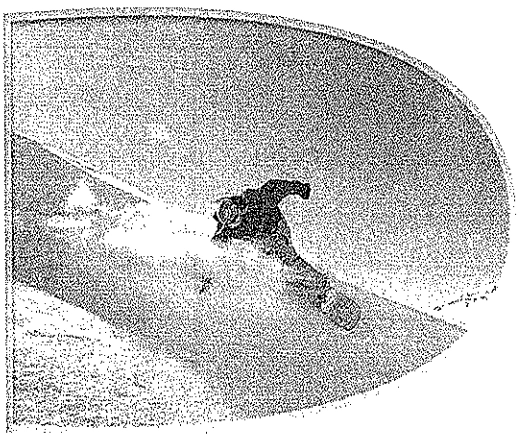
Postura humana

Las leyes del movimiento anunciadas por Newton permiten describir el movimiento de cuerpos abstractos que no presentan ningún tipo de deformación, es decir, cuerpos rígidos. Sin embargo, en la naturaleza tales cuerpos son inexistentes, ya que la gran mayoría de materia viva presenta pequeñas deformaciones que facilitan su movimiento. Por ejemplo, es muy habitual observar la deformación de la columna vertebral o la caja torácica cuando el cuerpo humano adquiere ciertas posturas.

Este movimiento mecánico producido por el hombre, estudiado en la biomecánica, se produce bajo la acción de las fuerzas mecánicas externas (gravedad, fricción y muchas otras) y de las fuerzas de tracción muscular.



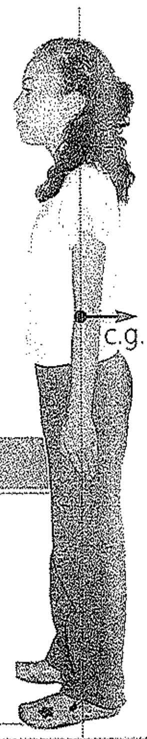
Aunque las leyes particulares de la mecánica no permiten una descripción detallada del mundo vivo, si es observable la diferencia que existe entre el movimiento mecánico de los sistemas vivos y el presentado por un cuerpo absolutamente rígido. Por tal razón, al aplicar las leyes generales de la mecánica a los objetos vivos, resulta imprescindible tener en cuenta sus particularidades mecánicas y biológicas. Por ejemplo, las causas de la adaptación de los movimientos humanos a las condiciones, las vías de perfeccionamiento de los movimientos, la influencia de la fatiga.



Los movimientos presentados por las diferentes partes del cuerpo están agrupados en:

- Sistemas dirigidos por movimientos.
- Acciones motoras íntegras (por ejemplo, ejercicios gimnásticos, formas de desplazamiento en esquís, posiciones corporales en el salto alto, etc.).

En los sistemas de movimientos entran también, la conservación activa de las posiciones de las diferentes partes del cuerpo (en las articulaciones) y, a veces, de todo el cuerpo. En todo movimiento se desempeña una acción íntegra, la cual está en correspondencia, de una forma u otra, con el objetivo de la acción. Cuando el deportista encuentra y hace realidad el objetivo en cada movimiento, las acciones producidas corresponden mejor con dicho objetivo.

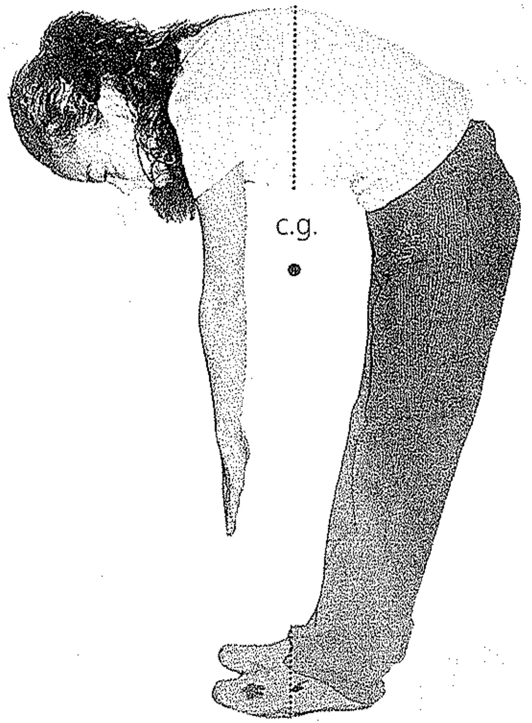


El torque en el cuerpo humano

La técnica para calcular el valor de las fuerzas sobre cuerpos en equilibrio, puede ser aplicada al cuerpo humano, donde existen fuerzas en músculos, huesos y articulaciones, que permiten las diferentes posturas y movimientos.

La fuerza de gravedad juega un papel importante en el equilibrio de un cuerpo, ya que produce un torque cero en torno al centro de gravedad (c.g.) El centro de gravedad de una persona en posición firme, está sobre una línea vertical delante de los tobillos.

Si se inclina para tocar la punta de los pies, su centro de gravedad tiende a moverse hacia delante, más allá del área de contacto, perdiéndose el equilibrio. Sus piernas y nalgas se mueven hacia atrás, con lo cual el cuerpo vuelve a estar en equilibrio.



Los centros de gravedad de la mayoría de las partes del cuerpo, no están encima de las articulaciones de apoyo y hacen falta fuerzas musculares para mantener el equilibrio. Para mantener el equilibrio y evitar que el cuerpo vuelque hacia adelante teniendo como eje la articulación del tobillo, se necesita una fuerza aplicada por el músculo del tendón de Aquiles que va unido al tobillo.

El problema de mantener el equilibrio cuando caminamos es aún mayor. Se trata de un movimiento en el eje longitudinal del pie, él cual se comporta como una hélice que se dobla y desdobla, sobre todo cuando el apoyo se produce en el antepie, como por ejemplo en las carreras de velocidad o en las de salto. Este movimiento no se da en una única articulación, sino que es el resultado de movimientos en diferentes articulaciones del pie. Se trata de un mecanismo de amortiguación de impactos verticales como facilitador de la impulsión.

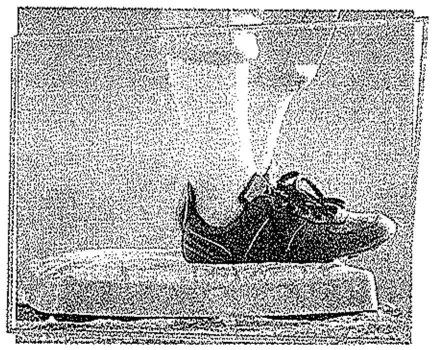
ÁMBITO: Desarrollo compromisos personales y sociales

APROPIACIÓN Y USO DE LA TECNOLOGÍA

1. Consulta acerca de las condiciones físicas necesarias para realizar una actividad física.
2. Averigua qué posiciones son las adecuadas para evitar dolencias o alteraciones en la espalda, al estar sentados durante un tiempo prolongado.
3. ¿Por qué razón no es aconsejable cargar objetos sobre tu cabeza, sino sobre tus hombros?
4. Explica la postura adecuada que se requiere para lograr un excelente lanzamiento de un balón de baloncesto.
5. Explica la manera adecuada en la cuál una mujer embarazada debe realizar actividades como inclinarse, levantarse de la cama, sentarse y descender de un autobús.
6. Indica qué actividades se promueven en tu colegio con el propósito de lograr una sana y constante postura corporal, que evite lesiones y dolencias durante y después de una práctica deportiva.

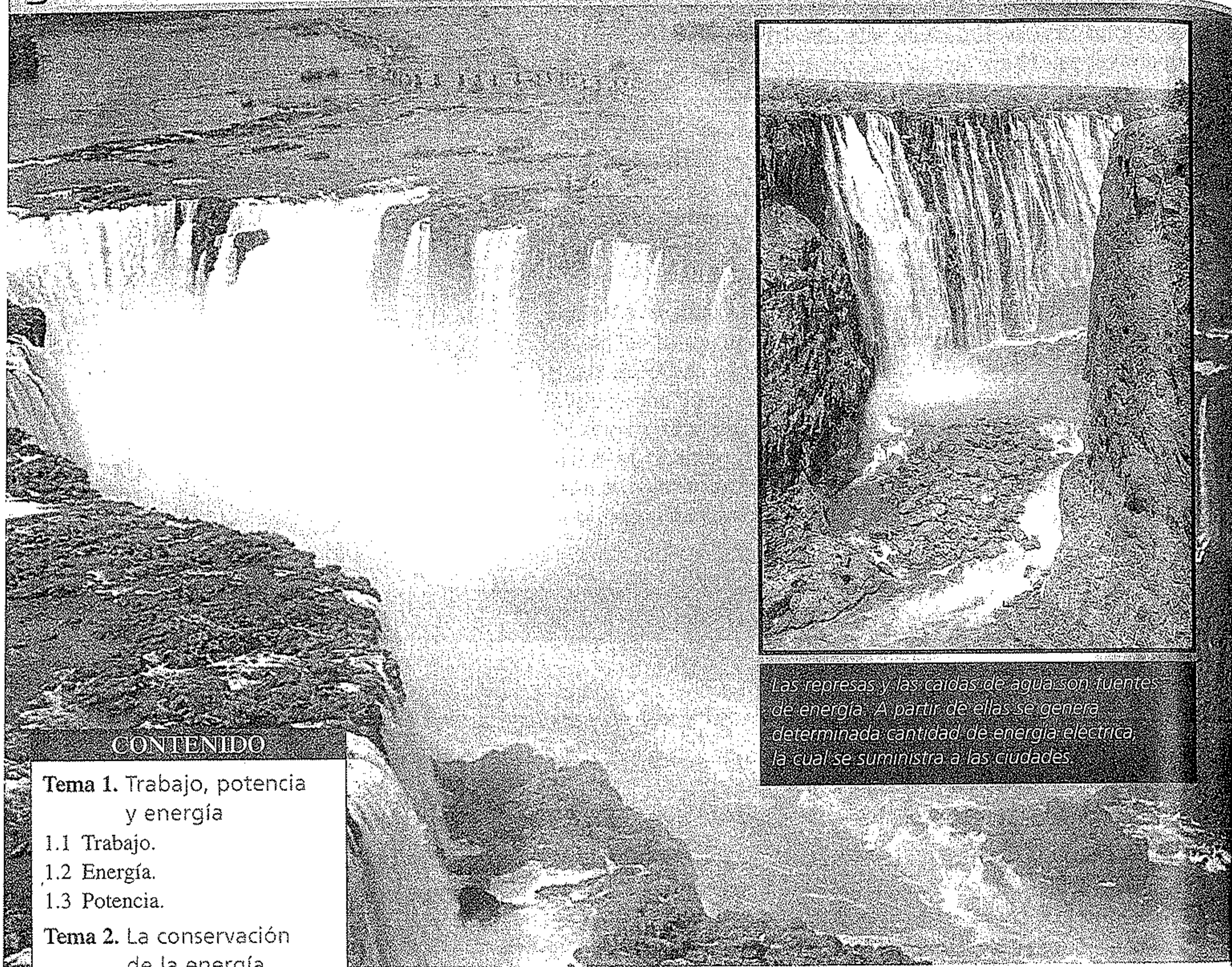
TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Algunas empresas encargadas de la producción en masa de zapatillas, expresan que cuando se apoya en el suelo el pie descalzo se aprovecha al máximo la amplitud de este mecanismo natural, en cambio cuando el pie se encuentra calzado se pierde en gran parte esta amplitud.



Por tal razón, los modelos de zapatillas de torsión lo que hacen es proporcionar una cierta independencia entre las suelas y las mediasuelas, facilitando así el mecanismo natural de torsión de nuestros pies.

UNIDAD 6 La energía



Las represas y las caídas de agua son fuentes de energía. A partir de ellas se genera determinada cantidad de energía eléctrica, la cual se suministra a las ciudades.

CONTENIDO

Introducción

En todas nuestras actividades diarias necesitamos consumir energía.

Utilizamos la energía eléctrica en la gran mayoría de aparatos eléctricos, en nuestras máquinas, en los medios de transporte, al caminar, en el trabajo, en el colegio. En conclusión, estamos muy familiarizados con ella.

El ser humano dedica gran parte de su tiempo a idear nuevas formar de usar la energía y de generar energía, siempre con el propósito de conseguir que todas sus actividades sean realizadas con mayor rendimiento, es decir, sin desperdiciar energía.

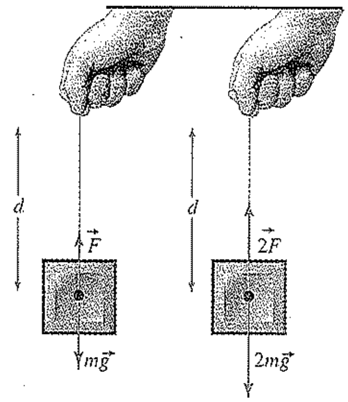
En esta unidad estudiaremos los conceptos de trabajo, potencia y energía, con énfasis en la energía mecánica, la cual puede presentarse en dos formas distintas: la energía cinética y la energía potencial. También expondremos un principio fundamental de la naturaleza: el principio de conservación de la energía.

Tema 1. Trabajo, energía y potencia

1.1 Trabajo

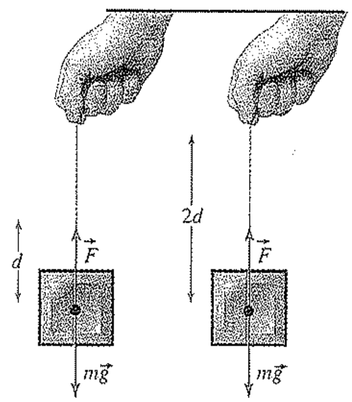
1.1.1 Definición de trabajo

Para aproximarnos al concepto de trabajo, supongamos que una persona levanta un objeto de peso mg a lo largo de una distancia d (empleando la fuerza ejercida por una cuerda) y que, en el mismo instante, otra persona levanta un objeto de peso $2\,mg$, durante la misma distancia d. Si en ambos casos los objetos suben con velocidad constante, podemos afirmar que la fuerza aplicada a cada cuerpo es de igual intensidad que el peso del cuerpo, pero opuesta, como se observa en la siguiente figura.



Al comparar las dos situaciones anteriores, se puede señalar que en el primer caso se realiza la mitad del trabajo que se realiza en el segundo caso.

Del mismo modo, si ahora los dos objetos tienen el mismo peso mg, pero las distancias recorridas son d y $2d$ respectivamente, es necesario aplicar una fuerza de igual intensidad que el peso del cuerpo, pero opuesta, si se desea conservar una velocidad constante durante el desplazamiento.



Para esta situación, en el primer caso el trabajo realizado es igual a la mitad del trabajo realizado en el segundo caso.

Para establecer alguna relación con la energía, decimos que a través de la fuerza aplicada sobre el objeto le es transferida energía. Es decir, al realizar trabajo se produce transferencia de energía y, en consecuencia, se produce un cambio de posición o la deformación de uno o varios cuerpos por acción de dicha fuerza.

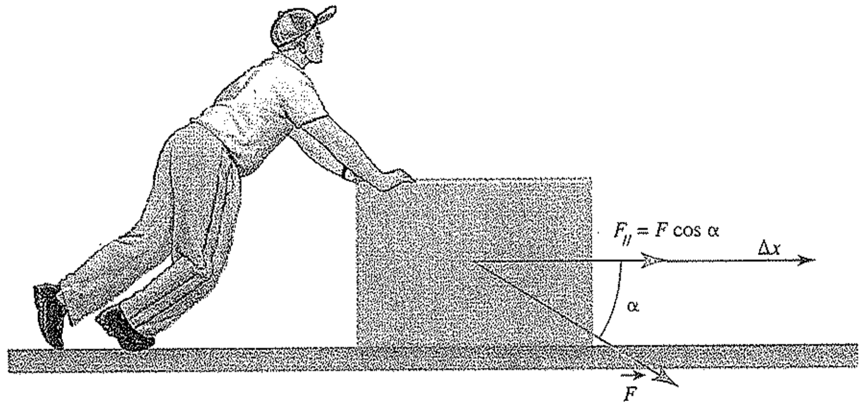
En síntesis, cuando se realiza un trabajo se transfiere energía a un cuerpo y este se desplaza o se deforma.

A partir de las situaciones consideradas podemos establecer que para realizar un trabajo es necesario aplicar fuerza sobre el objeto y, como consecuencia de ella, se produce un desplazamiento.

DEFINICIÓN 6.1

El trabajo W realizado por una fuerza $\vec{F}$, aplicada sobre un cuerpo es igual al producto de la componente de dicha fuerza en la dirección del desplazamiento, por la norma del desplazamiento Δx.

Cuando el objeto se desplaza horizontalmente, la fuerza, $\vec{F}$, aplicada forma un ángulo α con el desplazamiento Δx.



Si llamamos $F_{//}$ a la componente de la fuerza paralela al desplazamiento, a partir de la definición de trabajo tenemos que:

$$W = F_{//} \cdot \Delta x$$

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha \qquad \text{ECUACIÓN 6.1}$$

Como el coseno de un ángulo no tiene unidades, el trabajo se mide en Newton-metro (N · m). Esta unidad de medida se denomina julio (J).

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

1 J = 1 N · m

Si sobre un objeto se aplica una fuerza de 1 N y se produce un desplazamiento de un metro en la misma dirección de la fuerza, se realiza un trabajo de 1 julio. Aunque en la definición de trabajo están involucradas dos magnitudes vectoriales, la fuerza y el desplazamiento, el trabajo es una cantidad escalar.

Para estimar qué tanto es un julio, consideremos que se levanta un objeto de masa 1 kg a una distancia de 10 centímetros con velocidad constante. En este caso, el peso del objeto es mg = 9,8 N, por tanto sobre él se debe aplicar una fuerza de 9,8 N. Como la distancia es 0,1 m, tenemos que el trabajo realizado por la fuerza es:

$$W = 9{,}8\ \text{N} \cdot 0{,}1\ \text{m} = 0{,}98\ \text{J}.$$

Esto quiere decir que al levantar 10 cm un objeto de masa 1 kg, se realiza aproximadamente un trabajo de 1 julio.

Es importante tener en cuenta que se puede aplicar una fuerza sobre un objeto sin producir desplazamiento; en este caso, no se realiza trabajo sobre el objeto. Por ejemplo, cuando aplicamos una fuerza sobre una pared, aun cuando la fuerza sea muy intensa el trabajo realizado por la fuerza es igual a cero (figura 1).

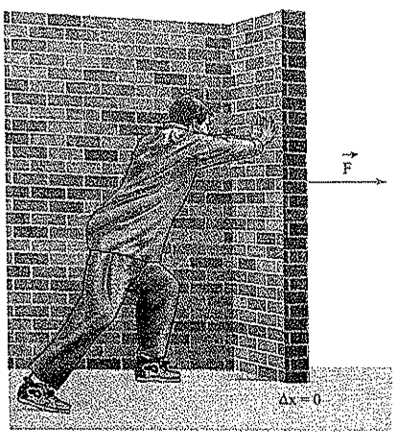


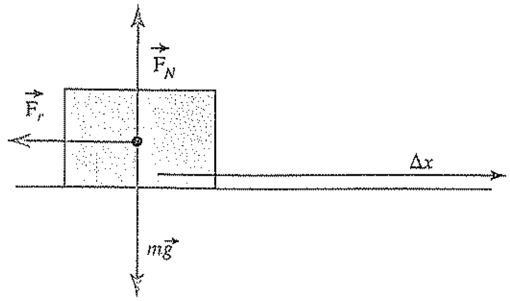
FIGURA 1

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.1 Un objeto cuyo peso es 200 N, se desplaza 1,5 m sobre una superficie horizontal hasta detenerse. El coeficiente de rozamiento entre la superficie y el bloque es 0,1. Determinar el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.

SOLUCIÓN:



Sobre el objeto actúan el peso del objeto, la fuerza normal y la fuerza de rozamiento. La fuerza normal es igual a 200 N, ya que esta es igual al peso del cuerpo.

La fuerza de rozamiento se calcula mediante la expresión:

$$F_r = \mu \cdot F_N = 0{,}1 \cdot 200\ N = 20N$$

A partir de la definición de trabajo, tenemos:

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha \qquad \text{Ecuación 6.1.}$$

$$W = 20\ N \cdot 1{,}5\ m \cdot \cos 180° = -30\ J \qquad \text{Al reemplazar y calcular}$$

El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento es −30 J. El que este trabajo realizado por la fuerza de rozamiento sea negativo significa que no se transfiere energía al bloque, sino que la energía se disipa por efecto de la fricción.

1.1.2 Fuerzas que no realizan trabajo

Ya hemos considerado el caso en el cual el trabajo realizado por una fuerza es igual a cero debido a que el desplazamiento es igual a cero. Sin embargo, en algunas ocasiones aunque el objeto se desplace, puede suceder que el trabajo realizado por la fuerza es igual a cero. Por ejemplo, si las fuerzas aplicadas a un objeto son perpendiculares al desplazamiento, se tiene que:

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos 90° = 0$$

En general, las fuerzas perpendiculares al desplazamiento, como la fuerza normal y la fuerza centrípeta, no realizan trabajo alguno (figura 2).

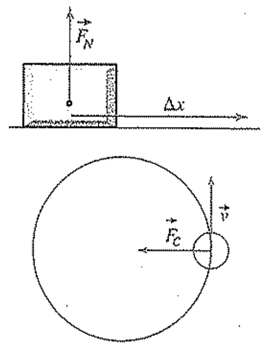


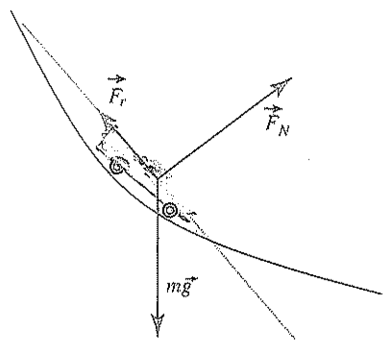
FIGURA 2

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.2 Un carro se mueve por una trayectoria como la representada en la figura. Determinar las fuerzas que realizan trabajo y las fuerzas que no realizan trabajo.

SOLUCIÓN:



Sobre el objeto actúan la fuerza de rozamiento, el peso y la fuerza normal.

En el punto que se muestra en la trayectoria, el peso y el desplazamiento forman un ángulo diferente de 90°, por tanto, el peso realiza trabajo.

La fuerza de rozamiento forma con el desplazamiento un ángulo de 180°, razón por la cual, su trabajo es negativo.

La fuerza normal no realiza trabajo puesto que forma un ángulo de 90° con el desplazamiento.

1.1.3 Trabajo realizado por la fuerza neta

Cuando sobre un objeto actúa más de una fuerza, es posible determinar el trabajo realizado por cada una de ellas y también el trabajo realizado por la fuerza neta.

De esta manera, se denomina trabajo neto a la suma de los trabajos realizados por cada una de las fuerzas que actúan sobre un objeto.

Para todo objeto, se cumple que el trabajo realizado por la fuerza neta es igual al trabajo neto, es decir, que si sobre un objeto actúan las fuerzas F_1, F_2 y F_3 y la fuerza neta es F_{neta}, el trabajo realizado por la fuerza neta es:

$$W_{F_{neta}} = W_{F_1} + W_{F_2} + W_{F_3}$$

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.3 Para subir una caja de 50 kg a cierta altura, un hombre utiliza como rampa un plano inclinado de 37° con respecto a la horizontal, y ejerce una fuerza de 400 N. Si el hombre desplaza la caja una distancia de 3 m y el coeficiente de rozamiento entre la caja y el plano es 0,1, determinar:

a. La fuerza neta que actúa sobre la caja.
b. El trabajo realizado por la fuerza neta.
c. El trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan sobre el objeto.
d. El trabajo neto realizado sobre la caja.

SOLUCIÓN:

a. *El peso del objeto es igual a:*

$mg = 50\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 490\ N$

Siendo las componentes del peso:

$mg_x = -mg\ sen\ 37° = -490\ N\ sen\ 37° = -294\ N$

$mg_y = -mg\ cos\ 37° = -490\ N\ cos\ 37° = -392\ N$

Por tanto, para las componentes de las fuerzas expresadas en Newton se tiene que:

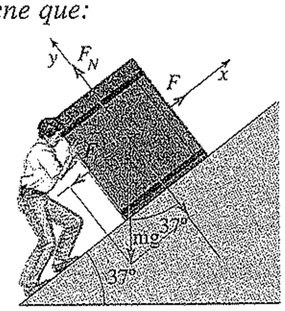
$\vec{F} = (400,\quad 0)$

$m\vec{g} = (-294,\ -392)$

$\vec{F_r} = (-F_r,\quad 0)$

$\vec{F_N} = (0,\quad F_N)$

$\vec{F}_{neta} = (F_{neta},\ 0)$



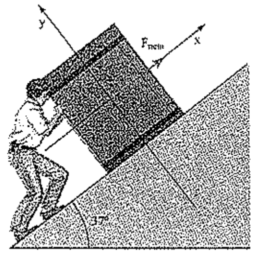
Si, $F_N = 392\ N$, *entonces:*

$F_r = \mu \cdot F_N = 0{,}1 \cdot 392\ N = 39{,}2\ N$

Para determinar la fuerza neta tenemos:

$F_{neta} = 400\ N - 294\ N - 39{,}2\ N = 66{,}8\ N$

La fuerza neta es 66,8 N y está dirigida hacia arriba en la dirección del plano.



b. *Para determinar el trabajo realizado por la fuerza neta, se tiene:*

$W_{F_{neta}} = F_{neta} \cdot \Delta x \cdot cos\ \alpha$

$W_{F_{neta}} = 66{,}8\ N \cdot 3 \cdot m\ cos\ 0° = 200\ J$

El trabajo realizado por la fuerza neta es 200 J.

c. *Determinamos el trabajo realizado por cada fuerza a partir de la ecuación 6.1. El trabajo realizado por la fuerza F aplicada por el hombre es:*

$W_F = F \cdot \Delta x \cdot cos\ \alpha$

$W_F = 400\ N \cdot 3m \cdot cos\ 0° = 1.200\ J$

El trabajo realizado por el peso es:

$W_{mg} = mg \cdot \Delta x \cdot cos\ \alpha$

$W_{mg} = 490\ N \cdot 3m \cdot cos\ 127° = -882\ J$

El trabajo realizado por la fuerza normal es igual a cero, puesto que dicha fuerza es perpendicular al desplazamiento, luego $W_{F_N} = 0$

El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento es:

$W_{F_r} = F_r \cdot \Delta x \cdot cos\ \alpha$

$W_{F_r} = 39{,}2\ N \cdot 3m \cdot cos\ 180° = -118\ J$

d. *La suma de los trabajos realizados por las cuatro fuerzas es igual a:*

$W_{neto} = W_{F_N} + W_{m_g} + W_{F_r} + W_F$

$W_{neto} = 0\ J - 882\ J - 118\ J + 1.200 = 200\ J$

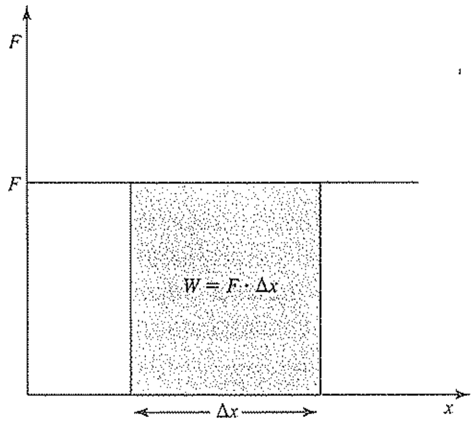
El trabajo neto es igual a 200 J, valor que coincide con el trabajo realizado por la fuerza neta que calculamos en b.

1.1.4 Trabajo realizado por fuerzas variables

Si sobre un cuerpo actúa una fuerza constante F paralela al desplazamiento se tiene que el trabajo realizado por la fuerza es:

$$W = F \cdot \Delta x$$

Al representar gráficamente en el plano cartesiano la fuerza F en el eje vertical y la posición del objeto en el eje horizontal, se obtiene una recta como la representada en la siguiente figura:



Se puede observar que la expresión para el trabajo, cuando el desplazamiento del objeto es Δx coincide con el área comprendida entre la recta y el eje horizontal. Es decir, que al representar en el plano cartesiano la fuerza en función de la posición, el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal, corresponde al trabajo realizado por el cuerpo.

Ahora, si sobre el objeto se aplica una fuerza paralela al desplazamiento pero variable como la que se representa en la figura 3 podemos considerar que la fuerza se mantiene constante durante desplazamientos muy pequeños, que para el cálculo del área, corresponden a rectángulos de base mínima.

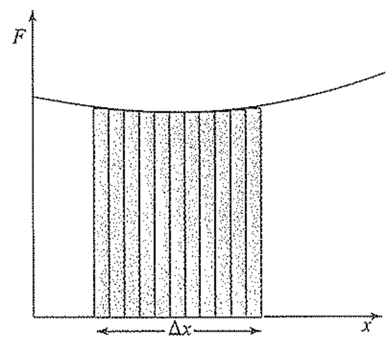


FIGURA 3

El área de estos rectángulos representa el trabajo realizado por la fuerza en cada uno de los pequeños desplazamientos y la suma de los trabajos a lo largo de los pequeños desplazamientos corresponde al trabajo total realizado.

Se puede observar en la figura 3 que cuanto más pequeños se consideren los desplazamientos parciales, más se aproxima la suma de las áreas de los mismos, al área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal. Por tal razón, en una gráfica de la fuerza en función de la posición, siempre podemos obtener el trabajo de una fuerza variable calculando el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal.

Un ejemplo de fuerza variable es la fuerza ejercida por un resorte de constante elástica k, al ser estirado una distancia x a partir de su posición de equilibrio, es decir, del punto en el cual no está ni estirado ni comprimido. Esta fuerza F se relaciona con el alargamiento x mediante la expresión:

$$F = k \cdot x$$

Cuando el resorte se estira lentamente se encuentra sometido bajo una fuerza F, que produce diferentes valores para x, por tanto, la fuerza es variable.

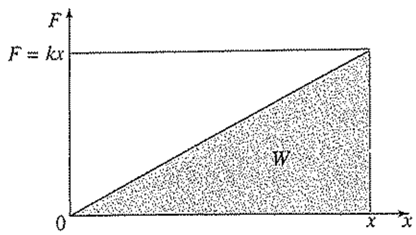


FIGURA 4

En la figura 4 se representa gráficamente la fuerza aplicada sobre un resorte en función del alargamiento del mismo, la cual es una recta con pendiente k.

El área comprendida entre dicha recta y el eje horizontal representa el trabajo realizado sobre el cuerpo. Como para cada valor de x, la fuerza aplicada sobre el resorte es $F = k \cdot x$, la altura del triángulo sombreado es $k \cdot x$ y la base es x, por tanto:

$$W = \frac{1}{2} \cdot (k \cdot x) \cdot x$$

De donde el trabajo realizado sobre el resorte cuando se alarga una distancia x con respecto a la posición de equilibrio, es:

$$W = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \qquad \text{ECUACIÓN 6.2}$$

1.2 La energía

Los conceptos de energía y de trabajo están estrechamente relacionados. Todo cuerpo que está en capacidad de realizar un trabajo transfiere energía. Sin embargo, nos referimos a ella a través de sus diferentes manifestaciones, lo cual se relaciona con la transferencia de energía de un cuerpo a otro y su transformación.

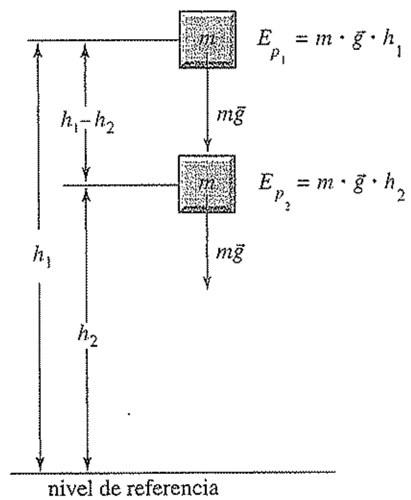
1.2.1 La energía potencial gravitacional

Cuando un cuerpo se deja caer desde cierta altura con respecto al suelo, la Tierra ejerce fuerza de atracción gravitacional sobre él. Sin embargo, al caer el peso del cuerpo realiza trabajo sobre el objeto, por esta razón podemos asociar cierta clase de energía a un cuerpo que se encuentra a determinada altura con respecto al suelo.

DEFINICIÓN 6.2

Se llama energía potencial gravitacional a la energía asociada a un objeto sometido a la fuerza, peso, y que se encuentra a determinada altura con respecto a un nivel de referencia.

Supongamos que un cuerpo de masa m se encuentra inicialmente a una altura h_1 sobre el suelo y cae libremente hasta una altura h_2, como se observa a continuación:



La fuerza que actúa sobre el cuerpo es el peso, mg, además de ser constante, tiene la misma dirección del desplazamiento. Por tanto, el trabajo realizado por el peso es:

$$W_{mg} = mg \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha$$
$$W_{mg} = mg \cdot (h_2 - h_1) \cdot \cos 0°$$
$$W_{mg} = mgh_2 - mgh_1$$

Observemos que en el término derecho de la igualdad aparece el término mgh que involucra las alturas h_1 y h_2.

Por tanto, la energía potencial gravitacional se define como:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \qquad \text{ECUACIÓN 6.3}$$

De esta manera, para un objeto de masa m que pasa desde la altura h_1 hasta la altura h_2, expresamos el trabajo realizado por el peso como:

$$W = E_{p1} - E_{p2} \qquad \text{ECUACIÓN 6.4}$$

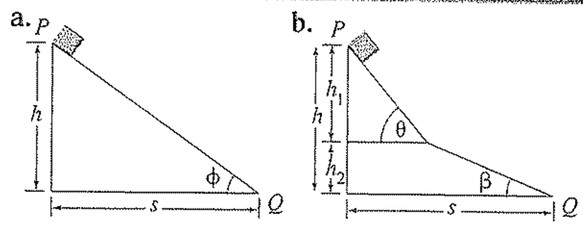
La energía potencial se expresa en Julios, es decir, en las mismas unidades del trabajo.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.4 Un objeto de masa m se suelta en el punto P y se mueve hasta el punto Q a lo largo de dos trayectorias diferentes, como se observa en la figura. Determinar:

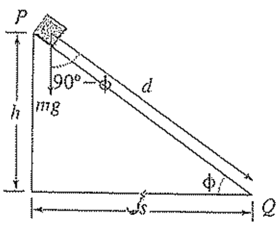
a. La energía potencial del objeto en el punto P.
b. El trabajo realizado por el peso a lo largo de la trayectoria A.
c. El trabajo realizado por el peso a lo largo de la trayectoria B.



SOLUCIÓN:

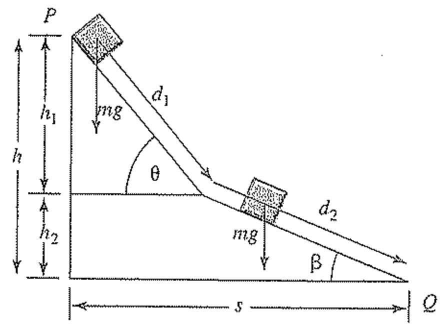
a. Tomando como nivel de referencia la horizontal que pasa por el punto Q, la energía potencial en el punto P, es:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$



b. Para determinar el trabajo realizado por el peso a lo largo de la trayectoria A, se tiene que:

$$W_{mg} = mg \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha$$
$$W_{mg} = mg \cdot d \cdot \cos (90° - \phi) \qquad \alpha = 90° - \phi$$
$$W_{mg} = mg \cdot d \cdot \operatorname{sen} \phi \qquad \cos (90° - \phi) = \operatorname{sen} \phi$$
$$W_{mg} = mg \cdot d \cdot \frac{h}{d} \qquad \operatorname{sen} \phi = \frac{h}{d}$$
$$W_{mg} = mg \cdot h \qquad \textit{Al simplificar}$$

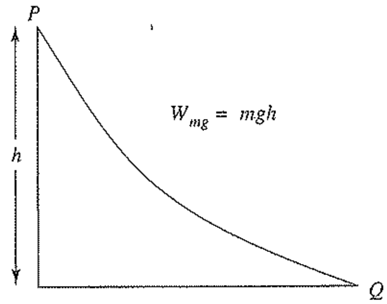


c. Para determinar el trabajo realizado por el peso a lo largo de la trayectoria B, se sigue el mismo procedimiento para cada plano y se obtiene:

$$W_{mg} = mg \cdot d_1 \cdot \cos (90° - \theta) + mg \cdot d_2 \cdot \cos (90° - \beta)$$
$$W_{mg} = mg \cdot d_1 \cdot \operatorname{sen} \theta + mg \cdot d_2 \cdot \operatorname{sen} \beta$$
$$W_{mg} = mgd_1 \frac{h_1}{d_1} + mgd_2 \frac{h_2}{d_2}$$
$$W_{mg} = mg \cdot h_1 + mg \cdot h_2$$
$$W_{mg} = mg \cdot h; \text{ siendo } h = h_1 + h_2$$

En el ejemplo anterior, se observa que el trabajo realizado por el peso no depende de la trayectoria seguida por el objeto para ir desde el punto P hasta el punto Q y que el valor de dicho trabajo coincide con la energía potencial del objeto en el punto P. Este resultado sugiere que el trabajo realizado por el peso es independiente de la trayectoria.

Se puede considerar que una trayectoria curva está formada por pequeños planos inclinados (entre más pequeños sean los planos más nos aproximamos a la curva) colocados uno a continuación del otro. Por tanto, si la trayectoria es curva, el trabajo es independiente de la trayectoria.



Llamamos **fuerzas conservativas** a aquellas fuerzas para las cuales el trabajo realizado no depende de la trayectoria seguida por el objeto, por lo tanto, el peso es una fuerza conservativa.

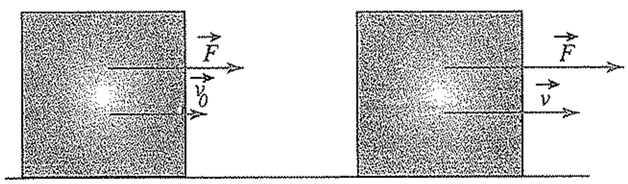
1.2.2 La energía cinética

Cuando damos un puntapié a un balón, el pie transfiere movimiento al balón, es decir, cuando un cuerpo en movimiento choca con otro objeto, le puede transmitir movimiento. Por tal razón, podemos afirmar que el objeto en movimiento realiza trabajo sobre el otro y, en consecuencia, le transfiere energía.

DEFINICIÓN 6.3

Se llama energía cinética a la energía asociada a un objeto que se encuentra en movimiento.

Supongamos que sobre un cuerpo de masa m que se mueve en línea recta, se aplica una fuerza neta constante $F_{neta.}$



Como resultado de la fuerza aplicada, el objeto experimenta aceleración a y su velocidad cambia de un valor v_0, a un valor v. Si el desplazamiento del objeto es Δx, tenemos que el trabajo neto W_{neto} realizado por la fuerza es:

$$W_{neto} = F_{neta} \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha$$
$$W_{neto} = m \cdot a \cdot \Delta x \cdot \cos 0°$$
$$W_{neto} = m \cdot a \cdot \Delta x$$

Por otra parte, como la velocidad que alcanza el objeto se relaciona con la aceleración y el desplazamiento mediante la expresión:

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

en donde, $$a \cdot \Delta x = \frac{v^2}{2} - \frac{v_0^2}{2}$$

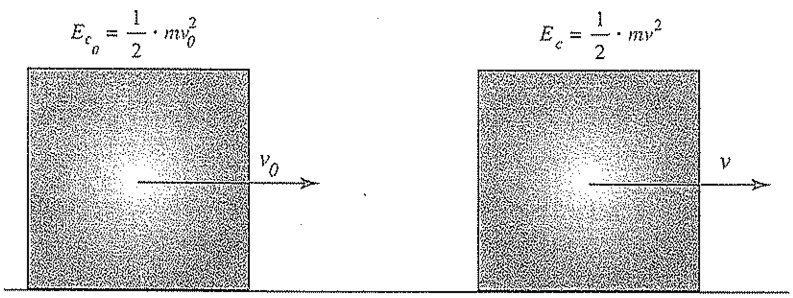
entonces, $$W_{neto} = m \cdot \left(\frac{v^2}{2} - \frac{v_0^2}{2}\right)$$

$$W_{neto} = \frac{1}{2}\,mv^2 - \frac{1}{2}\,mv_0^2$$

Observemos que en el miembro derecho de esta igualdad aparece el término $\frac{1}{2}$ mv^2 para dos velocidades diferentes v_0 y v. Por lo cual, se define la energía cinética como:

$$E_c = \frac{1}{2}\,mv^2$$ ECUACIÓN 6.5

Cuando la velocidad de un objeto cambia de v_0 a v, su energía cinética cambia de E_{c_0} a E_c, como se observa en la siguiente figura.



A partir de la ecuación 6.3, podemos expresar el trabajo neto como:

$$W_{neto} = E_c - E_{c_0}$$ ECUACIÓN 6.6

La relación entre el trabajo y la energía cinética se conoce como el teorema de trabajo-energía cinética: **el trabajo neto realizado sobre un cuerpo es igual al cambio de energía cinética, es decir, a la diferencia entre la energía cinética final y la inicial.**

Con respecto a la energía cinética se cumple que:

- La energía cinética se mide en las mismas unidades del trabajo. Esta afirmación se justifica ya que la energía cinética es

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

  Y por tanto, en el S.I. se expresa en

  $$\text{kg} \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2 = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}.$$

- Si el trabajo neto realizado sobre un objeto es positivo, la energía cinética del objeto aumenta; y si el trabajo neto realizado es negativo, la energía cinética del objeto disminuye.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.5 Un ciclista que participa de una prueba contra reloj, desarrolla una fuerza constante de 39 N durante los primeros 200 m de recorrido hasta adquirir una cierta velocidad. Si las masas del ciclista y de su bicicleta son, respectivamente, 68 kg y 12 kg, y suponiendo que no hay pérdidas energéticas en las transformaciones que se presentan (rozamiento, resistencia del aire, etc.) calcular:

a. El trabajo realizado por el ciclista.
b. La energía cinética alcanzada a los 200 m.
c. La velocidad del ciclista en ese momento.

SOLUCIÓN:

a. A partir de la definición de trabajo tenemos que:

$$W_{neto} = F_{neta}\,\Delta x = 39\ N \cdot 200\ m = 7.800\ J$$

b. Para determinar la energía desarrollada por el ciclista, es necesario considerar que, al salir del reposo, la energía cinética es nula, por tanto:

$$W_{neto} = E_c - E_{c_0} \qquad \text{Ecuación 6.6}$$

$$7.800\ J = E_c - 0 \qquad \text{Al reemplazar}$$

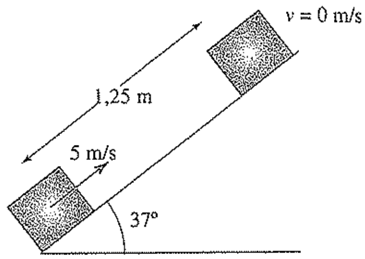
$$E_c = 7.800\ J$$

c. Para calcular la velocidad despejamos v de la ecuación 6.5:

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.800\ J}{80\ kg}} = 14\ m/s$$

6.6 Un bloque de masa 10 kg se lanza hacia arriba desde la base de un plano inclinado 37°, con velocidad de 5 m/s. Si el objeto se desplaza 1,25 m hasta detenerse, determinar:

a. El trabajo neto realizado sobre el objeto.
b. La fuerza neta aplicada sobre el objeto.
c. El coeficiente de rozamiento.



SOLUCIÓN:

a. Para calcular el trabajo neto se tiene:

$$W_{neto} = \frac{1}{2} \cdot 10\ kg \cdot 0^2 - \frac{1}{2} \cdot 10\ kg\ (5\ m/s)^2 = -125\ J$$

El trabajo neto es −125 J. Que su valor sea negativo coincide con que la energía cinética disminuye.

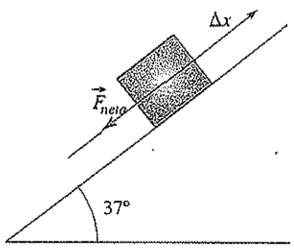
b. Como el trabajo neto es negativo, la fuerza neta y el desplazamiento forman un ángulo de 180°. Para determinar la fuerza neta, se tiene que:

$$W_{neto} = F_{neta} \cdot \Delta x \cdot \cos 180° \qquad \text{Ecuación 6.1.}$$

$$-125\ J = F_{neta} \cdot 1{,}25\ m \cdot (-1) \qquad \text{Al reemplazar}$$

$$F_{neta} = 100\ N \qquad \text{Al despejar}$$

Por tanto, la fuerza neta mide 100 N y está dirigida hacia abajo en la dirección del plano.



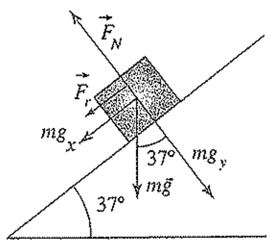
c. Para determinar la fuerza de rozamiento, tenemos que las componentes del peso son:

$$mg_x = -mg \cdot sen\ 37° = -100\ N\ sen\ 37° = -60\ N$$

$$mg_y = -mg \cdot \cos 37° = -100\ N \cos 37° = -80\ N$$

Por tanto, con las componentes medidas en newton, expresamos las fuerzas como:

$$\vec{F}_N = (0, F_N)$$
$$\vec{F}_r = (-Fr, 0)$$
$$\underline{m\vec{g} = (-60, -80)}$$
$$\vec{F}_{neta} = (-100, 0)$$



De donde,

$$-F_r - 60\ N = -100\ N; \qquad F_r = 40\ N$$

Para la fuerza normal tenemos:

$$F_N - 80\ N = 0; \qquad F_N = 80\ N$$

Puesto que:

$$\mu = \frac{F_r}{F_N} = \frac{40\ N}{80\ N} = 0{,}5$$

1.3 Potencia

1.3.1 Definición de potencia

Para referirnos a la potencia debemos tener en cuenta el tiempo durante el cual una fuerza realiza un trabajo. En la figura 5, se muestran dos motores que suben una carga a lo largo de un plano inclinado, por medio de una cuerda.

El motor 1 ejerce una fuerza de 4.000 N y sube el objeto 2 metros a lo largo de la rampa, en 5 segundos, mientras que el motor 2 ejerce la misma fuerza y sube el objeto la misma distancia a lo largo de la rampa, en 10 segundos. Los dos motores realizan un trabajo de 8.000 J, sin embargo, difieren en el tiempo durante el cual realizan el trabajo. El motor 1 realiza el trabajo más rápido que el motor 2. Por lo tanto, la potencia es la medida de la rapidez con la cual se realiza un trabajo.

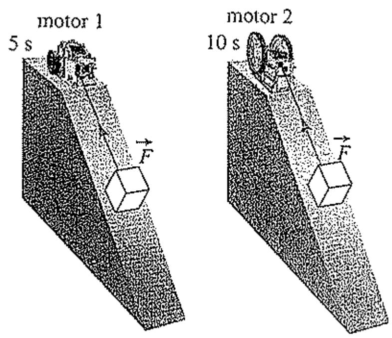


FIGURA 5

DEFINICIÓN 6.4

La potencia (P) es el trabajo (W) desarrollado en la unidad de tiempo.

Por tanto, la potencia se define como:

$$P = \frac{W}{\Delta t} \qquad \text{ECUACIÓN 6.7}$$

Donde W es el trabajo realizado y Δt el tiempo empleado. La unidad de potencia en el S.I. es el J/s, unidad denominada vatio (W).

Ahora, si una carga se sube verticalmente con velocidad constante, el trabajo realizado sobre un objeto de masa 1 kg, en una distancia de 10 cm, es aproximadamente, 1 J. Si desarrollamos este trabajo en 1 segundo, la potencia será de 1 J/s, es decir, de 1 W. Un vatio es la potencia desarrollada cuando se realiza un trabajo de 1 J en 1 segundo.

Para el caso de los motores que suben la carga a lo largo de la rampa, se tiene que las potencias son:

$$\text{Motor 1: } P = \frac{8.000 \text{ J}}{5\ s} = 1.600\ W$$

$$\text{Motor 2: } P = \frac{8.000 \text{ J}}{10\ s} = 800\ W$$

El motor 1 desarrolla mayor potencia que el motor 2, lo cual significa que realiza el trabajo con mayor rapidez que el motor 2; es decir, que cuanto más rápido se realiza un trabajo, mayor es la potencia desarrollada.

Cuando se realiza cierto trabajo sobre un objeto se le transfiere energía y, en consecuencia, la energía del objeto se incrementa. Por lo cual, el sistema que realiza el trabajo desarrolla potencia, lo cual explica un consumo de energía en medida que la transfiere. La potencia desarrollada por un sistema que realiza un trabajo se expresa como:

$$P = \frac{E}{t} \qquad \text{ECUACIÓN 6.8}$$

Donde, E es la energía transferida y t es el tiempo empleado en la realización del trabajo.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

6.7 La grúa utilizada en una construcción eleva con velocidad constante una carga de 200 kg, desde el suelo hasta una altura de 10 m, en 30 segundos. Determinar:

a. El incremento en la energía potencial del cuerpo.

b. El trabajo realizado sobre la carga.

c. La potencia desarrollada por la grúa.

SOLUCIÓN:

a. Para determinar el incremento de la energía potencial de la carga con respecto al suelo, tenemos:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 200\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 10\ m = 19.600\ J$$

b. Puesto que la grúa sube la carga con velocidad constante, la fuerza aplicada sobre ella debe ser igual a:

$$mg = 200\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 1.960\ N.$$

Por lo cual, el trabajo realizado sobre la carga es:

$$W = F \cdot \Delta x \cos 0° = 1.960\ N \cdot 10\ m = 19.600\ J$$

El trabajo realizado por la grúa es igual al incremento en la energía potencial.

c. La potencia desarrollada por la grúa es:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{19.600\ J}{30\ s} = 653\ W$$

1.3.2 Otras unidades de potencia

El valor de la potencia que desarrollan algunas máquinas es del orden de los cientos de miles de vatios, por esta razón, es usual expresar la potencia en otras unidades como el caballo de potencia (HP), el vatio o el kilovatio (kW). A partir de la ecuación $P = E/t$ se tiene que:

$$E = P \cdot t$$

Cuando la potencia se expresa en kilovatios y el tiempo en horas, la energía se expresa en **kilovatio-hora** (kW-h). Un kilovatio-hora es el trabajo que realiza durante una hora de funcionamiento, una máquina que desarrolla una potencia de un kilovatio. La empresa de energía expresa la energía que consumimos en kW-h. Para determinar la equivalencia de 1 kW-h en julios tenemos que:

$$1\ \text{kW-h} = 1.000\ \text{W} \cdot 1\ \text{h}$$

$$1\ \text{kW-h} = 1.000\ \frac{J}{s} \cdot 3.600\ \text{s} = 3{,}6 \times 10^6\ \text{J}$$

HERRAMIENTA MATEMÁTICA
1 HP = 746 vatios
1 kW = 1.000 vatios

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

6.8 Una lavadora permanece en funcionamiento durante 25 minutos. Si la potencia que consume es de 2.000 W y la empresa de energía cobra el kW-h a $230, determinar:

a. La energía consumida por la lavadora en kW-h.

b. El costo de mantener la lavadora en funcionamiento durante los 25 minutos.

SOLUCIÓN:

a. Para determinar la energía consumida por la lavadora tenemos:

$$E = Pt = 2\ kW \cdot \frac{25}{60}\ h = 0{,}83\ kW\text{-}h$$

b. El costo del funcionamiento durante los 25 minutos es el producto de 0,83 kW-h por el valor del kW-h, es decir, $190,90.

1.3.3 La potencia automotriz

En la información que se proporciona acerca de los automóviles se incluye su potencia, cuyo valor se expresa en caballos de potencia. También se incluye en la información la relación peso/potencia, que se expresa en kg/HP, lo cual indica la cantidad de kilogramos que se deben mover por cada caballo de potencia con el carro vacío. En la tabla 6.1, se presentan las potencias y la relación masa/potencia de algunos automóviles comunes en Colombia.

TABLA 6.1

Marca	Hp	kg/HP
Renault Symbol Alizé	98	10,0
Renault Clio Cool	98	10,4
Chevrolet Aveo 1.4 LS 4p	92,5	12,2
Hyundai Accent	95	12,5
Chevrolet Corsa Evolution 4p	84	12,9
Renault Megane 1.4 A.A. Unique	95	11,6
Chevrolet Optra 1.4	92	13,2

Se observa cómo se relacionan la potencia y la velocidad media. Puesto que el trabajo efectuado por una fuerza paralela al desplazamiento es $W = F \cdot \Delta x$ y la potencia es $P = W/\Delta t$, tenemos que:

$$P = F\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Como $v = \Delta x/\Delta t$, entonces:

$$P = F\vec{v} \qquad \text{ECUACIÓN 6.9}$$

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.9 Un vehículo circula por una carretera a una velocidad constante de 36 km/h. Si la potencia desarrollada por el motor es de 70 HP, determinar la fuerza desarrollada por el motor.

SOLUCIÓN:

Para determinar la fuerza, expresamos los 70 HP en vatios. $70\ HP = 70HP \cdot \frac{746\ W}{1\ HP} = 5{,}2 \times 10^4\ W.$

Ahora convertimos las unidades de la velocidad: $36\frac{km}{h} \cdot \frac{1.000\ m}{1\ km} \cdot \frac{1\ h}{3.600\ s} = 10\ m/s$

Por tanto:

$$F = \frac{P}{v} = \frac{5{,}2 \times 10^4\ W}{10\ m/s} = 5.220\ N$$

La fuerza desarrollada por el motor a una velocidad media de 36 km/h es 5.220 N

6.10 Un automóvil, cuya masa es 926 kg y cuya potencia es 92 HP, desarrolla una velocidad media de 72 km/h. Determinar:

a. La relación peso/potencia.

b. La fuerza que se ejerce sobre el automóvil.

SOLUCIÓN:

a. La relación peso/potencia es:

$926\ kg/99\ HP = 9{,}4\ kg/HP.$

Lo cual significa que por cada caballo de potencia se deben mover 9,4 kg.

b. Para determinar la fuerza, expresamos los 99 HP en vatios.

$$99\ HP = 99\ HP \cdot \frac{746\ W}{1\ HP} = 7{,}4 \times 10^4\ W$$

Como 72 km/h equivalen a 20 m/s se tiene:

$P = F\vec{v}$ *Ecuación 6.9*

$7{,}4 \times 10^4\ W = F \cdot 20\ m/s$

$F = 3.700\ N$

La fuerza necesaria para que el automóvil desarrolle una velocidad media de 72 km/h es 3.700 N.

Tema 2. La conservación de la energía

2.1 La conservación de la energía mecánica

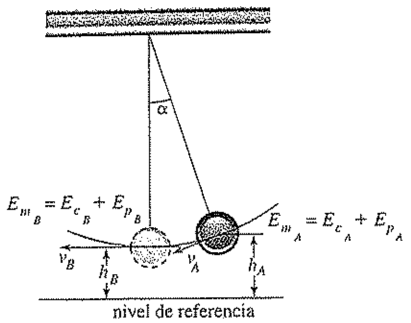


FIGURA 6

Un péndulo simple consiste en una esfera que se ata a una cuerda y describe un movimiento de vaivén alrededor de una posición llamada posición de equilibrio (figura 6). Consideremos que en la posición A y en la posición B la esfera se encuentra en movimiento, por lo cual llamaremos E_{c_A} y E_{c_B} a la energía cinética en las posiciones A y B, respectivamente. Por otra parte, en las posiciones A y B la esfera se encuentra a determinada altura con respecto al nivel de referencia elegido, por tanto le asignamos energías potencial E_{p_A} y E_{p_B}, respectivamente.

Cuando la esfera se desplaza desde la posición A hasta la posición B, el trabajo neto realizado por el péndulo está dado por el teorema de trabajo-energía cinética así:

$$W_{neto} = E_{c_B} - E_{c_A}$$

Si no consideramos la resistencia que ofrece el aire, entonces sobre la esfera actúan dos fuerzas, la tensión de la cuerda y el peso de la esfera. Puesto que la tensión es perpendicular a la dirección del desplazamiento en todos los puntos de la trayectoria, la única fuerza que realiza trabajo sobre la esfera es su peso. Por tanto, el trabajo neto es igual al trabajo realizado por el peso, de donde:

$$W_{mg} = E_{c_B} - E_{c_A} \qquad \text{ECUACIÓN 6.10}$$

Por otra parte, como el peso es una fuerza conservativa, el trabajo realizado por él es independiente de la trayectoria seguida por la esfera para ir desde el punto A hasta el punto B. Entonces, tenemos, que el trabajo realizado por el peso cuando la esfera se mueve desde el punto A hasta el punto B se expresa como:

$$W_{mg} = E_{p_A} - E_{p_B} \qquad \text{ECUACIÓN 6.11}$$

Para el trabajo realizado por el peso, tenemos que:

$$E_{c_B} - E_{c_A} = E_{p_A} - E_{p_B}$$

De donde:

$$E_{c_A} + E_{p_A} = E_{c_B} + E_{p_B} \qquad \text{ECUACIÓN 6.12}$$

Llamamos energía mecánica de un objeto en cada instante a la suma de la energía potencial y de la energía cinética en dicho instante. Por tanto, la ecuación 6.12 se puede expresar como:

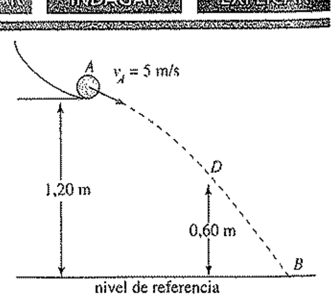
$$E_{m_A} = E_{m_B} \qquad \text{ECUACIÓN 6.13}$$

La única fuerza que realiza trabajo sobre el objeto es el peso, el cual es una fuerza conservativa. De acuerdo con esta deducción, enunciamos el **principio de conservación de la energía mecánica** en los siguientes términos: *Durante un proceso experimentado por un cuerpo sobre el cual actúan sólo fuerzas conservativas, la energía mecánica permanece constante.*

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

6.11 Una esfera de masa 0,20 kg sale disparada desde el borde de una rampa con velocidad de 5,0 m/s y desde una altura de 1,20 m sobre el suelo, como se muestra en la figura. Si se desprecia la resistencia del aire, determinar:



a. La energía mecánica en el punto A.
b. La energía cinética, cuando la altura con respecto al suelo es 0,60 cm.
c. La velocidad de la esfera, cuando la altura con respecto al suelo es 0,60 cm.
d. La energía cinética, un instante antes de chocar con el suelo.

SOLUCIÓN:

a. *En el punto A para los valores de la energía cinética y potencial tenemos:*

$$E_{c_A} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2$$

$$E_{c_A} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}2\ kg \cdot (5\ m/s)^2 = 2{,}5\ J$$

$$E_{p_A} = m \cdot g \cdot h_A$$

$$E_{p_A} = 0{,}20\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 1{,}20\ m = 2{,}4\ J$$

Por tanto, la energía mecánica en el punto A es:

$$E_{m_A} = E_{c_A} + E_{p_A} = 2{,}5\ J + 2{,}4\ J = 4{,}9\ J$$

La energía mecánica en el punto A es 4,9 J.

b. *En el punto D, la energía potencial es:*

$$E_{p_D} = m \cdot g \cdot h_D$$

$$E_{p_D} = 0{,}20\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 0{,}60\ m = 1{,}2\ J$$

Puesto que se desprecia la resistencia del aire, la única fuerza que actúa sobre la esfera entre los puntos A y D es el peso, por tanto, la energía mecánica se conserva, es decir,

$E_{m_A} = E_{m_D}$ *Ecuación 6.13*

$4{,}9\ J = E_{c_D} + E_{p_D}$ *Ecuación 6.12*

$4{,}9\ J = E_{c_D} + 1{,}2\ J$ *Al reemplazar*

$E_{c_D} = 3{,}7\ J$

La energía cinética en el punto D es 3,7 J, lo cual muestra que la energía cinética aumentó en 1,2 J y en consecuencia la energía potencial disminuyó en la misma cantidad.

c. *Puesto que la energía cinética en el punto D es 3,7 J, tenemos:*

$E_{c_D} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_D^2$ *Ecuación 6.5*

$3{,}7\ J = \frac{1}{2} \cdot 0{,}2\ kg \cdot v_D^2$ *Al reemplazar*

$v_D = 6{,}1\ m/s$

La velocidad en el punto D es 6,1 m/s.

d. *En el punto B, la energía potencial es* $E_{p_B} = 0$ *porque en dicho punto la altura con respecto al nivel de referencia, el suelo, es igual a cero. Como la energía mecánica se conserva,*

$E_{m_A} = E_{m_B}$ *Ecuación 6.13.*

$4{,}9\ J = E_{c_B} + E_{p_B}$ *Ecuación 6.12*

$4{,}9\ J = E_{c_B} + 0\ J$

$E_{c_B} = 4{,}9\ J$

La energía cinética en el punto B es 4,9 J, que corresponde al valor de la energía mecánica puesto que la energía potencial es igual a cero.

2.2 Las fuerzas no conservativas

En el apartado anterior consideramos situaciones en las cuales las fuerzas que realizan trabajo son fuerzas conservativas, por tanto, no consideramos la fuerza de rozamiento. Sin embargo, en las situaciones reales, es inevitable que la fuerza de rozamiento actúe sobre los cuerpos. Como lo hemos estudiado, el trabajo de la fuerza de rozamiento es negativo, lo cual significa que la energía mecánica de los objetos disminuye y se manifiesta en forma de calor, como lo experimentamos cuando frotamos los dedos contra una superficie. Debido a esta disminución de la energía mecánica, la fuerza de rozamiento se identifica como una fuerza disipativa.

Además de la fuerza de rozamiento, cuyo trabajo, por lo general, depende de la trayectoria, sobre un objeto pueden actuar otras fuerzas no conservativas. El trabajo realizado por las fuerzas no conservativas, notado por $W_{F\,no\,cons}$, afecta la energía mecánica de un objeto. Por tanto, tenemos que:

$$E_{m_A} + W_{F\,no\,cons} = E_{m_B} \qquad \text{ECUACIÓN 6.14}$$

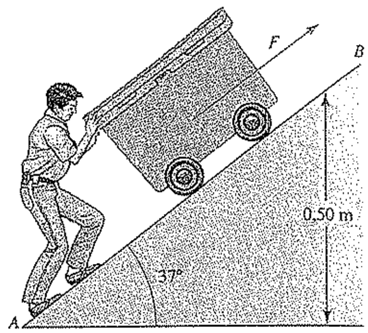
El trabajo realizado por las fuerzas no conservativas depende de la trayectoria. Cuando la fuerza es disipativa, su trabajo es negativo y la energía mecánica disminuye, mientras que, si el trabajo realizado por las fuerzas conservativas es positivo, la energía mecánica aumenta.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.12 Para subir un carro de 40 kg, un hombre aplica una fuerza F y utiliza como rampa un plano inclinado 37° con respecto a la horizontal, de tal manera que el carro sube con velocidad constante de 2,0 m/s. Si se desprecia el rozamiento, determinar:

a. La energía mecánica en el punto A que se encuentra en la base del plano.
b. La energía mecánica en el punto B que se encuentra a 0,50 metros de altura sobre el piso.
c. El trabajo realizado por la fuerza F que ejerce el hombre.



SOLUCIÓN:

a. Para el punto A se tiene:

$$E_{c_A} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} \cdot 40\ kg \cdot (2{,}0\ m/s)^2 = 80\ J$$

$$E_{p_A} = m \cdot g \cdot h_A = 0$$

Por tanto, la energía mecánica en el punto A es

$$E_{m_A} = E_{c_A} + E_{p_A} = 80\ J + 0\ J = 80\ J$$

b. Para el punto B se tiene:

$$E_{c_B} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = \frac{1}{2} \cdot 40\ kg \cdot (2{,}0\ m/s)^2 = 80\ J$$

$$E_{p_B} = m \cdot g \cdot h_B = 40\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 0{,}50\ m = 196\ J$$

Por tanto, la energía mecánica en el punto B es

$$E_{m_B} = E_{c_B} + E_{p_B} = 80\ J + 196\ J = 276\ J$$

c. Puesto que:

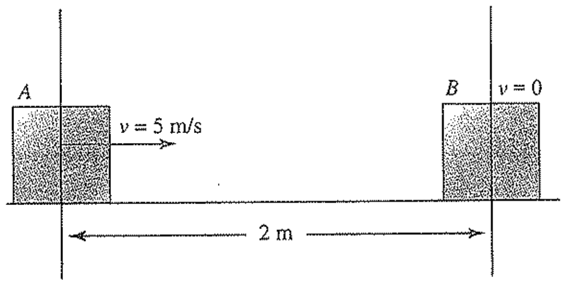
$$E_{m_A} + W_F = E_{m_B} \qquad \text{Ecuación 6.14}$$

$$W_F = E_{m_B} - E_{m_A} = 276\ J - 80\ J = 196\ J$$

Como la velocidad es constante, el trabajo realizado por F es igual al aumento de la energía potencial.

6.13 Un bloque de masa 10 kg se mueve sobre una superficie horizontal con velocidad de 5,0 m/s. Si recorre una distancia de 2 m hasta detenerse, determinar:

a. El trabajo de la fuerza de rozamiento.
b. La fuerza de rozamiento.



SOLUCIÓN:

a. Para los valores de la energía cinética y potencial en la posición inicial A, se tiene:

$$E_{c_A} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} 10\ kg \cdot (5{,}0\ m/s)^2 = 125\ J$$

$$E_{p_A} = m \cdot g \cdot h_A = 0$$

Por tanto, la energía mecánica en el punto A es

$$E_{m_A} = E_{c_A} + E_{p_A} = 125\ J + 0\ J = 125\ J$$

Para los valores de la energía cinética y potencial en la posición final B, se tiene:

$$E_{c_B} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = 0\ J$$

$$E_{p_B} = m \cdot g \cdot h_B = 0$$

Por tanto, la energía mecánica en el punto B es

$$E_{m_B} = E_{c_B} + E_{p_B} = 0\ J + 0\ J = 0\ J$$

Para determinar el trabajo de la fuerza de rozamiento se tiene:

$$W_{F_r} = E_{m_B} - E_{m_A} = 0\ J - 125\ J = -125\ J$$

El trabajo es negativo, lo cual concuerda con que la energía mecánica disminuya, pues su valor inicial es 125 J y la final es 0 J.

b. El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento se expresa como:

$$F_r = \frac{W}{\Delta x \cdot \cos\alpha} = \frac{-125\ J}{2\ m \cdot \cos 180°} = 62{,}5\ N$$

2.3 Energía potencial elástica

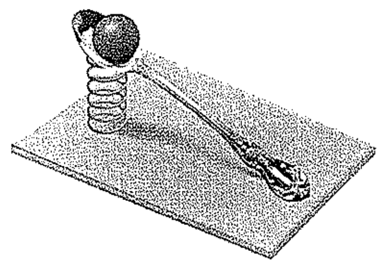


FIGURA 7

En la figura 7, se muestra el modelo de una catapulta. Cuando se baja la cuchara para comprimir el resorte y luego se suelta, se le transmite movimiento a la pelota. Si se comprime el resorte se aplica una fuerza y esta produce un desplazamiento, por tanto, realiza un trabajo. En el momento en que la cuchara se suelta, el resorte transfiere energía a la pelota, lo cual implica que al resorte se le puede transferir una forma de energía, llamada energía potencial elástica, que se transforma en energía cinética. La fuerza variable aplicada por un resorte realiza un trabajo cuando se produce un desplazamiento x y este trabajo se expresa como:

$$W = \frac{1}{2} kx^2$$

Esto sugiere que la energía potencial elástica se determina como:

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 \qquad \text{ECUACIÓN 6.15}$$

Donde x es la distancia que el resorte se estira o se comprime y k es la constante elástica del resorte.

Ahora, si la energía potencial de un objeto puede ser gravitacional cuando se relaciona con el trabajo que realiza el peso o elástica cuando se relaciona con la fuerza que ejerce un resorte, podemos determinar la energía mecánica de un objeto como:

$$E_m = E_c + E_p$$

Debemos tener en cuenta que la energía potencial es la suma de la energía potencial gravitacional y la energía potencial elástica y que la fuerza ejercida por un resorte es conservativa porque sólo depende de los estados inicial y final del resorte.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.14 Una esfera de masa 5,0 kg se suelta desde una altura de 2 m con respecto al extremo libre de un resorte que está en su posición de equilibrio. Si al chocar con el resorte, este experimenta una compresión máxima de 0,50 m con respecto a su posición de equilibrio, determinar la constante elástica del resorte.

SOLUCIÓN:

Para determinar la constante elástica del resorte, se debe calcular la energía mecánica en el punto (A), donde se suelta la esfera, E_{m_A}, y la energía mecánica en el punto (B), donde experimenta una compresión de 0,5 m, E_{m_B}. Como el cuerpo se suelta, su velocidad en el punto A es cero, por tanto,

$$E_{c_A} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 = 0\ J$$

$$E_{p_A} = m \cdot g \cdot h_A = 5{,}0\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 2{,}5\ m = 122\ J$$

De donde, la energía mecánica en el punto A es:

$$E_{m_A} = E_{c_A} + E_{p_A} = 0\ J + 122\ J = 122\ J$$

Como 0,5 m es la máxima compresión del resorte, la esfera en el punto B está detenida, por tanto,

$$E_{c_B} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = 0\ J$$

$$Ep_B = m \cdot g \cdot h_B + \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

$$E_{p_B} = 5{,}0\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 0\ m + \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0{,}5\ m)^2$$

$$E_{p_B} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0{,}5\ m)^2$$

Luego, la energía mecánica en el punto B es:

$$E_{m_B} = E_{c_B} + E_{p_B} = 0\ J + \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0{,}5\ m)^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0{,}5\ m)^2$$

En consecuencia

$$E_{m_A} = E_{m_B} \qquad \textit{Ecuación 6.13}$$

$$122\ J = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0{,}5\ m)^2 \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$k = 976\ N/m \qquad \textit{Al despejar k}$$

La constante elástica del resorte es 976 N/m.

6.15 Un resorte de constante elástica 100 N/m se comprime 0,2 m al contacto con un bloque de masa 0,5 kg, generando que el bloque recorra 1 m sobre una superficie horizontal. Determinar el coeficiente de rozamiento entre el bloque y la superficie.

SOLUCIÓN:

Si tomamos como nivel de referencia para la energía potencial gravitacional la horizontal sobre la cual se desplaza el bloque, entonces la energía potencial gravitacional en cualquier punto es igual a cero.

Como el cuerpo se suelta, su velocidad en el punto (A) donde se comprime el resorte es cero, por tanto,

$$E_{c_A} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 = 0\ J$$

$$E_{p_A} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot 100\ N/m \cdot (0{,}2\ m)^2 = 2\ J$$

Por tanto, la energía mecánica en el punto A es:

$$E_{m_A} = E_{c_A} + E_{p_A}$$
$$E_{m_A} = 0\ J + 2\ J = 2\ J$$

Para el punto (B) donde el bloque ha terminado su recorrido de 1 m, se tiene que el objeto está detenido, por tanto, su energía cinética es cero.

Como no está en contacto con el resorte, su energía potencial elástica es cero. En consecuencia, la energía mecánica en el punto B es:

$$E_{m_B} = 0\ J$$

Luego,

$$E_{m_A} + W_{F_r} = E_{m_B} \qquad \textit{Ecuación 6.14}$$
$$2\ J + W_{F_r} = 0\ J \qquad \textit{Al reemplazar}$$
$$W_F = -2\ J$$

El trabajo de la fuerza de rozamiento es −2 J.

El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento se expresa como:

$$W = F_r \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha \qquad \textit{Ecuación 6.1}$$
$$-2\ J = F_r \cdot 1\ m \cdot \cos 180°$$
$$F_r = 2\ N$$

La fuerza de rozamiento mide 2 N.

Como la fuerza normal, en este caso es igual al peso $mg = 0{,}5\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 4{,}9\ N$, *entonces* $F_N = 4{,}9\ N$, *por tanto,*

$$F_r = \mu \cdot F_N \qquad \textit{Ecuación 4.6}$$
$$2\ N = \mu \cdot 4{,}9\ N$$

De donde,

$$\mu = \frac{2\ N}{4{,}9\ N} = 0{,}4$$

El coeficiente de rozamiento es 0,4

2.4 La energía en las colisiones

Las colisiones son una aplicación del principio de conservación de la cantidad de movimiento. En una colisión se produce intercambio de cantidad de movimiento, pero también se produce transferencia de energía. A partir de la conservación de la energía, podemos clasificar las colisiones en colisiones elásticas y colisiones inelásticas.

En una colisión elástica, la energía cinética que traen los cuerpos no se pierde, como mínimo se intercambia parcialmente entre ellos, es decir, no se producen deformaciones ni calentamientos. Este tipo de colisión es muy usual a nivel microscópico. Por ejemplo, es posible considerar que en un gas ideal las moléculas se desplazan a grandes velocidades, produciendo colisiones que generan pérdida de la energía total de las moléculas.

Por otra parte, en una colisión inelástica parte de la energía cinética que inicialmente tienen los cuerpos, se pierde parcial o totalmente en deformaciones y calentamientos, como ocurre en el caso de una colisión automovilística.

En general, las colisiones que se producen en la naturaleza son inelásticas porque es inevitable que parte de la energía se disipe.

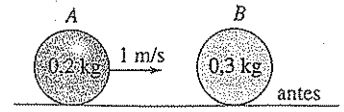
EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

6.16 Una esfera de masa 0,2 kg que se mueve con velocidad de 1 m/s choca con una esfera de masa 0,3 kg en reposo. Si después de la colisión la esfera de masa 0,2 kg se mueve en dirección contraria a su dirección inicial con velocidad de 0,2 m/s.

a. Calcular la velocidad de la esfera de 0,3 kg después de la colisión. **b.** Determinar si la colisión es elástica.

SOLUCIÓN:

a. *Para determinar la velocidad de la esfera de masa 0,3 kg después de la colisión, aplicamos el principio de conservación de la cantidad de movimiento.*



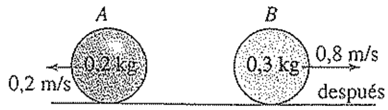
$$P_{antes} = P_{después} \qquad \text{Ecuación 4.13}$$

$$m_A \cdot v_{A_{antes}} + m_B \cdot v_{b_{antes}} = m_A \cdot v_{A_{después}} + m_B \cdot v_{B_{después}}$$

$$0{,}2\ kg \cdot 1\ m/s + 0{,}3\ kg \cdot 0\ m/s = 0{,}2\ kg \cdot (-0{,}2\ m/s) + 0{,}3\ kg\ v_{B_{después}}$$

$$0{,}2\ m/s = -0{,}04\ m/s + 0{,}3\ kg \cdot v_{B_{después}}$$

$$v_{B_{después}} = 0{,}8\ m/s$$



La velocidad de la esfera de 0,3 kg después de la colisión es 0,8 m/s.

b. *Para determinar si la colisión es elástica, determinamos si la energía se conserva, es decir si la energía antes de la colisión es igual a la energía después de la colisión. Como las esferas se encuentran sobre la misma superficie horizontal, la energía mecánica de cada esfera es cinética.*

$$E_{c_{antes}} = \frac{1}{2} \cdot m_A \cdot v^2_{A_{antes}} + \frac{1}{2} m_B \cdot v^2_{B_{antes}}$$

$$E_{c_{antes}} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}2\ kg \cdot (1\ m/s)^2 + \frac{1}{2} \cdot 0{,}3\ kg \cdot (0\ m/s)^2 = 0{,}1\ J.$$

$$E_{c_{después}} = \frac{1}{2} \cdot m_A \cdot v^2_{A_{después}} + \frac{1}{2} \cdot m_B \cdot v^2_{B_{después}}$$

$$E_{c_{después}} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}2\ kg \cdot (-0{,}2\ m/s)^2 + \frac{1}{2} \cdot 0{,}3\ kg \cdot (0{,}8\ m/s)^2 = 0{,}1\ J$$

La colisión es elástica porque la energía se conserva.

2.5 La conservación de la energía

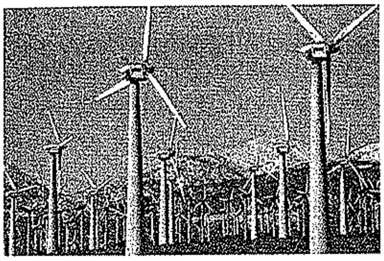
2.5.1 Fuentes de energía

Las fuentes de energía son sistemas naturales de los cuales extraemos energía para realizar trabajo. La mayoría de las fuentes de energía de las que disponemos provienen del Sol. Por ejemplo, las plantas para su desarrollo utilizan la energía que proviene del Sol para producir su alimento y crecer. Así mismo, a partir del proceso de fosilización de las plantas, el cual se toma muchos años, se producen recursos energéticos como el carbón.

Por tanto, de acuerdo con la tasa de utilización con relación a su ritmo de formación, las fuentes de energía se clasifican en renovables y no renovables. Por ejemplo, el Sol es una fuente de energía renovable, pues se considera que durará más tiempo que la especie humana. En cambio, los combustibles fósiles son fuentes de energía no renovables porque la rapidez con la cual se consumen tales productos es bastante mayor que su ritmo de formación.

A través de la historia, se han utilizado algunas fuentes de energía conocidas como convencionales en las que se encuentran aquellas fuentes no renovables.

Dado que cada día que pasa se adquiere conciencia acerca del posible agotamiento de las energías no renovables, se han empezado a explorar algunas fuentes de energía conocidas como no convencionales o fuentes de energía alternativa.



2.5.2 Energías alternativas

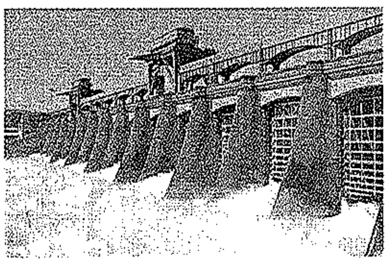
- **Energía solar.** La fuente de esta energía es la procedente del Sol y, dada su naturaleza de energía renovable, existe una tendencia universal por diseñar centrales solares.
- **Energía de la biomasa.** La fuente de esta energía es la materia orgánica, de origen vegetal o animal y los materiales obtenidos en la transformación natural o artificial de la materia orgánica. Por ejemplo, el estiércol para producir gas o el heno para obtener alcohol.
- **La energía eólica.** La fuente de energía eólica es el viento, que se encarga de poner en movimiento generadores de otros tipos de energía. Dado que requiere del viento, las regiones costeras son sitios apropiados para su implementación.
- **Energía geotérmica.** Esta energía se fundamenta en las altas temperaturas que se producen en el interior de la Tierra, por ejemplo, en algunas regiones se consigue agua en ebullición cerca de la superficie del planeta, lo cual sugiere que se podría emplear para producir movimiento a unas turbinas que generan otros tipos de energía.
- **Energía mareomotriz.** El agua del mar en su movimiento producido por las mareas es una fuente de energía que se puede utilizar para accionar turbinas y así producir otros tipos de energía.

2.6 El principio de conservación de la energía

Un principio general de la naturaleza se conoce como el principio de conservación de la energía:

DEFINICIÓN 6.5

La energía no se crea ni se destruye. En todos los sistemas la energía se transforma o se transfiere con la condición de que la energía total del sistema permanezca constante.



Por ejemplo, la energía eléctrica obtenida en las centrales hidroeléctricas se transforma en energía térmica con el funcionamiento de las estufas, en energía lumínica con las bombillas, en energía mecánica con los motores, etc. La corriente eléctrica que se conduce desde las centrales eléctricas hasta nuestras casas es portadora de energía, pues pone en funcionamiento los electrodomésticos, modifica la temperatura, produce luz, sonido, etc.

La energía nuclear asociada a los núcleos de los elementos químicos se aprovecha en las centrales nucleares. El fundamento de este tipo de energía se encuentra en la teoría propuesta por Albert Einstein, quien a través de la ecuación $E = mc^2$ estableció una relación entre materia y energía, de tal forma que la masa se puede convertir en energía y viceversa. Es decir, que a la luz de esta teoría, la masa-energía se conserva.

De esta manera, la conservación de la energía se aplica a una enorme gama de fenómenos en los cuales están involucrados diversos tipos de energía. Sin importar qué tipo de transformación ocurra, siempre se cumple que la cantidad total de energía de un sistema específico y sus alrededores permanece constante.

© SANTILLANA

Resumen de la unidad

SUMARIO DE CONCEPTOS

COLISIÓN ELÁSTICA: colisión en la que se conserva la energía.

COLISIÓN INELÁSTICA: colisión en la que no se conserva la energía.

ENERGÍA MECÁNICA: suma de la energía cinética y la energía potencial.

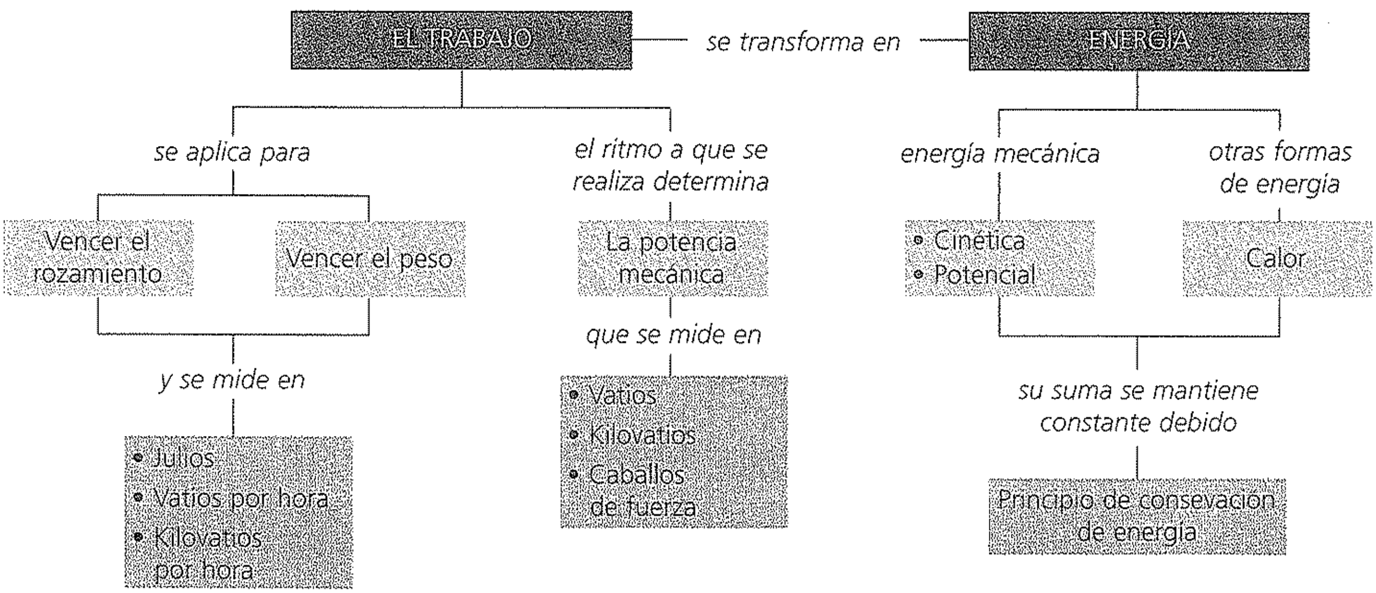
ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA: energía asociada a los objetos en virtud de su elasticidad cuando se produce una deformación.

FUERZA CONSERVATIVA: fuerza cuyo trabajo no depende de la trayectoria del objeto.

FUERZA DISIPATIVA: fuerza cuyo trabajo produce una disminución en la energía total de un sistema.

KILOVATIO-HORA (kW-h): unidad de energía que equivale al trabajo realizado durante una hora de funcionamiento por un dispositivo que desarrolla una potencia de un kilovatio.

MAPA DE CONCEPTOS



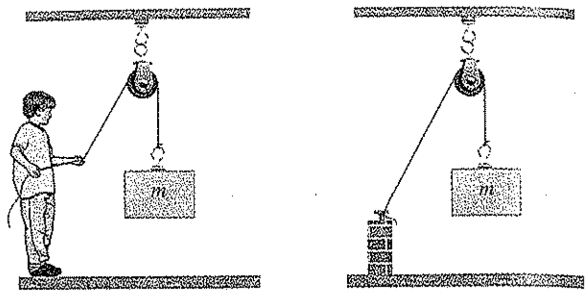
Tema 1. Trabajo, energía y potencia

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Por qué, en ocasiones, escuchamos decir a las personas adultas, que los niños no se cansan porque tienen mucha energía?
2. ¿La expresión "se fue la luz" cuando nos encontramos de día, la podemos remplazar por "se fue la energía"? ¿Por qué?
3. ¿Es posible que entre más estiras el elástico de una cauchera al lanzar una piedra, esta llega más lejos? Justifica tu respuesta.
4. Cuando estamos viendo un partido de fútbol y observamos que un jugador realiza un tiro hacia el arco contrario, ¿a qué se refiere el comentarista cuando dice que el balón llevaba mucha potencia? Explica tu respuesta.
5. Un levantador de pesas de 1,50 m y otro de 1,80 m levantan desde el piso la misma masa hasta la altura de su cabeza. ¿Cuál de los dos necesita realizar mayor fuerza?
6. En una construcción se deja caer un ladrillo y un bloque pequeño, el cual tiene la mitad de masa del ladrillo.

   Si el ladrillo cae desde el 4 piso y el bloque desde el 8 piso, ¿cuál de ellos puede causar mayor daño al caer?
7. ¿Qué puede ser más fácil de subir a un segundo piso, un bulto de cemento utilizando una polea, o subirlo en los hombros por las escaleras?, ¿por qué?
8. ¿Quién se cansará más rápido un niño que utiliza patines con ruedas de plástico o uno que utiliza patines con ruedas de goma, si ambos patinan la misma distancia?
9. En una competencia dos personas deben llevar bultos de igual peso.

   Una de ellas lo transporta por una carretera horizontal y la otra por una carretera inclinada, la cual forma un ángulo de 30° con la horizontal. ¿Cuál de los dos competidores tienen mayor posibilidad de ganar?
10. En la figura, ¿quién realiza mayor trabajo el hombre o el punto fijo donde está atada la cuerda?



11. ¿Qué permite que una grúa pueda transportar un carro que se encuentra averiado? Explica tu respuesta.
12. ¿Se realizará alguna clase de trabajo cuando una mamá empuja el coche del bebe? Justifica tu respuesta.
13. ¿Qué permite que en la montaña rusa se mueva el carrito? Explica tu respuesta.
14. Si una persona se ubica en el peldaño de una escalera eléctrica y permanece en él mientras esta sube. ¿Realizará algún trabajo la persona? ¿Por qué?
15. ¿Qué significa "hacer trabajo en contra de la fuerza"? Explica tu respuesta.
16. ¿Es posible que se realice trabajo mecánico al caminar? Justifica tu respuesta.
17. Si una motocicleta aumenta su velocidad al triple, ¿qué ocurre con su energía cinética?
18. ¿Cuándo se realiza más trabajo, al subir por una escalera vertical o por una inclinada? Justifica tu respuesta.
19. Cuándo se realiza más trabajo, ¿al comprimir un resorte una distancia l o al estirarlo una distancia l? Explica tu respuesta.

PROBLEMAS

20. Calcula el trabajo que realiza un cuerpo de 3 kg de masa, cuando se suelta desde una altura de 6 m.
21. Una persona saca de un pozo una cubeta de 22 kg de masa, realizando un trabajo 5.000 J. Calcula la profundidad del pozo.

22. Un escultor transporta horizontalmente una escultura de yeso de 25 kg a una distancia de 25 m, luego la lleva hasta la parte superior de un estante cuya altura es de 3,5 m. ¿Qué trabajo realiza el escultor?

23. Un obrero levanta un cilindro de 30 libras desde el suelo hasta una altura de 2,3 m. ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza de gravedad?

24. ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza de gravedad si se lanza una esfera de acero de 3 kg y alcanza una altura de 2 m con respecto al suelo?

25. Se tiene un resorte con una constante elástica de 150 N/m y 20 cm de longitud. ¿Qué trabajo se debe realizar para comprimirlo?

26. Una máquina realiza un trabajo de 10 J al transportar un artículo horizontalmente desde una mesa a otra, a una distancia de 3 m. ¿Cuál es la masa del objeto, si su aceleración es de 11 m/s^2?

27. ¿Qué trabajo debe hacerse para lograr elevar un cuerpo de 10 kg desde una altura de 2 m hasta un punto que se encuentra 11 m más arriba?

28. ¿Qué energía cinética tiene un cuerpo de 10 kg que se mueve con una velocidad de 30 km/h?

29. Se lanza una esfera de 0,2 kg verticalmente hacia arriba con una velocidad de 20 m/s ¿Cuál es el valor de la energía cinética en el momento del lanzamiento?

30. Si en un trasteo se cae de la baranda de un edificio una escultura de 20 kg a una altura de 15 m. Calcula la energía potencial gravitacional que adquiere la escultura en la caída.

31. Una mujer alza a su bebé de 10 kg hasta una altura de 1,5 m. Si la energía potencial inicial es cero, calcula la energía potencial que adquirirá.

32. Una piedra es lanzada verticalmente hacia arriba. Si alcanza una altura máxima de 25 m y su energía potencial es 98 J, ¿cuál es la masa de la piedra?

33. ¿En cuánto se incrementa la energía potencial de un elevador de 2.600 kg, si asciende desde el primer piso hasta una altura de 12 m?

34. Un avión comercial se encuentra a una altura de 2.300 m. Si el avión pesa $1{,}5 \times 10^4$ N y la velocidad con la cual se mueve es de 310 km/h, determina:

a. ¿Cuál es el valor de la energía cinética?

b. ¿Cuál es el valor de la energía potencial del avión?

35. Una persona sube bloques de 4 kg cada uno por una escalera, hasta una altura de 10 m tardándose 2 h en subir 500 bloques. Calcula la potencia ejercida por la persona en dicho proceso.

36. El motor de una máquina levanta 15 metros una lámina de concreto de masa 200 kg. Si este proceso lo realiza en 5 s,

a. ¿Qué trabajo realiza?

b. ¿Cuál es la potencia del motor?

37. Un patinador levanta sobre sus hombros a una compañera de 60 kg de masa. Si la altura desde el suelo hasta sus hombros es 1,68 m, ¿qué potencia desarrolla si el trabajo lo realiza en 10 segundos?

38. Una alpinista necesita llevar su carpa, su bolsa de dormir y demás elementos dentro de un morral, de tal manera que la masa de este sea de 25 kg. Después de subir por una montaña 280 m, observa su reloj y se da cuenta que han pasado 35 minutos desde el momento de su partida.

Calcula:

a. ¿Cuál es el peso del morral?

b. ¿Qué trabajo se hizo sobre el morral?

c. ¿Cuál es la potencia que emplea la alpinista?

39. Un elevador de 500 kg sube 8 personas de 60 kg cada una. Si el motor eléctrico levanta el elevador 10 m en 20 segundos, ¿cuánto trabajo realiza el motor del elevador y cuál es su potencia?

40. Diez bombillos de 100 W cada uno, permanecen encendidos 5 horas en promedio durante un día. Un televisor de 200 W permanece encendido 6 horas y una plancha de 1.000 W permanece conectada 30 minutos. Si el kW-h consumido cuesta $232, ¿cuál es el valor de la energía consumida durante un mes (30 días)?

ACTIVIDADES

41. Se utilizan, en una casa, los siguientes elementos:

- Una olla arrocera de 400 W durante 1 hora.
- Una plancha de 1.400 W por 2 horas.
- Una máquina de afeitar eléctrica de 4 W por 30 minutos.
- 4 bombillas de 60 W desde la 6:30 p.m. hasta las 10:30 p.m.

Determina:

a. ¿Cuál es la energía consumida por cada elemento?

b. ¿Cuál es la energía total consumida?

c. Si el costo del kW-h es de $231,68, ¿cuál es el costo del total de energía consumida?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

42. Una gota de lluvia de masa $3,4 \times 10^{-4}$ kg cae, bajo la influencia de la gravedad y la resistencia del aire, verticalmente con velocidad constante. Si la gota ha descendido 120 m, calcula:

a. El trabajo realizado por la gravedad.

b. La energía disipada por la resistencia del aire.

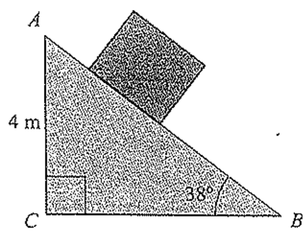
43. Un grupo de renos arrastra un trineo de 200 kg de masa, en un tramo de 4 km sobre una superficie horizontal a velocidad constante. Si el coeficiente de fricción entre el trineo y la nieve es 0,18. Calcula:

a. El trabajo realizado por los renos.

b. La energía perdida debido a la fricción.

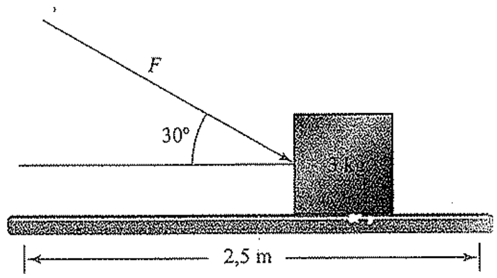
44. Un bloque de 350 g se desliza por una superficie horizontal, sin fricción, con una velocidad de 10 m/s. Si va en dirección de un resorte fijo, cuya constante elástica $k = 130$ N/m, ¿qué tanto se comprime el resorte?

45. Un cuerpo de 3 kg parte del punto *A*. Halla el trabajo neto realizado por él para ir hasta *B*, si la fuerza resultante es 4,3 N.



46. Un proyectil de 500 g es lanzado con una velocidad de 60 m/s, formando un ángulo de 60° con la horizontal. ¿Cuál es el trabajo realizado por la gravedad desde que el proyectil parte hasta que alcanza la máxima altura?, ¿cuál es el trabajo realizado por la gravedad en todo el trayecto del proyectil?

47. Una caja se empuja a lo largo de una superficie horizontal sin fricción, como se observa en la figura.



Si se le aplica una fuerza constante de 18 N dirigida a 30° por debajo de la horizontal.

Determina:

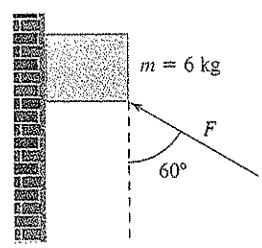
a. El trabajo realizado por la fuerza aplicada.

b. El trabajo realizado por la fuerza normal ejercida por la mesa.

c. El trabajo realizado por la fuerza de gravedad.

d. El trabajo realizado por la fuerza neta sobre el bloque.

48. Si el bloque de la figura sube con velocidad constante. Halla el trabajo realizado por la fuerza de 10 N cuando recorre una distancia de 8 m hacia arriba.



49. Una masa de 700 kg se mueve a una velocidad de 5 m/s sobre una superficie horizontal con fricción. Después de recorrer una distancia de 50 m, calcula:

a. El trabajo realizado por la fuerza.

b. La magnitud de la fuerza de fricción.

Tema 2. La conservación de la energía

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Por qué razón al encender una bombilla, esta se calienta? Explica tu respuesta.
2. ¿Cómo puedes explicar que algunos molinos utilicen el viento para funcionar?
3. ¿Por qué razón un rotor utiliza la velocidad del agua del río para mover motores y producir energía?
4. Después de un incendio forestal, ¿crees qué la materia existente en el bosque ha dejado de existir? Explica tu respuesta.
5. ¿Por qué razón cuando una pelota de hule rebota contra el piso no vuelve a alcanzar su altura inicial? Justifica tu respuesta.
6. Los alimentos nos aportan energía de tal manera que podemos utilizarla corriendo, saltando o realizando cualquier actividad.

   ¿Qué proceso permite que se libere la energía de los alimentos en nuestro cuerpo?
7. ¿Qué sucede con una persona que trabaja más que su consumo de energía o calorías? Explica tu respuesta.
8. ¿Qué utilidades en nuestro medio tienen el petróleo, el carbón y el gas natural?
9. En un campamento es necesario realizar una fogata, ¿qué utilidades presta la fogata a las personas del campamento?
10. ¿Por qué razón un auto pequeño economiza más combustible que un auto pesado y de mayor tamaño?
11. Un niño comprime un resorte entre sus manos. ¿Qué sucede con el resorte en el momento de soltarlo? Explica tu respuesta.
12. ¿Por qué se calientan o producen fuego dos piedras al ser frotadas?
13. Cuando sueltas una pelota de caucho, rebota más que cuando sueltas una pelota de icopor. ¿Por qué sucede este hecho? Explica tu respuesta.
14. ¿Por qué entre más estiras una banda de caucho, mayor es el esfuerzo que debes realizar?
15. ¿Qué pasaría con una flecha, si la cuerda del arco no está bien tensa? Justifica tu respuesta.
16. ¿Por qué la red que se coloca debajo de los trapecios en los circos, debe quedar poco tensa? Explica tu respuesta.
17. Un bloque de masa m que se mueve con rapidez v choca contra un resorte sobre una superficie sin rozamiento, como se muestra en la figura.

    Si se aumenta la rapidez del bloque, ¿qué variación tiene la comprensión del resorte?
18. Desde lo alto de un plano inclinado sin rozamiento se deja rodar una esfera de masa m. Si el plano tiene altura h, ¿la velocidad depende de la esfera o del ángulo de inclinación del plano? Explica tu respuesta.
19. ¿Por qué las cápsulas espaciales se calientan al ingresar a la atmósfera terrestre?
20. ¿Cuál es la fuente de energía cuando un atleta práctica el salto con garrocha? Explica tu respuesta.
21. La mayoría de las carreteras que conducen a la cima de una montaña son construidas en zigzag. ¿Qué ventajas representa este hecho desde el punto de vista de la conservación de la energía y de la potencia consumida por el motor?
22. Dos objetos que se mueven con velocidades v y $2v$ chocan entre sí. Si las masas son idénticas, ¿es posible que uno de ellos quede en reposo después de la colisión?
23. Un resorte de constante elástica k, se comprime sobre la superficie de una mesa, ¿el resorte salta de la mesa al soltarlo?. Justifica tu respuesta. Describe las transformaciones de la enregía.

ACTIVIDADES

PROBLEMAS

24. Cuando es necesario, los aviones dejan caer sobre zonas de difícil acceso ayudas como alimentos y ropa. Si desde un avión que vuela a una velocidad de 215 m/s se lanza una caja de 55 kg, y el avión se encuentra a una altura de 610 m. ¿Cuál es la velocidad con que el objeto toca el suelo?

25. Un beisbolista lanza una pelota con una rapidez de 25 m/s formando un ángulo con la horizontal de 45° ($m = 0{,}5$ kg).

a. ¿Cuál es la altura alcanzada?

b. ¿Cuál es la energía cinética en el punto más alto?

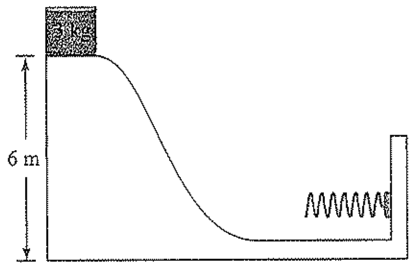
c. ¿Cuál es la energía potencial en el punto más bajo?

26. A un resorte se le aplica una fuerza de 600 N para que se comprima 17 cm. Encuentra:

a. La constante de elasticidad del resorte.

b. El trabajo realizado por la fuerza.

27. Un bloque de masa m se mueve desde una altura de 6 m, como se muestra en la figura:



Si el bloque se mueve con una velocidad inicial de 4,5 m/s y al chocar contra el resorte lo comprime una distancia de 80 cm. ¿Cuál es la constante del resorte?

28. Un niño desea bajar una manzana que se encuentra a una altura de 4 m en la copa de un árbol. Si para golpear la manzana utiliza una cauchera de constante elástica 50 N/m y una piedra de masa 25 g, ¿cuánto debe estirar el caucho para poder dar justo en la manzana?

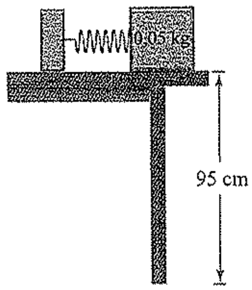
29. Un resorte estirado tiene 300 J de energía potencial elástica. Si la constante elástica del resorte es 2.000 N/m, ¿hasta qué distancia se extiende el resorte a partir de su posición de equilibrio?

30. Una fuerza de 30 N comprime un resorte 0,2 m. Calcula:

a. La constante de elasticidad del resorte.

b. La energía potencial elástica del resorte.

31. Sobre una mesa se coloca un resorte que es comprimido por una masa, como se muestra en la figura:



Si la constante de elasticidad del resorte es de 180 N/m y es comprimido 8 cm, encuentra la velocidad con cual llega el cuerpo al suelo.

32. Una pelota de masa $m = 50$ g, cae desde una altura de 60 m. Si cae sobre un resorte de constante elástica $k = 300$ N/m, ¿Cuál es la compresión máxima del resorte?

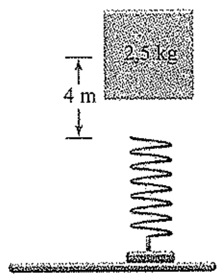
33. Se lanza verticalmente hacia arriba una masa de 3 kg desde una altura de 10 m, con una velocidad de 18 m/s. Encuentra:

a. La energía mecánica de la masa al instante de ser lanzada.

b. La energía potencial en el punto más alto de su trayectoria.

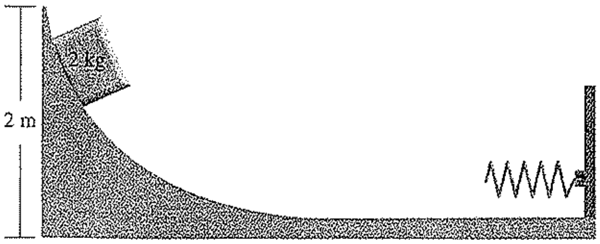
c. La altura máxima que alcanza la masa.

34. Se deja caer una masa desde cierta altura, hacia un resorte, como se muestra en la figura.



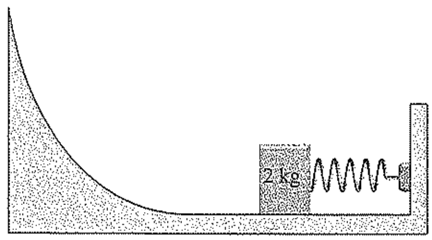
Si la velocidad con que cae la masa es de 12 m/s, calcula la constante de elasticidad del resorte, si este se comprime 90 cm por la acción del choque.

35. Se suelta un bloque desde un punto P con una velocidad de 2 m/s, como se muestra en la figura.



Si el bloque comprime el resorte de constante de elasticidad 85 N/m, ¿cuánto se comprime el resorte?

36. Se coloca una masa delante de un resorte que tiene constante de elasticidad 250 N/m y que se encuentra comprimido 0,25 m. Cuando se deja de comprimir, la masa sale disparada por un plano sin fricción como se muestra en la figura:



Determina la altura que subirá la masa.

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

37. Un bloque de 12 kg de masa se desliza desde el reposo hacia abajo por una pendiente sin fricción de 35° y lo detiene un resorte de constante de elasticidad 3×10^4 N/m. El bloque se desliza 3 m desde el punto de partida hasta el punto donde queda en reposo contra el resorte. Cuando el bloque queda en reposo,¿qué tanto se ha comprimido el resorte?

38. Una bala de masa 18 g que se mueve con velocidad de 450 m/s, se incrusta 20 cm dentro de un bloque de madera hasta detenerse. Calcula la fuerza de rozamiento producida por el bloque.

39. Un atleta de salto alto tiene una masa de 55 kg. Si alcanza una velocidad de 15 km/h en el momento del salto y transforma el 50% de su energía cinética en energía potencial, calcula el trabajo que debe realizar el atleta con los músculos de sus piernas para saltar 2 m.

40. Se deja caer una masa de 5 kg desde una altura de 30 m. Calcula:

a. La energía mecánica de la masa al iniciar su movimiento.

b. La energía cinética después de descender 15 metros.

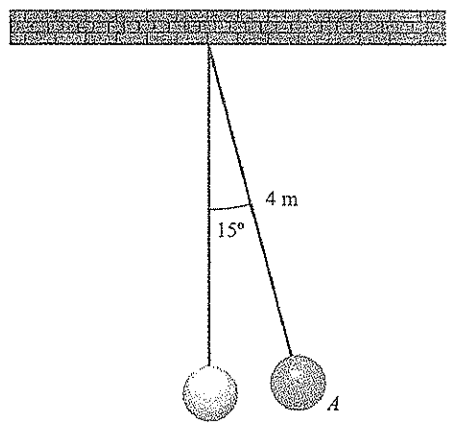
c. La velocidad que tiene la masa en ese instante.

41. Un bloque de 6 kg de masa se mueve en línea recta por un plano sin fricción y choca contra un resorte de constante de elasticidad de 200 N/m y la comprime 20 cm hasta detenerse. Encuentra:

a. La energía cinética que tiene la masa en el instante de chocar contra el resorte.

b. La energía potencial que adquiere el resorte en el momento que la masa se detiene.

42. Un péndulo se suelta en el punto A, como indica la figura. Calcula la rapidez en la parte baja de la trayectoria. Considera despreciable la fricción.



43. Un cuerpo de 2,5 kg de masa empieza a subir por un plano inclinado con rapidez de 36 km/h.

Si la inclinación del plano es de 36° y el cuerpo antes de detenerse alcanza a desplazar a lo largo del plano una distancia de 6 m, calcula la energía que se transformó en calor y la fuerza de rozamiento.

44. Una pelota se deja caer desde una altura de 200 m, ¿cuál es la velocidad de la pelota justo antes de tocar el piso?

PREGUNTAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE CON ÚNICA RESPUESTA (TIPO I)

Este tipo de preguntas constan de un enunciado y cuatro opciones de respuesta (A, B, C y D). Sólo una de estas opciones es correcta.

Un coleccionista de discos de vinilo analiza el movimiento que realiza uno de sus discos en el momento que pone a funcionar el tornamesa y determina que es necesario reproducirlo a 45 r.p.m. y a 33 r.p.m. como lo estaba haciendo; ya que es un disco cuyo diámetro es de 7 pulgadas.

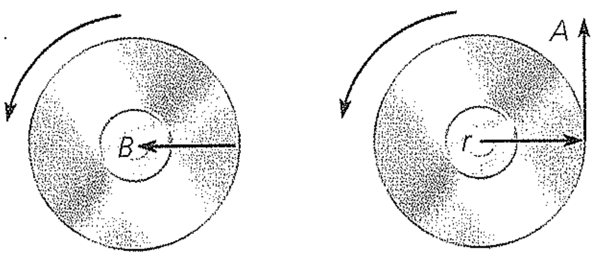
1. Si se dice que el radio del disco y la rapidez de su movimiento son constantes, la velocidad siempre es:

A. paralela al disco.
B. secante al disco.
C. perpendicular a la tangente del disco.
D. tangente al disco.

2. En el movimiento circular la aceleración centrípeta con respecto a la velocidad instantánea:

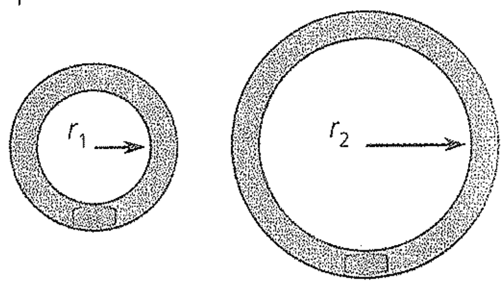
A. forma un ángulo recto.
B. forma un ángulo obtuso.
C. forma un ángulo agudo.
D. son paralelas.

3. En el movimiento circular de dos discos, los vectores *A* y *B* representan, respectivamente:



A. la velocidad tangencial y la velocidad angular.
B. la velocidad angular y la velocidad tangencial.
C. la velocidad tangencial y la aceleración centrípeta.
D. la aceleración centrípeta y la velocidad tangencial.

4. Dos pistas de juguete tienen radios r_1 y r_2, sobre cada pista se ubica un carro y se les pone en movimiento. Los dos carros emplean el mismo tiempo en dar una vuelta.



Se puede afirmar que:

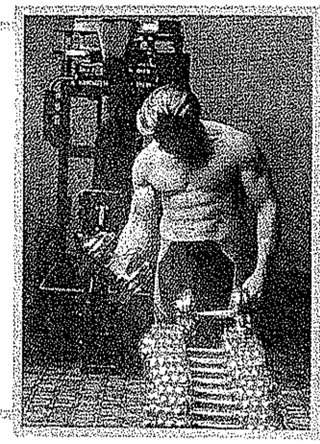
A. la aceleración angular del carro de la pista de r_1 es mayor que la rapidez del carro de la pista de r_2.
B. la velocidad angular del carro de la pista de r_1 es mayor que el carro de la pista de r_2.
C. la velocidad tangencial del carro de la pista de r_1 es menor que el carro de la pista de r_2.
D. la velocidad tangencial del carro de la pista de r_1 es mayor que el carro de la pista de r_2.

5. Es cierto afirmar que en un movimiento circular uniforme la fuerza centrípeta es:

A. inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia.
B. independiente de la frecuencia.
C. proporcional al cuadrado de la frecuencia.
D. inversamente proporcional a la frecuencia.

En un gimnasio dos instructores enseñan a sus estudiantes sobre el cuidado que se debe tener en el levantamiento de pesas y los riesgos que se pueden correr si no se toman las precauciones necesarias.

Los instructores explican que se debe comenzar con poco peso y luego incrementarlo dependiendo de la rutina que se realice. Los instructores realizan las respectivas demostraciones. Para ello, realizan las respectivas demostraciones con el propósito de que sus alumnos adquieran las diferentes posturas durante el desarrollo de cada ejercicio.



6. Si un instructor levanta más peso que otro, se puede afirmar que:

A. el que levanta más peso realiza mayor cantidad de trabajo.
B. ambos realizan la misma cantidad de trabajo.
C. la potencia de los dos es la misma.
D. la potencia de los dos es diferente.

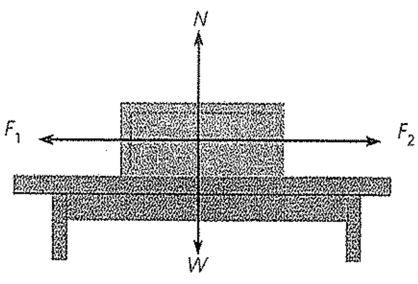
7. Si uno de los instructores levanta un saco de arena y lo sube por una escalera.

A. la energía cinética es máxima arriba.
B. la energía potencial es máxima arriba.
C. el trabajo se realiza horizontalmente.
D. el trabajo se realiza verticalmente.

8. Para duplicar el trabajo realizado por uno de los instructores, se debe duplicar:

A. la velocidad registrada.
B. la distancia recorrida y el tiempo requerido.
C. la fuerza aplicada y la distancia recorrida.
D. el tiempo recorrido y la fuerza aplicada.

Sobre el bloque de la figura actúan cuatro fuerzas.



9. Las fuerzas que no realizan trabajo son:

A. N, F_1
B. N, F_2
C. N, W
D. F_1, F_2

10. Si sobre el bloque actúa una fuerza neta, es correcto afirmar que:

A. el trabajo neto es igual al cambio de energía cinética.
B. el trabajo neto es tanto como a la energía potencial.
C. la energía potencial gravitacional y el trabajo son iguales.
D. el trabajo neto es diferente a la energía.

11. Si la fuerza resultante que actúa sobre el bloque es cero, el bloque:

A. continúa en reposo.
B. empieza a acelerar.
C. se desplaza con velocidad constante.
D. experimenta un movimiento imprevisto.

12. Cuando se lanza el bloque a lo largo de un plano inclinado con rozamiento y alcanza su altura máxima, se puede afirmar que:

A. la E_c se convierte en E_p.
B. la E_c se convierte en calor.
C. la E_c se convierte en E_p más calor.
D. la E_m permanece constante.

Trabajo

LABORATORIO 11

Objetivo

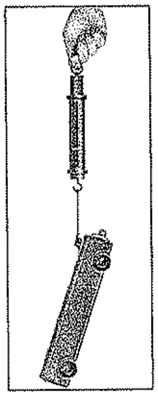
Determinar el trabajo realizado por una fuerza.

Materiales

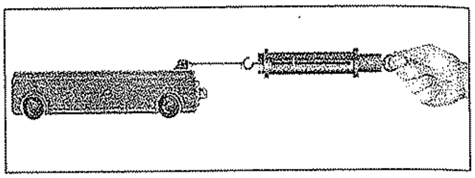
- Un carro dinámico.
- Un bloque metálico
- 20 cm de cuerda.
- Metro.
- Un dinamómetro.
- Masas de 100 g.

Procedimiento y registro

1. Enlaza el carro con la cuerda y engánchalo en el dinamómetro.
2. Coloca el carro y el dinamómetro en el piso. Levanta con cuidado el dinamómetro hasta que el carro suba a una altura de 1,50 m. Verifica el valor señalado en el dinamómetro y anótalo.



3. Ubica el carro y el dinamómetro sobre tu mesa de trabajo y hala el dinamómetro hasta que el carro recorra una distancia de 1,50 m. Observa el valor indicado por el dinamómetro y anótalo.



4. Pon una masa de 100 g sobre el carro y desplázalo horizontalmente 1,50 m. Mide la fuerza aplicada.
5. Aumenta a 300 g la fuerza aplicada sobre el carro y hala nuevamente la misma distancia. Observa qué sucede y anota.
6. Registra los datos obtenidos, en los procedimientos anteriores, en la siguiente tabla:

TABLA DE REGISTRO

Objeto	Movimiento	Distancia	Fuerza aplicada	Trabajo realizado
Carro	Vertical hacia arriba			
	Horizontal			
	Horizontal con una masa			
	Horizontal con dos masas			
Bloque metálico	Vertical hacia arriba			
	Horizontal			
	Horizontal con una masa			
	Horizontal con dos masas			

7. Repite el procedimiento anterior con el bloque metálico y escribe los datos en la tabla de registro.

Análisis de los resultados

1. Con los valores registrados para cada caso, realiza la gráfica que relaciona la fuerza y el trabajo.
2. Si realizaras el movimiento de cada objeto en un plano con inclinación 45°, ¿qué valores tendría el trabajo realizado por cada objeto mientras cae?
3. Si cada objeto describiera un movimiento circular uniforme, ¿cuál sería el valor del trabajo realizado por la fuerza centrípeta?

Conservación de la energía

LABORATORIO 12

Objetivo

Verificar la ley de la conservación de la energía.

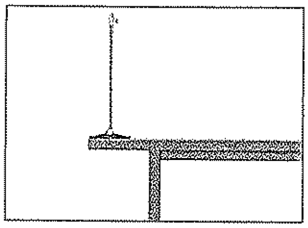
Materiales

- Hilo de coser.
- Canica
- Bisturí.
- Regla o metro.
- Soporte vertical.

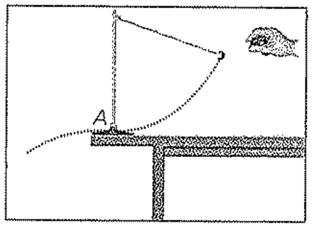
Procedimiento y registro

1. Ata la canica con el hilo y cuélgala al soporte vertical. El montaje realizado se denomina péndulo. Ubica el péndulo al borde de tu mesa de trabajo.
2. Ubica el bisturí exactamente en el punto A, de tal forma que corte el hilo cuando la canica llegue a ese punto.
3. Suelta la canica desde una altura h, y determina el valor x alcanzado por ella.

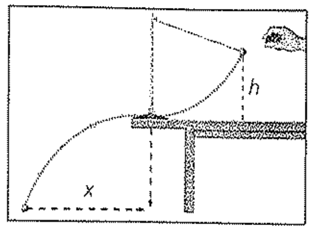
Procedimiento 1



Procedimiento 2



Procedimiento 3



4. Libera la canica al menos tres veces para el mismo valor de h y determina el valor de x.
5. Realiza el mismo procedimiento para 6 valores diferentes de h.
6. Registra los datos obtenidos en la siguiente tabla.

TABLA DE REGISTRO

h (m)	x (m)

7. Calcula la energía cinética y potencial de la canica en h.
8. Calcula la energía cinética de la canica en el punto x donde cae.

Análisis de los resultados

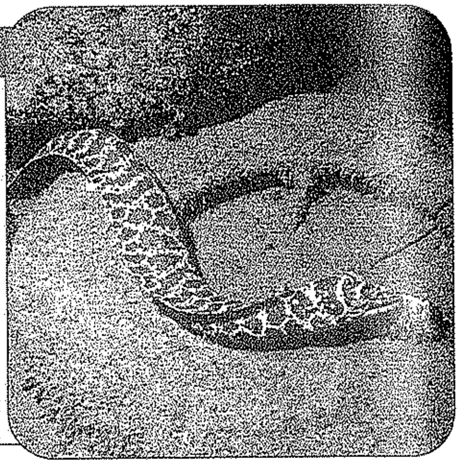
1. ¿Qué tipo de trayectoria describe la canica después de abandonar el punto A?
2. A partir de los datos obtenidos en la tabla, representa gráficamente h en función de x y h en función de x^2.
3. De acuerdo con las gráficas anteriores, responde:
   - ¿Qué puedes concluir respecto a la conservación de la energía mecánica en este sistema?
   - ¿Se conserva el momento lineal en este sistema? ¿Por qué?

El gasto energético

Correr, nadar y volar requieren diferentes gastos energéticos, ya que los medios en los que se desarrollan estos movimientos son completamente heterogéneos. El peso de los animales que nadan está en gran medida compensado por el empuje del agua, mientras al correr y volar hay que mover el peso total del cuerpo. El animal que corre se apoya en un medio fijo, y el que vuela sólo cuenta con un fluido de baja densidad y baja viscosidad. Por otro lado, cuando un animal acuático se desplaza en el agua tiene que vencer la resistencia de un medio denso y viscoso, pero los que corren y vuelan se enfrentan a una resistencia menor.

Al nadar

En el caso de los animales acuáticos, la fuerza de arrastre, debida al agua, depende de la forma del animal. Para minimizar esa fuerza, los animales toman formas aerodinámicas, que desde luego no posee el hombre. Experimentos con anguilas (que utilizan todo el cuerpo para desplazarse) muestran que requieren entre 0,329 cal/g y 0,417 cal/g. Los resultados con peces arrojan resultados similares. Aunque en particular se ha estudiado el salmón, al compararse este con un pato del mismo tamaño, se ha podido determinar que el pato tiene un mayor gasto energético, pues equivale a a 20 veces más la energía que el pez. Para el caso del hombre, este necesita 30 veces más energía para desplazarse que un pez.



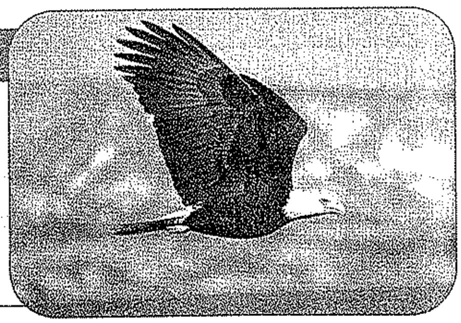
Al correr

Un hombre que corre a velocidad constante no realiza trabajo externo útil. La resistencia del aire es poca y la fricción con el piso mínima. Sin embargo, sabemos que correr requiere mucha energía. Puesto que no se realiza trabajo externo, esta energía debe utilizarse internamente para compensar la disipada por la fricción en las articulaciones y los músculos y para acelerar y desacelerar la masa del tronco y de las extremidades. Correr hacia arriba en una cuesta requiere aún más energía, porque el cuerpo está adquiriendo energía potencial.

Se ha observado que el costo energético, de correr, por unidad de peso, es similar para cuerpos de diferentes formas. El cambio del metabolismo aumenta con la velocidad de la carrera. También en este caso, para diferentes animales, el costo energético depende del peso del cuerpo.

Al volar

El aire que es mucho menos denso que el agua, y las aves tienen que sostener todo su peso. También en este caso, las aves deben adquirir una forma aerodinámica. Sin embargo, estudios realizados en aves, murciélagos e insectos, cuya anatomía es diferente, concluyen que el gasto energético es mayor que el del nado, y depende directamente del peso del animal.



© SANTILLANA

Si se comparan los gastos energéticos de los tres medios de locomoción para los cuerpos del mismo tamaño, es más económico volar que correr y aún más económico nadar. Como el hombre está diseñado en forma natural para correr no tiene experiencia sobre esto; sin embargo, si lo pensamos bien, este resultado es bastante razonable. Un ave en una migración puede volar sin parar 1.000 km, mientras un roedor de su tamaño no puede recorrer esa distancia sin comer o beber. Nadar es más económico si el animal está diseñado para ello, ya que un hombre necesitaría invertir cinco veces más energía en nadar que en correr la misma distancia.

En la siguiente tabla se observan algunos gastos energéticos por minuto de actividad.

Tipo de actividad	Gasto	Tipo de actividad	Gasto
Dormir	0,018	Bajar escaleras	0,097
Aseo (lavarse, vestirse, ducharse, peinarse, etc.)	0,050	Subir escaleras	0,254
Barrer	0,050	Bailar	0,070
Hacer la cama	0,057	Trabajo Ligero: (empleados de oficina, profesionales, comercio, etc.)	0,031
Cocinar	0,045		
Estar sentado (leyendo, escribiendo, conversando, jugando cartas, etc.)	0,028	Trabajo Activo: (industria ligera, trabajos agrícolas, pescadores, etc.)	0,049
Estar de pie (esperando, charlando, etc.)	0,029	Trabajo Muy activo: (cavar, leñadores, soldados, mineros, metalúrgicos, atletas, bailarines, etc.)	0,096
Comer	0,030		

ÁMBITO: Desarrollo compromisos personales y sociales

APROPIACIÓN Y USO DE LA TECNOLOGÍA

1. Determina el gasto energético que tienes en un día de estudio habitual.
2. ¿Consideras que el gasto energético que tienen tus padres en un día habitual es menor comparado con el que tienes tú? Justifica tu respuesta.
3. Si el hacer la cama representa un gasto energético mayor que el dormir, ¿sería más razonable no modificar el tendido de la cama en la noche y aprovechar ese tiempo invertido en otra actividad diferente?
4. Como el gasto energético al estar de pie es similar al de estar sentado, ¿por qué razón nos sentimos más cansados después de cierto tiempo sentados?
5. ¿En qué manera podrías contribuir en la disminución del gasto energético en un día de actividad diaria de tus profesores?

TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

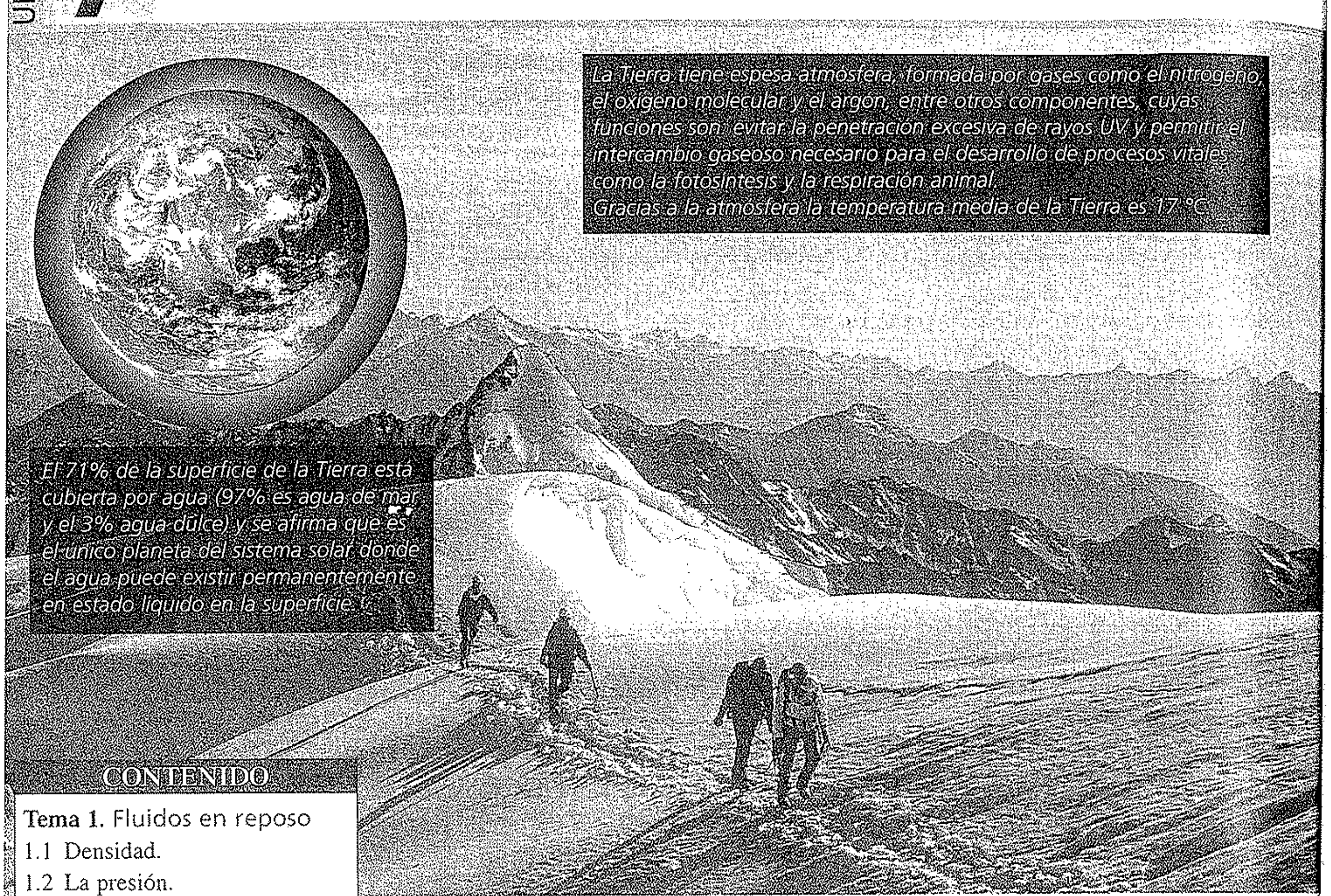
La obesidad se caracteriza por un incremento del depósito de grasas debido a una alteración en el balance entre ingreso energético y consumo. En este incremento se observa que el ingreso siempre es mayor que el consumo, dando como resultado la acumulación de energía en forma de grasa.

Esto indica que una persona pueda desarrollar un cuadro de obesidad por:

- Disminución del gasto energético, es decir, descenso en la energía que se consume.
- La presencia conjunta de los dos hechos mencionados.
- Aumento de la ingesta de energía.

UNIDAD 7

Mecánica de fluidos



CONTENIDO

Introducción

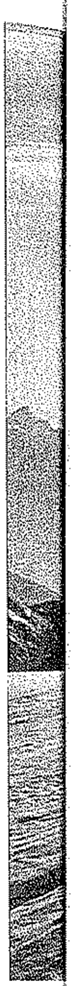
Desde hace muchos siglos el hombre se ha planteado la manera de aprovechar los recursos que la naturaleza le ha proporcionado para vivir mejor.

Entre estos recursos, los líquidos y los gases han ocupado un lugar privilegiado en su desarrollo. Así, se ha servido de las corrientes fluviales para el transporte de las embarcaciones y para generar energía eléctrica; de la fuerza del viento, ejercida sobre las aspas de los molinos, para la extracción de agua del subsuelo, entre otras. Los líquidos y los gases han sido cruciales en muchos aspectos de nuestra vida cotidiana. Ejemplos sencillos se ven en el agua que consumimos, en la sangre que circula por nuestro cuerpo, en el oxígeno que respiramos. En fin, vivimos inmersos en ellos.

Los estados líquido y gaseoso se asemejan entre sí debido a una característica común llamada fluidez, razón por la cual ambos se denominan fluidos.

En un líquido, las moléculas están cerca unas de las otras y experimentan constantes colisiones entre sí, por otra parte, en un gas las moléculas se encuentran muy alejadas y pueden moverse con mayor libertad.

A lo largo de esta unidad, estudiaremos el comportamiento de los fluidos tanto en reposo como en movimiento.



Tema 1. Fluidos en reposo

1.1 Densidad

Supón que tienes en tus manos una chocolatina, esta posee cierta cantidad de masa y ocupa un determinado volumen. Si en algún momento decides partirla en dos cada parte tendrá la mitad de la masa y ocupará la mitad del volumen de la chocolatina que tenías inicialmente.

Al analizar esta sencilla experiencia, se puede afirmar que a cierta cantidad de masa le corresponde un volumen determinado.

DEFINICIÓN 7.1

Se denomina densidad a la masa que tiene 1 cm³ de sustancia homogénea.

La densidad (ρ) de una sustancia se define como el cociente entre su masa (m) y su volumen (V), es decir:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \text{ECUACIÓN 7.1}$$

La unidad de medida de la densidad en el S.I. es el kilogramo por metro cúbico (1 kg/m^3) aunque generalmente se expresa en el sistema cgs en gramos por centímetro cúbico (1 g/cm^3).

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

$1\ g/cm^3 = 1.000\ kg/m^3$

En la tabla que se muestra a continuación se indica la densidad de algunas sustancias.

TABLA 7.1

Material	Densidad (g/cm^3)	Material	Densidad (g/cm^3)
Aire (1 atm, 20 °C)	$1{,}29 \times 10^{-3}$	Plata	10,5
Etanol	0,81	Plomo	11,3
Hielo	0,92	Mercurio	13,6
Agua	1	Oro	19,3
Agua de mar	1,03	Platino	21,4
Sangre	1,06	Dióxido de carbono	$2{,}00 \times 10^{-3}$
Aluminio	2,7	Oxígeno	$1{,}43 \times 10^{-3}$
Hierro, acero	7,8	Hidrógeno	$1{,}20 \times 10^{-5}$
Cobre	8,6	Helio	$1{,}79 \times 10^{-4}$

Un material puede presentar cambios en su densidad por dos factores:

- la temperatura a la cual se encuentra, este cambio se debe a que el volumen de una sustancia depende de la temperatura y,
- la presión que se ejerce sobre él.

Una medida estándar de la densidad es la densidad relativa.

DEFINICIÓN 7.2

La densidad relativa es el cociente entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua a una temperatura de 4 °C (tabla 7.1).

NÚMERO ADIMENSIONAL

Es una cantidad que carece de magnitud. Para el caso del plomo, al hacer las operaciones matemáticas las unidades de g/cm^3 se simplifican.

Por ejemplo, la densidad del plomo es 11,3, siendo este un número adimensional.

Otro concepto importante al hablar de densidad es el de peso específico. En el sistema británico, con frecuencia se utiliza este concepto y se define así:

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \frac{m}{V}g = \rho g \qquad \text{ECUACIÓN 7.2}$$

EJEMPLOS

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

7.1 La policía decomisó en un operativo, un pequeño lingote de oro de masa 0,8 kg y de volumen 235 cm^3. Al observar las características del lingote, un técnico afirmó que era posible que dicho lingote no fuera de oro. ¿Es cierta la afirmación del técnico?

SOLUCIÓN:

Para determinar si la afirmación del técnico es cierta se debe verificar si la densidad del lingote mencionado corresponde a la del oro. Así:

$$\rho_{lingote} = \frac{m_{lingote}}{V}$$

$$\rho_{lingote} = \frac{800\ g}{235\ cm^3} = 3{,}4\ g/cm^3 = 3{,}4 \times 10^3\ kg/m^3$$

Como se observa en la tabla 7.1 la densidad del oro es 19,3 kg/cm^3. Por lo tanto, la afirmación del técnico es verdadera.

7.2 Calcular:

a. La masa y el peso de un colchón de aire, cuyas dimensiones son 2 m de lado y 30 cm de profundidad.

b. La masa y peso de un colchón similar al anterior pero de agua.

SOLUCIÓN:

a. *Se tiene que por la tabla 7.1* $\rho_{aire} = 1{,}29 \times 10^{-3}\ g/cm^3 = 1{,}29\ kg/m^3$.

Ahora,

$V = 2\ m \cdot 2\ m \cdot 0{,}3\ m = 1{,}2\ m^3$ — *Volumen del colchón*

$\rho_{aire} = \frac{m_{aire}}{V}$ — *Ecuación 7.1*

$m_{aire} = \rho_{aire} V$ — *Se despeja m*

$m_{aire} = (1{,}29\ kg/m^3)(1{,}2\ m^3) = 1{,}55\ kg$ — *Se remplaza*

El peso es: $w_{aire} = m_{aire}\, g = (1{,}55\ kg)(9{,}8\ m/s^2) = 15{,}19\ kgm/s^2 = 15{,}19\ N = 3{,}41\ lb$

Así, el peso de un colchón de aire de las dimensiones dadas es aproximadamente tres libras y media.

b. Se considera la densidad del agua y se calcula la masa y el peso del colchón de agua.

$m_{agua} = \rho_{agua} V$

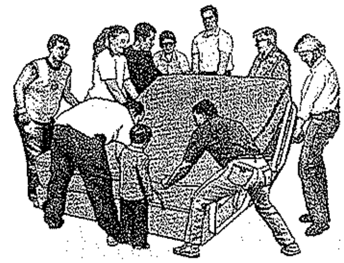
$m_{agua} = (1.000\ kg/m^3)(1,2\ m^3) = 1.200\ kg$

El peso es:

$w_{agua} = m_{agua} g$

$w_{agua} = (1.200\ kg)(9,8\ m/s^2) = 11.760\ kg \cdot m/s^2 = 11.760\ N = 2.642,7\ lb$

2.642,7 lb es aproximadamente una tonelada y media.



El transporte de un colchón de agua de estas características sería una tarea bastante difícil.

1.2 La presión

Alguna vez te has preguntado ¿por qué duele más cuando recibes una pisada de una persona que lleva unos zapatos con tacón alto, que cuando la recibes de una persona que lleva zapatos planos?

Al estar una persona de pie, la fuerza perpendicular que ejerce sobre el suelo horizontal, es decir el peso, se distribuye sobre la superficie de sus pies; si posee zapatos planos el peso estará repartido sobre toda la suela del calzado; mientras si tiene calzado con tacón alto, este tacón sostendrá gran parte del peso.

DEFINICIÓN 7.3

La presión (P) es la relación entre la fuerza perpendicular ($F_{\perp}$), ejercida sobre la superficie y el área (A) de la misma.

$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$ ECUACIÓN 7.3

La unidad de medida de la presión en el S.I. se expresa a partir de la relación entre las unidades de medida de cada una de sus variables.

La fuerza se mide en newton (N) y el área en metros cuadrados (m^2); por lo tanto, la presión se mide en newton por metro cuadrado (N/m^2). Esta unidad se denomina Pascal (Pa). También, se utiliza como unidad de presión la libra/pulgada² (p.s.i.).

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

1 p.s.i. = 6.900 Pa

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

7.3 Una mujer de 70 kg, se balancea sobre uno de los tacones de sus zapatos. Si el tacón es circular con un radio de 0,5 cm, ¿qué presión ejerce ella sobre el suelo?

SOLUCIÓN:

Es necesario calcular la superficie de los tacones considerando algunos conceptos geométricos.

$A_{tacón} = \pi \cdot r^2_{tacón}$

$A_{tacón} = \pi \cdot (0,5 \times 10^{-2}\ m)^2 = 7,85 \times 10^{-5}\ m^2$

Ahora, se calcula el peso de la mujer:

$w_{mujer} = m_{mujer} g$

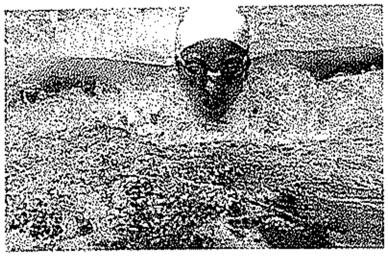
$w_{mujer} = (70\ kg)(9,8\ m/s^2) = 686\ N$

Al utilizar la ecuación 7.2 se halla la presión.

$$P_{tacón} = \frac{F_{\perp}}{A_{tacón}}$$

$$P_{tacón} = \frac{686\ N}{7,85 \times 10^{-5}\ m^2} = 8,74 \times 10^6\ Pa$$

En conclusión, la mujer ejerce una presión de $8,74 \times 10^6$ Pa sobre el suelo.



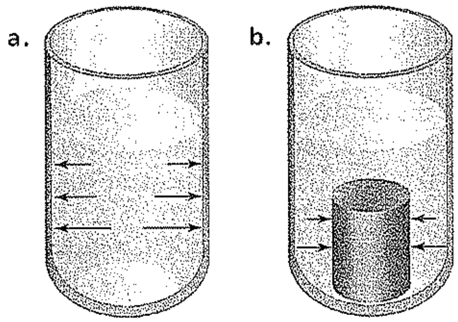
1.3 La presión en los líquidos

¿Has experimentado alguna vez la sensación de presión en los oídos cuando te sumerges en una piscina? Cuando haces esta divertida actividad es fácil percibir que a medida que te vas sumergiendo la presión que experimentas es mayor. Lo que ocurre en este caso, es que la masa de agua que hay sobre ti, y por lo tanto su peso, es mayor a medida que estás más abajo.

A continuación, explicaremos físicamente este fenómeno.

Considera que el agua de la piscina es el líquido contenido en un recipiente y tu cuerpo es un sólido que se ha sumergido en dicho recipiente.

El líquido contenido en el recipiente, ejerce una fuerza en dirección perpendicular a las paredes en cada punto de él (figura a). Por tal razón, al sumergir el sólido dentro del líquido, en cada punto de las paredes del sólido, el líquido ejerce fuerza en dirección perpendicular (figura b).



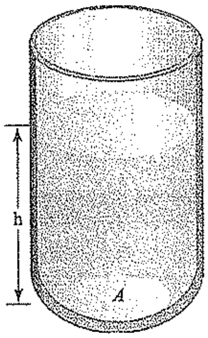


Figura 1

Ahora, consideremos un recipiente cilíndrico que contiene un líquido de densidad ρ, cuya altura del líquido con respecto al recipiente es h y el área de la base del cilindro es A (figura 1).

La fuerza F que soporta la superficie de la base es igual al peso de la columna de líquido que hay por encima de ella, es decir,

$$F = m \cdot g$$

A partir de la ecuación 7.1 se tiene que m es igual a $\rho \cdot V$, por tanto:

$$F = \rho \cdot V \cdot g$$

Además, el volumen del cilindro está dado por la ecuación: $V = A \cdot h$. Luego, la expresión para la fuerza sería:

$$F = \rho \cdot A \cdot h \cdot g$$

A partir de la ecuación 7.3 tenemos que la presión en la superficie del fondo es

$$P = \frac{F_{\perp}}{A},$$

por lo tanto, al reemplazar F se tiene que:

$$P = \frac{\rho \cdot A \cdot g \cdot h}{A}$$

Y al simplificar el área, se obtiene que:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \qquad \text{ECUACIÓN 7.4}$$

Este resultado es válido para cualquier punto interior de un líquido contenido en un recipiente.

A partir de esto podemos deducir que:

- La presión en un punto del interior de un líquido en reposo es proporcional a la profundidad h.
- Si se consideran dos líquidos diferentes, a la misma profundidad, la presión es mayor cuando el líquido es más denso.
- La presión no depende del área del recipiente y, en consecuencia, no depende del volumen del líquido contenido.

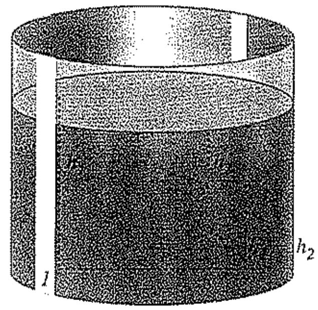


FIGURA 2

Si ahora consideramos dos puntos, 1 y 2, cuyas profundidades dentro de un líquido en equilibrio son h_1 y h_2, respectivamente (figura 2), a partir de la ecuación 7.4 tenemos que la presión en cada punto es:

$$P_1 = \rho \cdot g \cdot h_1 \qquad P_2 = \rho \cdot g \cdot h_2$$

Por tanto, la diferencia de presiones es:

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h_1 - \rho \cdot g \cdot h_2$$

Lo cual se puede expresar como:

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \qquad \text{ECUACIÓN 7.5}$$

Esta igualdad recibe el nombre de ecuación fundamental de la hidrostática y muestra que:

- la diferencia de presión entre dos puntos de un fluido en reposo depende de la diferencia de alturas, y
- además, si los dos puntos están a la misma profundidad en el interior del líquido, soportan la misma presión independientemente de la forma del recipiente.

Una de las demostraciones experimentales de esta última conclusión se presenta en el principio de los vasos comunicantes, que son dos o más recipientes de diversa forma y tamaño que entre sí contienen un fluido. Como la presión sólo depende de la profundidad y no de la forma del recipiente, entonces esta será la misma en cualquier cantidad de puntos que estén a la misma altura (figura 3).

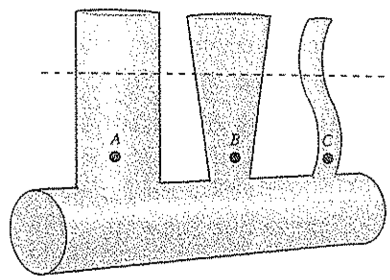
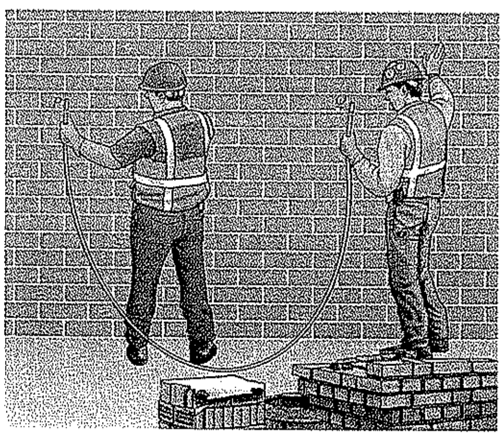


FIGURA 3

Un ejemplo cotidiano de los vasos comunicantes ocurre cuando los albañiles quieren nivelar horizontalmente un muro, ya que suelen usar una manguera transparente larga llena de agua, cuyos extremos permiten ubicar los puntos del muro en los cuales el nivel del agua es el mismo.

Cuando el agua queda quieta, marcan el nivel de modo que la línea PQ queda perfectamente horizontal.



EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

7.4 Por una de las ramas de un tubo en U, que inicialmente contiene agua, se vierte aceite. Los líquidos no se mezclan y quedan distribuidos en el tubo como muestra la figura. Si la altura de la columna de aceite, h_{aceite}, mide 22 cm y la diferencia de alturas de las columnas de agua es de 20 cm, determinar la densidad del aceite.

<u>*SOLUCIÓN:*</u>

Como los puntos 1 y 2 se encuentran a la misma presión, debido a que los líquidos están en equilibrio, entonces

$$P_1 = P_2$$

Por tanto, a partir de la ecuación 7.4 tenemos que

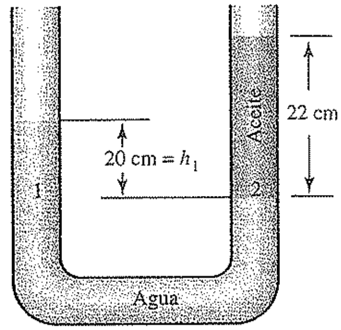
$$\rho_{agua}\, g h_1 = \rho_{aceite}\, g h_2$$

$$\rho_{agua}\, h_1 = \rho_{aceite}\, h_2 \qquad \textit{Al simplificar g}$$

$$(1\ g/cm^3)(20\ cm) = \rho_{aceite}\,(22\ cm) \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$\rho_{aceite} = \frac{(1\ g/cm^3)(20\ cm)}{22\ cm}$$

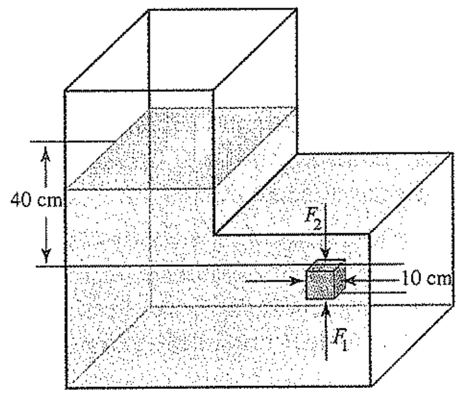
$$\rho_{aceite} = 0{,}9\ g/cm^3$$



La densidad del aceite es 0,9 g/cm^3.

7.5 Dentro de un recipiente con agua, cuya forma se representa en la figura, se suspende un cubo de arista 10 cm. Si la superficie superior del cubo se encuentra 40 cm por debajo de la superficie libre del líquido contenido en el recipiente, determinar:

a. La presión ejercida por el líquido sobre la cara superior del cubo.
b. La presión ejercida por el líquido sobre la cara inferior del cubo.
c. La fuerza que experimenta la cara superior del cubo.
d. La fuerza que experimenta la cara inferior del cubo.
e. La fuerza que ejerce el líquido sobre el cubo.



<u>*SOLUCIÓN:*</u>

a. *En la cara superior del cubo tenemos:*

$P_2 = \rho \cdot g \cdot h_2$ — *Ecuación 7.4*

$P_2 = 1.000\ kg/m^3 \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 0{,}4\ m = 3.920\ Pa$

La presión sobre la cara superior del cubo es 3.920 Pa.

b. *En la cara inferior del cubo tenemos:*

$P_1 = \rho \cdot g \cdot h_1$ — *Ecuación 7.4*

$P_1 = 1.000\ kg/m^3 \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 0{,}5\ m = 4.900\ Pa$

La presión sobre la cara inferior del cubo es 4.900 Pa.

c. *El área de cada cara del cubo es:*

$A = (0{,}1\ m)^2 = 0{,}01\ m^2$

Para la fuerza que experimenta la cara superior del cubo tenemos:

$$P_2 = \frac{F_2}{A} \qquad \textit{Ecuación 7.2}$$

$$3.920\ Pa = \frac{F_2}{0{,}01\ m^2} \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$F = 39{,}2\ N \qquad \textit{Al calcular}$$

La fuerza que experimenta la cara superior del cubo es 39,2 N.

d. *Para la fuerza que experimenta la cara inferior del cubo tenemos*

$$P_1 = \frac{F_1}{A} \qquad \textit{Ecuación 7.2}$$

$$4.900\ Pa = \frac{F_1}{0{,}01\ m^2} \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$F = 49{,}0\ N \qquad \textit{Al calcular}$$

La fuerza que experimenta la cara inferior del cubo es 49,0 N.

e. *La fuerza que ejerce el líquido sobre el cubo está dirigida hacia arriba y mide 49,0 N − 39,2 N = 9,8 N.*

En el estudio de la hidrostática estudiaremos dos principios que son fundamentales: el principio de Pascal y el principio de Arquímedes.

1.4 El principio de Pascal

Probablemente más de una vez has visto maquinaria pesada trabajando en las calles o en las carreteras levantando grandes piedras o rompiendo el pavimento para hacer algún arreglo. La pregunta de rigor en estos casos es, ¿cómo estas máquinas pueden desarrollar fuerzas tan grandes?

La respuesta está en su mecanismo de funcionamiento. La mayoría de estas máquinas son hidráulicas, es decir, usan los fluidos para aplicar y aumentar las fuerzas.

En las máquinas hidráulicas (figura 4) el brazo que aplica la fuerza se mueve gracias a un pistón que consta básicamente de un cilindro lleno de un fluido, generalmente aceite, que empuja un émbolo. Es muy importante el diámetro del émbolo ya que cuanto mayor es, más grande es la fuerza desarrollada por la máquina hidráulica.

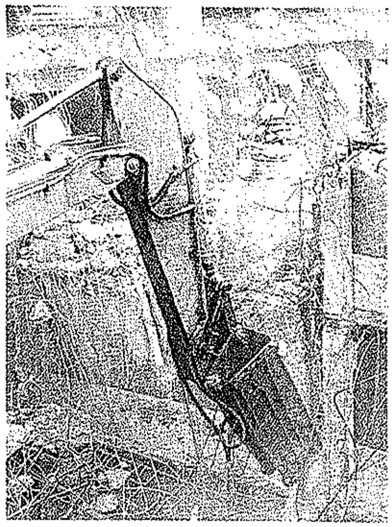


FIGURA 4

El descubrimiento de Pascal no habría pasado de ser una curiosidad si a alguien no se le hubiera ocurrido conectar dos recipientes de diferente tamaño, aplicar el principio y observar como aplicando una pequeña fuerza en el recipiente menor, esta fuerza era amplificada en el recipiente mayor.

La tecnología de las máquinas hidráulicas se la debemos a Pascal, quien descubrió un hecho que luego se transformó en lo que hoy conocemos como *Principio de Pascal.*

DEFINICIÓN 7.4

> ***Principio de Pascal***
> *Si aplicamos una presión extra a cualquier punto de un fluido en reposo, esta presión se transmitirá exactamente igual a todos los puntos del fluido.*

Por ejemplo, si presionamos con las manos la superficie de un globo lleno de aire, cualquier sector dentro del fluido experimentará el mismo aumento de presión.

EJEMPLO

IDENTIFICAR | INDAGAR | EXPLICAR

7.6 Para levantar un carro se utiliza un gato hidráulico, como se muestra en la figura. Si la masa del automóvil es 1.000 kg y en el pistón *A*, de área 20 cm², se aplica una fuerza de 200 N, determinar el área del pistón *B* para que ejerza una presión igual a la ejercida por el pistón *A*.

<u>*SOLUCIÓN:*</u>

Cuando se ejerce la fuerza $\vec{F}_A$ sobre el pistón A de área A_A, el líquido contenido en el dispositivo experimenta un aumento en la presión P_A que de acuerdo con el principio de Pascal es igual al aumento de presión P_B en el pistón B de área A_B, es decir, $P_A = P_B$ y de acuerdo con la ecuación 7.3

$$\frac{F_A}{A_A} = \frac{F_B}{A_B}$$

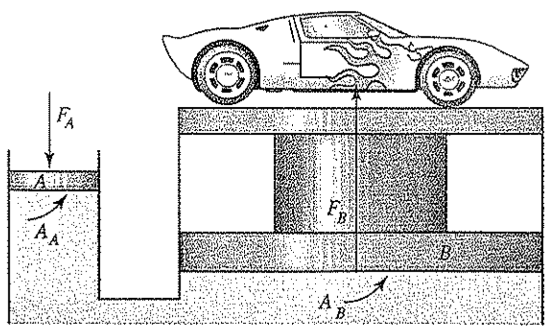
Como la masa del carro es 1.000 kg, su peso es:

$W = m \cdot g = 1.000\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 9.800\ N.$

$$\text{Luego, } \frac{200\ N}{20 \times 10^{-4}\ m^2} = \frac{9.800\ N}{A_B}$$

$$A_B = \frac{(20 \times 10^{-4}\ m^2)(9.800\ N)}{200\ N} = 0{,}098\ m^2.$$

El área del pistón B es 0,098 m², es decir, 980 cm².



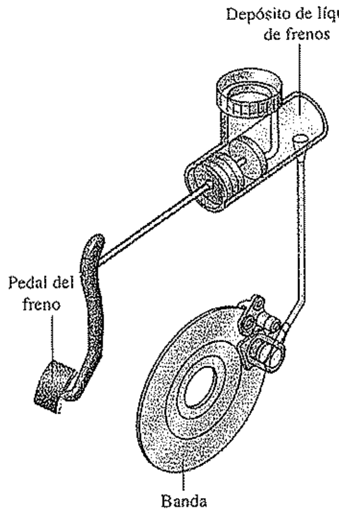


FIGURA 5

El ejemplo 7.6 muestra que al aplicar una fuerza en un pistón, la fuerza producida en un pistón de mayor área es superior. Esta es la razón por la cual este tipo de sistemas recibe el nombre de máquinas hidráulicas, pues a partir de la aplicación de una fuerza menor se obtiene una fuerza mayor.

Una de las aplicaciones de este concepto es el empleado en el sistema de frenos hidráulicos de un automóvil, el cual consta de un pistón que se acciona cuando se oprime el pedal y de unos pistones en cada rueda, de tal manera que al aplicar una fuerza menor sobre el pedal se obtiene una fuerza, en los pistones de las ruedas, suficiente para detener el automóvil (figura 5).

1.5 El principio de Arquímedes

Arquímedes descubrió su famoso principio cuando se le pidió que determinara si una corona estaba hecha de oro puro, o si había sido adulterada. Al meterse un día en la bañera y observar que el nivel del agua subía, supo cómo resolver el problema y salió a la calle gritando ¡Eureka! (¡Lo he encontrado!). Para probar su idea, sumergió la corona en agua y midió el volumen de líquido desplazado, después midió el volumen de agua que desplazaba una masa, igual que la corona, de oro puro y los comparó. Así Arquímedes resolvió el enigma: la corona no era de oro puro, estaba hecha de una aleación.

De esta manera el principio de Arquímedes nos permite interpretar el comportamiento de un sólido que se sumerge total o parcialmente en un fluido. Por ejemplo, ¿has sumergido una pelota inflada en un balde con agua? (figura 6).

Cuando la pelota se sumerge se percibe que esta experimenta una fuerza, que es ejercida por el líquido, esta fuerza, dirigida hacia arriba, es ejercida por los fluidos sobre los sólidos que se sumergen en ellos y se conoce como *fuerza de empuje*.

FIGURA 6

Como lo hemos descrito, cuando un sólido se sumerge en un fluido, este le ejerce fuerza perpendicular a las paredes en cada punto del sólido, de tal manera que las fuerzas que actúan horizontalmente se anulan entre sí y la fuerza neta en dicha dirección es igual a cero. También sabemos que cuanto mayor es la profundidad, mayor es la presión, así que para el caso del cilindro (figura 7a), tenemos que la fuerza ejercida hacia arriba en la cara inferior es mayor que la fuerza ejercida hacia abajo en la cara superior. De ahí que la fuerza vertical, o fuerza de empuje, ejercida por el líquido sobre el cilindro se dirija hacia arriba.

Para determinar una expresión para la fuerza de empuje, supongamos que un sólido se encuentra sumergido dentro de un líquido cuya densidad es ρ_l como muestra la figura 7b.

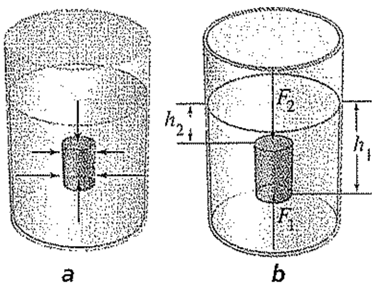


FIGURA 7

La cara inferior del cilindro, que se encuentra a una profundidad h_1, experimenta una fuerza F_1 ejercida sobre su superficie A. Esta presión ejercida por el líquido sobre la cara inferior del cilindro es P_1 y se expresa como:

$$P_1 = \rho_l \cdot g \cdot h_1$$

Como $P_1 = F_1 / A$ entonces

$$F_1 = P_1 \cdot A$$

$$F_1 = \rho_l \cdot g \cdot h_1 \cdot A$$

La cara superior del cilindro, que se encuentra a una profundidad h_2, experimenta una fuerza F_2 sobre su superficie A. Esta presión ejercida por el líquido sobre la cara inferior del cilindro es P_2 y se expresa como:

$$P_2 = \rho_l \cdot g \cdot h_2$$

Y como $P_2 = F_2/A$, entonces

$$F_2 = \rho_l \cdot g \cdot h_2 \cdot A$$

Así, la fuerza de empuje es:

$$F_{emp} = F_1 - F_2$$

$$F_{emp} = \rho_l \cdot g \cdot h_1 \cdot A - \rho_l \cdot g \cdot h_2 \cdot A$$

$$F_{emp} = \rho_l \cdot g \cdot A \cdot (h_1 - h_2)$$

Como la altura del cilindro es $h_1 - h_2$ y el área de la base es A, tenemos que el volumen del cilindro, es decir el volumen sumergido es: $V_{sumergido} = A\,(h_1 - h_2)$, por tanto,

$$F_{emp} = \rho_l \cdot g \cdot V_{sumergido} \qquad \text{ECUACIÓN 7.6}$$

Cuando en un líquido se sumerge un volumen de sólido $V_{sumergido}$, este desplaza un volumen igual de líquido. Si notamos con $V_{desplazado}$ al volumen del líquido desplazado, la ecuación 7.6 se expresa como:

$$F_{emp} = \rho_l \cdot g \cdot V_{desplazado} \qquad \text{ECUACIÓN 7.7}$$

De donde $\rho_l \cdot V_{desplazado}$ es la masa del líquido desplazado, y el producto de esta masa por la gravedad es el peso del líquido desplazado.

DEFINICIÓN 7.5

Principio de Arquímedes
Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical, hacia arriba, que mide igual al peso del volumen de líquido desplazado.

Aunque hemos hecho la deducción para un cilindro totalmente sumergido en un líquido de densidad ρ_l, el principio de Arquímedes es válido para sólidos de cualquier forma y se cumple para sólidos parcialmente sumergidos en fluidos, pues la ecuación 7.7 involucra el volumen de líquido desplazado.

A partir del principio de Arquímedes tenemos que independiente de sus densidades, dos sólidos de igual volumen sumergidos en un fluido desplazan la misma cantidad de fluido, por tanto experimentan iguales fuerzas de empuje.

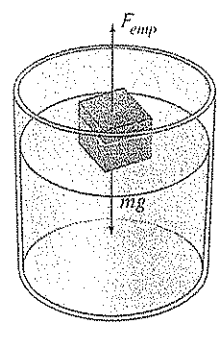
EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

7.7 Un bloque de madera cuyo peso es 10,0 N ocupa un volumen de 1.300 cm³ y flota sobre la superficie del agua contenida en un recipiente. Determinar:

a. La densidad de la madera.

b. El volumen del bloque sumergido en el agua.



SOLUCIÓN:

a. Puesto que el peso mg de la madera es 10,0 N, la masa de la madera es 1,02 kg, por tanto

$$\rho_{madera} = \frac{m}{V} = \frac{1{,}02\ kg}{1{,}3 \times 10^{-3} m^3} = 785\ kg/m^3$$

La densidad de la madera, que es menor que la densidad del agua, es 785 kg/m³.

b. Como el bloque se encuentra en equilibrio en la superficie del agua, la fuerza de empuje es igual a su peso, es decir,

$$F_{emp} = \rho_{agua} \cdot g \cdot V_{sumergido} \qquad \textit{Ecuación 7.5}$$

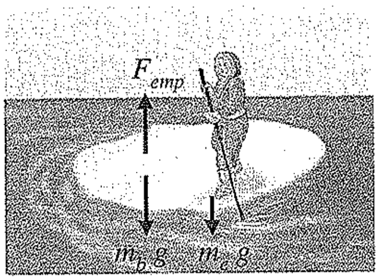
$$V_{sumergido} = \frac{F_{emp}}{\rho_{agua} \cdot g} = \frac{10\ N}{1.000\ kg/m^3 \cdot 9{,}8\ m/s^2} = 1{,}02 \times 10^{-3} m^3$$

El volumen sumergido mide $1{,}02 \times 10^{-3}\ m^3$, es decir, $1.020\ cm^3$ y es menor que el volumen del bloque.

7.8 Un esquimal se encuentra sobre un bloque de hielo de $1{,}5\ m^3$ de volumen, de manera que la superficie superior del bloque coincide con la superficie del agua del río en el cual se encuentra. Determinar la masa del esquimal.

SOLUCIÓN:

La siguiente figura representa la situación.



A partir de la densidad del hielo (tabla 7.1), determinamos la masa m_b del bloque. Así:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \textit{Ecuación 7.1}$$

$$920\ kg/m^3 = \frac{m_b}{1{,}5\ m^3} \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$m_b = 1.380\ kg \qquad \textit{Al despejar } m_b \textit{ y calcular}$$

Si m_e es la masa del esquimal y como el sistema está en equilibrio, tenemos que:

$$F_{emp} = m_b \cdot g + m_e \cdot g$$

A partir de la ecuación 7.7, tenemos:

$$\rho_l \cdot g \cdot V_{desplazamiento} = m_b \cdot g + m_e \cdot g$$

$$\rho_l \cdot V_{desplazamiento} = m_b + m_e$$

$$1.000\ kg/m^3 \cdot 1{,}5\ m^3 = 1.380\ kg + m_e$$

$$m_e = 120\ kg$$

En conclusión, la masa del esquimal es 120 kg.

1.6 La presión en los gases

1.6.1 La presión atmosférica

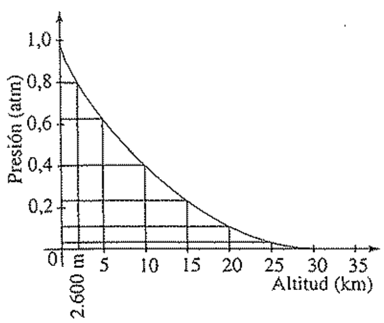


FIGURA 8

La Tierra está rodeada por una capa de aire, de tal manera que nosotros y todo cuanto nos rodea nos podemos considerar como cuerpos sumergidos en un fluido y en consecuencia, experimentamos una presión que se conoce con el nombre de presión atmosférica.

Cuando nos referimos a la presión atmosférica encontramos una diferencia con respecto a lo que hemos estudiado acerca de los fluidos.

En los casos que hemos analizado hasta el momento, hemos considerado que la densidad del fluido es constante, sin embargo, en el caso del aire que rodea a la Tierra, las capas superiores comprimen a las capas inferiores ocasionando que la densidad de estas capas sea más densa que la de las superiores.

La presión atmosférica varía con la altitud, así en los sitios de mayor altitud la presión atmosférica es menor que al nivel del mar (figura 8).

Por ejemplo la presión atmosférica en Bogotá, que se encuentra a 2.600 m sobre el nivel del mar, es menor que la presión atmosférica de una ciudad como Cartagena que está ubicada al nivel del mar.

La presión atmosférica de 1 atmósfera equivale aproximadamente a una presión de 10 N/cm^2, esto implica que, al nivel del mar, cada centímetro cuadrado de superficie de cualquier cuerpo soporta una fuerza de 10 N.

Nuestra contextura se ha desarrollado bajo la acción de dicha presión, así si el área de la palma de una mano mide 150 cm^2, cuando está extendida, soporta una fuerza de aproximadamente 1.500 N, lo que equivale a cargar un objeto de aproximadamente 150 kg.

A pesar de este valor, no nos sentimos comprimidos por la presión atmosférica debido a que los líquidos internos de nuestro organismo ejercen una presión interior que equilibra la presión exterior.

Una aplicación diaria de los conceptos de presión atmosférica se presenta en los alimentos que están empacados al vacío. Estar empacado al vacío significa que se ha extraído el aire del interior del empaque y, de esta manera, la presión atmosférica es superior a la presión del interior del empaque, evitando de esta manera el crecimiento de bacterias.

1.6.2 La medida de la presión atmosférica

El valor de la presión atmosférica al nivel del mar, por primera vez, fue determinado por el científico italiano Evangelista Torricelli en 1643.

Torricelli llenó un tubo cerrado de 1 m de longitud con mercurio y lo introdujo invertido en una cubeta que también contenía mercurio (figura 9a).

De esta manera observó que el mercurio que se encontraba en el interior del tubo descendía a una altura de 760 mm dejando un vacío en la parte superior (figura 9b). Esta altura se mantenía igual, aunque cambiaran el diámetro del cubo o el tamaño de la cubeta.

Torricelli pensó entonces que algo debía estar sosteniendo el peso del mercurio que no terminaba de caer, y ese algo sólo podía ser la presión atmosférica que se aplicaba sobre la cubeta y se transmitía hasta el tubo, equilibrando el peso de la columna de mercurio.

Así pues, la presión atmosférica, P_{atm}, equivale a la presión hidrostática producida por una columna de 760 mm de mercurio. Por tanto:

$$P_{atm} = \rho \cdot g \cdot h$$

Es decir, $$P_{atm} \approx 13.600\ \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}8031\ m/s^2 \cdot 0{,}76\ m$$

$$P_{atm} = 101.325\ Pa$$

El valor de la presión atmosférica al nivel del mar se utiliza como unidad de presión y se denomina atmósfera (atm).

Otra unidad de presión es el milímetro de mercurio (mm Hg) que equivale a la presión ejercida por una columna de mercurio de 1 mm de altura.

$$1\ atm = 101.325\ Pa = 760\ mm\ Hg$$

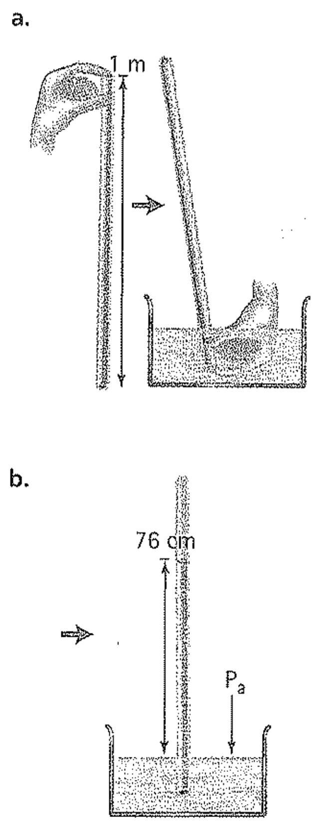


FIGURA 9

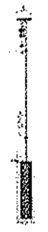


FIGURA 10

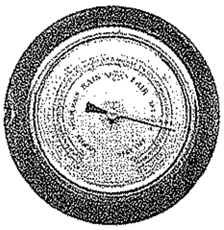


FIGURA 11

Los valores dados para la presión atmosférica pueden cambiar de un día a otro en función de las condiciones metereológicas. Hay días de alta presión y días de baja presión. Los primeros suelen anunciar buen tiempo, es decir, tiempo soleado y sin nubes. Los segundos suelen anunciar mal tiempo, es decir, lluvias o nieves.

Para predecir el tiempo metereológico es necesario medir constantemente la presión atmosférica, lo cual se hace con instrumentos llamados barómetros. Existen dos tipos básicos de barómetros. Los de mercurio (figura 10) y los metálicos o aneroides (figura 11).

La presión de un fluido se puede medir con un manómetro. El manómetro consta de un tubo en U parcialmente lleno de líquido, como el mercurio, y cuyos extremos se encuentran abiertos. La presión se mide a partir de la diferencia de altura de los niveles de líquido en las dos ramas del tubo. Esta presión se conoce como presión manométrica.

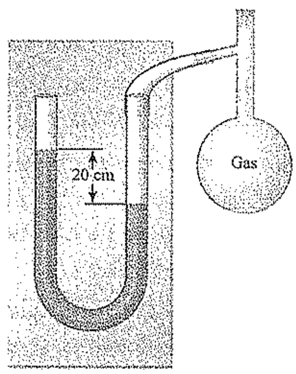
Uno de los manómetros más conocidos es el que mide el aire de las llantas de los autos, estos registran el valor en el cual la presión interior excede la presión atmosférica.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

7.9 En la figura se representa un manómetro construido con un tubo en U que contiene mercurio. Una de sus ramas está conectada por medio de una manguera a un balón herméticamente cerrado que contiene un gas y la diferencia de alturas entre los niveles de mercurio mide 20 cm. Determinar:

a. La presión manométrica del gas.
b. La presión total del gas si la medida se realiza al nivel del mar.



SOLUCIÓN:

a. Puesto que el nivel del mercurio en la rama del tubo que está conectada al gas es 200 mm menor que el nivel del mercurio en la rama con el extremo abierto, podemos concluir que la presión manométrica es 200 mm Hg.

b. La presión total del gas es mayor que la presión atmosférica en 200 mm Hg y es igual a la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica es decir,
$P_{gas} = 200\ mm\ Hg + 760\ mm\ Hg = 960\ mm\ Hg.$
La presión total del gas es 960 mm Hg.

1.7 Tensión superficial

Generalmente la superficie de los líquidos, y en mayor medida la del agua, suelen comportarse como una membrana elástica. Este efecto es llamado tensión superficial y debido a él es posible que una aguja flote en la superficie del agua, que algunos insectos puedan posarse sobre un charco de agua y que las gotas de agua tengan la forma que las caracteriza.

Podemos encontrar la explicación del fenómeno de la tensión superficial a nivel molecular. En el interior de un líquido, cada molécula es atraída en todas direcciones, por las demás con una fuerza de cohesión de origen electromagnético, cuya resultante es nula.

Sin embargo, las moléculas que se encuentran en la superficie de contacto entre el aire y el líquido sólo son atraídas por las moléculas vecinas de los lados y de abajo, pues no existe fuerza de atracción encima de ellas. De esta forma se produce un estado de permanente tensión en la superficie del líquido que hace que se comporte como una película elástica.

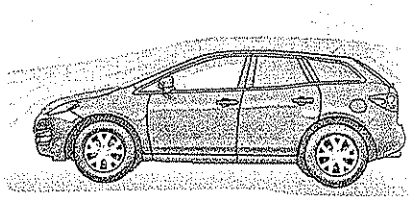
Tema 2. Los fluidos en movimiento

2.1 El movimiento de los fluidos

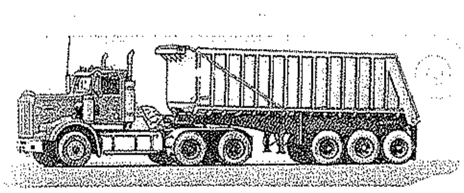
En el tema anterior vimos que un fluido es una sustancia formada por moléculas que, en el caso de los líquidos, se mantienen unidas por fuerzas de cohesión débiles y que tienen la posibilidad de moverse libremente. Los fluidos más estudiados son: el agua y el aire.

Si las moléculas de dicho fluido en movimiento siguen trayectorias paralelas, se dice que el fluido tiene un flujo laminar. En cambio, si sus moléculas se cruzan, el flujo se vuelve inestable y se habla de un flujo turbulento.

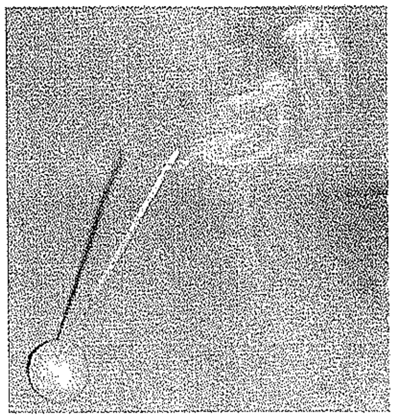
Flujo laminar



Flujo turbulento



a.



b.

FIGURA 12

Por ejemplo, si observamos una barra de incienso encendida, vemos que al comienzo el humo asciende suavemente en un fina columna sin entremezclarse, pero luego, en un punto más alto, la columna se rompe y el humo se difunde en el aire circundante de manera irregular y alterada (figura 12a). La parte lisa de este flujo es laminar, y la parte arremolinada, turbulenta. Mientras que al servir un vaso de jugo, el flujo que se presenta es laminar, hasta que este choca con el vaso (figura 12b).

La diferencia principal entre ambos movimientos es que, en el laminar, las pequeñas porciones de fluido se mueven ordenadamente, manteniendo una estructura de capas regulares que no se mezclan entre sí. Se dice que el flujo de un fluido laminar es estacionario cuando en cada punto de la trayectoria todo pequeño volumen del fluido pasa siempre con la misma velocidad. Es decir, en este tipo de flujo las trayectorias descritas por las partículas no cambian con el tiempo.

Estas trayectorias regulares se denominan líneas de flujo o de corriente y no se cruzan nunca, porque de lo contrario en el punto de intersección de una trayectoria con otra, no habría un único valor de velocidad (en otras palabras, la trayectoria no estaría bien determinada).

Para el estudio de los fluidos tendremos en cuenta las siguientes consideraciones:

- El flujo es laminar estacionario.
- Los fluidos son prácticamente incompresibles, es decir, que los aumentos de presión no alteran su densidad.
- Los efectos de la fricción sobre los fluidos son despreciables.

2.2 Ecuación de continuidad

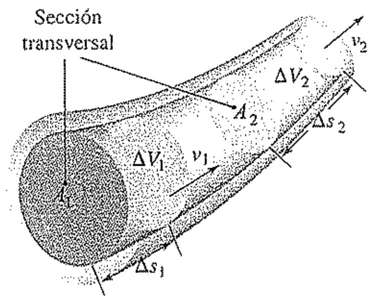
Cuando un fluido se encuentra en movimiento puede cambiar su velocidad. Por ejemplo, en un río el agua avanza lento en los sectores anchos o de mucha profundidad y avanza muy rápido en los sectores angostos o poco profundos.

FIGURA 13

Se puede decir que la velocidad del fluido es mayor en aquellas zonas donde ocupa menor área. Por ejemplo, si estamos regando el pasto con una manguera y ponemos un dedo en la salida del agua vemos que la velocidad de salida de este líquido aumenta debido a que el área disminuye (figura 13).

Esta relación entre el área y la velocidad de un fluido está definida por una expresión denominada ecuación de continuidad.

Supongamos que un fluido incompresible de densidad ρ fluye a través de un tubo cuyo diámetro disminuye. Llamemos v_1 y v_2 a las medidas de la velocidad del fluido en las secciones transversales de áreas A_1 y A_2, respectivamente. Por otra parte, consideremos que cierta masa de fluido llena un cilindro de volumen ΔV_1 cuya área de la base es A_1 y la altura es Δs_1.



El valor de la altura del cilindro corresponde a la distancia recorrida por el fluido durante un intervalo de tiempo Δt. En este caso el volumen ΔV_1 es:

$$\Delta V_1 = A_1 \cdot \Delta s_1$$

Si suponemos que el fluido recorre la distancia Δs_1 con velocidad v_1 aproximadamente constante durante un intervalo de tiempo Δt, se cumple que

$$\Delta s_1 = v_1 \cdot \Delta t$$

es decir, $$\Delta V_1 = A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t$$

Cuando el área es A_2, en el otro extremo del tubo, la misma masa de fluido llena un cilindro de volumen ΔV_2 en un área transversal A_2. La altura Δs_2 del cilindro corresponde a la distancia recorrida por el fluido durante el mismo intervalo de tiempo Δt. En este caso el volumen ΔV_2 es:

$$\Delta V_2 = A_2 \cdot \Delta s_2$$

Si suponemos que el fluido recorre la distancia Δs_2 con velocidad v_2 aproximadamente constante, durante un intervalo de tiempo Δt, se cumple que:

$$\Delta V_2 = A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$$

La masa de fluido que atraviesa el área A_1 es igual a la que atraviesa por el área A_2, durante el mismo tiempo y como el líquido es incompresible, el volumen ΔV_1 es igual al volumen ΔV_2, de donde,

$$A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$$

Por tanto,

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \qquad \text{ECUACIÓN 7.8}$$

La ecuación de continuidad significa que el producto $A \cdot v$ es constante cuando el líquido fluye a través del tubo.

Podemos interpretar que cuando el área del tubo disminuye, la velocidad del fluido aumenta.

A la cantidad $A \cdot v$ se le llama **gasto volumétrico** o **caudal**, es decir que de acuerdo con la ecuación de continuidad, el caudal es constante a lo largo del tubo. El caudal se expresa en m^3/s y representa la medida del volumen de fluido que fluye por unidad de tiempo a través del tubo.

EJEMPLO

IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR

7.10 Un grifo llena un recipiente de 10 litros de volumen en 8 segundos. Determinar:

a. El valor del caudal en litros/s y en m^3/s.
b. La velocidad con que fluye el líquido, si el área de salida del grifo es 12 cm^2.
c. La velocidad con que el líquido fluye si el área en la salida del grifo se reduce a la mitad.

SOLUCIÓN:

a. Puesto que el grifo distribuye 10 litros en 8 segundos, el caudal es:

$$\frac{10\ L}{8{,}0\ s} = 1{,}25\ L/s$$

Como un litro equivale a $10^{-3}\ m^3$, el caudal es $1{,}25 \times 10^{-3}\ m^3/s$.

b. Para calcular la velocidad con la cual fluye el líquido, tenemos:

$$Caudal = A \cdot v$$

$$1{,}25 \times 10^{-3}\ m^3/s = 12 \times 10^{-4}\ m^2 \cdot v \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$v = 1{,}04\ m/s$$

La velocidad con que fluye el líquido en la salida del grifo es 1,04 m/s.

c. Si el área en la salida del grifo se reduce a la mitad, la velocidad del fluido se duplica, es decir, que la velocidad es 2,08 m/s.

2.3 Ecuación de Bernoulli

Hasta ahora hemos considerado únicamente fluidos que se desplazan horizontalmente, sin embargo, los fluidos pueden moverse verticalmente hacia arriba o hacia abajo, como un río que desciende desde la cordillera o como el humo que sube por el orificio de una chimenea. Estos hechos se explican a partir del principio de Bernoulli.

DEFINICIÓN 7.6

Principio de Bernoulli

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 constante, a lo largo de una línea de corriente.

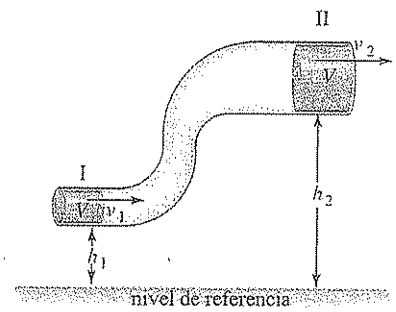


FIGURA 14

En la figura 14, se muestra un tubo cuyos extremos I y II se encuentran a las alturas h_1 y h_2, respectivamente con respecto al nivel de referencia. En el tubo se ha sombreado un sector de igual volumen en cada uno de los extremos y suponiendo que el líquido es incompresible tenemos que los dos volúmenes son de igual masa.

Supongamos que el líquido fluye del extremo I al extremo II, siendo la velocidad del fluido en el extremo I es v_1 y el área de dicho extremo del tubo es A_1. En el extremo II, la altura con respecto al nivel de referencia es h_2, la velocidad del fluido es v_2 y el área es A_2.

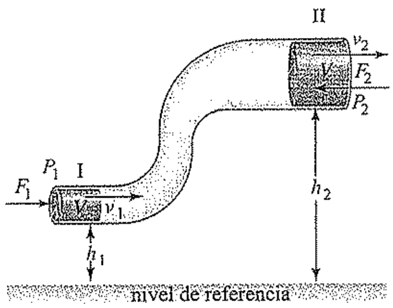


FIGURA 15

Puesto que la velocidad cambia, debemos considerar que cada porción de líquido que se mueve a través del tubo experimenta aceleración y, en consecuencia, concluimos que se ejerce fuerza sobre él.

Llamemos F_1 a la fuerza que actúa sobre el volumen inferior sombreado y P_1 a la presión del líquido en el extremo I, F_2 a la fuerza que actúa sobre el volumen superior sombreado y P_2 a la presión del líquido en el extremo II (figura 15), tenemos entonces

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad \text{y} \quad P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

Por tanto, $$F_1 = P_1A_1 \quad \text{y} \quad F_2 = P_2A_2$$

Si en el extremo I, el desplazamiento del fluido durante un intervalo de tiempo es Δs_1 y en el extremo II el desplazamiento es Δs_2, tenemos que el trabajo efectuado sobre la porción de fluido es:

$$W_{F\ \text{no cons}} = F_1 \cdot \Delta s_1 - F_2 \cdot \Delta s_2$$

es decir, $$W_{F\ \text{no cons}} = P_1 \cdot A_1 \cdot \Delta s_1 - P_2 \cdot A_2 \cdot \Delta s_2$$

Como tenemos que el volumen de la porción de líquido en los extremos es el mismo, entonces:

$$V = A_1 \cdot \Delta s_1 = A_2 \cdot \Delta s_2$$

Por tanto,

$$W_{F\ \text{no cons}} = P_1 \cdot V_2 - P_2 \cdot V$$

Como el principio de Bernoulli es un caso particular de la ley de la conservación de la energía, entonces:

$$E_{\text{I}} + W_{F\ \text{no cons}} = E_{\text{II}}$$

Por tanto, para una porción de líquido de masa m se tiene que:

$$1/2 \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 + (P_1 \cdot V - P_2 \cdot V) = 1/2 \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2$$

A partir de la ecuación 7.1. tenemos que:

$$m = \rho \cdot V$$

entonces,

$$1/2 \cdot \rho \cdot V \cdot v_1^2 + \rho \cdot V \cdot g \cdot h_1 + P_1 \cdot V - P_2 \cdot V = 1/2 \cdot \rho \cdot V \cdot v_2^2 + \rho \cdot V \cdot g \cdot h_2$$

De donde:

$$1/2 \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 + P_1 = 1/2 \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + P_2 \qquad \text{ECUACIÓN 7.9}$$

Esta expresión muestra que en diferentes puntos del tubo se cumple que:

$$1/2 \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h + P = \text{constante} \qquad \text{ECUACIÓN 7.10}$$

Esta ecuación, enunciada por el matemático y físico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782), se conoce como **ecuación de Bernoulli**.

A partir de la ecuación de Bernoulli se tiene que cuando un fluido fluye siempre a la misma altura, en los puntos en los cuales la velocidad es mayor, la presión es menor. A partir de este resultado se explica el movimiento curvo, comúnmente llamado "tiro con efecto", que describe en algunos casos un balón de fútbol (figura 16).

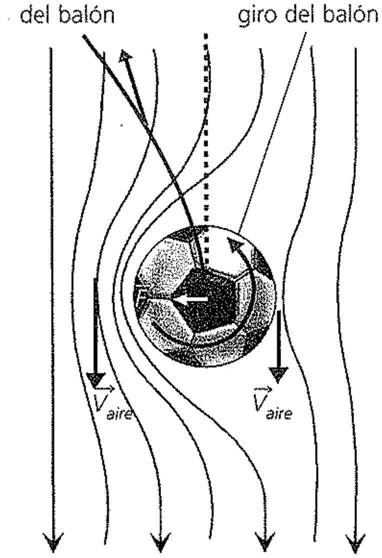


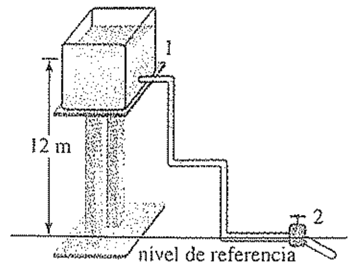
FIGURA 16

En este caso, cuando el balón gira, arrastra consigo una fina capa de aire por efecto de la fricción y, como al mismo tiempo, el balón se traslada, el flujo de aire se produce en la dirección indicada por las líneas de flujo, siendo la velocidad del aire respecto al balón mayor a un lado que al otro. De acuerdo con la ecuación de Bernoulli en la región de mayor velocidad, en la cual las líneas de flujo están más cerca entre sí, la presión es menor que en la región de menor velocidad. Por consiguiente, el balón experimenta fuerza y de desvía de su trayectoria recta.

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

7.11 El agua contenida en un tanque elevado puede fluir por una tubería que está provista de una válvula de 12 m por debajo del nivel del agua en el tanque. Si la presión atmosférica es 101.325 Pa, determinar:

a. La presión en la válvula cuando está cerrada.
b. La presión en la válvula cuando está abierta y la velocidad con la cual el agua atraviesa la válvula.



SOLUCIÓN:

a. Consideremos dos puntos en el sistema. El punto 1 en la superficie libre del líquido, donde la presión es igual a la presión atmosférica y el punto 2 en la válvula. Como el agua está en equilibrio cuando la válvula está cerrada, la velocidad del agua en los puntos 1 y 2 es igual a cero, por tanto la ecuación 7.8 se convierte en:

$$\rho \cdot g \cdot h_1 + P_1 = \rho \cdot g \cdot h_2 + P_2$$

$$1.000\ kg/m^3 \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 12\ m + 101.325\ Pa = 1.000\ kg/m^3 \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 0\ m + P_2$$

$$P_2 = 218.925\ Pa.$$

Es decir, la presión en la válvula cuando está cerrada es 218.925 Pa.

b. Cuando la válvula está abierta, podemos considerar que en ambos puntos la presión es igual a la atmosférica, P_{atm} *y que la velocidad en el punto 1, es decir en la superficie del líquido dentro del tanque, es aproximadamente igual a cero, debido a que el nivel baja muy despacio dado que el área del tubo por la que fluye el líquido es muy pequeña comparada con el área del tanque, es decir,*

$$1/2 \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 + P_1 = 1/2 \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + P_2 \qquad \text{Ecuación 7.8}$$

$$1/2 \cdot \rho \cdot 0^2 + 1.000\ kg/m^3 \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot 12\ m + P_{atm} = 1/2 \cdot 1.000\ kg/m^3 \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot 0 + P_{atm}$$

$$117.600\ Pa = 500\ kg/m^3 \cdot v_2^2$$

$$v_2 = 15{,}3\ m/s.$$

La velocidad con la cual el agua atraviesa la válvula es 15,3 m/s.

2.4 Aplicaciones de la ecuación de Bernoulli

2.4.1 El tubo de Venturi

Una de las formas utilizadas para medir la velocidad en el interior de un fluido, es mediante un instrumento conocido como tubo de Venturi. El funcionamiento de este tubo se basa en el principio de Bernoulli y mide las velocidades a partir de las diferencias de presión entre el sector más ancho y más angosto del tubo, como el mostrado en la figura 17.

FIGURA 17

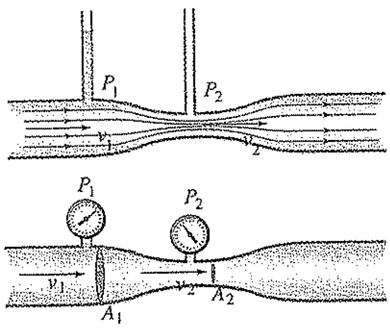


Figura 18

Si aplicamos la ecuación de Bernoulli, tenemos que:

$$1/2 \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 + P_1 = 1/2 \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + P_2$$

Por tanto, la altura a la cual se encuentran los puntos 1 y 2 es igual, es decir

$$1/2 \cdot \rho \cdot v_1^2 + P_1 = 1/2 \cdot \rho \cdot v_2^2 + P_2 \qquad \text{ECUACIÓN 7.11}$$

Por lo cual:

$$1/2 \cdot \rho \cdot v^2 + P = \text{constante}$$

La expresión indica que cuando la velocidad aumenta, la presión disminuye. Como en el estrechamiento la velocidad es mayor, la presión es menor y, en consecuencia, si el tubo está provisto de dos tubos abiertos en cada región, se observa una diferencia de alturas en las dos columnas de líquido (figura 18).

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

7.12 A través de un tubo de Venturi fluye agua. En la parte más ancha del tubo el área es de 10 cm^2 y en la parte más angosta el área es de 5 cm^2. Si la presión en la parte más ancha es de 200.000 Pa y la velocidad con la cual el agua fluye es 10 m/s, determinar:

a. La velocidad en la parte más angosta del tubo.

b. La presión en la parte más angosta del tubo.

SOLUCIÓN:

a. Para determinar la velocidad en la parte más angosta del tubo, aplicamos la ecuación de continuidad.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \qquad \textit{Ecuación 7.8}$$

$$10 \times 10^{-4}\, m^2 \cdot 10\, m/s = 5 \times 10^{-4}\, m^2 \cdot v_2 \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$v_2 = 20\, m/s$$

La velocidad en la parte más angosta del tubo es 20 m/s.

b. Para determinar la presión tenemos:

$$1/2 \cdot \rho \cdot v_1^2 + P_1 = 1/2 \cdot \rho \cdot v_2^2 + P_2 \qquad \textit{Ecuación 7.11}$$

$$1/2 \cdot 1.000\, kg/m^3 \cdot (10\, m/s)^2 + 200.000\, Pa = 1/2 \cdot 1.000\, kg/m^3 \cdot (20\, m/s)^2 + P_2 \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$P_2 = 50.000\, Pa.$$

La presión en la parte más angosta del tubo es 50.000 Pa.

2.4.2 El teorema de Torriccelli

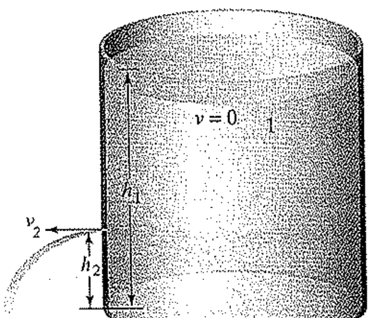


Figura 19

Como se muestra en la figura 19, cuando a un recipiente que contiene un líquido se le practica un orificio en una de sus paredes, el líquido sale por el orificio con determinada velocidad.

El punto 1 en la superficie libre del líquido, se encuentra sometido bajo la acción de la presión atmosférica P_{atm} y la velocidad del fluido es prácticamente cero debido a que el diámetro del orificio es muy pequeño comparado con el diámetro del recipiente; y de igual manera, la presión en el punto 2, también es igual a la presión atmosférica P_{atm}.

Para determinar la velocidad v_2 con la cual sale el agua por el orificio, es decir, la velocidad en el punto 2, aplicamos la ecuación de Bernoulli, por tanto:

$$1/2 \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 + P_1 = 1/2 \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + P_2$$

Como $v_1 = 0$ y la presión en ambos puntos es la presión atmosférica P_{atm}, tenemos:

$$\rho \cdot g \cdot h_1 = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

$$g \cdot h_1 = 1/2 \cdot v^2 + g \cdot h_2 \qquad \textit{Al simplificar } \rho$$

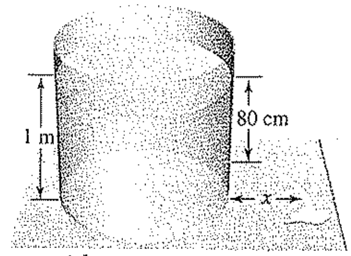
$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} \qquad \text{ECUACIÓN 7.12}$$

La expresión obtenida para la velocidad de salida del agua por el orificio se conoce como el **teorema de Torricelli.**

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

7.13 En la figura se muestra un recipiente que contiene agua de tal manera que la distancia entre el fondo y la superficie es 1 m. Si a 80 cm por debajo de la superficie, se hace un pequeño orificio en la pared del recipiente, determinar:



a. La velocidad con la cual sale el agua del recipiente.

b. La distancia a la cual cae el agua con respecto a la pared del recipiente.

SOLUCIÓN:

a. Tomamos como nivel de referencia la horizontal que pasa por el orificio y aplicamos el teorema de Torricelli,

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} \qquad \textit{Ecuación 7.12}$$

Donde $h_1 = 0{,}80\ m$ *y* $h_2 = 0\ m$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot (0{,}80\ m - 0\ m)} = 4{,}0\ m/s$$

La velocidad de salida del agua por el orificio es 4,0 m/s.

b. Para determinar la distancia a la cual cae el agua con respecto a la pared, es decir la distancia x indicada en la figura, consideramos que se trata de un lanzamiento horizontal, es decir

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$0{,}2\ m = \frac{1}{2} \cdot 9{,}8\ m/s^2 \cdot t^2 \qquad \textit{Al reemplazar}$$

$$t = 0{,}2\ s$$

$$x = v_0 \cdot t$$

$$x = 4{,}0\ m/s \cdot 0{,}2\ s = 0{,}8\ m$$

La distancia con respecto a la pared a la cual cae el agua es 0,8 m.

2.5 El flujo sanguíneo

La circulación sanguínea es una función vital, pues es el único medio a través del cual las células de nuestro cuerpo pueden recibir el oxígeno y los nutrientes que necesitan y además eliminar las sustancias de desecho. Por esta razón, es importante que la sangre esté en movimiento, es decir, que su comportamiento sea similar al de un fluido en movimiento.

Pero te has preguntado, ¿cómo se produce la circulación de la sangre?

Durante la circulación sanguínea va cambiando la presión que ejerce la sangre sobre las paredes de los vasos. La sangre, al igual que cualquier otro fluido, circula como consecuencia de la existencia de zonas que están a distinta presión y se mueve desde donde hay mayor presión hacia donde hay menor presión (figura 20).

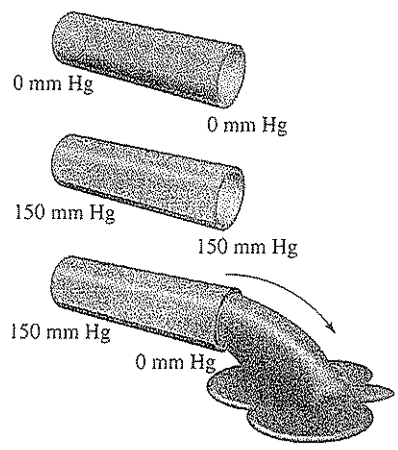


FIGURA 20

La presión sanguínea es máxima cuando la sangre sale del ventrículo izquierdo y va disminuyendo a medida que recorre el sistema cardiovascular hasta llegar a la aurícula derecha a muy baja presión. Por su elasticidad, los vasos sanguíneos se adecuan a los cambios en la presión del flujo sanguíneo. Esto afecta la velocidad de la sangre y hace que el flujo oscilante proveniente del corazón se transforme en un flujo más continuo a través del resto del sistema cardiovascular.

Esta presión sanguínea está relacionada con la fuerza que ejerce la sangre sobre las paredes internas de los vasos sanguíneos.

Habitualmente la presión sanguínea se mide en las arterias y es llamada presión arterial.

La presión arterial se mide con un manómetro, denominado tensiómetro que está provisto de un brazalete que rodea el brazo en el cual se introduce aire (figura 21).

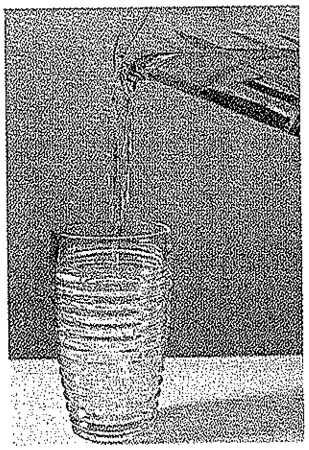
Figura 21

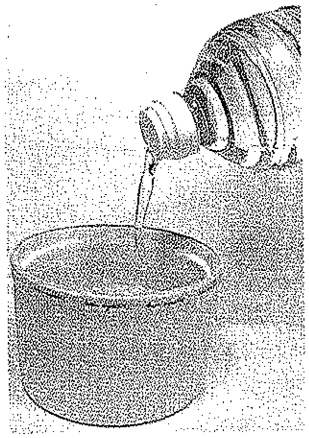
La presión de la sangre es la diferencia de la presión total del fluido sanguíneo con respecto a la presión atmosférica. Por tanto, si en determinado momento la presión medida con el tensiómetro es 80 mm Hg y la persona se encuentra en Bogotá donde la presión atmosférica es 560 mm Hg, entonces la presión sanguínea total es de 640 mm Hg.

La presión manométrica de la aorta varía de acuerdo con el ciclo cardiaco y su valor esperado depende de varios factores, entre ellos la edad. Cuando el corazón se contrae, la presión es máxima y se llama sistólica, cuyo valor esperado es 120 mm Hg. Cuando el corazón se relaja, la presión es mínima y se denomina diastólica, siendo su valor esperado 80 mm Hg.

2.6 Viscosidad

Como lo hemos venido diciendo en el transcurso de esta unidad los líquidos se adaptan a la forma del recipiente que los contiene y los gases llenan el espacio en el que están contenidos, pero unos lo hacen con mayor facilidad que otros, es decir se puede hablar de grados de fluidez. Por ejemplo, el aceite fluye más lentamente que el agua y la miel más lentamente que el aceite.





La resistencia a fluir, o derramarse, que presentan los fluidos es una propiedad llamada **viscosidad**. Los fluidos más viscosos fluyen más lentamente y también es más difícil mover objetos a través de ellos. Es importante no confundir la viscosidad con la densidad. Por ejemplo, el aceite es más viscoso pero menos denso que el agua.

La viscosidad aumenta con la presión. Si se comprime un líquido, la presión hace que se reduzcan los espacios entre sus moléculas y el movimiento de estas se dificulta. Lo mismo ocurre cuando un objeto empuja un líquido al tratar de atravesarlo. En cambio, el aumento de temperatura hace que los líquidos fluyan con más facilidad, debido a que los líquidos se dilatan al calentarse y sus moléculas se separan.

© SANTILLANA

Resumen de la unidad

SUMARIO DE CONCEPTOS

BARÓMETRO: instrumento utilizado para medir la presión atmosférica.

CAUDAL: volumen de fluido que circula por un ducto por unidad de tiempo.

DENSIDAD: masa por unidad de volumen de una sustancia.

FUERZA DE EMPUJE: la fuerza dirigida hacia arriba que ejercen los fluidos sobre los sólidos que se sumergen en ellos.

LÍNEAS DE FLUJO: líneas utilizadas para describir las trayectorias que siguen las partículas de un fluido en movimiento.

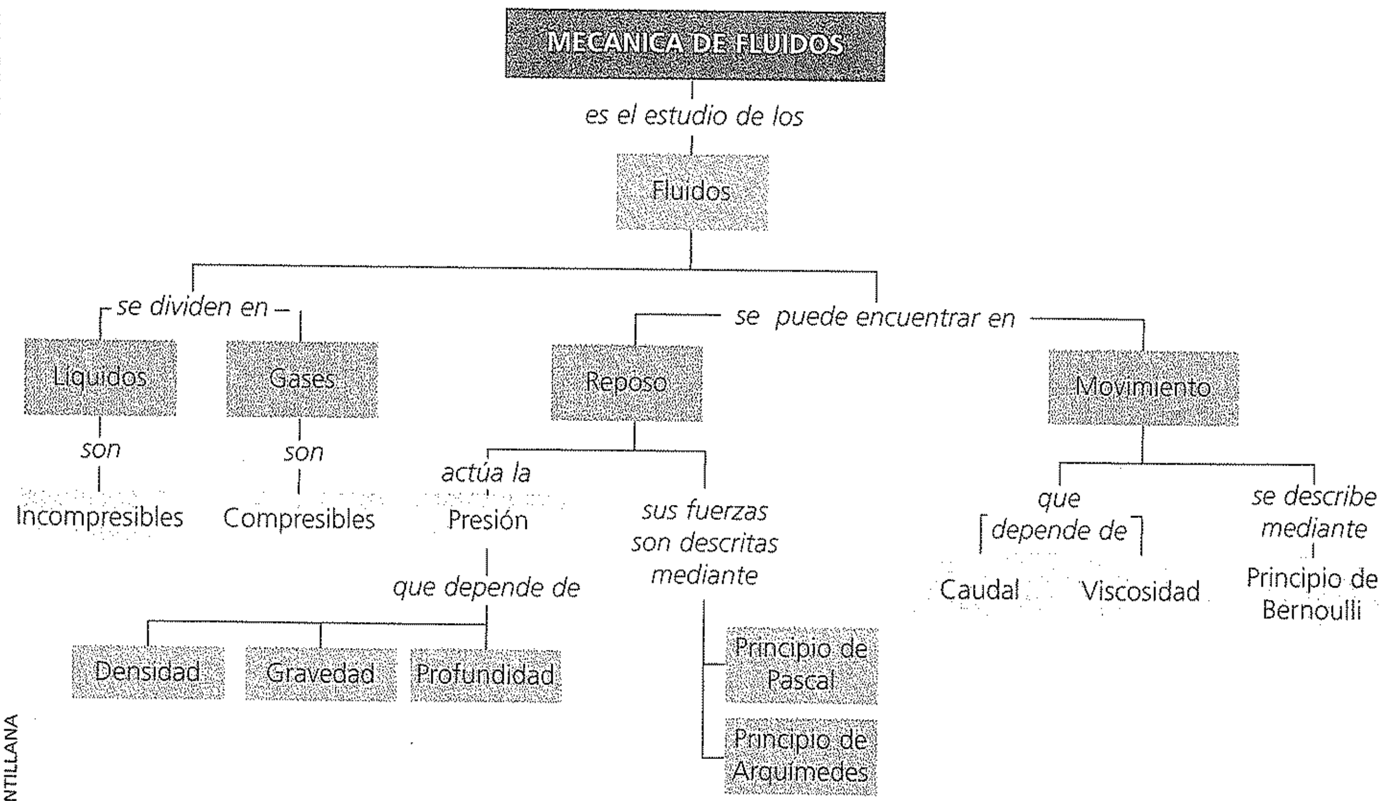
MANÓMETRO: instrumento utilizado para medir la presión a la que está sometido un fluido.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA: presión ejercida por la capa de aire que rodea a la superficie terrestre.

PRESIÓN: medida de la fuerza perpendicular aplicada sobre una superficie por unidad de área.

VISCOSIDAD: propiedad de los fluidos relacionada con la fricción que actúa sobre ellos cuando se encuentran en movimiento.

MAPA DE CONCEPTOS



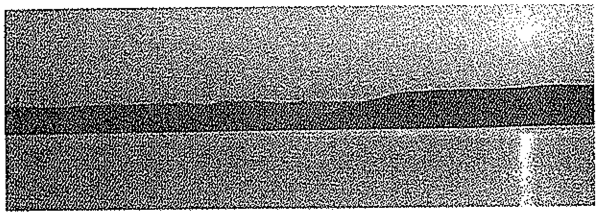
© SANTILLANA

Tema 1. Fluidos en reposo

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. Una bomba de caucho se eleva en el aire cuando se llena con helio. Explica cuál es la razón de este fenómeno.

2. El mar Muerto es la extensión de agua con mayor índice de salinidad de toda la Tierra.

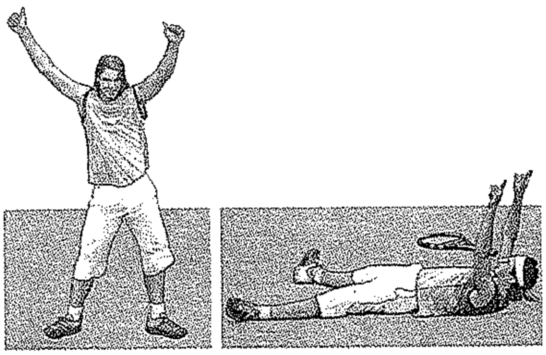


¿Por qué una persona flota con más facilidad en este mar que en otro cualquiera?

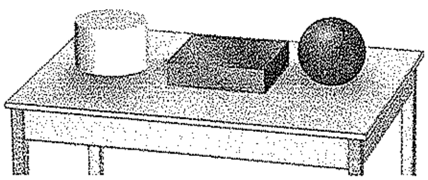
3. ¿Por qué es más fácil desplazarse en la nieve con esquís y no con calzado corriente?

4. Si colocas este libro sobre una mesa, ¿en qué posición ejercerá mayor presión? Justifica tu respuesta.

5. Considerando la siguiente figura, explica en cuál situación la persona ejerce mayor presión sobre el suelo.



6. La siguiente figura muestra tres objetos ubicados sobre la superficie de una mesa. Determina cuál de ellos ejerce la mayor presión. Justifica tu respuesta.

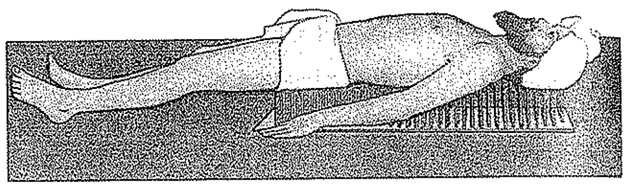


7. ¿Qué le ocurre a la densidad de un trozo uniforme de madera si lo cortamos en cuatro partes iguales?

8. Cuando se comprime una masa de pan, ¿cambia su volumen o cambia su masa? Justifica tu respuesta.

9. Si un taladro funciona de igual manera cuando utiliza una broca que cuando utiliza una lija en disco. ¿Por qué se obtiene como resultado dos efectos diferentes?

10. Los faquires hindúes se acuestan sobre un lecho de clavos agudos y no sufren ninguna lesión. Explica cuál es la razón de este hecho.



11. ¿Podrías tomar una gaseosa en la Luna utilizando un pitillo? Justifica tu respuesta.

12. ¿Qué pasará con el nivel de un bote, cuando un pescador que se encuentra en un río, lanza por la borda un ancla?

13. ¿Cómo se puede explicar que los barcos hechos de acero floten? Justifica tu respuesta.

14. Los submarinos cuando se encuentran sumergidos en el mar pueden subir a la superficie, ¿cómo se puede explicar este hecho?

15. ¿Cambiará el peso de una pecera cuando un pez que se encuentra en reposo, comienza a moverse? Justifica tu respuesta.

16. ¿Una lancha se moverá más rápido en el mar o en un río? Explica tu respuesta.

17. Cuándo un cubo de hielo dentro de un vaso con agua se comienza a derretir, ¿varía el nivel del agua? Justifica tu respuesta.

18. ¿Por qué cuando sumerges un vaso dentro de un recipiente lleno de agua con la boca hacia abajo, este tiende a salir a la superficie?

19. Un bañista con un globo inflado está sumergido a la mitad de la profundidad de una piscina. ¿En qué dirección debe moverse para disminuir el volumen del globo? Explica tu respuesta.

PROBLEMAS

20. ¿Qué volumen ocupan 10 g de mercurio?

21. ¿Cuál es el volumen ocupado por 200 g de hierro?

22. Determina de qué material está constituido un objeto que pesa 0,5 N y ocupa un volumen de 19 cm^3.

23. ¿Qué masa de aire se encontrará contenida en una habitación cuyas dimensiones son 3 m por 5 m por 4 m?

24. Calcula la masa de un cilindro de plomo que tiene una longitud de 8 cm y un radio de 2 cm.

25. Una esfera de aluminio tiene 3 cm de radio. Calcula su masa.

26. Calcula la masa de una esfera de cobre cuyo diámetro es de 8 cm.

27. Un empleado debe construir un cubo de platino de 50 kg. ¿Cuánto mide cada lado del cubo?

28. Un bloque de acero pesa en el aire 500 N y en el agua 350 N. ¿Cuál es el peso del bloque en el agua?

29. Una prensa hidráulica tiene dos cilindros cuyos radios son de 10 cm y 24 cm, respectivamente. Si sobre el émbolo de menor área se ejerce una fuerza de 30 N, ¿cuál es la fuerza que ejerce la prensa hidráulica sobre el émbolo de mayor área?

30. Se tiene una prensa hidráulica para levantar un objeto con una masa de 1.500 kg. Si los cilindros de la prensa hidráulica tienen un radio de 5 m y 20 m. ¿Qué fuerza se debe ejercer sobre el émbolo de menor área para levantar el objeto?

31. Una cantidad de aire ocupa un volumen de 500 cm^3 cuando la presión es de 1 atmósfera. ¿Cuál será el volumen que ocupará si la presión aumenta a 5 atmósferas?

32. Calcula la presión de una columna de mercurio de densidad igual a $13{,}6 \times 10^3$ kg/m^3, que tiene una altura de 3,4 m y de área 1,5 cm^2.

33. Se encuentra sumergido en mercurio un cuerpo que pesa 12 kg-f. Calcula la densidad del cuerpo si se sabe que la densidad del mercurio es de 13,6 g/cm^3.

34. ¿Qué altura debe tener el tubo vertical de un manómetro lleno de agua para que en su extremo inferior indique 325 kPa de presión?

35. En un tubo doblado en "U" de sección uniforme hay cierta cantidad de mercurio. Se agrega, en una de las ramas, cloroformo cuya densidad es de 0,66 g/cm^3 hasta que el mercurio asciende en la otra rama 2,3 cm. ¿Cuál es la longitud del cloroformo en la otra rama?

36. En un tubo en "U" se coloca agua y mercurio, si la altura alcanzada por el mercurio es de 16 cm, ¿qué altura alcanza el agua?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

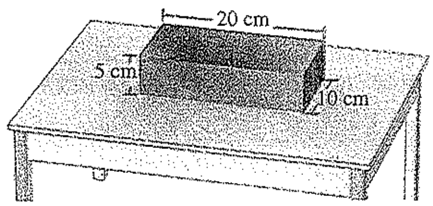
37. Como una muestra de gratitud, un rey recibe una corona de oro con una masa de 0,5 kg. Si se encuentra que el volumen de la misma es de 185 cm^3, ¿será de oro puro la corona?

38. Dos pasajeros en un bus son pisados simultáneamente por dos mujeres diferentes. El primero es pisado por una señora de 90 kg quien utiliza calzado plano. El segundo por una señora delgada de 55 kg. Calcula cuál de los dos pasajeros sentirá mayor dolor.

39. El ladrillo que se muestra en la figura tiene un peso de 2 kg-f. Calcula la presión (en pascales) ejercida por el ladrillo sobre la superficie de una mesa cuando:

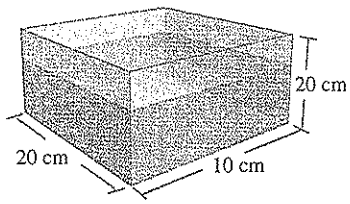
a. Está apoyado sobre la cara de menor área.

b. Está sobre la cara de mayor área.



ACTIVIDADES

40. Una caja transparente de acrílico que cierra herméticamente, se llena en sus dos terceras partes con agua. Si las dimensiones de la caja son las indicadas en la gráfica, determina cuál de las caras debe apoyarse sobre el suelo para que ejerza la máxima presión sobre el mismo. Calcula esa presión.

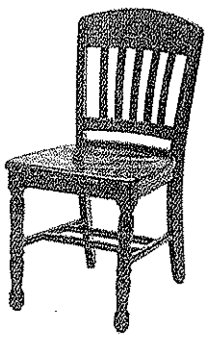


41. Una piscina mide 20 m de largo, 12 m de ancho y 2 m de profundidad. Calcula la fuerza que ejerce el agua contra:

a. El fondo de la piscina.

b. Las paredes laterales.

42. Una silla de 10 kg se apoya en el suelo, como indica la figura. Si cada pata circular tiene 4 cm^2 de base. Calcula:



a. La presión de la silla sobre el suelo.

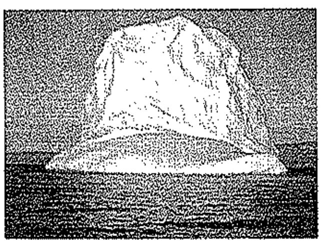
b. La presión de la silla sobre el suelo cuando en ella se sienta una persona de 80 kg.

43. Un cubo de aluminio de 8 cm de arista se apoya sobre una mesa. Determina:

a. ¿Qué presión ejerce el cubo sobre la mesa?

b. ¿Qué altura debería tener un cilindro de 10 cm de diámetro, también de aluminio, para que ejerza sobre la mesa la misma presión que el cubo?

44. Un iceberg flota en el mar de modo que la parte que está fuera del agua tiene 12 m de altura, como se muestra en la figura.



¿Cuál es la altura h de la parte sumergida del iceberg? (Considera que el iceberg tiene forma de paralelepípedo.)

45. Un cubo de hierro de 4 cm de arista flota sobre mercurio. Suponiendo que la cara superior del cubo está en posición horizontal, calcula:

a. El volumen de hierro que emerge.

b. La longitud de la arista que sale de la superficie.

46. Una esfera de hierro es lanzada a un depósito lleno de agua. Si el diámetro de la esfera es de 4 cm y la profundidad del depósito es de 1,30 cm.

a. ¿Cuál es el peso de la esfera?

b. ¿Cuál es el empuje?

c. ¿Cuál es la aceleración que experimenta la esfera?

d. ¿Cuál es el tiempo que tarda la esfera al llegar al fondo del depósito?

47. La presión máxima que una persona normal soporta es de 8 atmósferas. Con base en este dato, ¿cuál es la máxima profundidad a la que una persona puede descender en el mar sin correr peligro? La densidad del agua de mar es de 1,03 g/cm^3.

48. La presión atmosférica en Bogotá es de 560 mm de mercurio. Si se remplaza la columna de mercurio por etanol, calcula la altura de la columna de etanol.

49. Se sumerge en agua un cubo de un material que tiene una densidad 0,2 kg/litro y una arista de 9 cm. Calcula:

a. La parte del cubo quedará a flote.

b. Si se coloca una pesa de 50 g encima del cubo, ¿cuánto se hundirá?

50. Un bloque de acero pesa en el aire 500 N y en el agua 350 N. ¿Cuál es el peso aparente del acero en el agua? ¿Cuál es el valor del empuje aplicado por el agua sobre el bloque?

51. La cara superior de un cubo de densidad 1,2 g/cm^3 y de arista 2,5 m se pone a una profundidad de 11 m en agua salada. Calcula:

a. La presión que ejerce el agua sobre la cara superior.

b. La presión ejercida sobre la cara inferior por parte del agua.

Tema 2. Fluidos en movimiento

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. Si la vena aorta es de mayor diámetro que las arterias de tu cuerpo, entonces, ¿con qué rapidez fluye la sangre de la aorta a las arterías?
2. ¿Qué diferencia existe entre el aire que sale cuando soplas suavemente con los labios respecto al aire que fluye cuando estornudas?
3. ¿Por qué razón los autos de la F1 tienen un diseño llamado aerodinámico?
4. ¿Qué sucedería si las paredes de una represa presentan una pequeña grieta?
5. Cuando una pelota cae a un arroyo, en dónde aumenta la velocidad la pelota, ¿cuando el agua fluye por una parte angosta o cuando fluye por una parte poco profunda del arroyo?
6. ¿Cómo explicas que el chorro de agua producido por un grifo se haga cada vez más angosto en su caída?
7. ¿Qué sucede con el agua que sale de una manguera, que se usa para combatir incendios, cuando se cierra y se abre el extremo de salida de agua?
8. ¿Por qué la tensión arterial se mide en el brazo a la altura del corazón?
9. Cuando una persona se corta un dedo ¿es más fácil detener la hemorragia si sube la herida a una altura mayor o si deja extendida la mano hacia abajo? Justifica tu respuesta.
10. ¿Por qué cuando cruzas una carretera después de que pasa un automóvil, sientes el viento en tu cara unos segundos después y no en el momento en que el automóvil se encuentra frente a ti?
11. ¿Por qué el humo de una fogata sube más rápido cuando te acercas a ella y mueves con tu mano una tabla?
12. ¿Por qué sale más rápido el agua de una llave ubicada en el primer piso de una casa, que de una llave ubicada en la terraza? Explica tu respuesta.
13. ¿Por qué en un día lluvioso, cuando cruzas por un potrero, sientes que tu sombrilla se eleva?
14. ¿Por qué los ciclistas, en una competencia contrarreloj, utilizan cascos con diseño aerodinámico?
15. ¿Por qué algunos atletas utilizan trajes ajustados al cuerpo cuando participan en las competencias?
16. ¿Por qué para un atleta es más difícil correr cuando el viento sopla en contra?
17. ¿Qué pasará con una hoja de papel, si te la colocas en el pecho cuando un fuerte viento sopla en contra? Justifica tu respuesta.
18. En los sorteos de lotería que utilizan balotas, ¿qué hace que las balotas ganadoras suban? Explica tu respuesta.
19. ¿Cómo es posible que un helicóptero, cuya densidad promedio es muy superior a la del aire, se pueda sostener en dicho medio? Justifica tu respuesta.
20. Un niño intenta elevar una cometa pero no lo logra. ¿Qué recomendaciones le darías sobre el comportamiento del aire para lograr elevar la cometa?
21. ¿Por qué un avión comercial debe alcanzar una rapidez mínima de despegue antes de dejar la pista?
22. ¿Por qué dos autos cuando pasan uno junto al otro tienden a "atraerse" entre sí?
23. Explica por qué se produce la curva que se observa en la trayectoria de las pelotas de béisbol después de lanzarla haciendo giros.
24. ¿Por qué el agua fluye en una corriente continua al bajar por un tubo vertical, en tanto que se fragmenta en gotas cuando cae libremente?
25. ¿Cómo explicas que la capota de un automóvil convertible se infle cuando este se mueve a alta velocidad?
26. Al sacar la cabeza por la ventana de un atomóvil a alta velocidad tenemos dificultad para respirar. ¿Cómo explicas este hecho?

PROBLEMAS

27. Se tiene un orificio circular de 5 mm de diámetro, el cual se localiza a 5 m por debajo del nivel de un líquido. ¿Cuál es la velocidad de descarga del agua a través de este orificio?

28. El corazón de una persona adulta bombea aproximadamente 4 litros de sangre por minuto. Si la sección transversal de la arteria es de 1,5 cm^2. ¿Cuál es la rapidez de la sangre en esta arteria?

29. Se tiene un tanque presurizado con aire comprimido, el tanque contiene agua en su interior desde el fondo hasta una altura de 3 metros. La presión que se experimenta en la parte interna del tanque es de 4 atmósferas. Si se abre un orificio en una pared a una altura de 1,5 metros y el orificio tiene un radio de 2 mm, ¿cuál es la velocidad del agua que sale por el orificio?

30. Un niño tiene una caneca con agua, que se encuentra sostenida por uno de sus lados, como no puede levantarla para desocuparla, le abre un agujero de 3 cm^2 de área en el fondo. Si la caneca esta totalmente llena y tiene una profundidad de 80 cm, ¿cuánto tiempo tardara en llenarse una botella de 350 cm^3?

31. Una compañía petrolera desea saber, ¿cuál sería la velocidad de salida del petróleo si se cuenta con una tubería de 10 cm de diámetro por la cual pasa con una velocidad de 2 m/s y se cambia por una tubería de 12 cm?

32. Un barco presenta un agujero lateral en un compartimiento bajo la cubierta del barco. Si el agua fluye con una rapidez de 8 m/s, ¿cuál será la profundidad bajo el agua en la cual se encuentra el agujero?

33. Un tanque de almacenamiento de agua tiene una altura de 2 m y se encuentra totalmente lleno. Si a una altura de 80 cm se hace un orificio de 1,5 cm de radio para instalar el tubo de salida, ¿con qué rapidez sale el agua por el orificio?

34. ¿Con qué rapidez saldrá el agua de una tina si se quita el tapón que se encuentra en el fondo teniendo en cuenta que la tina está totalmente llena y tiene una profundidad de 60 cm?

35. Una lancha choca contra una piedra la cual le produce un orificio de 30 cm^2, en uno de sus lados a una profundidad de 0,60 cm bajo el nivel del agua.

a. ¿Con qué rapidez entra el agua?

b. Si la lancha puede admitir 8 m^3 de agua, antes de hundirse, ¿cuánto tiempo aproximadamente tiene la persona que está dentro de ella para llegar a un lugar seguro y salvarse?

36. Un gas fluye a través de un tubo de radio de 1,5 cm, si el gas fluye con una rapidez de 2 m/s, calcula:

a. El radio que tiene el tubo de salida si el líquido fluye con una rapidez de 7 m/s.

b. El caudal.

37. El gasto volumétrico del agua a través de un conducto horizontal es de 3 m^3/s. Encuentra la velocidad del flujo en un punto en el cual el diámetro del conducto es 8 cm.

38. En un tanque de agua se hace un agujero en uno de sus lados a 15 m debajo del nivel del agua. Si el gasto volumétrico en la fuga es de 3×10^{-2} m^3/s, calcula:

a. La rapidez de salida del agua por el agujero.

b. El diámetro del agujero.

39. Por una manguera que tiene un diámetro de 5,50 cm circula agua a razón de 2×10^{-3} m^3/s. Si la manguera tiene una boquilla de 1,8 cm de diámetro, calcula la rapidez con la que sale el agua por la boquilla.

40. A un recipiente de 50 cm de profundidad se le realiza un orificio en el fondo con un área de 1,5 cm^2. Si el recipiente se llena completamente, calcula el tiempo que tardará en llenarse un recipiente pequeño de 250 cm^3.

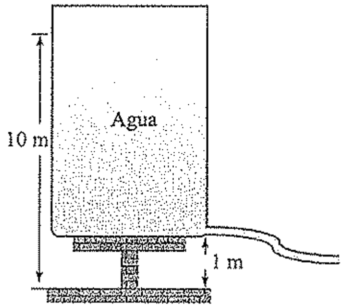
41. Por una tubería de 10 cm^2 de área de sección transversal circula agua con una rapidez de 20 m/s. Si la tubería presenta una parte angosta en la cual la rapidez del agua es de 30 m/s, ¿cuál es el valor del área de la sección angosta de la tubería?

42. ¿Cuál es la velocidad del agua que sale por una manguera de 22 mm de radio a razón de 30 cm^3/s?

43.
44.
45.
46.
47.
48.
49.

43. Con una manguera que tiene 1,5 cm de diámetro se llena un balde que tiene una capacidad de 15 litros. Si la cubeta se demora 120 s en llenarse, calcula la rapidez con la que el agua sale de la manguera.

44. En un tanque el agua circula a través de un tubo, como se muestra en la figura.



El punto de salida del agua está ubicado a una altura de 1 m y el nivel del agua a una altura de 10 m. Si la sección transversal en el punto de salida es de 0,01 m^3, calcula el gasto volumétrico que se presenta en el tubo.

45. En un depósito de agua de 25 cm de altura y 13 cm de diámetro se realiza un agujero en el fondo de 1 cm^2 de área. Si se agrega agua al depósito a razón de 100 cm^3/s, encuentra la altura que alcanza el agua en el depósito.

46. En un balde de 25 cm de altura se hace un orificio a 15 cm del suelo. Calcula la velocidad de salida del agua.

47. Un recipiente de 40 cm de altura tiene un orificio de 2 cm^2 a 1,5 cm de la base. ¿Cuánto tiempo tardará en desalojar 1.000 cm^3 de su contenido?

48. Una persona riega las flores de su jardín utilizando una manguera de diámetro 1,7 cm y por la cual fluye agua con una velocidad de 0,2 m/s. Si se le adapta una llave de 1 cm de diámetro en el extremo, ¿cuál será la velocidad de salida del agua?

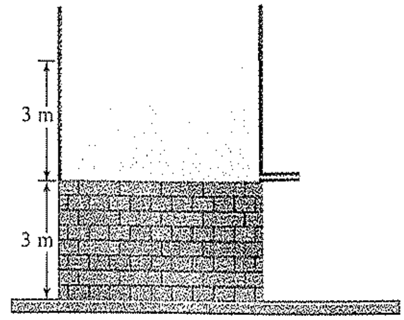
49. Al llenar un depósito de agua de 1.000 litros con una manguera de 150 cm^2 de sección transversal se gastaron 10 minutos.

a. Calcula la velocidad con la que fluye el líquido.

b. Determina el valor del caudal.

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

50. Un estanque de agua tiene un pequeño agujero, como se muestra en la figura:



Calcula:

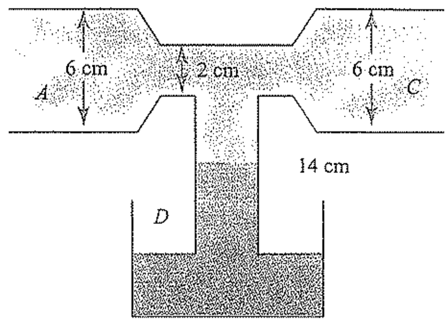
a. La presión del agua sobre el agujero.

b. La velocidad de salida del agua por el agujero.

c. El alcance horizontal del chorro de agua.

d. El tiempo que demora en llegar el agua al piso.

51. Un gas que tiene una densidad de 1,36 g/L fluye por el tubo *A*, que se muestra en la figura.



Si la altura del mercurio en *D* es de 14 cm y el aire sale por el tubo *C*. Calcula la velocidad con que fluye el gas.

52. Las alas de un avión tienen un área de 25 m^2. Si la rapidez con que sopla el viento en la superficie inferior del ala es de 45 m/s y en la superficie superior del ala es de 60 m/s, calcula el peso del avión teniendo en cuenta que vuela con rapidez constante a una altura donde la densidad del aire es de 1 kg/m^3.

53. Un aeroplano de masa 15.000 kg y con un área en cada ala de 35 m^2 tiene una presión sobre la superficie inferior del ala de $6{,}5 \times 10^4$ Pa. ¿Cuál es la presión del ala en su superficie superior?

Densidad

LABORATORIO 13

Objetivo

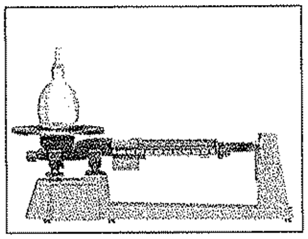
Determinar la densidad de diferentes líquidos utilizando un picnómetro.

Materiales

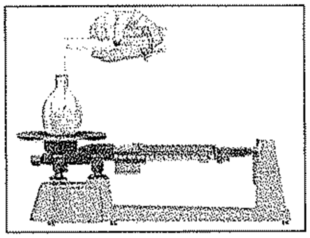
- Balanza.
- Picnómetro.
- Agua, aceite, alcohol.

Procedimiento y registro

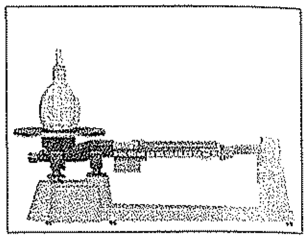
1. Pon el picnómetro vacío sobre la balanza y determina su masa.



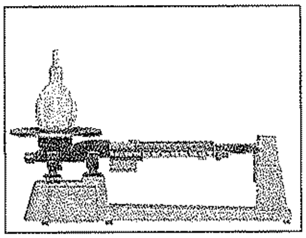
2. Llena el picnómetro de agua hasta el borde superior y mide nuevamente su masa.



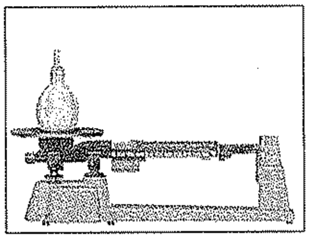
3. Teniendo en cuenta los dos resultados anteriores, determina la masa y la densidad del agua.



4. Repite este procedimiento llenando el picnómetro primero con el aceite y, luego, con el alcohol.



Picnómetro con aceite.



Picnómetro con alcohol.

5. Escribe los resultados en la tabla de registro.

TABLA DE REGISTRO

Líquido	Masa	Volumen	Densidad
Agua			
Alcohol			
Aceite			

Análisis de los resultados

1. Compara la densidad de los líquidos.
2. Si en cada caso se utiliza un picnómetro con el doble de volumen, ¿cuál sería el valor de la masa?
3. ¿Variaría el valor de la densidad si se utiliza el doble de líquido?
4. ¿Cómo expresarías que fuera la densidad de una solución de agua con alcohol? Explica tu respuesta.
5. Explica cómo realizarías el experimento si en lugar de picnómetro dispones de una probeta graduada.

Fluidos en movimiento

LABORATORIO 14

Objetivo

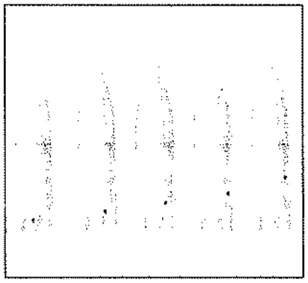
Identificar la velocidad de salida del agua por un agujero.

Materiales

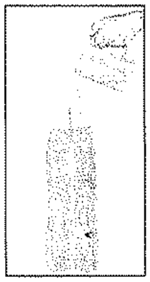
- 5 botellas plásticas de 600 mL cada una.
- Una puntilla.
- Cronómetro.
- Regla.
- Agua.

Procedimiento y registro

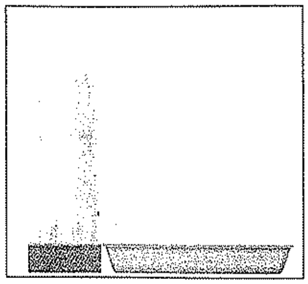
1. Realiza a cada botella, un orificio ubicado a diferentes alturas con respecto a la parte inferior de ella.



2. Llena la primera botella con agua hasta el borde y registra el tiempo de salida de la misma.



3. Mide la distancia a la cuál cae el agua con respecto a la parte inferior de la botella.



4. Realiza el mismo procedimiento con las otras cuatro botellas.
5. Escribe los datos obtenidos en la tabla de registro.

TABLA DE REGISTRO

Botella	Altura (cm)	Tiempo (s)	Distancia (cm)
1			
2			
3			
4			
5			

Análisis de los resultados

1. Calcula la velocidad de salida del agua.
2. ¿Cómo variaría la experiencia si colocas los agujeros a igual altura con respecto a la parte inferior de la botella? Justifica tu respuesta.
3. ¿Qué relación existe entre la distancia alcanzada por los chorros y la presión del agua?
4. Calcula el caudal de cada chorro.
5. Si se realiza la experiencia con botellas de diferente capacidad, pero los agujeros se realizan a igual altura desde la parte inferior, ¿variará en algo la relación entre la presión y la velocidad de salida del agua? Justifica tu respuesta.

No sólo es cuestión de oxígeno

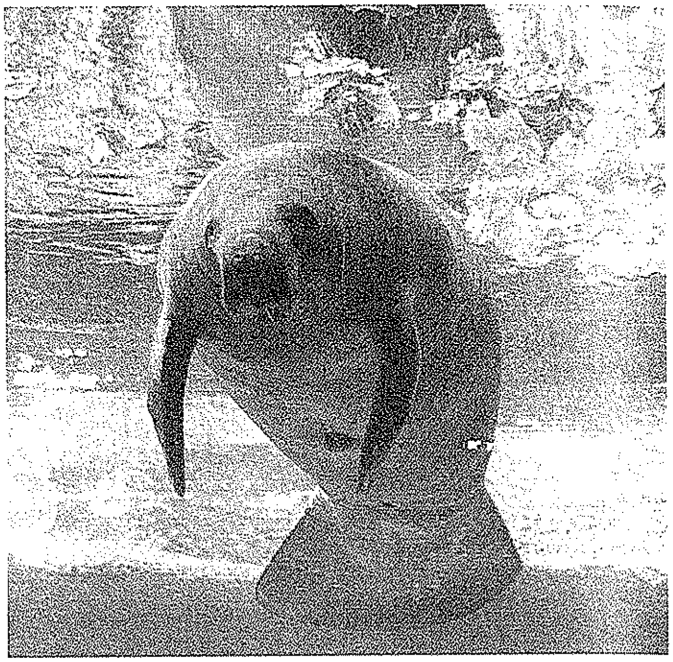
Los mamíferos, en su mayoría, poseen las mismas exigencias de oxígeno que los seres humanos ya que, en estructura, sus órganos respiratorios son muy similares.

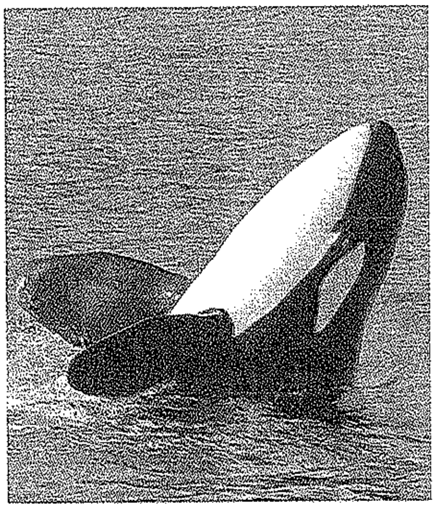
Aún así, existen mamíferos que pueden sumergirse a grandes profundidades y permanecer allí durante largo tiempo sin sufrir daños considerables en su organismo.

¿Son acaso, sus pulmones diferentes a los de nosotros? ¿Es su sangre? ¿Almacenan oxígeno en forma especial?

Estudios realizados han mostrado que ningún mamífero marino posee pulmones, proporcionalmente, más grandes que los nuestros; sin embargo, el volumen sanguíneo es mayor. En los mamíferos marinos buceadores la sangre constituye entre el 10% y el 15% de su peso corporal, mientras que en los seres humanos constituye aproximadamente el 7%. Este aumento proporcional parece servir como reserva de sangre oxigenada.

Otro factor importante, se basa en un grupo de reacciones automáticas conocidas como el reflejo de buceo.





Durante el buceo de un mamífero ocurren los siguientes procesos:

- Disminuye su ritmo cardiaco y la provisión de sangre a tejidos tolerables como músculos, piel y órganos digestivos.
- Obtiene energía para sus músculos en forma anaeróbica.
- Distribuye la mayoría del oxígeno al cerebro y al corazón, para evitar que sus células comiencen a morir después de unos cuatro minutos sin oxígeno.
- Reduce ligeramente el abastecimiento sanguíneo a las glándulas suprarrenales.

El buceo de un ser humano a grandes profundidades

El cuerpo humano experimenta una alta presión que afecta los canales del oído y oprime los pulmones.

El aumento parcial de la presión del oxígeno contenido en los tanques de buceo se vuelve nocivo produciendo envenenamiento. Los síntomas de envenenamiento por oxígeno incluyen confusión, visión borrosa y náuseas.

A una profundidad de 300 pies la presión parcial del oxígeno, para un buceador que inhala aire comprimido, es de cerca de 2 atmósferas. Como esta presión es demasiado alta, el oxígeno se debe diluir en otro gas.

Aunque el candidato ideal podría ser el nitrógeno, su uso se ve restringido ya que, a presiones elevadas y en grandes cantidades se disuelve con la sangre produciendo narcosis, reacción conocida como "éxtasis de las profundidades".

La solubilidad del nitrógeno en la sangre a alta presión es también responsable de una reacción de agonía llamada "doblamiento" que ocurre cuando el buceador hace muy rápido el ascenso, sin dar tiempo al organismo para deshacerse del nitrógeno que contiene la sangre. Este abandona poco a poco su solubilidad y forma burbujas que pueden detener el flujo sanguíneo y alterar el sistema nervioso, de esta manera las articulaciones del buceador se traban en una posición doblada, poniéndolo en peligro de muerte.

ÁMBITO: Desarrollo compromisos personales y sociales

APROPIACIÓN Y USO DE LA TECNOLOGÍA

Responde las siguientes preguntas:

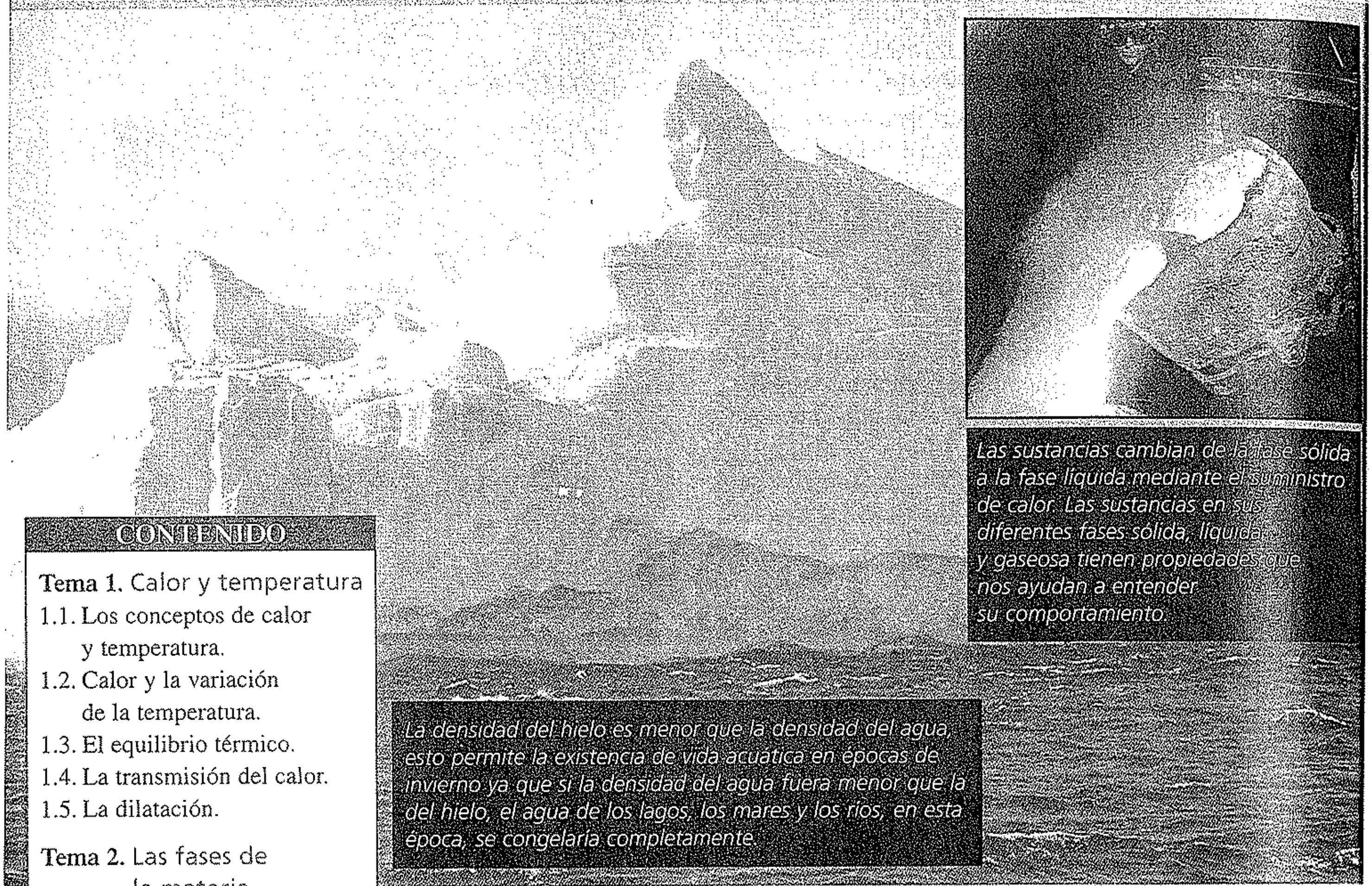
1. ¿Por qué es importante conocer las precauciones y las indicaciones precisas antes de realizar un deporte como el buceo submarino?
2. Muchas personas consideran que las indicaciones que se dan antes de realizar una práctica específica son, en realidad, innecesarias y que en muchos casos, entorpecen la "diversión". ¿Qué opinas al respecto?
3. No sólo las personas que descienden a grandes profundidades deben preocuparse por los efectos de la presión. También quienes suben a grandes alturas deben tener ciertas precauciones. Consulta qué efectos y qué cuidados deben tener las personas que practican el alpinismo.

TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Aunque parezca sorprendente, todavía existen aspectos poco conocidos de la respiración, especialmente de los procesos que ocurren en la respiración anaeróbica. Actualmente, la biología y la medicina se ocupan, entre otras cosas, de la respiración anaeróbica en las células del hombre. La medicina deportiva se interesa por la fatiga y el dolor que produce en los músculos la falta de oxígeno. Por su parte, la oncología (rama de la medicina que estudia los tumores), está preocupada por desentrañar por qué razón las células cancerosas consumen niveles altos de oxígeno en el tejido que han invadido.

UNIDAD

8 Termodinámica



Las sustancias cambian de la fase sólida a la fase líquida mediante el suministro de calor. Las sustancias en sus diferentes fases sólida, líquida y gaseosa tienen propiedades que nos ayudan a entender su comportamiento.

La densidad del hielo es menor que la densidad del agua, esto permite la existencia de vida acuática en épocas de invierno ya que si la densidad del agua fuera menor que la del hielo, el agua de los lagos, los mares y los ríos, en esta época, se congelaría completamente.

CONTENIDO

Introducción

La termodinámica estudia la energía en relación con los conceptos de calor y temperatura.

Al igual que muchas disciplinas, la termodinámica surge de la curiosidad y la necesidad del hombre, que en este caso, despertó el movimiento producido por la energía del vapor del agua, y sus propiedades para succionar agua de los pozos. Su desarrollo fue tomando como objetivo principal el perfeccionamiento de tecnologías aplicadas a facilitarle la vida al hombre, reemplazando el trabajo manual por la rapidez lograda por la máquina. Estos avances influyeron directamente en una mejor economía ya que se lograban máximas potencias con el mínimo grado de contaminación.

El estudio de la termodinámica nos permite explicar el funcionamiento de algunos sistemas como los motores de los carros, el aumento de energía de un sistema cuando se realiza trabajo sobre él o cuando se le suministra calor y las condiciones en las que un proceso sucede.

En esta unidad estudiaremos los conceptos de calor y temperatura. Conceptos que nos ayudarán a comprender algunos aspectos de la estructura de la materia, las transformaciones de calor en trabajo y el orden en que ocurren los procesos naturales.

Tema 1. Calor y temperatura

1.1. Los conceptos de calor y temperatura

Con frecuencia utilizamos los términos calor y temperatura para describir eventos que observamos en la naturaleza, tales como el estado del tiempo. Sin embargo, aunque estos conceptos están muy relacionados son distintos y hacen parte del lenguaje utilizado para interpretar el comportamiento de sistemas tan diversos como la atmósfera, los seres vivos y las estrellas.

Supongamos que durante cierto tiempo calentamos dos cantidades de agua diferentes que inicialmente se encontraban en el mismo recipiente. Podemos comprobar que el aumento de temperatura de la menor cantidad de agua es mayor que el aumento de la temperatura de la mayor cantidad de agua. En este caso decimos que las dos cantidades de agua reciben la misma proporción de calor proveniente de la fuente aunque el cambio de temperatura sea diferente. En el lenguaje cotidiano afirmamos que la cantidad de agua cuya masa es menor está más caliente que la cantidad de agua cuya masa es mayor, es decir, que el cuerpo que está más caliente, le corresponde una mayor temperatura.

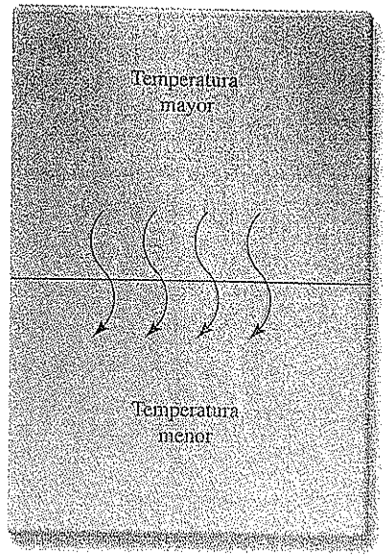


FIGURA 1

Cuando medimos la temperatura de nuestro cuerpo con un termómetro, nos colocamos el termómetro debajo del brazo y esperamos unos instantes para tomar el registro de la medición. Este hecho sugiere que, después de un tiempo, las temperaturas a las cuales se encuentran los dos cuerpos en contacto, tienen el mismo valor.

Por otra parte, como nuestro cuerpo le transfiere calor al termómetro, podemos afirmar que cuando dos cuerpos están en contacto, el calor se transfiere del cuerpo con mayor temperatura al cuerpo con menor temperatura (figura 1).

El calor es energía en tránsito, es decir que los cuerpos ceden o ganan calor, pero no es correcto afirmar que un cuerpo posea calor, de la misma manera que es incorrecto afirmar que un cuerpo le transfiere temperatura a otro.

Debido a que las moléculas que conforman un sólido o un fluido, están en constante movimiento, a los cuerpos se les asocia una energía llamada energía interna, que se relaciona con la energía cinética de las partículas que los constituyen, siendo la temperatura una medida de esta energía promedio de las moléculas que constituyen el cuerpo.

Cuando se cede calor a un cuerpo, la velocidad de las partículas que lo constituyen aumenta y este aumento de la energía cinética promedio de las partículas es mayor cuanto más calor se transfiera al cuerpo. Cuando se registra un aumento en la temperatura de una sustancia, podemos inferir que se produce un aumento en su energía interna.

1.1.1 La medida de la temperatura

El termómetro es el instrumento utilizado para medir temperaturas. Su funcionamiento se basa en dos hechos:

- Las propiedades de los cuerpos al variar su temperatura.
- La temperatura adquirida por dos cuerpos en contacto.

Los termómetros son aparatos que consisten en una columna de líquido (mercurio o alcohol) que aumenta su volumen al elevarse la temperatura.

El termómetro más conocido es el termómetro de mercurio, y suele utilizarse en la construcción de otros termómetros debido a que son muy susceptibles a los cambios de temperatura, lo cual se manifiesta en su aumento de volumen.

La lectura en el termómetro se realiza en una escala graduada en función de la altura alcanzada por el líquido. Aunque es usual medir la temperatura en grados centígrados (°C), la unidad de medida de la temperatura en el Sistema Internacional de Unidades es el Kelvin (K), y en el sistema británico de unidades, se mide en grados Fahrenheit (°F).

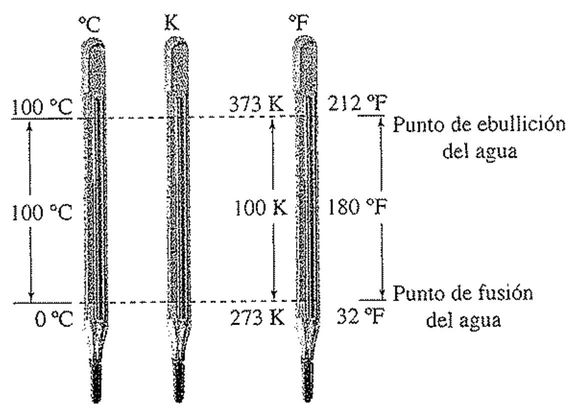
A continuación describimos cada una de estas escalas, llamadas escalas termométricas.

- La escala en la cual se mide la temperatura en °C se denomina escala centígrada o escala Celsius. En esta escala, la temperatura del punto de fusión del agua (cuando el agua se congela) es 0 °C y la temperatura del punto de ebullición del agua (cuando el agua hierve a una presión de 1 atmósfera), es 100 °C. En la escala centígrada, el intervalo entre estas temperaturas (0 °C y 100 °C) se divide en cien partes iguales, cada una de las cuales se denomina grado centígrado.
- La escala en la cual la temperatura se mide en K se llama escala absoluta o escala Kelvin. En esta escala el punto de fusión del agua es 273 K y el punto de ebullición 373 K. El intervalo entre ambas temperaturas (273 K y 373 K) se divide en cien partes iguales, cada una de las cuales se denomina grado Kelvin. En esta escala, la temperatura más baja es igual a 0 K, sin embargo es imposible alcanzar este valor de la temperatura, pues correspondería al estado en el cual todas las moléculas que forman un cuerpo estarían en reposo. Esta escala se emplea con mayor frecuencia en ámbitos científicos. Una temperatura en grados centígrados (T_C), se puede expresar en grados Kelvin (T_K) mediante la expresión

$$T_K = T_C + 273 \qquad \text{ECUACIÓN 8.1}$$

- La escala en la cual la temperatura se mide en °F se llama escala Fahrenheit. En esta escala el punto de fusión del agua es 32 °F y el de ebullición de 212 °F. En la escala Fahrenheit, el intervalo entre ambas temperaturas se divide en ciento ochenta partes iguales, cada una de las cuales se denomina grado Fahrenheit. Una temperatura en grados centígrados (T_C), se puede expresar en grados Fahrenheit (T_F) mediante la expresión:

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32 \qquad \text{ECUACIÓN 8.2}$$



EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.1 La temperatura de 50 °C corresponde al valor que se encuentra en la mitad de los puntos de fusión y de ebullición del agua a una presión de una atmósfera. Expresar este valor en:

a. Grados Fahrenheit.
b. Grados Kelvin.

SOLUCIÓN:

a. Para expresar la temperatura de 50 °C en grados Fahrenheit, tenemos:

$T_F = 9/5\, T_C + 32$ *Ecuación 8.2*

$T_F = 9/5\,(50) + 32 = 122$ °C

Luego, la temperatura 50 °C equivale a 122 °F.

b. Para expresar la temperatura de 50 °C en Kelvin, tenemos:

$T_K = T_C + 273$ *Ecuación 8.1*

$T_K = 50 + 273 = 323$ K

La temperatura de 50 °C equivale a 323 K.

8.2 Determinar la temperatura tal que su valor en grados Centígrados coincida con el valor en grados Fahrenheit.

SOLUCIÓN:

Para determinar la temperatura en la cual coincide la escala Fahrenheit con la Celsius, remplazamos T_F por T_C en la ecuación 8.2, ya que coinciden. Por tanto,

$$T_C = \frac{9}{5}\,T_C + 32$$

$-32 = \frac{4}{5}\,T_C$ *Al calcular*

$T_C = -\,40$ °C

Cuando la temperatura de −40 °C, su valor es de −40 °F.

1.1.2 La medida del calor

Las ideas acerca de la naturaleza del calor han cambiado en los dos últimos siglos:

- Existió la teoría del fluido tenue que situado en los poros de la materia pasaba de los cuerpos calientes en los que supuestamente se halla más cantidad, a los cuerpos fríos, esta teoría ocupó un lugar importante en la física desde la época de los filósofos griegos. Sin embargo, esta teoría fue perdiendo apogeo y credibilidad al no poder explicar los resultados de los experimentos que algunos científicos como Benjamín Thompson (1753-1814) realizaron.
- Una vieja teoría poco aceptada por científicos del siglo XVII como Galileo Galilei y Robert Boyle resurgió cuando Thompson observó que los metales se calentaban excesivamente al ser perforados por un taladro y que la absorción de calor era tanto mayor cuanto mayor era el tiempo que duraba el taladro. Thompson hizo el siguiente razonamiento: si el calor es un fluido con masa y se transmite del taladro al metal, llegará un momento en que el taladro cederá tanto calor que perderá toda su masa y acabará por desaparecer. Dado que esto no ocurre, Thompson concluyó que el calor no puede ser algo material. Así, Thompson sostuvo que el calor no es otra cosa que movimiento vibratorio de las partículas de un cuerpo.
- Las experiencias de Joule (1818-1889) y Mayer acerca de la conservación de la energía, apuntaban al calor como una forma más de energía. El calor no sólo era capaz de aumentar la temperatura sino que además podía mover los cuerpos y realizar un trabajo. Joule demostró que a partir de la realización de trabajo mecánico es posible producir determinada cantidad de calor.

En su experimento, Joule utilizó un dispositivo, llamado calorímetro, como el que se muestra en la figura 2.

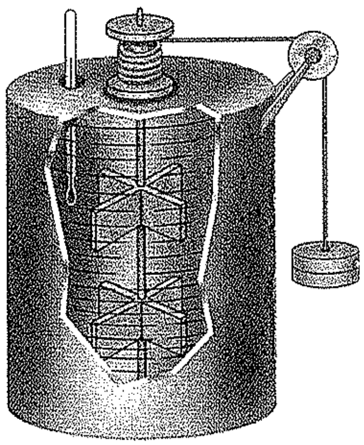


FIGURA 2

Al dejar caer unas pesas desde determinada altura, verificó que a partir de la energía potencial de las pesas, colocadas en el exterior del calorímetro, se produce movimiento en las paletas y, en consecuencia, aumenta la temperatura del agua contenida en el recipiente, comprobando de esta manera que a partir de determinada energía potencial la temperatura siempre aumenta en la misma cantidad.

Joule encontró que la temperatura de 1 gramo de agua aumenta en 1 °C cuando la energía potencial de las pesas es 4,186 julios, con lo cual demostró que el calor es una forma de energía.

Para medir la cantidad de calor se utilizan dos unidades de medida,

- La caloría (cal) que se define como la cantidad de calor que debe absorber un gramo de agua para que su temperatura aumente en un grado centígrado.
- En el Sistema Internacional de Unidades el julio (J).

La equivalencia entre estas dos unidades es:

$$1 \text{ cal} = 4{,}186 \text{ J}$$

Esta relación entre julios y calorías se conoce como equivalente mecánico del calor.

Con estas experiencias finalizó definitivamente la polémica sobre la naturaleza del calor, ya que Joule demostró que el calor se puede transformar en otras formas diferentes de energía. Por ejemplo, en los motores de los automóviles se transforma en energía cinética, en las centrales térmicas se transforma en energía eléctrica, en los filamentos de las bombillas se transforma en energía lumínica.

También diferentes formas de energía se transforman en calor, como ocurre con la energía cinética que se disipa por efecto de la fricción, por esta razón, como lo hemos estudiado, la fuerza de rozamiento se considera disipativa.

1.2 Calor y la variación de la temperatura

Cuando un cuerpo absorbe calor, es posible que se produzca un aumento en su temperatura, mientras que, si el cuerpo cede calor es posible que su temperatura disminuya, más adelante estudiaremos que en algunos casos se suministra calor a una sustancia y sin embargo la temperatura no aumenta, de la misma manera que en otros casos un cuerpo cede calor y, sin embargo, su temperatura no disminuye.

A continuación estudiaremos la relación entre el calor suministrado a una sustancia y el aumento de temperatura, masa de la sustancia y el material que la compone.

- **Relación entre el calor suministrado y el aumento de la temperatura para una masa constante de una sustancia.**

  Cuando se suministra calor a una sustancia y se produce un aumento de la temperatura, la cantidad de calor suministrado es directamente proporcional a dicho aumento de temperatura.

  En la figura 3 se muestra una representación gráfica del calor en función del aumento de la temperatura para 100 gramos de agua. También se cumple que cuando la sustancia cede calor, el calor cedido es directamente proporcional a la disminución de la temperatura.

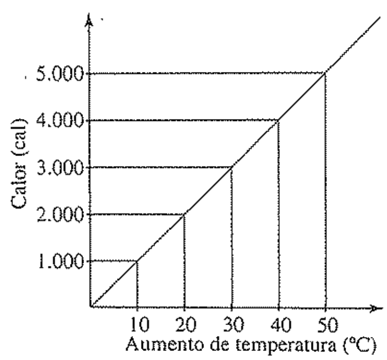


FIGURA 3

- **Relación entre el calor suministrado y la masa para un aumento constante de temperatura de una misma sustancia.** Cuando se suministra calor a diferentes masas de la misma sustancia y en todos los casos se produce el mismo aumento de la temperatura, el calor suministrado es directamente proporcional a la masa de sustancia.

  En la figura 4, se muestra una gráfica que representa el calor suministrado a diferentes masas de agua en las cuales se produce un aumento de temperatura de 40 °C. De la misma manera, cuando la sustancia cede calor, el calor cedido es directamente proporcional a la masa de la sustancia.

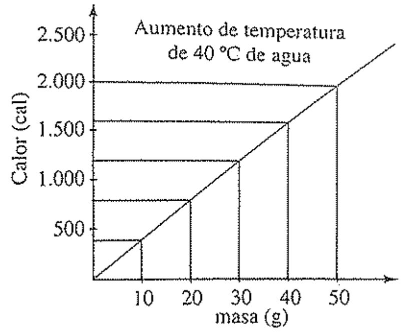


FIGURA 4

- **Relación entre el calor suministrado y el material del cual está constituida la sustancia para masas y aumentos de temperatura constantes.** Cuando se suministra calor a iguales masas de diferentes sustancias en las cuales se producen iguales aumentos de la temperatura, el calor suministrado depende del material del cual están constituidas las sustancias.

  En la figura 5, se muestran dos gráficas que representan el calor en función del aumento de temperatura para 100 gramos de agua y 100 gramos de alcohol etílico. Se puede observar que para aumentar en 50 °C la temperatura de 100 g de agua se requiere suministrar más calor que para aumentar en 50 °C la temperatura de 100 g de alcohol etílico. Este resultado sugiere que el calor suministrado para aumentar la temperatura de 1 gramo de una sustancia en 1 °C depende del material. Esta propiedad de la materia se mide a través del calor específico.

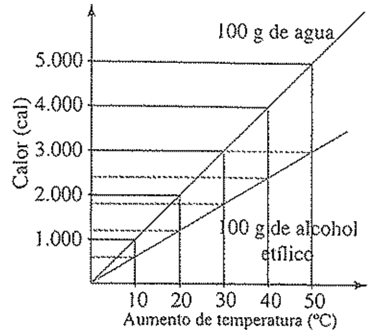


FIGURA 5

DEFINICIÓN 8.1

El calor específico, c_e, de un material es la cantidad de calor que se debe suministrar a un gramo de una sustancia para que su temperatura aumente en un grado centígrado.

El calor específico es una característica que permite identificar un material y corresponde a su capacidad calórica por unidad de masa. Por ejemplo, si se consideran dos masas iguales de sustancias con diferente calor específico, para que su temperatura aumente en la misma cantidad, se le debe suministrar más calor a la sustancia cuyo calor específico es mayor.

De acuerdo con la gráfica de la figura 5 tenemos que el calor específico del agua es mayor que el calor específico del alcohol etílico.

Así mismo, cuando la temperatura disminuye en igual cantidad, la sustancia cuyo calor específico es mayor debe ceder más calor.

La unidad del calor específico en el Sistema Internacional de Unidades es el julio sobre kilogramo por Kelvin (J/kg · K), sin embargo, se puede expresar también en calorías sobre gramo por grado centígrado (cal/g · °C).

En la tabla 8.1 se indica la medida del calor específico de algunas sustancias.

Por ejemplo, el agua tiene un calor específico de 4.186 J/kg · K. Esto significa que para que 1 kg de agua aumente su temperatura en 1 K requiere absorber 4.186 J de energía. También el calor específico suele definirse como la cantidad de calor, medido en calorías, que 1 g de material debe absorber para elevar su temperatura en 1 °C.

TABLA 8.1

Calor específico de algunas sustancias		
Sustancia	**cal/g·°C**	**J/kg·K**
Agua	1	4.186
Aire	0,24	1.003
Alcohol etílico	0,6	2.511
Aluminio	0,22	920
Cobre	0,09	376
Hielo	0,53	2.215
Hierro	0,12	502
Mercurio	0,03	126

Como lo hemos analizado, el calor Q suministrado a una sustancia o el calor cedido por la sustancia para que, respectivamente, se produzca un aumento o disminución de temperatura, depende de tres factores:

- De la masa (m) del cuerpo.
- Del calor específico c_e.
- De la variación de la temperatura, $\Delta T = T_f - T_i$ donde T_i es la temperatura inicial y T_f es la temperatura final.

De esta forma, la cantidad de calor se expresa como:

$$Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T \qquad \text{ECUACIÓN 8.3}$$

Al analizar esta expresión, se observa que, si la temperatura aumenta, entonces la temperatura final T_f es mayor que la temperatura inicial T_i y, en consecuencia la variación de la temperatura ΔT es positiva, luego el calor es positivo. Esto significa que cuando se suministra calor a una sustancia, el valor de dicho calor absorbido es positivo. Si la temperatura disminuye, entonces ΔT es negativo y, en consecuencia, el calor cedido por la sustancia es negativo.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.3 Comparar la cantidad de calor que se debe suministrar a 1.000 g de agua para que su temperatura varíe de 40 °C a 70 °C, con la cantidad de calor que se debe suministrar a 1.000 g de hierro para que su temperatura varíe entre los mismos valores.

SOLUCIÓN:

Para calcular la cantidad de calor según las condiciones indicadas en el caso del agua, tenemos:

$Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T$ *Ecuación 8.3*

$Q = 1.000\ g \cdot 1 \dfrac{cal}{g \cdot °C} \cdot (70\ °C - 40°C)$ *Al remplazar*

$Q = 30.000\ cal$ *Al calcular*

La cantidad de calor que se debe suministrar a 1.000 gramos de agua para que su temperatura varíe de 40 °C a 70 °C es 30.000 cal.

De acuerdo con la tabla 7.1, para calcular la cantidad de calor en el caso del hierro tenemos que:

$Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T$ *Ecuación 8.3*

$Q = 1.000\ g \cdot 0{,}12 \dfrac{cal}{g \cdot °C} \cdot (70\ °C - 40\ °C)$

$Q = 3.600\ cal$

La cantidad de calor que se debe suministrar a 1.000 gramos de hierro para que su temperatura aumente 30 °C es 3.600 cal.

Al comparar los dos valores, observamos que aun cuando se trata de la misma masa y del mismo aumento de temperatura, en el caso del hierro se requiere menor cantidad de calor.

1.3 El equilibrio térmico

Como lo hemos enunciado, cuando dos cuerpos se ponen en contacto a diferente temperatura, después de determinado tiempo alcanzan la misma temperatura. En este caso se dice que los dos objetos alcanzan el equilibrio térmico.

Si los cuerpos no están a la misma temperatura, es porque llevan en contacto menos tiempo del necesario para que se alcance el equilibrio.

Durante el tiempo que trascurre mientras los dos cuerpos alcanzan el equilibrio térmico se transfiere calor desde el cuerpo que tiene mayor temperatura hacia el cuerpo que tiene menor temperatura.

Es decir, que el cuerpo cuya temperatura inicialmente era menor absorbe una cantidad de calor Q_{abs} igual en valor absoluto, aunque de diferente signo, que la cantidad de calor que cede Q_{ced} el cuerpo que cuya temperatura inicialmente era mayor. Por tanto, tenemos:

$$Q_{abs} = -Q_{ced} \qquad \text{ECUACIÓN 8.4}$$

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.4 Para determinar el calor específico del plomo se toma una pieza de 100 g de dicho metal a temperatura de 97 °C y se introduce en 200 cm³ de agua a 8 °C contenidos en un vaso de icopor, el cual podemos suponer que no absorbe calor. Una vez agitada el agua con la pieza de metal en su interior, la temperatura se estabiliza en 9,4 °C. Determinar el calor específico del plomo.

SOLUCIÓN:

Como la masa de 200 cm³ de agua es 200 g, debido a que la densidad de agua es 1 g/cm³, el calor absorbido por el agua, Q_{abs}, es:

$Q_{abs} = m_{agua} \cdot c_{e_{agua}} \cdot (T_f - T_i)$ *Ecuación 8.3*

$Q_{abs} = 200\ g \cdot 1\ cal/g\ °C \cdot (9{,}4\ °C - 8\ °C) = 280\ cal$

Para el calor cedido por el plomo, Q_{ced}, tenemos:

$Q_{ced} = m_{plomo} \cdot c_{e_{plomo}} \cdot (T_f - T_i)$ *Ecuación 8.3*

$Q_{ced} = 100\ g \cdot c_{e_{plomo}} \cdot (9{,}4\ °C - 97\ °C)$ *Al reemplazar*

$Q_{ced} = -8.760\ g\ °C \cdot c_{e_{plomo}}$

Puesto que:

$Q_{abs} = -Q_{ced}$ *Ecuación 8.4*

$280\ cal = 8.760\ g \cdot °C \cdot c_{e_{plomo}}$ *Al reemplazar*

$c_{e_{plomo}} = 0{,}032\ cal/g \cdot °C$

El calor específico del plomo es 0,032 cal/g · °C.

Podemos observar que aunque el calor absorbido, en valor absoluto, es igual al calor cedido, los cambios de temperatura para las dos sustancias son diferentes.

1.4 La transmisión del calor

Cuando hay una diferencia en la temperatura de dos cuerpos o entre dos partes del mismo cuerpo, se establece espontáneamente un transporte de calor que puede producirse por conducción, por convección o por radiación, A continuación estudiamos estas diferentes formas de transmisión del calor.

1.4.1 Conducción del calor

La conducción del calor es la forma en que el calor se propaga en los cuerpos sólidos. Es importante tener en cuenta que la transferencia de calor por conducción a través de un cuerpo no implica transporte de materia a lo largo del cuerpo.

Esta forma de transmisión del calor se puede experimentar cuando colocamos al fuego uno de los extremos de una varilla metálica; después de un tiempo, en realidad bastante corto, la temperatura del otro extremo de la varilla aumenta.

Este proceso de transmisión del calor se explica en virtud de que las moléculas del cuerpo más próximas a la fuente de calor absorben energía que se manifiesta en energía cinética y durante el proceso de conducción la energía cinética de las moléculas vecinas aumenta (figura 6), de tal manera que después de un tiempo ha aumentado la energía cinética de todas las moléculas de la varilla.

En el caso de los sólidos, los átomos ocupan posiciones casi fijas y describen un movimiento de vibración, de tal manera que cuando la temperatura de un sólido aumenta, cada átomo se aleja mayor distancia a partir de la posición con respecto a la cual vibra.

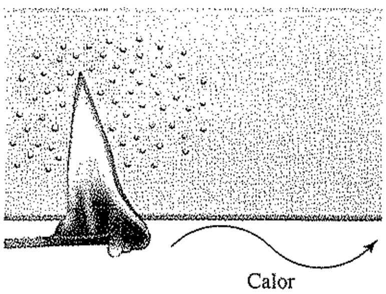


FIGURA 6

En los metales, los electrones de valencia, relativamente libres, que están situados cerca de la fuente de calor aumentan su energía cinética y, mediante colisiones, la trasfieren a los electrones más cercanos a ellos. Este hecho hace que los metales sean buenos conductores del calor. Existen muchos sólidos que no son buenos conductores de calor, a estos sólidos se les denomina aislantes térmicos.

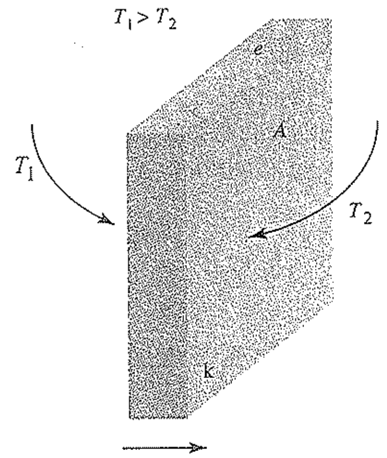


FIGURA 7

Consideremos una placa de espesor e, cuyas caras son planas y su área es A. Además supongamos que la temperatura en una de sus caras, la cara 1, es T_1 y la temperatura en la otra cara, la cara 2, es T_2, donde T_1 es mayor que T_2 (figura 7).

Según lo enunciado, se produce transferencia de calor de la cara 1 a la cara 2, si ΔQ es la cantidad de calor que fluye a través de la placa durante un intervalo de tiempo Δt, la cantidad de calor que fluye de una cara de la placa a la otra por unidad de tiempo es $\Delta Q/\Delta t$. Esta cantidad indica la rapidez con la cual se propaga el calor. La rapidez con la cual se propaga el calor es directamente proporcional al área A de las caras, lo cual significa que cuanto mayor es el área a través de la cual se propaga el calor, mayor es la rapidez con la cual se propaga.

Por otra parte, la rapidez con la cual se propaga el calor es proporcional a la diferencia de temperatura, $T_1 - T_2$, entre las caras de las placas. Además, la rapidez con la cual se propaga el calor y el espesor e de la placa son inversamente proporcionales, es decir que cuanto mayor es el espesor de la placa, menor es la rapidez con la cual se propaga el calor. De acuerdo con estos resultados, la rapidez con la cual se propaga el calor se expresa como:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{e} \qquad \text{ECUACIÓN 8.5}$$

Donde la constante k se llama conductividad térmica del material.

Cuando el calor se propaga a través de un sólido lo hace con mayor o con menor rapidez, dependiendo del material del cual está constituido. Por tanto, se dice que los sólidos a través de los cuales se transmite calor por conducción con mayor rapidez, tienen mayor conductividad térmica.

En otras palabras, la conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción del calor. En la tabla 8.2, se muestran los valores de la conductividad térmica.

La inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

Por ejemplo, los termos se construyen con dos recipientes, uno dentro del otro se procura que prácticamente no haya aire entre ellos.

Con este diseño se logra que al depositar en él una sustancia caliente, la transmisión de calor por conducción del interior hacia el exterior sea mínima.

TABLA 8.2

Conductividad térmica de algunas sustancias

Sustancia	Aluminio	Cobre	Plata	Asbesto	Losa	Corcho	Vacío	Vidrio Pirex
cal/cm·s·°C	0,5	0,92	1	$1{,}4 \times 10^{-3}$	$1{,}6 \times 10^{-3}$	$1{,}0 \times 10^{-4}$	0	$2{,}6 \times 10^{-3}$

De igual manera, si en el interior se deposita una sustancia a baja temperatura, la transferencia de calor por conducción del exterior hacia el interior es mínima. Así se logra que la variación de la temperatura de la sustancia sea mínima.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.5 El vidrio de una ventana de un edificio mide 2 metros de ancho por 6 metros de largo y tiene un espesor de 0,5 cm. Si la temperatura de la superficie exterior del vidrio es 30 °C y la temperatura de la superficie interior es 20 °C, determinar cuánto calor se transfiere a través del vidrio durante 10 segundos, suponiendo que se trata de vidrio Pirex.

SOLUCIÓN:

El área a través del cual fluye el calor es

$A = 200\ cm \cdot 600\ cm = 1{,}2 \times 10^5\ cm^2$

Para la rapidez con la cual se propaga el calor a través del vidrio tenemos:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{e} \qquad \text{Ecuación 8.5}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{(2{,}6 \times 10^{-3}\ cal/cm \cdot s \cdot °C)(1{,}2 \times 10^5\ cm^2)(30\ °C - 20\ °C)}{0{,}5\ cm}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 6.240\ cal/s$$

El calor que fluye a través del vidrio durante 10 segundos es $6.240\ cal/s \cdot 10\ s = 62.400\ cal$.

1.4.2 Convección del calor

La convección del calor es la forma en que el calor se propaga en los líquidos y en los gases. Es importante tener en cuenta que la transferencia de calor por convección implica transporte de materia.

Esta forma de transmisión del calor se puede experimentar cuando colocamos las manos cerca de la parte superior de una superficie caliente y detectamos un aumento en la temperatura.

El proceso de transmisión del calor se explica en virtud de que al calentarse el aire cercano a la superficie terrestre, su temperatura aumenta y, en consecuencia, su densidad disminuye, esto ocasiona que dichas partículas asciendan y aquellas partículas de aire a menor temperatura desciendan, generando de esta manera corrientes de convección (figura 8).

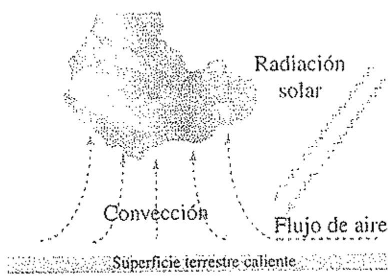


FIGURA 8

1.4.3 Radiación del calor

La radiación del calor es la forma en que el calor se propaga aun cuando no haya medio material. Este tipo de transmisión se produce mediante la propagación de ondas electromagnéticas como la luz, radiación infrarroja y radiación ultravioleta.

Este proceso de transmisión del calor se explica en virtud de que al incidir las ondas electromagnéticas sobre un cuerpo pueden agitar las partículas cargadas eléctricamente de su interior y, de esta manera, transferir energía, manifestada en un aumento de temperatura.

La energía transportada por una onda electromagnética depende de la naturaleza de la misma. Así, las ondas ultravioleta son más energéticas que las de luz visible y éstas a su vez son más energéticas que las ondas de radiación infrarroja.

Mediante esta forma de transmisión se propaga el calor proveniente del Sol, a pesar de que entre él y en la atmósfera terrestre no haya una sustancia que permita su transmisión por conducción o por convección, debido a que en el espacio exterior, a la atmósfera, las partículas son muy escasas.

© SANTILLANA

1.5 La dilatación

Al aumentar la temperatura de una sustancia, sea sólida, líquida o gas, aumenta también el movimiento de las moléculas que la forman, generando cierta separación entre sí. Esto provoca que dicha sustancia presente un incremento en relación a su tamaño, es decir, que se dilate. Cuando ocurre el caso contrario, una disminución de temperatura, las moléculas se juntan y se reduce el tamaño de la sustancia, fenómeno denominado contracción.

La dilatación se puede observar en algunas grietas que aparecen en las carreteras por efecto de la absorción de calor por parte del asfalto en épocas de verano, o al ver la ascención del mercurio por el tubo del termómetro cuando se toma la temperatura.

En el diseño de los puentes, los ingenieros deben tener en cuenta la dilatación de los materiales utilizados para su construcción, razón por la cual se les acondicionan juntas para que en el proceso de dilatación por aumento de su temperatura no se produzcan tensiones que puedan ocasionar daños en la estructura.

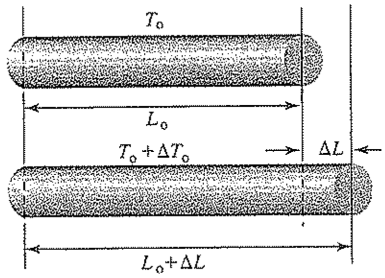


FIGURA 9

TABLA 8.3

Coeficientes de dilatación lineal	
Sustancia	α (°C^{-1})
Acero	11×10^{-6}
Aluminio	24×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}
Hierro	12×10^{-6}
Vidrio	9×10^{-6}

1.5.1 Dilatación en sólidos

La dilatación en un sólido se presenta en sus tres dimensiones, por tanto, se puede considerar la dilatación lineal, la dilatación superficial y la dilatación volumétrica.

- **Dilatación lineal**

Cuando una varilla larga experimenta un aumento de temperatura, también experimenta dilatación en todas las direcciones, sin embargo, el aumento de su longitud es considerablemente mayor que el aumento de su diámetro. Por esta razón, estudiamos lo que se conoce como dilatación lineal.

Consideremos que la longitud de una varilla es L_0 cuando su temperatura es T_0 y que al aumentar la temperatura en ΔT, el aumento de la longitud es ΔL. Es decir, que cuando la temperatura es $T_0 + \Delta T$, la longitud de la varilla es $L_0 + \Delta L$ (figura 9). Con respecto a la dilatación lineal se puede observar que:

- La variación de la longitud ΔL, de una varilla es directamente proporcional al cambio de temperatura ΔT.
- La variación de longitud ΔL es directamente proporcional a la longitud inicial de la varilla, L_0.

  Estas relaciones de proporcionalidad se pueden expresar como:

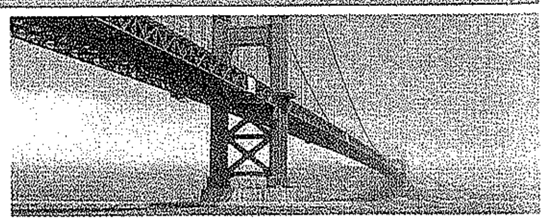
$$\Delta L = \alpha\, L_0\, \Delta T \qquad \text{ECUACIÓN 8.6}$$

La cantidad α se llama coeficiente de dilatación lineal y su valor depende del material del cual está constituida la varilla. Su unidad de medida es el °C^{-1}.

En la tabla 8.3, se muestra el coeficiente de dilatación lineal para algunas sustancias.

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.6 Un ingeniero proyecta la construcción de un puente de acero de 20 m de longitud. Si la diferencia máxima de temperaturas durante el día es 20 °C, determinar la longitud que debe dejar libre para que el puente se dilate sin deformarse.



SOLUCIÓN:

La longitud que debe dejar libre es igual a la variación de la longitud del puente, por tanto,

$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ *Ecuación 8.6*

$\Delta L = 11 \times 10^{-6}\ °C^{-1} \cdot 20\ m \cdot 20\ °C = 4{,}4 \times 10^{-3}\ m$

La longitud que debe dejar libre para que el puente se dilate sin deformarse es 4,4 × 10^{-3} m, esto es 4,4 milímetros.

- **Dilatación superficial**

Si el sólido tiene forma de lámina, la dilatación afecta sus dos dimensiones y se denomina dilatación superficial (figura 10).

El coeficiente de dilatación superficial β es el aumento de superficie de un sólido de área la unidad, medido cuando su temperatura se eleva de 0 °C a 1 °C. El coeficiente de dilatación superficial de un material es aproximadamente igual al doble del coeficiente de dilatación lineal, es decir:

$$\beta = 2\alpha \qquad \text{ECUACIÓN 8.7}$$

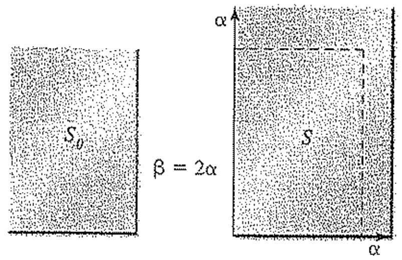


FIGURA 10

- **Dilatación volumétrica**

Si ninguna de las dimensiones se destaca sobre las otras, las tres dimensiones se dilatan por igual produciéndose así una dilatación cúbica o volumétrica (figura 11).

Consideremos ahora que un cuerpo de volumen V_0 se somete a una variación de temperatura ΔT, entonces la variación del volumen ΔV, de manera similar al caso de la dilatación lineal es directamente proporcional al cambio de la temperatura y también es directamente proporcional al volumen inicial del cuerpo, V_0. Lo cual se expresa como:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T \qquad \text{ECUACIÓN 8.8}$$

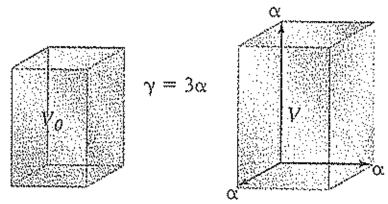


FIGURA 11

La cantidad γ se denomina coeficiente de dilatación volumétrica y su valor depende del material del cual está constituido el cuerpo. Se expresa en $°C^{-1}$. En la tabla 8.4, se presenta el coeficiente de dilatación volumétrica para algunas sustancias. El coeficiente de dilatación volumétrica de un material es aproximadamente igual al triple del coeficiente de dilatación lineal, es decir:

$$\gamma = 3\alpha \qquad \text{ECUACIÓN 8.9}$$

Es importante notar que un recipiente se dilata como si fuera macizo. Por ejemplo la dilatación de un vaso de acero se produce como si el vaso estuviera completamente lleno de acero. Así mismo, si aumentamos la temperatura de una regla de acero, el efecto será semejante al de un aumento (muy pequeño) fotográfico. Las líneas que estaban distantes seguirán estándolo, pero dichos espacios serán ligeramente mayores. De igual modo, la anchura de la regla será levemente mayor. Si la regla tiene un agujero, este se hará mayor, al igual que ocurriría con una ampliación fotográfica.

1.5.2 Dilatación en líquidos

Cuando los líquidos se calientan es más difícil medir el cambio de volumen que experimentan que los sólidos, porque a la vez que el líquido se dilata, también se dilata el recipiente que lo contiene. Los líquidos tienen mayores coeficientes de dilatación que los sólidos aunque no son constantes: varían con la temperatura.

El mercurio es el líquido con coeficiente de dilatación más constante por eso se usa en los termómetros.

TABLA 8.4

Coeficientes de dilatación cúbica

Sustancia	γ ($°C^{-1}$)
Amoniaco	2.450×10^{-6}
Alcohol	1.100×10^{-6}
Agua	200×10^{-6}
Glicerina	500×10^{-6}
Mercurio	180×10^{-6}

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.7 Se llena a ras un recipiente de aluminio con 1.000 cm^3 de agua. La temperatura del sistema es 40 °C. Si la temperatura disminuye en 15 °C, determinar cuánta agua a 15 °C debe añadirse para que el recipiente quede nuevamente a ras.

SOLUCIÓN:

Para determinar la variación del volumen del agua tenemos:

$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$ *Ecuación 8.8*

$\Delta V = 200 \times 10^{-6}\,°C^{-1} \cdot 1.000\ cm^3 \cdot (-25\ °C)$

$\Delta V = -5\ cm^3$

El volumen del agua disminuye en 5 cm^3.

Para determinar la variación del volumen del recipiente de aluminio, determinamos el coeficiente de dilatación volumétrica del aluminio a partir del coeficiente de dilatación lineal,

$\gamma = 3\alpha = 3\,(25 \times 10^{-6}\,°C^{-1}) = 75 \times 10^{-6}\,°C^{-1}$

$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$ *Ecuación 8.8*

$\Delta V = 75 \times 10^{-6}\,°C^{-1} \cdot 1.000\ cm^3 \cdot (-25\ °C) = -1{,}9\ cm^3$

El volumen del recipiente disminuye en 1,9 cm^3.

Por tanto, se deben añadir 3,1 cm^3 de agua.

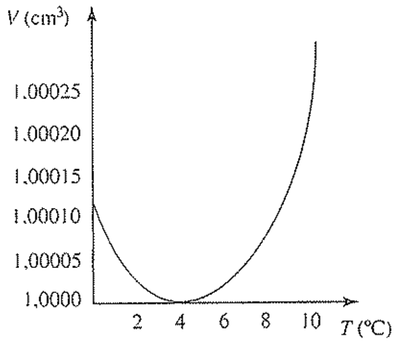


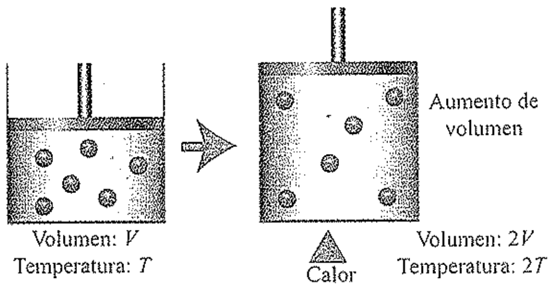
FIGURA 12

Aunque la mayoría de las sustancias se dilatan al calentarse, el comportamiento del agua a temperaturas comprendidas entre 0 °C y 4 °C es diferente. En la figura 12 se puede observar que el volumen es mínimo y por tanto la densidad es máxima a 4 °C. De esta manera, cuando se calienta agua que está por debajo de los 4 °C se contrae en lugar de dilatarse, o al introducir una botella llena de agua en un refrigerador, esta se revienta. En efecto, si la densidad del hielo fuera mayor que la densidad del agua, el hielo formado en la superficie de lagos y mares se hundiría, dando lugar a una nueva formación de hielo que también se hundiría y como resultado, toda el agua se congelaría y no habría vida acuática.

1.5.3 Dilatación en gases

Cuando aumenta la temperatura de un gas, pueden producirse dos fenómenos:

- **Si la presión no varía, el volumen del gas aumenta.** Esto se debe a que la energía comunicada al gas se emplea en aumentar la energía cinética de las moléculas, aumentando así el volumen en forma proporcional al aumento de temperatura.



- **Si el volumen del gas no varía, la presión del gas aumenta.** Debido a que no se produce una verdadera dilatación, ya que no hay cambio de volumen.

Un ejemplo de la dilatación de los gases se puede observar cuando se llenan de aire los neumáticos de las ruedas de un vehículo (figura 13). La presión de las ruedas, en cualquier medio de transporte, se debe medir cuando el aire en su interior está frío; ya que si se llenan los neumáticos cuando su interior tiene una temperatura elevada, al enfriarse la presión será menor.

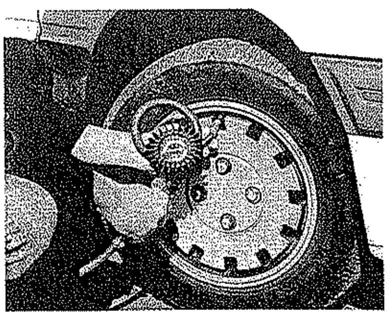


FIGURA 13

Tema 2. Las fases de la materia

Como ya sabes la materia se puede encontrar en tres fases: sólida, líquida o gaseosa. En estas tres fases las sustancias se comportan de formas diferentes debido a su estructura interna.

Comúnmente identificamos la fase de las sustancias por sus características a temperatura ambiente. Por ejemplo, sabemos que el oxígeno es un gas, sin embargo bajo ciertas condiciones podría estar en la fase líquida; identificamos el mercurio como un líquido, sin embargo podríamos encontrarlo en fase gaseosa cuando se encuentra en forma de vapor de mercurio y reconocemos los metales como el hierro en su fase sólida aunque en las siderúrgicas lo podemos encontrar en fase líquida.

La fase en la cual se encuentran las sustancias depende de varios factores:

- **La estructura interna.** Dicha estructura en los sólidos es diferente a la de los líquidos y esta a su vez es diferente de la de los gases.
- **La temperatura.** Un aumento o disminución de la temperatura puede producir un cambio de fase. Por ejemplo, el mercurio a temperatura ambiente se encuentra en fase líquida, pero a temperaturas mayores que 358 °C se encuentra en fase gaseosa.
- **La presión.** Un aumento de presión puede producir un cambio de fase, aunque no se modifique su temperatura. Por ejemplo, dentro de los encendedores el butano se encuentra en la fase líquida y se transforma en gas al salir de ellos.

2.1 Punto de fusión y punto de ebullición

Cuando se aumenta la temperatura de algunos sólidos como el plástico o el vidrio, se observa que su consistencia se empieza a parecer a la de un líquido a medida que aumenta la temperatura. A este tipo de sólidos se les conoce como sólidos amorfos.

Los sólidos cuyo cambio a la fase líquida se produce a temperatura constante se denominan *cristalinos*. El hierro y el hielo son ejemplos de dichos sólidos.

DEFINICIÓN 8.2

El punto de fusión de una sustancia es la temperatura a la cual se produce el cambio de la fase sólida a la fase líquida. El punto de fusión depende de la presión.

Por ejemplo, el punto de fusión del hierro es 1.530 °C, lo cual significa que cuando a un bloque de hierro que se encuentra a una temperatura de 1.530 °C se le suministra calor, su temperatura no aumenta hasta tanto todo el bloque cambie de la fase sólida a la fase líquida.

DEFINICIÓN 8.3

El punto de ebullición de una sustancia es la temperatura a la cual se produce el cambio de la fase líquida a la fase gaseosa. El punto de ebullición depende de la presión.

Por ejemplo, el punto de ebullición del mercurio es 358 °C, lo cual significa que cuando a una cantidad de mercurio que se encuentra a una temperatura de 358 °C se le suministra calor, su temperatura no aumenta hasta tanto todo el metal cambie de la fase líquida a la fase gaseosa, es decir, a vapor de mercurio.

Los resultados anteriores muestran que durante el tiempo en el cual una sustancia cambia de fase, la temperatura de la sustancia no aumenta aun cuando se le suministre calor. Por ejemplo, si se toma una cierta cantidad de hielo, se introduce en un recipiente y se somete a calor, mientras haya hielo en el recipiente, la temperatura es 0 °C, valor que corresponde al punto de fusión del agua (figura 14).

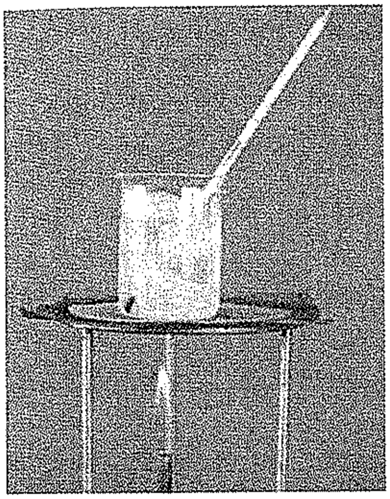


Figura 14

Esta energía necesaria para que una sustancia cambie de estado se puede indicar mediante la expresión:

$$Q = m \cdot L \qquad \text{ECUACIÓN 8.10}$$

Donde m es la masa de la sustancia considerada, y L es una propiedad característica de cada sustancia denominada **calor latente**. En el S.I., el calor latente se mide en J/kg.

DEFINICIÓN 8.4

El calor latente de fusión L_f de una sustancia es el calor que se debe suministrar por unidad de masa para que dicha sustancia cambie de la fase sólida a la fase líquida.

DEFINICIÓN 8.5

El calor latente de vaporización L_v de una sustancia es el calor que se debe suministrar por unidad de masa para que dicha sustancia cambie de la fase líquida a la fase gaseosa.

En la tabla 8.5, se presentan los puntos de fusión y de ebullición a 1 atmósfera de presión y los calores latentes de fusión y de vaporización de algunas sustancias.

TABLA 8.5

Sustancia	Punto de fusión	Punto de ebullición	Calor latente de	Calor latente de
Agua	0	100	80	540
Plomo	327	1.750	5,5	205
Oxígeno	−223	−183	3,3	51
Mercurio	−39	358	2,8	71
Zinc	420	918	24	475
Aluminio	658	2.057	94	2.260
Alcohol	−117,3	78,5	24,9	204
Plata	960	2.193	21	558

2.2 Cambios de fase

Los cambios de fase de las sustancias se conocen con nombres característicos.

Vaporización: es el paso de la fase líquida a la fase gaseosa. Se puede producir de dos maneras:

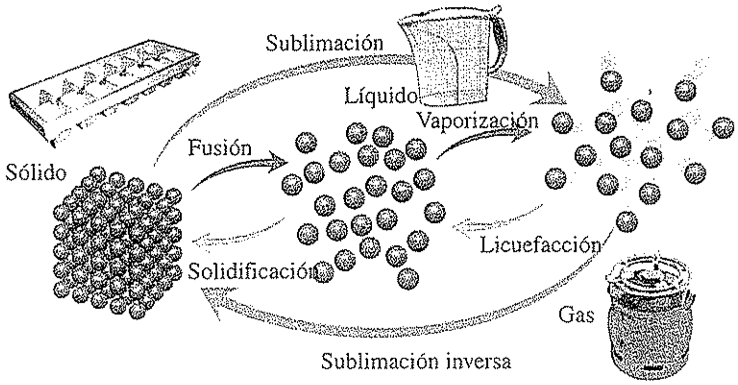
- La **evaporación**, que tiene lugar a cualquier temperatura como sucede cuando la ropa se seca.
- La **ebullición** en la cual se observa la producción de burbujas dentro del líquido que tiene lugar a una temperatura característica para cada sustancia.

Condensación: es cuando una sustancia cambia de la fase gaseosa a la fase líquida. Durante este proceso la sustancia cede calor, sin embargo su temperatura no disminuye y su valor es igual al punto de ebullición.

Es importante aclarar que a veces este cambio de fase sucede a temperaturas diferentes al punto de ebullición, como ocurre cuando se empañan los vidrios en días fríos.

Solidificación: es cuando una sustancia cambia de la fase líquida a la fase sólida. Durante este proceso la sustancia cede calor, sin embargo la temperatura no disminuye y su valor es igual al punto de fusión.

En el esquema de la siguiente figura se muestran los diferentes cambios de fase.



EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.8 Un cubo de hielo de masa 100 g a temperatura de −20 °C se introduce en un recipiente en el cual se mantiene la presión constante y se le suministra calor hasta que en la fase gaseosa su temperatura sea 110 °C. Determinar la cantidad de calor que se debe suministrar durante el proceso.

SOLUCIÓN:

Consideremos cada uno de los pasos durante el proceso, utilicemos los calores específicos de la tabla 8.1 y los demás valores para el agua que se presentan en la tabla 8.5.

- *Cuando la temperatura del hielo aumenta de −20 °C a 0 °C, $\Delta T = 20$ °C*

$Q_1 = m \cdot c_{e\,hielo} \cdot \Delta T$ *Ecuación 8.3*

$Q_1 = 100\ g \cdot 0{,}53\ cal/g\ °C \cdot 20\ °C = 1.060\ cal$

- *Cuando el hielo cambia a la fase líquida.*

$Q_2 = m \cdot L_{f\,agua}$ *Ecuación 8.10*

$Q_2 = 100\ g \cdot 80\ cal = 8.000\ cal$

- *Cuando la temperatura del agua aumenta de 0 °C a 100 °C, $\Delta T = 100$ °C*

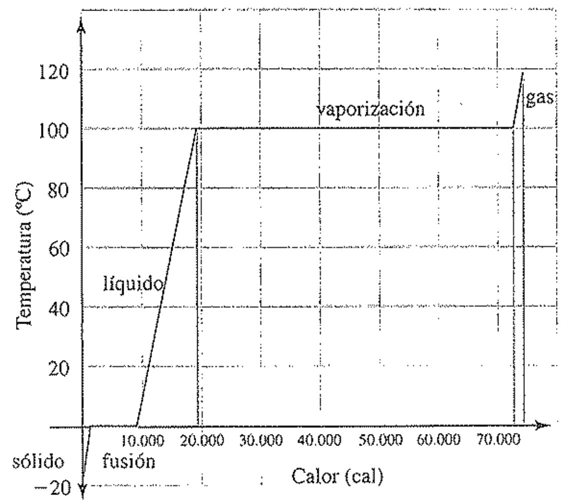
$Q_3 = m \cdot c_{e_{agua}} \cdot \Delta T$ *Ecuación 8.3*

$Q_3 = 100\ g \cdot 1\ cal/g\ °C \cdot 100\ °C = 10.000\ cal$

- *El agua cambia a la fase gaseosa.*

$Q_4 = m \cdot L_{v_{agua}}$ *Ecuación 8.10*

$Q_4 = 100\ g \cdot 540\ cal = 54.000\ cal$



- *Cuando la temperatura del vapor de agua aumenta de 100 °C a 110 °C, $\Delta T = 10$ °C*

$Q_5 = m \cdot c_{e\,agua} \cdot \Delta T$ *Ecuación 8.3*

$Q_5 = 100\ g \cdot 0{,}48\ cal/g\ °C \cdot 10\ °C = 480\ cal$

El calor total suministrado es la suma de los calores de cada proceso, es decir, 73.540 cal.

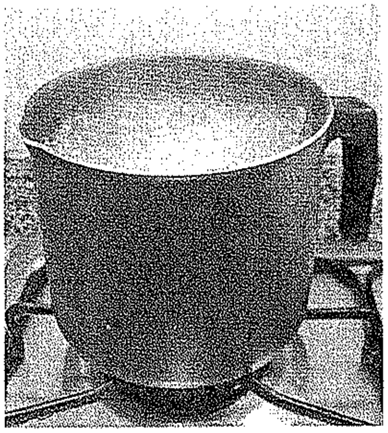


Figura 15

TABLA 8.6

Altura sobre el nivel del mar (m)	Presión atmosférica (mm Hg)	Punto de ebullición del agua (°C)
0	760	100
1.000	670	97
2.000	600	93
2.600	560	92
9.000	240	70

2.2.1 Factores que afectan los cambios de fase

Hemos afirmado que los puntos de fusión y de ebullición son característicos de las sustancias y que su valor depende de la presión. Además, se pueden lograr cambios en dichos puntos mediante la adición de algunas sustancias.

- **La presión**

Cuando un líquido entra en ebullición observamos que se producen burbujas que se dirigen hacia la superficie, puesto que las burbujas se encuentran dentro del líquido son sometidas a la presión que este les ejerce (figura 15).

Para que se produzca el proceso de ebullición se requiere que la presión del vapor en el interior de las burbujas sea la suficiente para soportar la presión del líquido que las rodea. Por tanto, cuando la presión del vapor es mayor que la presión exterior se produce la ebullición del líquido.

Cuando la presión exterior aumenta, los líquidos se vaporizan a mayor temperatura, pues de esta manera se logra que la presión de vapor aumente para superar el valor de la presión externa. Por tanto, cuando la presión externa aumenta, el punto de ebullición aumenta; es decir, que el punto de ebullición de una sustancia depende de la presión atmosférica.

En la tabla 8.6, se muestran algunos valores del punto de ebullición del agua para diferentes valores de la presión atmosférica. Al hacer el análisis podemos ver que al nivel del mar donde la presión atmosférica es 760 mm Hg, el punto de ebullición del agua es 100 °C, pero como en Bogotá, en virtud de su altitud, la presión atmosférica es 560 mm Hg, el punto de ebullición del agua es 92 °C.

Podemos hacer un experimento para ilustrar esta situación; si introducimos agua a 60 °C en una jeringa hipodérmica y tapamos el orificio de salida con un dedo. Al tratar de sacar el émbolo se observa que el agua entra en ebullición, pues en esta acción disminuimos la presión.

El punto de fusión de las sustancias también depende de la presión ejercida. Por lo general, un aumento en la presión produce un aumento en el punto de fusión. El agua es una excepción, puesto que su punto de fusión disminuye cuando aumenta la presión. A la presión de 760 mm Hg, el punto de fusión del agua es 0 °C y cuando se aumenta la presión, se logra que un bloque de hielo se funda a menor temperatura. Por esta razón, cuando un patinador se desliza sobre una pista de hielo que se encuentra a una temperatura menor de 0 °C, a su paso los esquís ejercen presión sobre el hielo, que se forma una capa de líquido que facilita su desplazamiento y que luego se congela nuevamente. Esto significa que al aumentar la presión, el punto de fusión disminuye, pero en los puntos en los que no aumenta la presión, el punto de fusión permanece en 0 °C y por tanto el hielo sólo se funde en las partes sobre las cuales ejerces presión.

- **Presencia de solutos**

La experiencia muestra que si añadimos sal al hielo el punto de fusión disminuye, es decir, el hielo se funde a menor temperatura.

En épocas de invierno, en lugares donde hay estaciones se adiciona sal a las carreteras para descongelar el hielo depositado en ellas.

También es posible lograr un cambio en el punto de ebullición por medio de la adición de sustancias. Por ejemplo, cuando se añade sal al agua, se observa que el punto de ebullición aumenta.

Una aplicación práctica de la variación de los puntos de fusión y de ebullición mediante la adición de sustancias es la preparación de sustancias para llenar los circuitos de refrigeración de los automóviles.

Cuando se adicionan al agua sustancias como el etilenglicol (compuesto de alcohol y glicerina) con determinada concentración, el rango de temperatura para la solución es más amplio pues aumenta el punto de ebullición y disminuye el punto de fusión (figura 16). De esta manera, en regiones en las que durante el invierno la temperatura es de algunos grados bajo cero, el líquido no se congela dentro del circuito refrigerador, lo cual le ocasionaría daños a los conductos debido a la dilatación del agua producida cuando su temperatura disminuye de los 4 °C a los 0 °C. Además estas soluciones no entran en ebullición cuando la temperatura del motor es mayor de 100 °C.

- Refrigera y previene el calentamiento.
- Evita la oxidación y la corrosión, lubricando todas las partes del sistema de refrigeración.
- Conserva limpio y mejora la vida útil del radiador, bomba de agua, termostato, sellos y empaque.
- Excede los estándares ASTM y SAE exigidos por los fabricantes internacionales de vehículos.

Cuadro comparativo	
Protección contra congelamiento	−18 °C
Protección contra ebullición	126 °C

FIGURA 16

2.3 Los gases

La temperatura, la presión y el volumen nos permiten describir las características de los gases bajo determinadas condiciones. Por esta razón a dichas variables se les denomina variables de estado.

El comportamiento de los gases cuando se comprimen o se dilatan, o se someten a descargas eléctricas o se combinan entre sí, transformándose en otras sustancias diferentes, ha proporcionado elementos claves para la comprensión de la estructura de la materia. Todas estas observaciones acerca del comportamiento y características de los gases ha llevado a la formulación de una serie de leyes que describen dichas observaciones de manera general.

Por tanto, estudiaremos lo que se conoce como la ley de los gases ideales, aunque ningún gas real es ideal. Sin embargo, la mayoría de los gases de baja densidad a temperaturas que no se aproximen al valor de la temperatura a la cual el gas se condensa satisfacen la ley de los gases ideales.

2.3.1 La teoría cinética de los gases

El fundamento de la teoría cinética de los gases se basa en las siguientes hipótesis:

- Un gas está constituido por un gran número de moléculas que se mueven continuamente. A este estado de continuo movimiento se le llama agitación térmica, la cual aumenta cuando la energía cinética promedio de las partículas aumenta. En su movimiento, las moléculas chocan entre sí y contra las paredes del recipiente en el cual está contenido el gas (figura 17).
- La temperatura de un gas se relaciona con su agitación térmica. La temperatura de un gas es tanto mayor como mayor es la agitación térmica de las moléculas. La energía cinética promedio de las moléculas y la temperatura del gas son directamente proporcionales.
- La presión que ejerce un gas sobre las paredes del recipiente que lo contiene es producida por los continuos choques de sus moléculas contra las paredes.

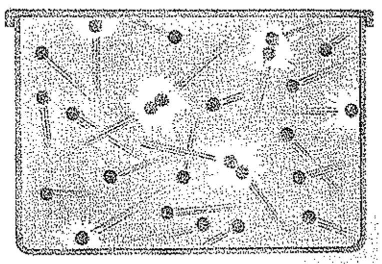


FIGURA 17

A partir de la aplicación de estas hipótesis es posible explicar el comportamiento de los gases con relación a las variaciones de presión, volumen y temperatura.

Como todas las sustancias independientemente de la fase en la cual se encuentran están formadas por partículas que se mueven continuamente, podemos ampliar el campo de aplicación de la teoría cinética de los gases para explicar algunos comportamientos de los sólidos y los líquidos.

Recordemos que al interior de un líquido las partículas se atraen entre sí mediante las fuerzas de cohesión, estas fuerzas que ejercen entre sí las partículas que constituyen un cuerpo aumentan cuando las partículas se encuentran más próximas unas con otras. Por tanto, al aumentar la presión de un cuerpo el volumen disminuye, y en consecuencia la distancia entre ellas disminuye, lo cual implica que al aumentar la presión sobre un cuerpo, las fuerzas de cohesión son más intensas.

A partir de las fuerzas de cohesión podemos explicar que una sustancia bajo determinadas condiciones se encuentra en determinada fase. Por ejemplo, en los sólidos las fuerzas de cohesión son más intensas que en los líquidos, lo cual ocasiona que tengan forma definida.

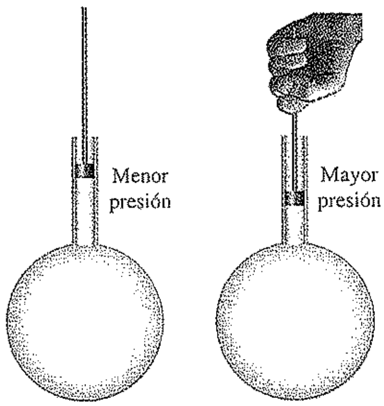


FIGURA 18

A partir de la teoría cinética podemos explicar fenómenos como la evaporación de los líquidos, que es una forma de vaporización que no sucede a una temperatura igual al punto de ebullición. Por ejemplo, cuando ponemos alcohol sobre nuestra piel las moléculas se mueven con diferentes velocidades, en todas direcciones y algunas partículas de la superficie tienen la velocidad suficiente para escapar del líquido. Cuando estas partículas escapan del líquido se produce la evaporación. Como la velocidad de las partículas que quedan en contacto con nuestra piel es menor, tenemos la sensación de enfriamiento del líquido.

En los gases las fuerzas de cohesión entre las moléculas son nulas, lo cual hace que las partículas que lo constituye tengan mayor libertad de movimiento que en las otras fases.

2.3.2 Ley de Boyle

Consideremos un recipiente provisto de un émbolo que contiene un gas (figura 18). Cuando ejercemos presión sobre el émbolo, podemos comprobar que el volumen del gas disminuye. Esta situación ilustra que la presión a la que se somete un gas y su volumen se relacionan.

El químico irlandés Robert Boyle (1627-1691) estableció la relación entre la presión a la que se somete un gas y su volumen cuando la temperatura se mantiene constante, lo cual se conoce como la ley de Boyle:

DEFINICIÓN 8.6

A temperatura constante, la presión que se ejerce sobre determinada masa de gas es inversamente proporcional al volumen que dicha masa ocupa.

Esta ley se representa mediante la expresión

$$P \cdot V = \text{constante}$$

En esta expresión P representa la presión a la que se somete el gas y V el volumen del mismo.

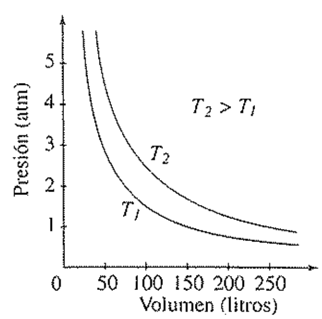


FIGURA 19

En consecuencia, si P_1 es la presión a la cual se somete determinada masa de gas que ocupa un volumen V_1, P_2 es la presión cuando la misma masa de gas ocupa un volumen V_2. Como la temperatura es constante, se tiene:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \qquad \text{ECUACIÓN 8.11}$$

En la grafica de la figura 19 se representa la presión en función del volumen para dos temperaturas T_1 y T_2, con $T_2 > T_1$.

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.9 Un depósito que contiene gas propano tiene un volumen de 500 m^3 a una presión de 4 atm. Determinar cuántos cilindros de 200 litros de capacidad a presión de 2 atm y a la misma temperatura se podrían llenar con la masa de gas contenida en el depósito.

SOLUCIÓN:

Determinamos el volumen que ocupa el gas a una presión de 2 atmósferas, para ello consideremos que $P_1 = 4$ *atm*, $V_1 = 500\ m^3$, $P_2 = 2$ *atm.*

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \qquad \textit{Ecuación 8.11}$$
$$4\ atm \cdot 500\ m^3 = 2\ atm \cdot V_2 \qquad \textit{Al reemplazar}$$
$$V_2 = 1.000\ m^3$$

El volumen del gas a 2 atmósferas es $1.000\ m^3$. *Como* $1\ m^3 = 1.000$ *litros, tenemos que el volumen ocupado por el gas a 2 atm es 1.000.000 litros.*

De donde, el número de cilindros que se pueden llenar a presión de 2 atm es 5.000.

8.10 Un gas ocupa un volumen de 10 litros cuando se encuentra sometido a una presión de 1 atm. Si la temperatura permanece constante y se aumenta la presión hasta ocasionar que el gas ocupe un volumen de 9 litros, calcular la presión a la cual fue sometido el gas.

SOLUCIÓN:

Al aplicar la ecuación 8.11 tenemos:

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{1\ atm \cdot 10\ L}{9\ L} = 1{,}1\ atm$$

Cuando la presión es de 1,1 atm el volumen del gas es 9 L

2.3.3 Ley de Gay-Lussac

En 1808 el químico francés J.L. Gay-Lussac (1778-1850) demostró que el aumento del volumen que corresponde a determinado incremento de temperatura es igual para todos los gases, siempre que la presión se mantenga constante (figura 20). Su descubrimiento se conoce como la ley de Gay-Lussac.

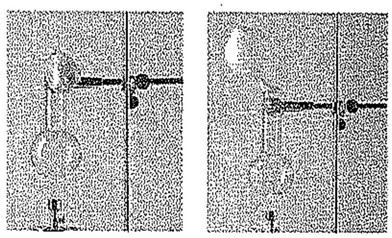


FIGURA 20

DEFINICIÓN 8.7

A presión constante, el volumen que ocupa determinada masa de gas es directamente proporcional a la temperatura, medida en Kelvin.

Esta ley se expresa como:

$$\frac{V}{T} = \text{constante}$$

donde V representa el volumen que ocupa el gas y T su temperatura. En consecuencia, si T_1 es la temperatura a la cual se encuentra determinada masa de gas que ocupa un volumen V_1, T_2 es la temperatura cuando la misma masa de gas ocupa un volumen V_2. Como la presión es constante, se tiene:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad \text{ECUACIÓN 8.12}$$

En conclusión, cuando se auménta la temperatura de un gas, se aumenta la agitación térmica de sus moléculas, lo cual significa que las moléculas se mueven con mayor velocidad, y recorren distancias más largas y el espacio ocupado por dichas moléculas es mayor que el espacio que ocuparían a temperaturas más bajas.

© SANTILLANA

2.3.4 Ley de los gases ideales

Ya que las variables de estado: volumen, presión y temperatura pueden experimentar cambios simultáneos, podemos buscar una relación entre las tres combinando las leyes de Boyle y de Gay-Lussac, lo cual se expresa mediante la ley de los gases ideales que se representa como:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{constante} \qquad \text{ECUACIÓN 8.13}$$

De donde, $P \cdot V = \text{constante} \cdot T$ ECUACIÓN 8.14

Si consideramos un gas que, en un estado inicial, se encuentra a una temperatura T_1, está sometido a una presión P_1 y ocupa un volumen V_1 y que, en un estado posterior, se encuentra a una temperatura T_2, está sometido a una presión P_2 y ocupa un volumen V_2, podemos afirmar que:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \qquad \text{ECUACIÓN 8.15}$$

Lo cual se expresa como:

$$P_1 \cdot V_1 \cdot T_2 = P_2 \cdot V_2 \cdot T_1 \qquad \text{ECUACIÓN 8.16}$$

En términos de la teoría cinética de los gases, la presión que un gas ejerce sobre las paredes del recipiente que lo contiene se debe a los choques de las moléculas del gas contra estas.

En consecuencia si duplicamos el número de moléculas del gas y mantenemos el volumen y la temperatura constantes, la presión ejercida por el gas se duplica. Por tanto, la constante en la ecuación 8.14 depende del número N de moléculas y dicha ecuación se expresa como:

$$P \cdot V = N \cdot k \cdot T \qquad \text{ECUACIÓN 8.17}$$

donde N es el número de moléculas y k es la constante de Boltzman, cuyo valor es $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K. Esta expresión se conoce como la **ecuación de los gases ideales.** Por otra parte, como el número de moléculas es proporcional al número n de moles de gas, podemos expresar la ecuación de los gases ideales como:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \qquad \text{ECUACIÓN 8.18}$$

donde n es el número de moles de gas y R, se conoce como la **constante universal de los gases**, cuyo valor en unidades del Sistema Internacional de Unidades es

$$R = 8{,}314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

También es usual expresar el valor de la constante de los gases ideales como:

$$R = 0{,}082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$$

La ecuación de estado de los gases ideales no muestra dependencia del tipo de gas utilizado, ya que todos los gases se comportan de la misma manera, pero sí muestra relación entre las variables de estado con la masa del gas expresada en moles.

HERRAMIENTA MATEMÁTICA

Un mol = $6{,}02 \times 10^{23}$ moléculas

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.11 Una cantidad de gas ocupa un volumen de 190 litros en las condiciones ambientales de presión y temperatura de Bogotá (15 °C y 0,74 atm). Determinar:

a. El volumen que ocupa esa cantidad de gas a 1 atm de presión y 35 °C de temperatura.

b. El número de moles y el número de moléculas del gas.

© SANTILLANA

SOLUCIÓN:

a. *Como* $P_1 = 0{,}74$ *atm,* $T_1 = 15$ °C $= 288$ K,
$V_1 = 190$ *litros,* $P_2 = 1$ *atm,* $T_2 = 35$ °C $= 308$ K
tenemos:

$P_1 \cdot V_1 \cdot T_2 = P_2 \cdot V_2 \cdot T_1$ *Ecuación 8.16*

$0{,}74 \text{ atm} \cdot 190 \text{ L} \cdot 308 \text{ K} = 1 \text{ atm} \cdot V_2 \cdot 288 \text{ K}$

$V_2 = 150 \text{ L}$

El volumen que ocupa el gas al nivel del mar, a presión de 1 atm y temperatura de 35 °C es 150 litros.

b. *Para determinar el número de moles, tenemos que en cada estado del gas se cumple:*

$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ *Ecuación 8.18*

Con los valores para cada uno de los estados correspondientes a las condiciones de Bogotá, tenemos:

$0{,}74 \text{ atm} \cdot 190 \text{ L} = n \cdot 0{,}082 \text{ atm/mol K} \cdot 288 \text{ K}$

$n = 6{,}0 \text{ mol}$

El número de moles del gas es 6,0 mol.

Como un mol contiene $6{,}02 \times 10^{23}$ *moléculas, el número de moléculas del gas es*

$6{,}0 \cdot 6{,}02 \times 10^{23} = 3{,}6 \times 10^{23}$

Siendo el número de moléculas igual a $3{,}6 \times 10^{23}$.

Tema 3. Las leyes de la termodinámica

En este tema estudiaremos la relación entre la energía interna, el trabajo que realiza un sistema o que se realiza sobre él y el calor que se le suministra o que cede.

Además, se explicarán algunos términos que son importantes para la comprensión de la segunda ley de la termodinámica como lo son el trabajo realizado por un gas y los procesos termodinámicos.

3.1 La primera ley de la termodinámica

Una de las leyes de la naturaleza es aquella que afirma que la energía no se crea ni se destruye sino que se transforma. Veamos algunos de estos ejemplos:

- En las centrales hidroeléctricas (figura 21), la energía potencial gravitacional (asociada a líquido en el punto más alto de una caída de agua) se transforma en energía cinética y se transfiere a las aspas de las turbinas de un generador de electricidad; entonces la energía se manifiesta como energía eléctrica, la cual, posteriormente, se manifiesta en forma de calor cuando calentamos los alimentos en una estufa eléctrica.

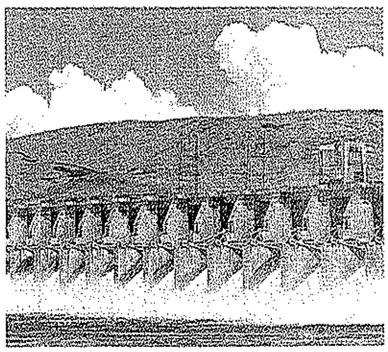


FIGURA 21

- Una transformación de energía cinética en calor ocurre cuando un automóvil se detiene por la acción de su sistema de frenos, lo cual se evidencia en el calentamiento de dicho sistema en cada llanta. Otra forma de esta transformación ocurre cuando frotamos las manos con el fin de combatir el frío. Este hecho sugiere que parte de la energía cinética asociada a las manos en movimiento se transforma en calor.
- Los motores de los automóviles están provistos de unos cilindros, dentro de los cuales se producen explosiones que generan el movimiento y a la vez desprenden calor. Este ejemplo ilustra transformación de energía de un sistema en calor y trabajo.
- La energía eléctrica se puede transformar en calor, evidencia de esto es que la mayoría de aparatos eléctricos se calientan después de determinado tiempo de funcionamiento.
- También se producen transformaciones energéticas a partir de la ingestión de alimentos. Allí, una parte de la energía química asociada a los alimentos se emplea en la nutrición de los tejidos que forman el cuerpo, mientras que la otra parte se transforma en energía cinética al desarrollar una actividad.

Sabemos que la caloría se define como la cantidad de calor que debe absorber un gramo de agua para que su temperatura aumente en un grado centígrado y que se ha comprobado que se puede elevar la temperatura del agua o cualquier sistema, realizando trabajo sobre él sin adicionar nada de calor.

En estos resultados, se centra el primer principio de la termodinámica.

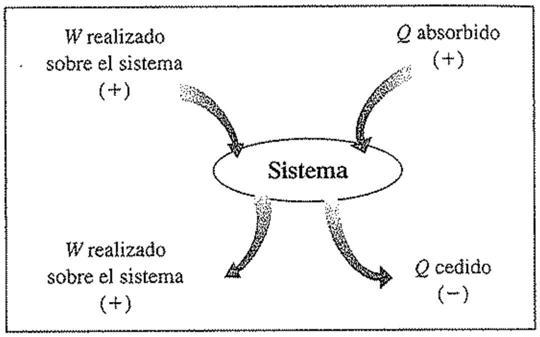
Consideremos un sistema que ni absorbe ni cede calor. Si el sistema realiza trabajo, su energía interna disminuye y tal disminución de energía interna es igual al trabajo realizado por el sistema. De la misma manera, podemos incrementar la energía interna de dicho sistema si realizamos trabajo sobre él y el incremento de energía es igual al trabajo realizado.

Cuando se realiza trabajo sobre un sistema o se le suministra calor, la energía interna aumenta. Así mismo, cuando el sistema realiza trabajo o cede calor, la energía interna disminuye.

La primera ley de la termodinámica establece que el calor neto añadido a un sistema es igual a la variación de su energía interna más el trabajo realizado por el sistema. Esta ley se expresa como:

$$Q = \Delta U + W \qquad \text{ECUACIÓN 8.19}$$

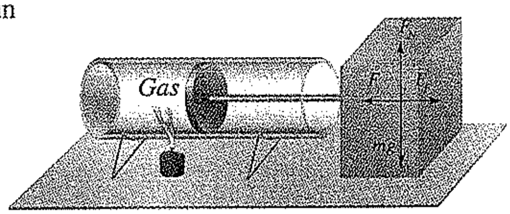
Donde ΔU representa la variación de la energía interna, Q el calor absorbido o cedido por el sistema y W el trabajo realizado por dicho sistema o el trabajo que se realiza sobre él. El siguiente esquema muestra el criterio de los signos para el calor y el trabajo realizado en un sistema.



EJEMPLO

IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR

8.12 A un gas contenido dentro de un recipiente provisto de un pistón se le suministran 50 J de calor y este a su vez, como muestra la figura, empuja un objeto de peso 1.000 N sobre una superficie. El coeficiente de rozamiento entre el bloque y la superficie es 0,2 y el bloque se desplaza con velocidad constante una distancia de 0,50 m. Determinar la variación de la energía interna del gas, suponiendo que la fricción entre el émbolo y el cilindro es despreciable.



SOLUCIÓN:

Como en este caso, $F_N = mg = 1.000$ N, tenemos que:

$F_r = \mu \cdot F_N$ — *Ecuación 4.6*

$F_r = 0{,}2 \cdot 1.000\ N = 200\ N$ — *Al calcular*

Como el bloque se mueve con velocidad constante, la fuerza F ejercida por el gas es igual a la fuerza de rozamiento.

Por tanto, para el trabajo realizado por el sistema tenemos

$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha = 200\ N \cdot 0{,}2\ m \cdot \cos 0° = 40\ J$

Despejando la variación de la energía interna en la ecuación 8.19, tenemos

$\Delta U = Q - W = 50\ J - 40\ J = 10\ J$

La energía interna del gas se incrementa en 10 J.

3.2 Trabajo en los gases

Consideremos un gas contenido dentro de un cilindro provisto de un pistón cuya área es A, sobre el cual actúa la presión atmosférica P_1 (figura 22). Cuando la temperatura del gas aumenta, el gas se expande a presión constante, pues el émbolo siempre está sometido a la presión atmosférica. Supongamos, además, que la fricción entre el émbolo y las paredes del cilindro es despreciable. Cuando el gas se expande, ejerce fuerza F sobre el pistón y le produce un desplazamiento Δx, en consecuencia, el gas realiza trabajo sobre el pistón.

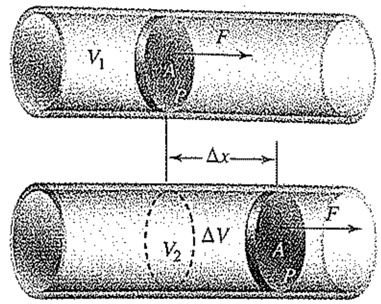


FIGURA 22

La fuerza que aplica el gas sobre el pistón es constante pues la presión y el área son constantes.

Recordemos que el trabajo se expresa como:

$$W = F_{\perp} \Delta x$$

Como $P = \dfrac{F_{\perp}}{A}$ tenemos $F_{\perp} = P \cdot A$, luego,

$$W = P \cdot A \cdot \Delta x$$

donde P es la presión que experimenta el gas y A es el área del pistón. La variación del volumen es $\Delta V = A \cdot \Delta x$, luego el trabajo realizado por el gas es:

$$W = P \cdot \Delta V \qquad \text{ECUACIÓN 8.20}$$

En la gráfica de la figura 23a, se muestra la representación gráfica de la presión en función del volumen. Este tipo de gráfica se conoce como diagrama *P-V*. Observemos que en este diagrama el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal corresponde al trabajo realizado por el gas.

Si la presión durante el proceso no fuera constante, la representación gráfica en el diagrama *P-V* no sería una recta horizontal, sin embargo, podemos considerar que la región comprendida entre la curva y el eje horizontal está formada por rectángulos de base muy pequeña y, entonces, se cumple que el trabajo realizado por el gas también corresponde al área sombreada en la figura 23b.

a.
b.

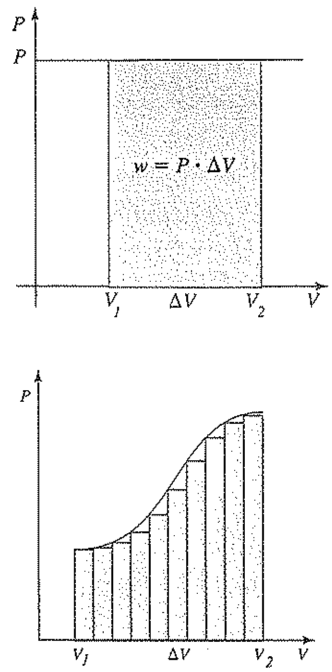


FIGURA 23

EJEMPLO

IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.13 Un gas contenido en un cilindro provisto de un pistón, se comprime en un proceso en el que se mantiene la presión constante, cuyo valor es 80.000 Pa y se produce una disminución de 0,02 m^3 en el volumen. Si la energía interna del gas aumenta en 400 J, determinar:

a. El trabajo que se realiza sobre el gas.
b. El calor cedido o absorbido por el gas.

SOLUCIÓN:

a. El trabajo realizado sobre el gas es:

$W = P \cdot \Delta V$ *Ecuación 8.20*

$W = 80.000\ Pa \cdot (-0{,}02\ m^3) = -1.600\ J.$

El trabajo es -1.600 J y como es negativo, tenemos que se realiza trabajo sobre el gas.

b. Para calcular el calor:

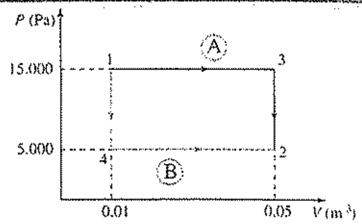
$Q = \Delta U + W$ *Ecuación 8.19*

$Q = 400\ J - 1.600\ J = -1.200\ J$

Puesto que el valor obtenido es negativo, el gas cedió 1.200 J de calor. Aunque el gas cedió calor, la temperatura aumentó debido a que la energía interna aumentó.

EJEMPLO

IDENTIFICAR · INDAGAR · EXPLICAR



8.14 En la figura, se muestra un diagrama P-V para dos procesos diferentes, A y B, a los que se somete un gas contenido dentro de un cilindro para llevarlo del estado 1 al estado 2. Si en ambos casos la energía interna aumenta en 200 J, determinar el calor absorbido por el sistema en cada proceso.

SOLUCIÓN:

En el proceso A, el gas pasa del estado 1 al estado 3 y luego del estado 3 al estado 2. Del estado 3 al estado 2, el trabajo es igual a cero, puesto que no hay variación del volumen. Por tanto, el trabajo desde el estado 1 hasta el estado 2 es igual al trabajo realizado por el gas desde el estado 1 hasta el estado 3, es decir

$W = P \cdot \Delta V$ — *Ecuación 8.20*

$W = 15.000\ Pa \cdot 0{,}04\ m^3 = 600\ J.$

Para calcular el calor, tenemos:

$Q = \Delta U + W$ — *Ecuación 8.19*

$Q = 200\ J + 600\ J$ — *Al reemplazar*

$Q = 800\ J.$ — *Al calcular*

El calor absorbido por el sistema es 800 J.

En el proceso B el gas pasa del estado 1 al estado 4 y luego del estado 4 al estado 2. Del estado 1 al estado 4, el trabajo es igual a cero, puesto que no hay variación del volumen. Por tanto, el trabajo desde el estado 1 hasta el estado 2 es igual al trabajo realizado por el gas desde el estado 4 hasta el estado 2, es decir

$W = P \cdot \Delta V$ — *Ecuación 8.20*

$W = 5.000\ Pa \cdot 0{,}04\ m^3 = 200\ J.$

Para calcular el calor, tenemos:

$Q = \Delta U + W$ — *Ecuación 8.19*

$Q = 200\ J + 200\ J$ — *Al reemplazar*

$Q = 400\ J.$ — *Al calcular*

El calor absorbido por el sistema es 400 J.

A partir del ejemplo 8.14, podemos observar que es posible obtener la misma variación de la energía interna de un sistema mediante procesos diferentes en los cuales los valores del calor y el trabajo dependen del proceso representado en el diagrama P-V.

Aunque en ambos procesos, A y B, el gas se expande 0,04 m^3 y el cambio en la energía interna es igual, los trabajos realizados por el gas son diferentes y las cantidades de calor absorbido son diferentes.

3.3 Procesos termodinámicos

3.3.1 Proceso adiabático

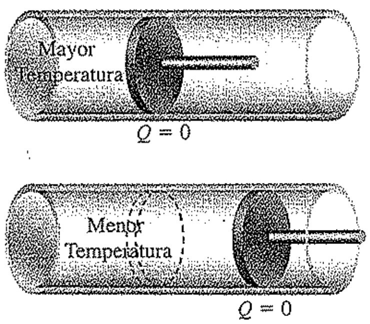


Figura 24

Un proceso termodinámico en el cual no hay transferencia de calor se conoce como proceso adiabático. Es decir, que en este tipo de procesos se tiene que $Q = 0$.

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, tenemos:

$$Q = \Delta U + W$$

Como $Q = 0$, entonces,

$$\Delta U = -W$$

Para un gas contenido dentro de un cilindro provisto de un pistón, cuyas paredes no permiten la transferencia de calor al exterior, la variación de energía interna es igual al trabajo, ya sea realizado por el sistema o sobre el sistema (figura 24).

- Cuando el sistema realiza trabajo y este es positivo entonces ΔU es negativo, es decir que la energía interna disminuye y, en consecuencia, disminuye la temperatura del sistema.
- Cuando se realiza trabajo sobre el sistema y este es negativo, entonces ΔU es positivo, es decir, que la energía interna aumenta y, en consecuencia, aumenta la temperatura del sistema.

3.3.2 Proceso isotérmico

Un proceso termodinámico en el cual la temperatura permanece constante se conoce como proceso isotérmico. Es decir que en este tipo de procesos la temperatura no varía y, en consecuencia, la energía interna permanece constante, lo cual significa que $\Delta U = 0$.

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica tenemos:

$$Q = \Delta U + W$$

Como $\Delta U = 0$, entonces,

$$Q = W$$

Este proceso ocurre cuando un sistema, digamos un gas contenido en un cilindro provisto de un pistón, después de suministrarle calor y producir cambios en la presión y el volumen, su temperatura permanece constante (figura 25).

- Cuando el gas absorbe calor, W es positivo, luego Q es positivo, es decir, que el gas realiza trabajo cuyo valor es igual al calor absorbido. En este caso el gas se expande.
- Cuando se realiza trabajo sobre el gas, comprimiéndolo, W es negativo, luego Q es negativo, es decir, que el gas cede calor en una cantidad igual al trabajo realizado sobre él.

En el tema anterior mostramos que el diagrama *P-V* para un gas cuando la temperatura es constante, se representa por una isoterma (figura 26). Esto significa que en todos los estados del gas representados por la gráfica, la energía interna es la misma.

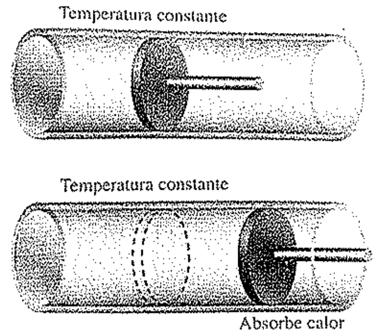


FIGURA 25

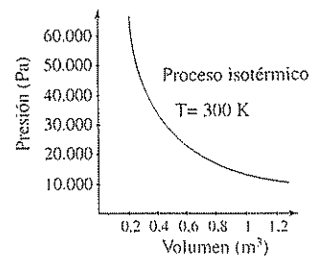


FIGURA 26

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.15 Sobre un gas contenido en un cilindro provisto de un pistón se realiza un trabajo de 5.000 J, mediante un proceso isotérmico. Determinar:

a. La variación de la energía interna del gas. b. El calor absorbido o cedido por el gas.

<u>*SOLUCIÓN:*</u>

a. Puesto que el proceso es isotérmico, se tiene que $\Delta U = 0$, luego la energía interna no varía.

b. Como el trabajo se realiza sobre el gas, $W = -5.000$ J, por tanto,

$Q = \Delta U + W$	*Ecuación 8.17.*
$Q = 0 - 5.000\ J$	*Al remplazar*
$Q = -5.000\ J$	*Al calcular*

Puesto que el calor es negativo, concluimos que el gas cede calor y su valor es 5.000 J.

3.3.3 Proceso isométrico

Un proceso termodinámico en el cual el volumen permanece constante se conoce como proceso isométrico. Es decir, que en este tipo de procesos el volumen no varía y, en consecuencia el trabajo es igual a cero, lo cual significa que $W = 0$.

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica:

$$Q = \Delta V + W$$

Como $W = 0$, entonces

$$Q = \Delta U$$

Supongamos que un gas está contenido dentro de un cilindro provisto de un pistón en el que no cambia el volumen (figura 27).

- Cuando el sistema absorbe calor se incrementa la energía interna del gas y, en consecuencia, aumenta la temperatura.

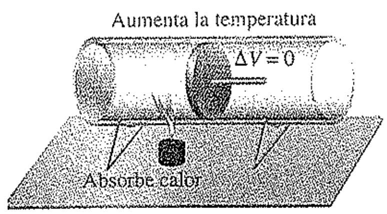


FIGURA 27

- Si el sistema cede calor, disminuye la energía interna y, en consecuencia la temperatura disminuye.

3.3.4 Proceso isobárico

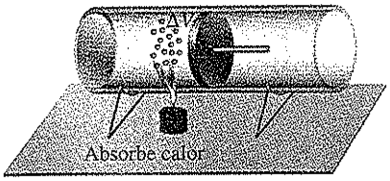


FIGURA 28

Un proceso termodinámico en el cual la presión permanece constante se conoce como proceso isobárico. En este proceso, como la presión se mantiene constante, se produce variación en el volumen y, por tanto, el sistema puede realizar trabajo o se puede realizar trabajo sobre él.

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, tenemos:

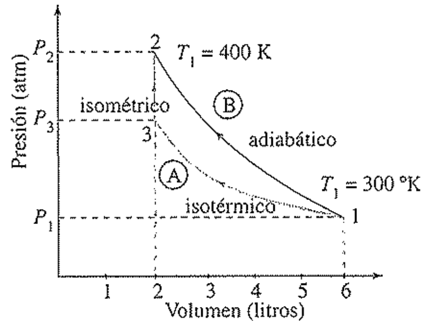
$$Q = \Delta U + W$$

Es decir que en un proceso isobárico tanto el calor transferido como el trabajo ocasiona una variación de energía interna (figura 28).

EJEMPLO IDENTIFICAR INDAGAR EXPLICAR

8.16 En la figura, se muestra un diagrama *P-V* en el que se representan dos procesos, A y B, a los que se somete un gas para pasar del estado 1 al estado 2. Determinar:

a. Las variables de estado en los estados 2 y 3.
b. El proceso en el que se realiza mayor trabajo sobre el gas.
c. El proceso en el que es mayor el incremento de energía interna.
d. El proceso en el que el sistema absorbe más calor.



SOLUCIÓN:

a. En el proceso 1→3, tenemos que la temperatura es constante, por tanto,

$P_1 \cdot V_1 = P_3 \cdot V_3$ *Ecuación 8.11*

$1\ atm \cdot 6\ L = P_3 \cdot 2\ L$ *Al remplazar*

$P_3 = 3\ atm$ *Al calcular*

Por tanto, $P_3 = 3\ atm$, $T_3 = 300\ K$, $V_3 = 2\ L$

Para el proceso 2→3, que ocurre a volumen constante,

$P_2 \cdot V_2 \cdot T_3 = P_3 \cdot V_3 \cdot T_2$ *Ecuación 8.16*

$P_2 \cdot T_3 = P_3 \cdot T_2$ *Como V es constante:*

$P_2 \cdot 300\ K = 3\ atm \cdot 400\ K$ *Al remplazar*

$P_2 = 4\ atm$ *Al calcular*

Por tanto, $P_2 = 4\ atm$, $T_2 = 400\ K$, $V_2 = 2\ L$

b. Puesto que el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal es mayor para el proceso B, el trabajo realizado sobre el gas es mayor en dicho proceso. Obsevemos que en los dos procesos, A y B, el gas se comprime.

c. Puesto que a través de los dos procesos, A y B, la temperatura aumenta en 100 K, el incremento de energía interna es igual en ambos casos.

d. El sistema no absorbe calor en el proceso B puesto que se trata de un proceso adiabático. Por tanto, el gas absorbe más calor en el proceso A.

3.4 La segunda ley de la termodinámica

La segunda ley de la termodinámica establece cuáles procesos en la naturaleza pueden suceder o no pueden suceder. De todos los procesos que se establecen por la primera ley de la termodinámica, según esta segunda ley sólo algunas formas de conversión de energía pueden suceder.

Al comienzo de esta unidad establecimos que si dos cuerpos a diferente temperatura se ponen en contacto, el calor fluye del cuerpo que se encuentra a mayor temperatura hacia el cuerpo que se encuentra a menor temperatura y que el calor cedido por el primero es igual al calor absorbido por el segundo.

Consideremos dos cuerpos a diferente temperatura que se ponen en contacto y sobre los cuales no se realiza trabajo. La primera ley de la termodinámica establece que la energía interna del primero disminuye en una cantidad igual al calor cedido y que la energía interna del segundo se incrementa en una cantidad igual al calor absorbido.

A pesar del postulado que propusimos al principio de la unidad con respecto a la dirección en la cual fluye el calor, la experiencia nos muestra que, por ejemplo, un vaso de agua caliente disminuye su temperatura hasta que su valor sea igual a la temperatura ambiente, sin embargo, no hemos enunciado una ley que exprese la imposibilidad de que el calor fluya de los cuerpos que se encuentran a menor temperatura hacia los cuerpos que se encuentran a mayor temperatura.

La segunda ley de la termodinámica establece el orden en que suceden los procesos termodinámicos.

DEFINICIÓN 8.8

El calor no fluye espontáneamente de los cuerpos que se encuentran a menor temperatura hacia los cuerpos que se encuentran a mayor temperatura.

En términos de la teoría cinética podemos explicar este hecho pues a las moléculas que constituyen el cuerpo que se encuentra a mayor temperatura se les asocia mayor energía cinética promedio. De modo que, cuando se pone en contacto con el que se encuentra a menor temperatura se produce transferencia de energía cinética de sus partículas a las partículas del que se encuentra a menor temperatura. Después de un tiempo, se espera que la energía cinética promedio de las partículas de los dos cuerpos sea la misma, es decir que la energía cinética promedio de las partículas del cuerpo que estaba inicialmente a mayor temperatura haya disminuido y la energía cinética promedio del que inicialmente estaba a mayor temperatura haya aumentado (figura 29).

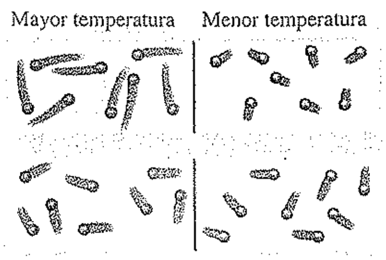


FIGURA 29

En este orden de ideas, la energía interna del cuerpo que se encuentra inicialmente a mayor temperatura disminuye y la energía interna del otro aumenta. Esta transferencia de energía no se puede dar en sentido contrario, pues supondría que partículas con energía cinética promedio menor transferirían energía cinética a las que se mueven más rápido a condición que su energía cinética promedio disminuyera aún más.

3.5 Las máquinas térmicas

Las máquinas térmicas son dispositivos que pueden producir trabajo mecánico a partir del calor.

Inicialmente el gas absorbe una cantidad de calor Q_1, luego, el gas cede una cantidad de calor Q_2, de esta manera la cantidad neta de calor transferida al gas es $Q_1 - Q_2$. Por otra parte, el trabajo neto W durante el proceso, es igual al calor neto transferido, pues el estado inicial y final del ciclo coinciden y, en consecuencia, la variación de energía interna del gas es cero.

Por tanto, $W = Q_1 - Q_2$

Este resultado muestra que el trabajo útil realizado por el gas durante el ciclo es igual a la diferencia entre el calor suministrado al gas y el calor que este cede (figura 30). Por lo tanto, no es posible que un sistema realice un trabajo igual al calor suministrado.

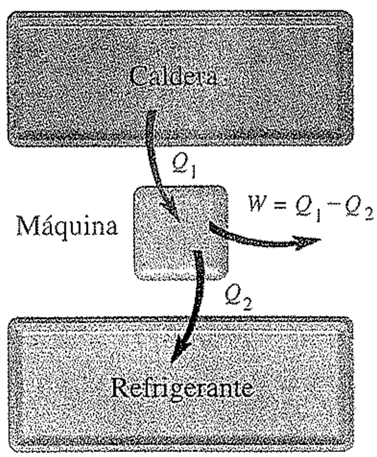


FIGURA 30

El rendimiento de una máquina térmica es el cociente entre la energía producida y la energía consumida multiplicada por cien, es decir:

$$Rendimiento = \frac{Energía\ producida}{Energía\ consumida} \cdot 100 = \frac{W}{Q_1} \cdot 100$$

$$Rendimiento = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100$$

De esta manera, la energía mecánica se transforma íntegramente en calor, pero no se puede producir trabajo a partir de un solo foco. Son necesarios dos focos (caliente y frío) para que la diferencia de calor entre los focos sea el trabajo útil.

3.5.1 La máquina de vapor

La máquina de vapor indudablemente contribuyó a la Revolución industrial utilizándose por muchos años para la industria y el transporte. Su principio de funcionamiento se basa en la conversión de calor en otras formas de energía como la energía cinética.

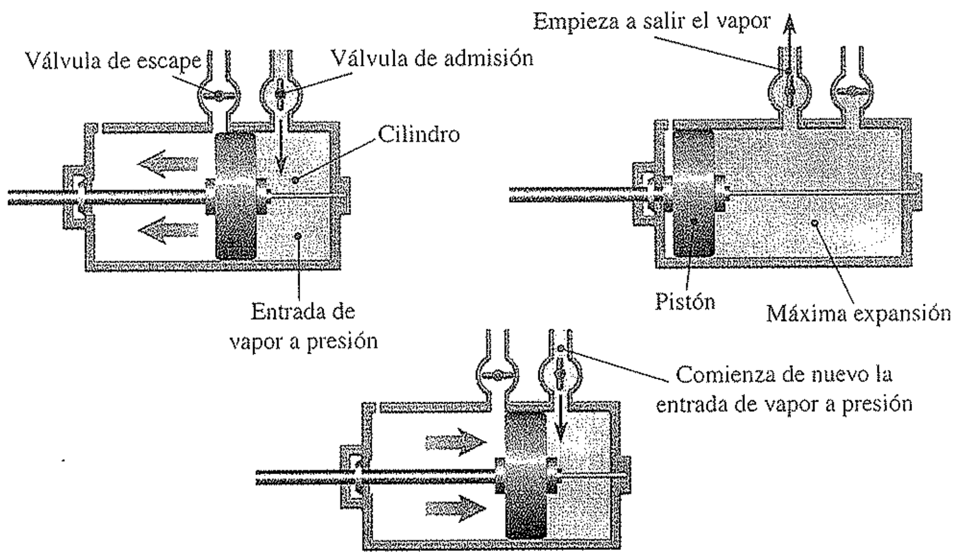
FIGURA 31

De esta manera, se define como una máquina de combustión externa, es decir, que su combustión se produce fuera del lugar donde se realiza el trabajo.

En la máquina de vapor por medio de una fuente de calor, como el carbón en combustión, se aumenta la temperatura del vapor de agua en el interior de un compartimiento, el cual ingresa a través de una válvula a un cilindro provisto de un pistón (ubicado en la locomotora, como se muestra en la figura 31). Luego, el vapor se expande y transfiere energía al pistón.

A partir de este aumento de volumen, se produce movimiento en un sistema mecánico y, en consecuencia se realiza trabajo.

Una vez disminuye la temperatura del vapor durante la expansión, este es expulsado a través de una válvula y nuevamente ingresa vapor al cilindro para que se repita el proceso. El vapor expulsado puede ser reutilizado si se condensa y regresa al compartimiento en el cual nuevamente absorbe calor de la fuente.

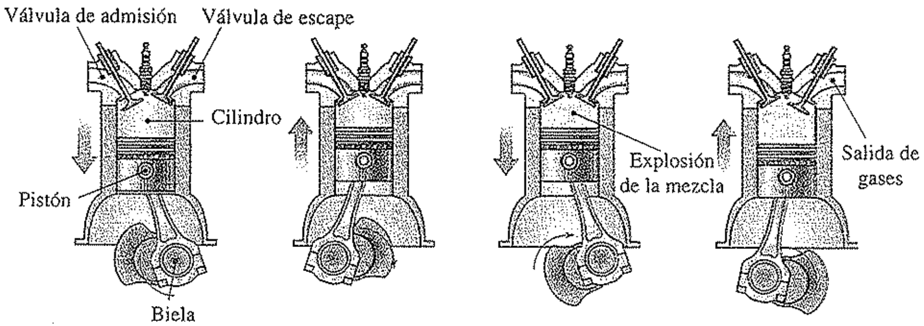


Con el progreso de la tecnología se han diseñado motores y máquinas cuya eficiencia cada vez es mayor, pues el trabajo útil producido por las primeras máquinas correspondía a un muy bajo porcentaje del calor transferido.

Este hecho sugiere que no todo el calor transferido a una máquina se convierte en trabajo, caso en el cual la eficiencia sería del 100%.

3.5.2 El motor de explosión de cuatro tiempos

La mayoría de automóviles están provistos de un motor de explosión de cuatro tiempos, el cual es una máquina de combustión interna, porque la combustión se realiza en el interior del cilindro donde se produce el trabajo. Su esquema de funcionamiento se muestra en la siguiente figura.



El motor de cuatro tiempos consta de un sistema de cilindros provistos de un pistón y dos válvulas aunque hoy se construyen con más de dos válvulas. Cada pistón está sujeto a una biela que se encarga de trasmitir movimiento al cigüeñal. Los tiempos del motor se describen a continuación:

1. Admisión: se abre la válvula de admisión, ingresa combustible en la fase gaseosa al cilindro y, mientras tanto, el pistón se desplaza hacia abajo a lo largo del cilindro.
2. Compresión: la biela continúa su movimiento, el pistón sube y el combustible es comprimido.
3. Explosión: el combustible explota debido a una chispa producida por la bujía y el pistón experimenta una fuerza que lo obliga a bajar a lo largo del cilindro.
4. Escape: se abre la válvula de expulsión, los gases producidos en la explosión son expulsados al exterior y se repite el ciclo.

3.5.3 El refrigerador

La segunda ley de la termodinámica establece que el calor no fluye espontáneamente desde los cuerpos a menor temperatura hacia los cuerpos a mayor temperatura.

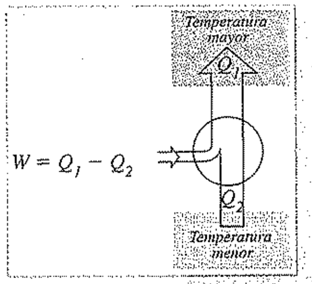
Un refrigerador realiza este proceso, transfiere calor de los cuerpos que se encuentran a determinada temperatura en su interior hacia el ambiente que se encuentra a mayor temperatura, sin embargo, este dispositivo no contradice la segunda ley de la termodinámica, pues requiere de trabajo externo.

Un refrigerador está provisto de un circuito hidráulico que contiene un líquido refrigerante, el cual fluye debido a la acción de un motor.

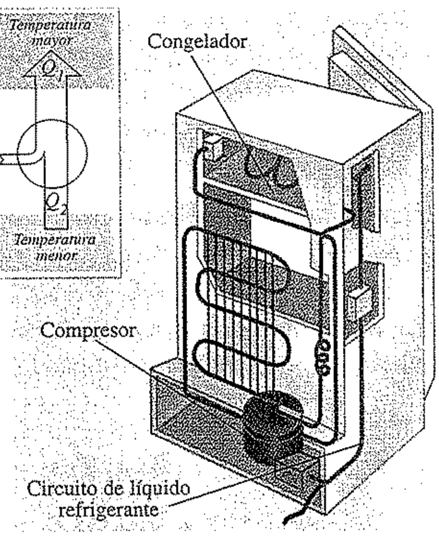
Cuando el líquido llega al congelador del refrigerador absorbe calor de su interior y se transforma en gas. Posteriormente, el gas se comprime, se transforma nuevamente en líquido y se repite el proceso.

© SANTILLANA

Es importante observar que para su funcionamiento, el refrigerador requiere de una fuente de energía, por ejemplo, de la energía eléctrica suministrada por la red eléctrica.



En la siguiente figura se muestra un esquema de las trasformaciones de energía en el refrigerador. Se absorbe calor de un recinto a determinada temperatura y se trasfiere a un sistema a mayor temperatura, para lo cual se requiere de la realización de trabajo.



3.6 La entropía

Cuando se produce una transformación de la energía mientras ocurre un proceso termodinámico sabemos que esta se conserva, sin embargo, la energía cada vez es menos aprovechable. En este sentido, con frecuencia hablamos de consumo de energía. Por ejemplo, cuando dejamos las luces encendidas, sabemos que la energía eléctrica se trasforma en energía lumínica, sin embargo, dicha energía ya no será utilizable a menos que contemos con un dispositivo como una celda fotoeléctrica que transforme una fracción de esta en energía eléctrica.

En este sentido decimos que la energía se degrada, pues cuando suceden transformaciones de energía se produce una disminución de la cantidad de energía disponible para realizar trabajo. La disminución de la energía disponible se relaciona con el término **entropía**.

En 1868, el físico alemán Rudolf Clausius introdujo el término entropía para referirse a una medida de la transformación de energía desde una forma disponible a otra no disponible. En 1878, el físico alemán Ludwig Boltzmann la definió como la medida del desorden del universo y enunció la segunda ley de la termodinámica en estos términos:

DEFINICIÓN 8.9

La entropía de un sistema aislado aumenta con el tiempo o en el mejor de los casos permanece constante, mientras la entropía del universo como un todo crece inexorablemente hacia un máximo.

En la naturaleza muchos fenómenos se consideran imposibles, como el flujo espontáneo de calor de un cuerpo hacia otro cuya temperatura sea mayor. En términos de la entropía, en la naturaleza sólo es posible que ocurran espontáneamente aquellos procesos en los que la entropía crece.

Para que en un proceso la entropía disminuya se requiere de acción externa. Por ejemplo cuando tenemos un conjunto de canicas ordenadas de acuerdo con el color, al introducirlas en una urna existe una tendencia hacia el desorden y para que nuevamente estén ordenadas se requiere de nuestra participación.

© SANTILLANA

Resumen de la unidad

SUMARIO DE CONCEPTOS

CALOR: energía en tránsito que se transfiere de los cuerpos a mayor temperatura hacia los cuerpos a menor temperatura.

ENERGÍA INTERNA: energía asociada a un cuerpo en virtud del movimiento de las moléculas que lo constituyen.

EQUILIBRIO TÉRMICO: estado de dos cuerpos una vez que sus temperaturas alcanzan el mismo valor cuando se han puesto en contacto.

ESCALA ABSOLUTA DE TEMPERATURA: escala termométrica en la cual la temperatura se mide en Kelvin, su menor valor es 0°, que en la práctica es imposible de alcanzar.

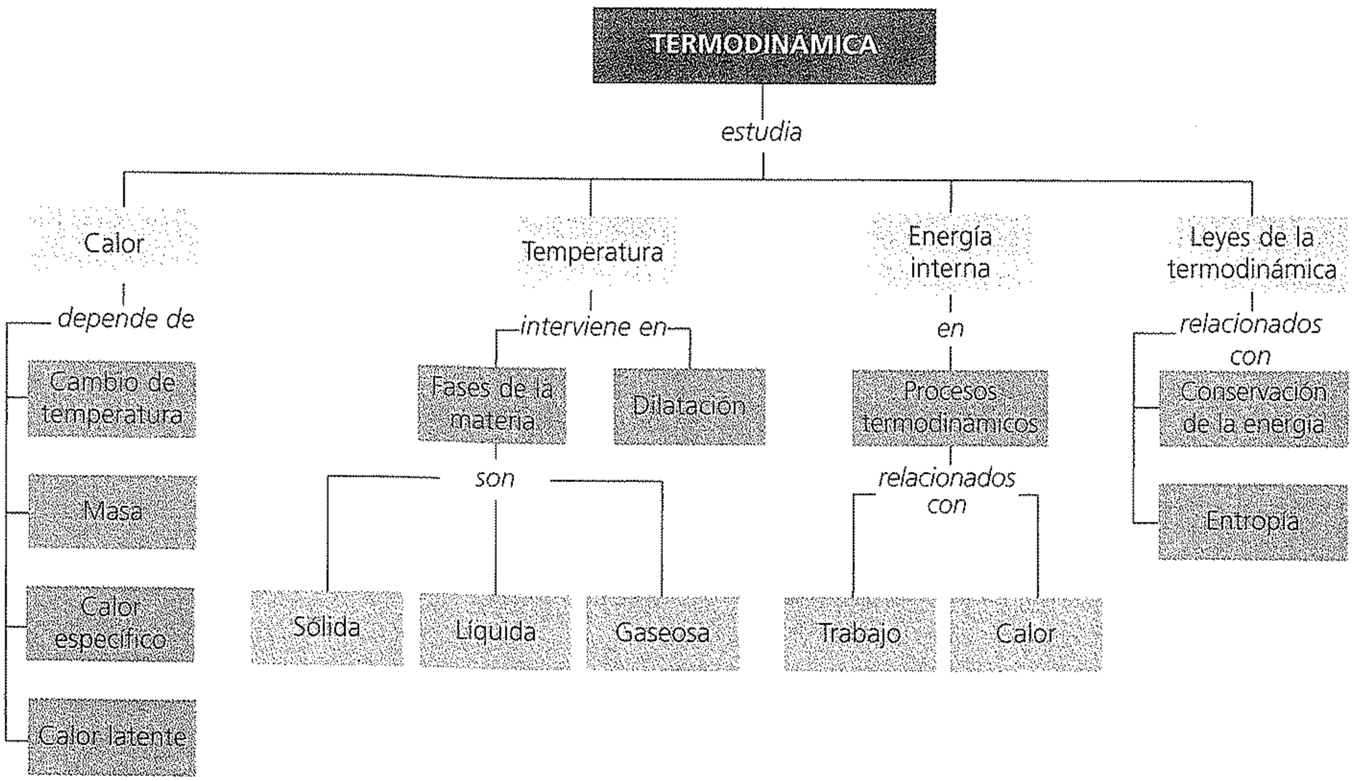
EVAPORACIÓN: proceso de vaporización de un líquido que no ocurre a la temperatura de ebullición del mismo.

FUERZAS DE COHESIÓN: fuerzas de atracción de naturaleza electromagnética que existen entre las partículas que constituyen un cuerpo o una sustancia.

PUNTO DE EBULLICIÓN: temperatura a la cual una sustancia cambia de la fase líquida a la fase gaseosa.

PUNTO DE FUSIÓN: temperatura a la cual una sustancia cambia de la fase sólida a la fase líquida.

MAPA DE CONCEPTOS



ACTIVIDADES

Tema 1. Calor y temperatura

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Por qué cuando se calienta el plástico este tiende a derretirse?
2. En algunas ocasiones el pan se rellena de arequipe o bocadillo, pero cuando sale del horno, ¿qué se encuentra más caliente el bocadillo o el resto del pan? ¿Por qué?
3. Si se llena un vaso de vidrio con agua caliente e inmediatamente después se aplica agua fría, ¿se romperá el vaso? Explica tu respuesta.
4. ¿Crees que es más fácil que hierva un jarro con agua y hielo que uno con agua a temperatura ambiente? ¿Por qué?
5. ¿Por qué es más fácil enfriar un líquido en un recipiente de color oscuro que en uno transparente como el vidrio?
6. ¿Está bien empleada la expresión "cúbrete con una cobija para que te dé calor"? En realidad, ¿cuál es la función de la cobija?
7. ¿Por qué razón es más fácil enfriar un líquido en un recipiente grande, como un plato, que en un pocillo?
8. ¿Por qué las CPU de los computadores utilizan un ventilador en su interior?
9. ¿Por qué cuando queremos enfriar una olla y le agregamos agua fría, el agua se calienta?
10. ¿Por qué una hoguera proporciona más calor que un fósforo, si la temperatura en ambos casos puede ser igual?
11. Se desea hervir el agua que contiene un vaso y el agua que contiene una caneca. Si inicialmente los líquidos se encuentran a la misma temperatura. ¿A cuál de los dos líquidos se le debe proporcionar más calor?
12. ¿Por qué si tocas el riel de una carrilera después que pasa el tren, sientes que queda caliente? Justifica tu respuesta.
13. ¿A qué se debe que el material de los fósforos sea de madera o de plástico?
14. ¿Por qué cuando colocas una cuchara sobre la tapa de una olla que está caliente, la cuchara también se calienta? Explica tu respuesta.
15. ¿Por qué cuando se desea encender un fósforo, se realiza el roce sobre una superficie áspera y no sobre una lisa? Justifica tu respuesta.
16. ¿Por qué al encender una vela y colocarla con la llama hacia abajo esta se consume más rápido?
17. ¿Por qué cuando sentimos frío en alguna parte del cuerpo la frotamos con nuestras manos? Justifica tu respuesta.
18. Cuándo tomamos un plato de sopa que se encuentra muy caliente, ¿por qué razón lo hacemos del borde del plato y no del centro? Explica tu respuesta.
19. ¿Sería más conveniente pintar de negro el fondo de las ollas para que se calienten más rápido? Justifica tu respuesta.
20. ¿Por qué en los días soleados es más fresco utilizar ropa de color claro y no ropa de color oscuro?
21. Cuando la tapa metálica de un frasco no se puede quitar, se le agrega agua caliente e inmediatamente se afloja. ¿Es cierta esta afirmación?
22. Al pararnos descalzos sobre una alfombra, sentimos el piso menos frío que si nos paramos directamente sobre la losa. ¿La alfombra es una fuente de calor?
23. El Sol emite radiaciones que se propagan a través del espacio. ¿Es correcto hablar de la temperatura en el espacio?
24. ¿Por qué es importante instalar los cables telefónicos de tal manera que cuelguen y no que queden tensos?
25. Un termo está construido con dos recipientes, uno externo y otro interno, entre los cuales hay espacio vacío. ¿Cuál es la finalidad de este espacio?
26. Si se pone en contacto un trozo de hielo con una pequeña barra de hierro se observa que después de cierto tiempo dicho extremo de la barra se siente frío si se toca con la mano. ¿Significa esto que hay flujo de "frío" de hielo hacia el hierro?

© SANTILLANA

PROBLEMAS

27. Se tiene un termómetro que indica una temperatura de 42 °F, ¿a cuántos °C equivale esta temperatura?

28. Cuando un niño tiene fiebre su temperatura aumenta los 37 °C, se debe evitar que la temperatura del cuerpo aumente más, pero en algunos casos llega a los 39 °C. Si sólo tuvieras un termómetro en °F, ¿cuál sería el valor de la temperatura que debería indicar el termómetro?

29. El punto de fusión del nitrógeno es −210 °C.

a. Expresa esta temperatura en K.

b. Expresa esta temperatura en °F.

30. Para una receta se necesita calentar el horno a una temperatura de 230 °F. ¿A cuántos °C equivale esta temperatura?

31. Se suministran 120 calorías a una masa de 200 g que incrementa su temperatura de 12 °C a 15 °C. ¿Cuál es la capacidad calorífica del cuerpo?

32. ¿Qué cantidad de calor deben absorber tres kilogramos de agua para que su temperatura se incremente de 0 °C a 100 °C?

33. Para elevar la temperatura de 12 °C a 42 °C de 215 g de aluminio, ¿qué cantidad de calor se le debe suministrar?

34. La temperatura de una masa de 150 g baja de 45 °C a 13 °C. ¿Cuál es la capacidad del cuerpo si cede 1.050 calorías?

35. Una pieza de 3 kg se encuentra a una temperatura de 60 °C, luego se vierte la pieza en 3 litros de agua a 32 °C. Si la temperatura de equilibrio o final de la mezcla es de 46 °C, ¿cuál es el calor específico de la pieza?

36. Se mezcla en un recipiente hermético 10 g de vapor de agua con 20 g de aire. Si la temperatura del vapor del agua es de 110 °C y la temperatura del aire es de 20 °C, ¿cuál es la temperatura final de la mezcla?

37. Cuando se retiran 30 cal de calor de 20 g de una sustancia, se observa que su temperatura decrece de 60 °C a 45 °C. ¿Cuál es el calor específico de la sustancia?

38. ¿Cuál es el calor específico de 30 g de una sustancia que cede 35 calorías, si su temperatura disminuye de 70 °C a 35 °C?

39. Se mezclan 100 g de agua a 15 °C con 200 g de hielo a −15 °C. Calcula la temperatura final de la mezcla.

40. Un alambre de hierro ($\alpha = 12 \times 10^{-6}$ °C^{-1}) de 230 m sufre un aumento de temperatura de 65 °C. ¿Cuál será la longitud que alcanza?

41. Una esfera de cobre de 45,5 cm^3 de volumen sufre un aumento de temperatura de 40 °C, ¿cuál será el aumento de volumen experimentado, si el coeficiente de dilatación lineal del cobre es de 16×10^{-6} °C^{-1}?

42. ¿Cuál es el calor específico de una sustancia que necesita 115 calorías para cambiar su temperatura desde 12 °C a 50 °C, siendo su masa de 2 kg?

43. Encuentra la cantidad de calor que se debe comunicar a 95 g de agua para que su temperatura cambie de 0 °C a 30 °C.

44. Se utilizan 9.000 calorías para incrementar la temperatura de 450 g de una sustancia de 12 °C a 100 °C. Calcula el calor específico de esta sustancia.

45. Si se supone que el calor específico del chocolate es el mismo del agua, calcula el calor que se necesita para calentar una taza de 220 g de chocolate de 15 °C a 70 °C.

46. ¿Cuál es la masa de un bloque de aluminio que absorbe 500 calorías cuando su temperatura cambia en 45 °C?

47. ¿Cuál es la temperatura final de 350 g de una sustancia que se halla a 20 °C cuando se le suministran 5.000 calorías, si su calor específico es de 0,33 cal/g °C?

48. Un esfera sólida de aluminio tiene un diámetro 12 cm a temperatura ambiente (15 °C). Si se aumenta su temperatura a 360 °C, ¿en cuánto cambia su diámetro?

49. Se introduce un trozo de cobre a 80 °C dentro de 100 g de agua a 15 °C y se observa que la temperatura final es de 50 °C. Determina la masa del trozo de cobre.

ACTIVIDADES

50. ¿Cuál es el número de calorías que se necesitan para incrementar la temperatura de 15 g de aluminio de 20 °C a 30 °C?

51. Si una varilla de bronce de 12 metros de longitud y de coeficiente de dilatación lineal de 19×10^{-6} °C^{-1}, pasa de 10 °C a 100 °C, ¿cuál es la dilatación de la varilla?

52. Si 250 calorías cambian la temperatura de 60 g de una sustancia de 25 °C a 50 °C, calcula el calor específico de la sustancia.

53. Un hilo de cobre de coeficiente de dilatación lineal de 16×10^{-6} °C^{-1} mide 2,5 metros a una temperatura de 22 °C. ¿En cuánto se incrementará la longitud del hilo al aumentar la temperatura a 45 °C?

54. Un puente de acero tiene 8 metros de longitud a una temperatura de 12 °C. Si el coeficiente de dilatación lineal del acero es de 11×10^{-6} °C^{-1}, calcula la longitud que tendrá si la temperatura aumenta a 48 °C.

55. Una esfera metálica de coeficiente de dilatación lineal $2,2 \times 10^{-5}$ °C^{-1} tiene un diámetro de 13 cm a una temperatura de 0 °C. ¿En cuánto aumentará el volumen si la temperatura aumenta a 250 °C?

56. Un erlenmeyer de coeficiente de dilatación lineal $3,2 \times 10^{-6}$ °C^{-1} tiene una capacidad de 200 cm^3 a una temperatura de 20 °C. Calcula la capacidad del erlenmeyer al calentarlo a 150 °C.

57. El vidrio de una ventana de un edificio de oficinas mide 1,5 m de ancho por 5 m de largo y tiene un espesor de 1,5 cm. Cuando la superficie exterior está a una temperatura de 30 °C la superficie interior está a 20 °C. ¿Cuánto calor se transfiere a través del vidrio en una hora?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

58. Un tubo de vidrio tiene una sección de 3 cm^2 y una altura de 140 cm. Si su interior contiene 45 cm^3 de mercurio a una temperatura de 30 °C, calcula la altura que alcanzará el mercurio en el tubo al calentarlo a 40 °C.

59. En algunos países se experimentan las cuatro estaciones. Durante el invierno se alcanzan temperaturas bajo 0 °C, en verano las temperaturas pueden llegar a los 40 °C. Por tanto, los ingenieros de un proyecto para la realización de un puente utilizan hierro, el cual tiene 40 m a una temperatura de 16 °C. Calcula:

a. La diferencia entre sus longitudes en un día de invierno a una temperatura de 24 °C.

b. La diferencia entre sus longitudes en un día de veranó con una temperatura de 39 °C.

60. Un tubo de vidrio que tiene una sección de 1,2 cm^2 contiene mercurio, hasta 95 cm de altura, a una temperatura de 13 °C.

Si el coeficiente de dilatación lineal del vidrio es de 9×10^{-6} °C^{-1} y el coeficiente de dilatación del mercurio es de $0,18 \times 10^{-3}$ °C^{-1}, calcula la altura que alcanzará el mercurio si la temperatura se incrementa a 45 °C.

61. Una arandela de aluminio tiene un diámetro interior de 2,5 cm y un diámetro exterior de 4,5 cm a 0 °C. Si el coeficiente de dilatación lineal del aluminio es de 25×10^{-6} °C^{-1}, ¿en cuánto cambiará el diámetro de la arandela si la temperatura aumenta a 270 °C?

62. Demuestra que si las longitudes de dos varillas de diferentes sólidos son inversamente proporcionales a sus respectivos coeficientes de dilatación lineal para alguna temperatura inicial, entonces la diferencia de longitudes entre ellas debe ser constante a cualquier temperatura.

63. Un cuerpo que tiene un calor específico de 0,5 cal/g °C y de 1.000 g de masa, incrementa su temperatura desde 15 °C hasta 50 °C. Calcula:

a. La cantidad de calor que recibió el cuerpo.

b. ¿En cuánto aumentaría la temperatura del cuerpo si se le dieran 100 cal más?

64. Dos masas iguales de agua y alcohol etílico se encuentran a temperaturas de 40 °C y 50 °C, respectivamente.

Si los dos líquidos se mezclan, calcula la temperatura de equilibrio de la mezcla.

© SANTILLANA

Tema 2. Las fases de la materia

SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Por qué razón en algunas ocasiones las ventanas de la casa o de los autos se empañan por dentro?
2. ¿Es verdad que una chaqueta te calienta? ¿Por qué?
3. En algunas mañanas es más fácil darnos cuenta de la niebla. ¿A qué se debe este fenómeno?
4. Algunos animales como los cerdos y los perros no tiene glándulas sudoríparas (los perros sólo tienen entre los dedos de sus patas). Mientras los cerdos bajan su temperatura corporal revolcándose en el lodo, los perros lo hacen jadeando. ¿Por qué razón los perros bajan su temperatura corporal de esta forma?
5. ¿Qué puede causar más daño a la piel, una quemadura por vapor o una quemadura por agua hirviendo?
6. ¿Por qué razón cuando el agua hierve se producen burbujas?
7. ¿Por qué los alimentos se cocinan más rápido en una olla a presión que en una olla corriente?
8. Al humedecer tu dedo con saliva puedes saber la dirección con que el viento sopla o puedes tocar rápidamente la superficie caliente de la plancha sin quemarte, ¿por qué razón se presenta este hecho?
9. ¿Por qué es más fácil apagar una vela utilizando tus dedos mojados que si la soplas?
10. ¿Por qué cuando tocas con uno de tus dedos mojados la pared interna del congelador, sientes que tu dedo se queda pegado?
11. ¿Por qué cuando presionas una botella plástica vacía con la tapa sobrepuesta, la tapa sale volando? Justifica tu respuesta.
12. ¿A qué se debe que cuando bebes gaseosa con un pitillo y repentinamente retiras tu boca y lo tapas con tu dedo, el líquido permanece dentro de este y no desciende?
13. ¿Por qué en las mañanas frías los vidrios de los carros aparecen empañados?
14. ¿Qué sucede con un globo lleno de helio que se encuentra flotando dentro de un automóvil, si el vehículo frena repentinamente?
15. ¿Por qué cuando inflas una bomba con tu boca, esta no se eleva?
16. ¿Es cierto afirmar que el volumen de una bomba llena de helio cambia cuando la sueltas en un espacio abierto y se eleva? Justifica tu respuesta.
17. ¿Por qué la temperatura a la que hierve un líquido depende de la presión atmosférica?
18. Explica por qué, en días calurosos, aumenta la presión de los neumáticos de un automóvil.
19. Cuando se colocan unas gotas de alcohol en el dorso de la mano, notamos la sensación de frío a medida que el alcohol se evapora. ¿Cuál es la explicación de este hecho?
20. ¿Por qué al poner dos gases en contacto, sus temperaturas se igualan?
21. Cuando exhalamos aire con la boca abierta observamos que sale tibio, pero si lo hacemos con la boca casi cerrada lo sentimos frío. ¿Cómo explicas este fenómeno?

PROBLEMAS

22. Calcula la cantidad de calor absorbida por 600 g de plomo que está a 25 °C para fundirse totalmente.
23. De una nevera industrial se sacan 300 g de oxígeno a −150 °C. Calcula el calor necesario para alcanzar el punto de ebullición ($C_{oxigeno} = 3{,}85 \times 10^6$ cal/g · °C).
24. Calcula la cantidad de calor necesaria para que un litro de alcohol etílico a 20 °C pueda ser convertido en vapor.
25. Un cubo de hielo de masa 30 g se saca del congelador de un refrigerador a una temperatura de de −20 °C.
    a. ¿Cuánto calor es necesario para fundir el cubo de hielo?
    b. Una vez fundido, ¿cuánto calor se debe suministrar para alcanzar el punto de ebullición?

ACTIVIDADES

26. Se colocan 240 g de agua a 22 °C en un congelador y se obtienen cubitos de hielo a −28 °C. ¿Qué cantidad de calor cedió el agua?

27. Calcula la cantidad de calor que consumen 2 L de agua que se encuentran a 100 °C para transformarse en gas. El calor de vaporización del agua es de 540 cal/g.

28. ¿Qué cantidad de calor se debe agregar a un bloque de hielo para fundirlo, si este tiene un volumen de 10 m^3 y su temperatura es de −20 °C?

29. Para congelar el agua que ocupa un volumen de 20 m^3 y posee una temperatura de 10 °C. ¿Cuánto calor se debe eliminar?

30. Para cambiar 60 g de hielo que se encuentra a una temperatura de 0 °C en agua a la misma temperatura ¿Qué cantidad de calor se necesita?

31. ¿Cuántos gramos de hielo se pueden fundir con 53 kcal si se sabe que el hielo está a una temperatura de 0 °C y el calor de fusión es de 80 cal/g?

32. Se necesita cambiar 70 g de agua a 100 °C en vapor a 100 °C. ¿Cuánto calor se necesita?

33. ¿Qué volumen ocupan 100 g de oxígeno a 30 °C y 2 atm de presión?

34. La presión que actúa sobre 50 cm^3 de un gas, aumenta de 1 atm a 2 atm. ¿Qué nuevo volumen ocupará el gas si la temperatura se mantiene constante?

35. Un globo se infla con helio y ocupa un volumen de 15 m^3 al nivel del mar. Si un niño compra el globo pero lo suelta y este sube a un punto donde la presión de la atmósfera es de 0,75 atm, ¿cuál es el volumen ocupado por el gas en ese instante?

36. Determinada masa de gas ocupa un volumen de 200 litros en las condiciones ambientales de presión y temperatura de Bogotá (15 °C y 560 mm Hg).

a. ¿Qué volumen ocupará esta misma cantidad de gas cuando la presión aumente a 760 mm Hg y la temperatura suba hasta los 35 °C?

b. Calcula el número de moles y el número de moléculas de gas.

37. Se tiene un gas que ocupa un volumen de 300 litros, soportando una presión de 5 atm. Si la temperatura es de 20 °C y se mantiene constante, calcula:

a. La presión del gas si la temperatura aumenta a 90 °C y también aumenta su volumen en 50 litros

b. El número de moles del gas.

38. Un gas que se encuentra a una presión de 2 atm ocupa un volumen de 30 litros.

Si la temperatura es constante a 15 °C y la presión aumenta a 3,5 atm. Calcula el nuevo volumen que ocupa el gas.

39. 15 litros de gas se encuentran a una temperatura de 8 °C y a una presión de 3 atm.

Si la temperatura y la presión se duplican, ¿cuál será el volumen que ocupa el gas?

40. Un volumen de gas argón es de 30 m^3 si se mantiene a una presión constante y se calienta desde una temperatura de 20 °C a 293 °C. ¿Cuál es el nuevo volumen del gas?

41. 50 litros de oxígeno se mantienen a una presión constante. Si se realiza un proceso de enfriamiento desde una temperatura de 16 °C a −135 °C, ¿cuál es el nuevo volumen del gas?

42. Se dice que un gas se encuentra en condiciones normales cuando se somete a la presión de una atmósfera y su temperatura es de 0 °C.

Si determinada masa de gas ocupa un volumen de 50 litros en condiciones normales, ¿qué volumen ocupa esta misma masa de gas cuando, simultáneamente, se duplican la presión y la temperatura?

43. Calcula la cantidad de agua a 15 °C que se debe agregar a 0,25 kg de hielo, que se encuentra inicialmente a −30 °C, para que la temperatura final con el hielo derretido sea 0 °C.

44. Un recipiente de cobre tiene una masa de 0,3 kg a 85 °C.

Si se le agrega 0,1 kg de agua a 20 °C, calcula la cantidad de calor que se requiere para que el agua se evapore.

© SANTILLANA

45. Calcula la cantidad de calor indispensable para convertir 3 gramos de hielo a −26 °C en vapor a 100 °C.

46. ¿Qué cantidad de hielo a −25 °C se debe introducir en 0,75 kg de agua, inicialmente a 45 °C, para que la temperatura final con el hielo derretido sea 0 °C?

47. Un gas tiene un volumen de $3{,}5 \times 10^{-4}$ m^3 a una presión de $1{,}013 \times 10^5$ Pascales. Encuentra la presión del gas si el volumen aumenta a $7{,}5 \times 10^{-4}$ m^3 y la temperatura se mantiene constante.

48. Un gas tiene un volumen de $8{,}42 \times 10^{-3}$ m^3 a una atmósfera de presión. Calcula el volumen del gas si la presión aumenta a 2 atmósferas y la temperatura se mantiene constante.

49. Una muestra de un gas ocupa un volumen de 290 litros a una temperatura de 110 °C. Calcula la temperatura cuando el gas ocupa un volumen de 200 litros.

50. Se tienen 430 litros de un gas a una temperatura de 85 °C y una presión de 1,6 atmósferas. Si cambian las condiciones se tiene una temperatura de 110 °C y una presión de 2 atmósferas. Calcula el volumen del gas a estas condiciones.

51. Un gas se encuentra a una temperatura de 43 °C y un volumen de 500 cm^3. Se hacen variar las condiciones de manera que la temperatura sea 150 °C, el volumen de 300 cm^3 y la presión de 1 atmósfera. Calcula la presión inicial del gas.

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

52. Se desea que al mezclar 0,45 kg de agua a una temperatura de 25 °C con hielo a −20 °C, la temperatura final del sistema sea de 0 °C. Calcula la cantidad de hielo que se debe agregar.

53. Se agrega vapor a 100 °C a 200 cm^3 de agua a la temperatura ambiente (15 °C) en el vaso de un calorímetro. ¿Cuánto vapor deberá agregarse para que la temperatura del agua del vaso ascienda hasta 40 °C?

54. Se deja caer un cubo de hielo de 45 g de masa y 0 °C desde cierta altura. Si la energía que poseía al caer se invierte para derretirlo, calcula la altura inicial desde donde cayó el hielo.

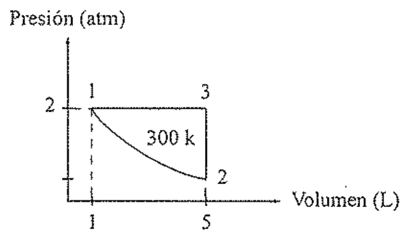
55. Un recipiente contiene 0,65 cm^3 de nitrógeno a una temperatura de 25 °C y $1{,}3 \times 10^5$ pascales. Si el volumen se aumenta hasta 4,5 cm^3 y la temperatura se incrementa hasta 250 °C, determina en cuánto disminuye la presión.

56. Si una botella se cierra herméticamente a 20 °C y se introduce en un horno a 190 °C, encuentra la presión dentro de la botella.

57. Si un litro de un gas a una presión de 1,5 atmósferas y una temperatura de 45 °C se calienta hasta que su presión y su volumen se duplican, calcula en cuanto se incrementa la temperatura.

58. ¿Cuántas moles hay en una masa de un gas que ocupa un volumen de 50 cm^3 si se encuentra a una temperatura de 50 °C y a 4 atm de presión?

59. Un gas ideal se somete a los cambios representados en la figura entre los estados 1 y 3. Determina la temperatura a la cual se encuentra el gas en el estado 3.



60. La llanta de un automóvil se infla hasta una presión manométrica de 180 kPa cuando la temperatura del aire está en el punto de congelación. Si después el clima sube hasta 12 °C y la presión en la llanta llega a 185 kPa, ¿cambia el volumen de la llanta? Si fue así, ¿en qué porcentaje lo realizó? (Considera la presión atmosférica constante.)

61. Determinada masa de gas ocupa un volumen de 250 litros en las condiciones ambientales de presión y temperatura de una ciudad cuya temperatura promedio anual es de 7 °C y que soporta una presión de 480 mm Hg. ¿Qué volumen ocupará esta misma masa de gas si la presión aumenta hasta 485 mm Hg y la temperatura asciende a 80 °C? ¿Cuál es el número de moles y de moléculas de gas?

ACTIVIDADES

Tema 3. Las leyes de la termodinámica

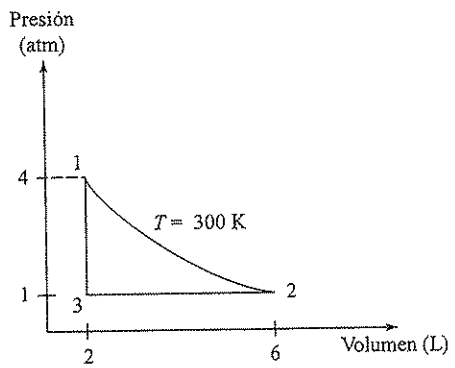
SENTIDO COMÚN. RAZONA Y EXPLICA

1. ¿Por qué razón al utilizar una bomba para inflar neumáticos a una bicicleta, el cilindro de la bomba se calienta?
2. ¿Por qué razón algunos recipientes como los termos mantienen el calor de los alimentos?
3. ¿Por qué razón cuando se mantiene un televisor encendido por mucho tiempo, este se calienta?
4. Al frotar en forma rápida una palma de la mano contra la otra, se está realizando trabajo, ¿qué efectos se producen en las manos a causa de este trabajo?
5. ¿Qué sucede con el agua de una jarra cuando se introduce en ella una barra caliente?
6. Algunos edificios se calientan utilizando la energía eléctrica, es por ello que permanecen encendidos los focos por un largo tiempo. Se puede afirmar que esto es un despilfarro innecesario. ¿Por qué?
7. Cuando estiras rápidamente una banda de caucho, ¿qué sucede con su temperatura?
8. ¿Qué sucede con la energía interna del vapor de agua en el aire, que se condensa en el exterior de un vaso con agua fría?, ¿se efectúa trabajo o se intercambia calor? Justifica tu respuesta.
9. ¿Es posible, en un solo proceso, transformar completamente una cantidad de energía calorífica en energía mecánica?
10. ¿La única manera de aumentar la temperatura de un gas es suministrándole calor? Explica tu respuesta.
11. Si abres la puerta de un refrigerador durante un tiempo determinado, ¿es una manera de enfriar el recinto en el cual se encuentra el refrigerador?
12. En un refrigerador eléctrico, se transfiere calor desde el interior frío a los alrededores más cálidos. Explica por qué lo anterior contradice la segunda ley de la termodinámica.
13. ¿Varía la energía interna de un gas cuando se somete a un proceso isotérmico?
14. Cuando el agua se congela, ¿el orden molecular aumenta? ¿Contradice esto el segundo principio de la termodinámica?

PROBLEMAS

15. ¿En cuánto se incrementa la energía interna en el proceso de un sistema sobre el cual se realiza un trabajo de 110 J y se le suministra 450 calorías?
16. Se tiene en un proceso isobárico un litro de agua a 100 °C, el cual está sometido a una atmósfera de presión, convirtiendo el agua que hierve en 1.290 litros de vapor.
    a. ¿Cuál es el trabajo realizado por el sistema?
    b. ¿Cuál es el calor absorbido por el sistema?
    c. ¿Cuál es la variación de la energía interna?
17. Una bolsa de plástico delgada se llena de un gas a una presión atmosférica y recibe 9.000 J de calor.

    Si en el proceso se infla la bolsa aumentando su volumen a 0,8 m^3, ¿en cuánto se alteró la energía interna del gas?
18. Un gas ideal se somete al proceso representado en la figura, en el orden 1-2-3-1, en donde el proceso de 1 a 2 es isotérmico.



    Calcula el trabajo realizado sobre el gas cuando se realizó el proceso 2-3-1.
19. En un proceso isobárico, un sistema de gas ideal absorbe 30 kcal de calor.

    Si la presión del gas es de $4{,}0 \times 10^5$ N/m^2 y su volumen aumenta en 0,18 m^3, ¿cómo varía la energía interna?

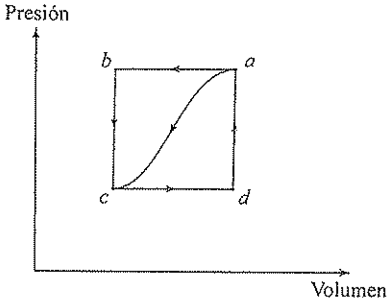
20. Un sistema recibe 4.000 J de calor mientras efectúa 2.100 J de trabajo. ¿Cuál es el cambio de energía interna del sistema?

21. Una máquina cede 60 calorías y absorbe 130 calorías en cada ciclo.

a. ¿Cuál es el trabajo realizado?

b. ¿Cuál es su rendimiento?

22. En el proceso de llevar un gas del estado a al estado c a lo largo de la trayectoria curva que se muestra en la figura.



El sistema cede 93 J de calor y se efectúan 60 J de trabajo sobre él. ¿Cuál es el valor de cambio de energía interna del sistema?

PROBLEMAS DE PROFUNDIZACIÓN

23. Se introduce una bola de hierro de 10 kg a un a temperatura de 100 °C en un recipiente con 20 litros de agua a 25 °C. Calcula:

a. La temperatura de equilibrio.

b. El calor absorbido por el agua.

c. El calor desprendido por el hierro.

24. Una máquina de Carnot trabaja con una temperatura de 473 K y con una eficiencia de 45%. ¿Cuál debe ser la nueva temperatura para elevar su eficiencia a un 50%?

25. Si la eficiencia de una máquina es del 30% y realiza un trabajo de 520 cal.

a. ¿Qué cantidad de calor absorbe en cada ciclo?

b. ¿Cuánto calor cede?

26. Un sistema de refrigeración por comprensión tiene un coeficiente de desempeño de 4,0. Si la temperatura de evaporación es de 212 °C, ¿cuál es la temperatura de condensación?

27. Un gas ideal se encuentra encerrado en un cilindro que tiene un émbolo móvil en la parte superior. El émbolo tiene una masa de 10 kg y un área de 6 cm^2, y se puede mover libremente hacia arriba y hacia abajo manteniendo constante la presión del gas. Calcula el trabajo que se debe realizar cuando la temperatura de 0,25 moles del gas se eleva de 25 °C a 295 °C.

28. Durante un ciclo de Carnot, un gas absorbe una cantidad de calor de 250 cal al experimentar una expansión isotérmica a 150 °C. Si se escapan 200 cal, ¿cuál es el valor de la temperatura de compresión isotérmica del ciclo?

29. Utilizando el proceso adiabático, se comprime un volumen de 25,43 litros de nitrógeno gaseoso a 0 °C y 1 atmósfera de presión a 1/12 de su volumen inicial. Calcula:

a. La presión final. b. La temperatura final.

c. El trabajo realizado.

30. Un gas se comprime a una presión constante de 0,85 atmósferas de 8,5 litros a 2,5 litros. Si en el proceso 385 J de energía térmica salen del gas, calcula:

a. El trabajo realizado sobre el gas.

b. El cambio en su energía interna.

31. ¿Con qué velocidad se debe mover una bala de plomo de 0,05 kg de masa a la temperatura de 25 °C, para que el calor transferido mientras se detiene, al incrustarse dentro de una pared, sea suficiente para fundirla? Para el plomo: calor específico 130 J/kg, calor de fusión 23 J/g y punto de fusión 327 °C.

32. Se quiere convertir 1 kg de hielo a −15 °C en vapor de agua a 100 °C.

a. Calcula la cantidad de calor necesaria para tal fin.

b. Si el foco calorífico proporciona 1.500 cal/min y el 10% del calor se disipa en el ambiente, ¿cuánto tiempo será necesario para realizar el proceso?

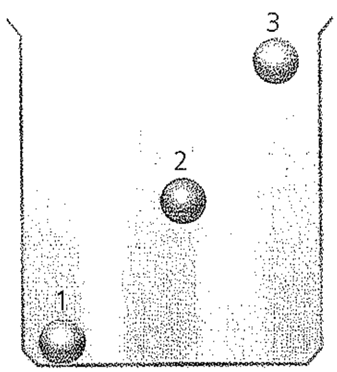
c. ¿En qué estado se encuentra el agua cuando la temperatura es de 0 °C?

PREGUNTAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE CON ÚNICA RESPUESTA (TIPO I)

Este tipo de preguntas constan de un enunciado y cuatro opciones de respuesta (A, B, C y D). Sólo una de estas opciones es correcta.

En una práctica de laboratorio de física, el profesor explica a sus estudiantes por qué los objetos flotan y se hunden al sumergirse en el agua. El profesor comienza la experiencia introduciendo tres objetos de igual volumen, pero de diferente material, y los numera para distinguirlos entre sí, como se muestra en la figura.

Se observa que el objeto 1 se hunde hasta el fondo del recipiente, el objeto 2 está suspendido en la mitad, y el objeto 3 flota totalmente.



5

1. Respecto a la situación anterior, se puede afirmar que:

A. el objeto 3 tiene mayor densidad que el objeto 1

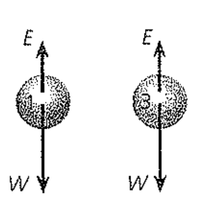
B. el objeto 2 tiene menor densidad que el objeto tres.

C. el objeto dos tiene la mayor densidad de los tres.

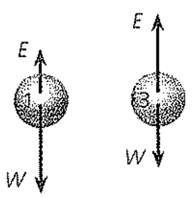
D. el objeto 1 tiene la mayor densidad de los tres.

2. El diagrama que mejor representa a los cuerpos 1 y 3 de la experiencia es:

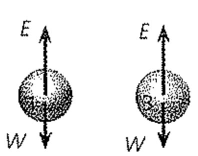
A:



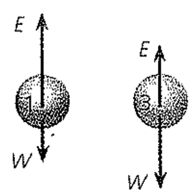
C.



B.



D.



3. Un objeto de peso determinado se hunde dentro de un recipiente lleno de agua debido a que:

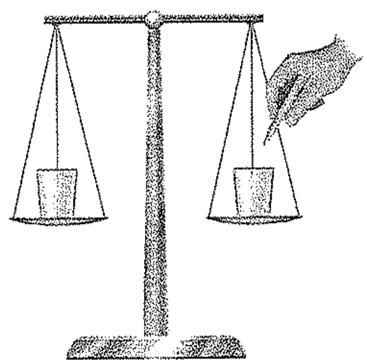
A. el empuje es diferente al peso del objeto.

B. el empuje es menor que el peso del objeto.

C. el empuje es igual que el peso del objeto.

D. el empuje es mayor que el peso del objeto.

4. En la figura se muestra una balanza en la cual se colocan dos vasos de agua al mismo nivel.



6

7

Si en uno de los vasos se introduce un objeto:

A. la balanza pierde su equilibrio.

B. la balanza se inclina hacia el vaso uno.

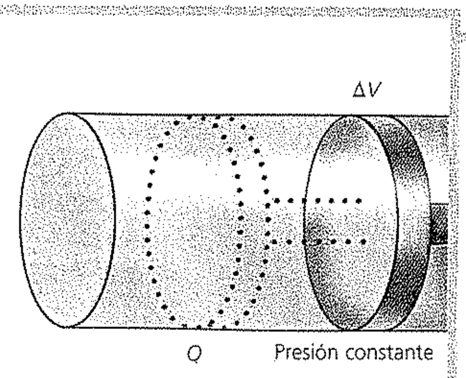
C. disminuye la fuerza que el vaso dos ejerce sobre el platillo de la balanza.

D. el empuje del agua sobre el objeto es menor que su peso.

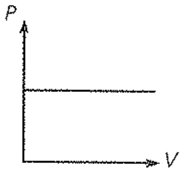
© SANTILLANA

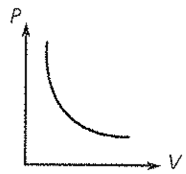
El profesor de física y la profesora de química de un colegio discuten acerca del principio de conservación de la energía a sistemas en los que hay transformación de calor en trabajo y las condiciones en las que se puede producir este tipo de transformación.

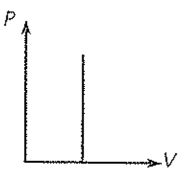
El profesor de física afirma que en el proceso isobárico la presión se mantiene constante por lo cual puede haber variación en el volumen.

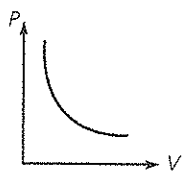


5. Teniendo en cuenta esta afirmación, la gráfica que representa este proceso es:

A.


C.


B.


D.


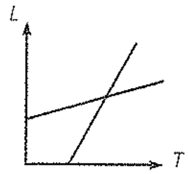
6. Cuando el volumen del gas se somete a un proceso isotérmico se dice que:

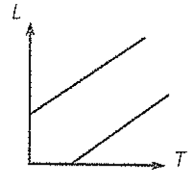
A. no hay intercambio de energía.
B. la presión permanece constante.
C. el volumen es constante.
D. la temperatura permanece constante.

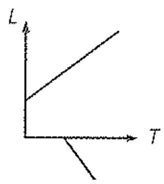
7. Un gas se expande dentro de un cilindro empujando el pistón contenido dentro de él. Es falso afirmar que:

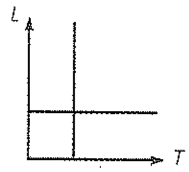
A. la expansión del gas cumple con el proceso adiabático.
B. el volumen del gas aumenta mientras su presión disminuye.
C. el calor que el gas intercambia con su vecindad es despreciable.
D. la temperatura del gas permanece constante.

8. Si a dos varillas del mismo material, se les incrementa progresivamente la temperatura desde 0 °C. La gráfica que representa la variación de longitud es:

A.


C.


B.


D.


9. La razón por la cual durante el verano suelen cubrirse los cables de los teléfonos con una superficie amplia es:

A. para permitir espacio cuando aumenta su volumen.
B. para que soporten las corrientes cálidas.
C. para que el aire que circule sirva de refrigerante.
D. para que cuando llegue el invierno la tensión no lo reviente.

10. Se tiene un gas ideal en un volumen de 3 litros. Si la temperatura se mantiene constante y el volumen aumenta a 6 litros, la presión inicial:

A. se duplica.
B. no cambia.
C. se cuadruplica.
D. se reduce a la mitad.

Dilatación

LABORATORIO 15

Objetivo

Observar los efectos de la dilatación de los cuerpos.

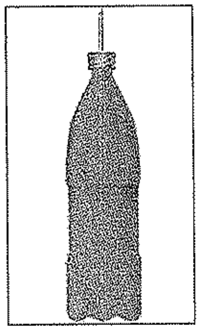
Materiales

- Dos botellas plásticas de 600 mL con tapa.
- Dos pitillos.
- Agua fría y agua caliente.
- Silicona.
- Colorante para alimentos.
- Puntilla.

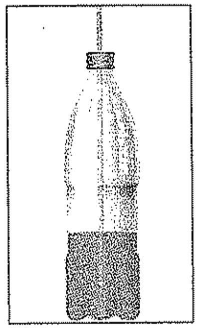
Procedimiento y registro

1. Abre un orificio a la tapa de cada botella e introduce el pitillo sellándolo herméticamente a la tapa. Deja uno de los pitillos a una altura tal que uno de sus extremos pueda llegar hasta el fondo del recipiente.
2. Llena hasta el borde una de las botellas con agua con colorante para alimentos y enrosca fuertemente la tapa para que no se presente fuga del líquido.
3. Pon en la segunda botella sólo un poco de agua con colorante para alimentos y enrosca la tapa.

Procedimiento 2



Procedimiento 3



4. Sumerge cada botella, hasta el cuello en agua caliente y observa.
5. Escribe las observaciones en la tabla de registro.

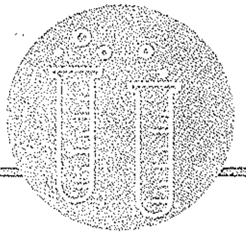
TABLA DE REGISTRO

	Observaciones
Botella llena hasta el borde	
Botella con un poco de agua	

Análisis de los resultados

1. ¿Qué propiedades de los cuerpos han cambiado al variar la temperatura en esta experiencia?
2. ¿Cómo variarían los resultados si la cantidad de agua empleada fuera la misma en ambas botellas?
3. Explica, con tus propias palabras, lo ocurrido en esta experiencia.
4. ¿Qué fuentes de error experimental se tienen en esta práctica?

© SANTILLANA



Densidad de gases

LABORATORIO 16

Objetivo

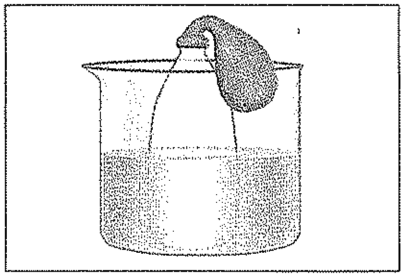
Identificar la expansión y la contracción térmica de los gases.

Materiales

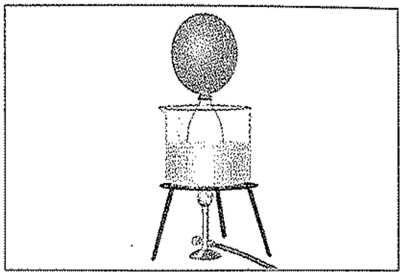
- Bomba de caucho.
- Frasco pequeño.
- Mechero.
- Beaker de 250 mL.
- Trípode y malla de asbesto.

Procedimiento y registro

1. Coloca la bomba de caucho en la boca del frasco. Vierte agua hasta la mitad del beaker y coloca el frasco pequeño dentro de él.



2. Ubica el beaker sobre el trípode y enciende el mechero. Observa qué sucede cuando el agua se calienta.



3. Registra las observaciones en la siguiente tabla.

TABLA DE REGISTRO

	Observaciones
Frasco dentro del recipiente con agua caliente.	

4. Retira el frasco pequeño del agua caliente y observa qué pasa con la bomba.
5. Escribe las observaciones en la siguiente tabla.

TABLA DE REGISTRO

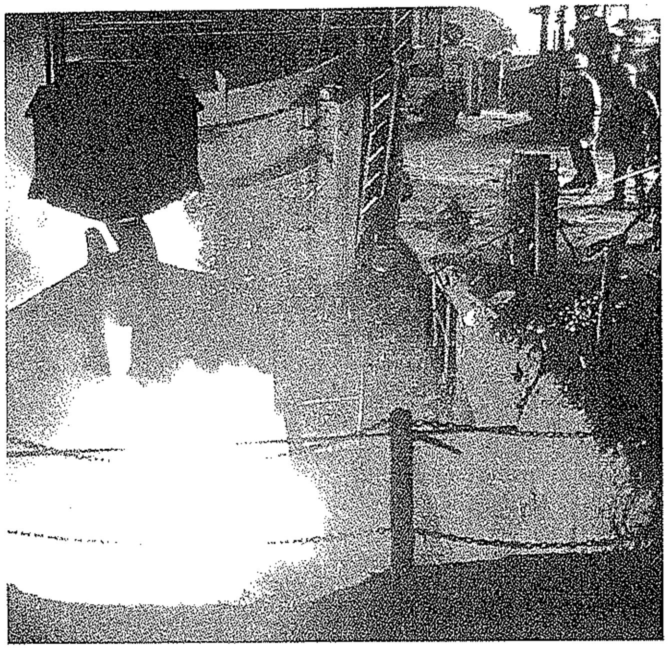
	Observaciones
Frasco fuera del recipiente.	

Análisis de los resultados

1. ¿A qué se debe que se infle o se desinfle la bomba?
2. ¿En qué otras situaciones puedes encontrar el fenómeno de expansión y contracción térmica de los gases?
3. ¿Por qué los gases son cuerpos que ocupan espacio aunque no se vean? Justifica tu respuesta.
4. Describe de qué otra manera puedes experimentar la expansión de los gases.

El calor en la fundición

y el colado de materiales

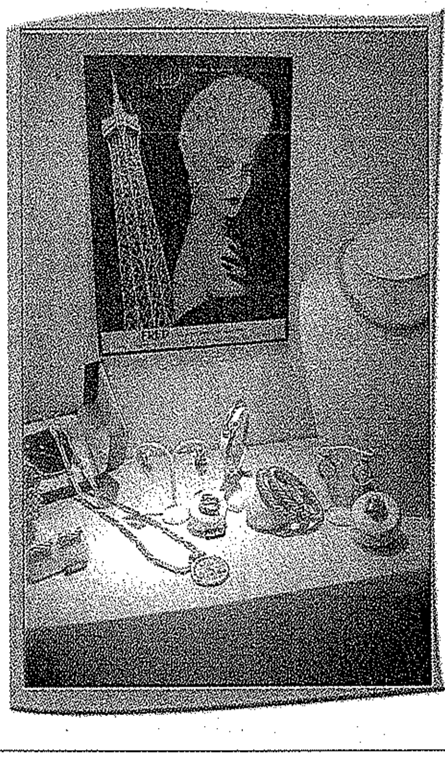


La fundición es un proceso que se utiliza en actividades como la realización de piezas de máquinas y la producción de joyas.

Las industrias encargadas de fundir el hierro, el acero y otros metales en grandes cantidades, son fundamentales para el desarrollo económico de una sociedad, ya que aportan a la construcción de maquinaria y al progreso futuro de nuevas formas de producción. La cultura profesional en esta clase de empresas es bastante alta, ya que requiere personal capacitado en el dibujo industrial, la mecánica de los cuerpos sólidos y fluidos, la óptica, la termología, la electroestatica, la quimica, etc. Además, mucha experiencia en los recursos prácticos a los que a menudo hay que recurrir, así como de la capacidad especial para idear y aprovechar tales recursos.

El arte de modelar

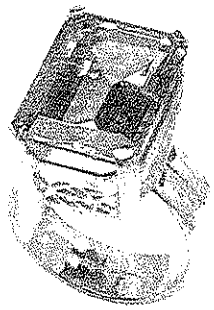
La fundición además de una industria es también un arte: el moldeador, sin más ayuda que la de un modelo y algunas herramientas rudimentarias, puede producir piezas muy complejas realizando un trabajo practicamente de escultor.



Para terminar la pieza hace falta, como en todos los demás procedimientos industriales, someter las materia primas (que en este caso es el metal en bruto fundido en lingotes y la chatarra) y las materias auxiliares (esto es, el combustible, las arenas, los aglutinantes etc.) a una serie ordenada de operaciones.

El joyero funde el oro y luego lo pone sobre un molde con el proposito de generar una figura.

Proceso para la creación de una joya



La fusión consiste en hacer pasar los metales y sus aleaciones del estado sólido al estado líquido, por medio de determinada cantidad de calor definida y característica para cada metal o aleación. Este proceso se alcanza debido al aumento de la temperatura de un cuerpo, cuyo proceso pretende transformar el metal, o la aleación, de sólido a líquido. Durante este periodo la temperatura no aumenta y la cantidad de calor generada se destina solamente a disgregar el estado sólido.

El arte de modelar

Las piezas destinadas a la fabricación de algunas máquinas, al igual que de una joya, son sometidas a todo proceso térmico con el fin de dar resistencia y duración a la pieza. Todo el proceso se realiza en diferentes momentos:

1. **Diagrama:** el proyectista realiza los diseños de conjunto y los detalles de cada pieza, debidamente acotados.
2. **Moldeo:** una vez comprobado lo que se desea realizar, el moldeador hace un molde o forma de la producción y las dimensiones de la pieza que ha de ser fundida. Una vez realizado el molde, se perfilan las partes arrancadas y se colocan los eventuales machos destinados a formar los huecos en el interior de las piezas.
3. **Colada (fundición):** cuando el molde está repasado y cerrado sólidamente, de modo que resista la presión, se puede introducir el metal fundido a través de una o más aberturas dispuestas en el molde.
4. **Desmoldeo:** cuando la pieza se ha solidificado y enfriado hasta el punto de poder ser manipulada sin peligro, se procede al desmolde. Para ello, se rompe o se abre el molde de arena o yeso.
5. **Acabado:** la pieza extraída del molde está áspera, tiene incrustaciones de arena y los rebordes que corresponden a las juntas de la caja. Por esta razón, para mejorar el aspecto de la pieza y hacerla apta para los procesos sucesivos, se hace necesario pulirla.

ÁMBITO: Desarrollo compromisos personales y sociales

APROPIACIÓN Y USO DE LA TECNOLOGÍA

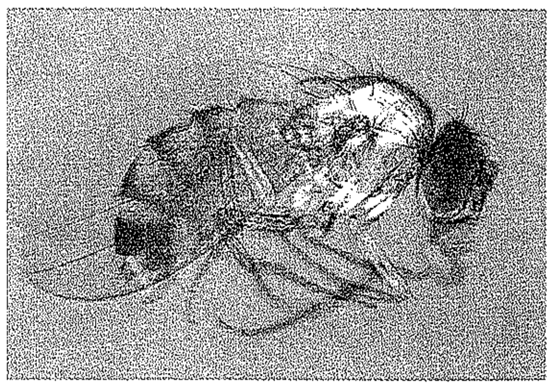
1. Cuando se realiza la fundición de un metal se alcanzan temperaturas alrededor de 600 °C, ¿qué características presentan los metales a estas temperaturas?
2. En algunos casos los metales no se funden totalmente sino que se calientan de tal forma que con el golpe de un fuerte martillo u otro elemento se moldean. ¿Por qué se puede realizar este procedimiento?
3. Es posible que al congelar un metal a una temperatura extrema este se pueda romper. ¿Por qué?
4. Consulta en qué procesos, además de la joyería, se utiliza la fundición de metales.

TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

¿ES POSIBLE VER EL CALOR?

Todo lo que nos rodea contiene calor y el calor es energía en movimiento. Pero, aunque no podemos ver el calor si podemos observar sus efectos; un ejemplo son las corrientes de convección que se levantan en el asfalto de una carretera.

Actualmente, es posible captar la presencia de objetos con diferentes temperaturas que emiten radiación infrarroja y obtener imágenes similares a las de una fotografía común, proceso denominado termografía. Esta técnica también es utilizada para estudiar el funcionamiento térmico de diversas máquinas y sistemas mecánicos.



BIBLIOGRAFÍA

CROMER, ALAN, *Física para las ciencias de la vida y de la salud,* Barcelona, Reverté, 1982.

CURTIS, HELENA Y BARNES, N. SUE, *Biología,* Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana, 1993.

GIANCOLI, DOUGLAS C., *Física. Principios con aplicaciones,* México, Prentice-Hall Iberoamericana S.A., 1994.

HETCH, EUGENE, *Física en perspectiva,* México, Addison Wesley Iberoamericana, 1987.

HETCH, EUGENE, *Física, Álgebra y Trigonometría,* México, Thomson, 1998.

HEWITT, PAUL G., *Física conceptual,* México, Pearson, 1999.

HEWITT, PAUL Y ROBINSON, PAUL, *Manual de laboratorio de Física,* México, Pearson, 1998.

KANE, JOSEPH W. Y STERNHEIM, MORTON M, *Física,* Barcelona, Reverté, 1991.

KRAMER, CRAIG. *Prácticas de Física*, México, Mc Graw-Hill, 1993.

SEARS, FRANCIS W.; ZEMANSKY, MARK W.; YOUNG, HUSH D., *Física Universitaria,*México, Addison Wesley, 1998.

SERWAY, RAYMOND A., *Física,* México, McGraw-Hill Interamericana de México, 1993.

TIPLER, PAUL A., *Física,* Barcelona, Reverté, 1992.

WILSON, JERRY D., *Física con aplicaciones,* México, Mc Graw Hill, 1994.

PÁGINAS DE INTERNET

webplaza.pt.lu

www.en.wikipedia.org

www.physlink.com

physicsweb.org.jobs

www.es.encarta.msn.com

www.galeon.com

www.astromia.com

www.sc.ehu.es/sbweb/fisica

Unidad 1. Introducción a la física

Tema 1. Cómo se construye la ciencia

Sentido común. Razona y explica

1 a **8**. Respuesta libre

Problemas

9 a **13**. Respuesta libre

Problemas de profundización

14 a **16**. Respuesta libre

Tema 2. Magnitudes físicas

Sentido común. Razona y explica

1 a **13**. Respuesta libre

Problemas

14. $d = 48 \times 10^5$ cm **15.** $m = 7,65$ kg
16. $t = 1 \times 10^{-9}$ s **17.** Respuesta libre
18. 14×10^9 bits **19.** \$83.333,3
20. 100 besos **21.** $A = 2,79 \times 10^3$ m^2
22. $w = 96$ kg
23. $d = 1,968 \times 10^6$ pulgadas
24. $w = 5,6$ libras
25. $d = 13,716$ m
26. $t = 3,24 \times 10^4$ s
27. **a.** $d = 183,3$ km **b.** $d = 3,05$ km
28. $d = 9,46 \times 10^{15}$ m
29. 4.800 mg
30. $V = 2.500$ cm^3
31. $V = 39 \times 10^6$ cm^3
32. $d = 28.000$ km
33. $v = 804,5$ km/h
34. $v = 1,18 \times 10^5$ pies/h
35. $v = 12,43$ millas/h
36. $v = 1,115 \times 10^3$ pies/s
37. $m = 1,0 \times 10^8$ kg
38. $l = 1,0 \times 10^{-4}$ m
39. $1,0 \times 10^{10}$ células nerviosas
40. $d = 1,15 \times 10^{23}$ km
41. $t = 8,64 \times 10^4$ s
42. $m =$ 0,00000000000000000000000000000091 kg
43. *valor promedio*: 4,935 cm^3
44. *error absoluto*: 0,049 m
45. *error absoluto*: 4,58 cm
46. *valor promedio*: 6,32 cm, *error absoluto*: 1,074 cm; *error relativo*: 17%

Problemas de profundización

47. $A = 25,31$ m^2
48. La diferencia entre las dos distancias es de $146,216 \times 10^6$ km
49. $t = 15.345$ s **50.** \$1.420.000.000
51. $7,2 \times 10^8$ reacciones químicas
52. *largo:* 137,16 m; *ancho:* 22,86 m; *alto:* 13,716 m; *volumen* $= 4,3 \times 10^4$ m^3
53. $m = 3,96 \times 10^{31}$ kg
54. Respuesta libre
55. $V = 3 \times 10^{-4}$ km^3

Tema 3. Funciones y gráficas

Sentido común. Razona y explica

1. $t = 31$ minutos
2. 10 días
3 a **6** Respuesta libre

Problemas

7. **a.** *variable dependiente:* calor, *variable independiente:* tiempo, *variación:* directamente proporcional **b.** *variable dependiente:* alargamiento, *variable independiente:* fuerza, *variación:* directamente proporcional **c.** *variable dependiente:* tiempo, *variable independiente:* diámetro del orificio, *variación:* inversamente proporcional.
8. Se duplica
9. En 1 h: 1.400 mg. En 2 h: 2.800 mg. En 3 h: 4.200 mg. En 4 h: 5.600 mg. En 5 h: 7.000 mg
10. **a.** Respuesta libre **b.** S1: $T = 4t + 8$, S2: $T = 3t + 15$ **c.** La sustancia 1

Problemas de profundización

11. **a.** No **b.** Directamente proporcional **c.** Entre los 15 s y 25 s
12. **a.** 4 veces **b.** 9 veces
13. Respuesta libre
14. **a.** En 311,12 días **b.** En la semana 12 **c.** $w = 1.000$ g **d.** Directamente proporcional **e.** *variable independiente:* tiempo; *variable dependiente:* peso
15. **a.** $x = 2m + 5$ **b.** Respuesta libre
16. $A = \dfrac{kB \cdot C}{D^2}$, donde k es la constante de proporcionalidad
17. En 4

Unidad 2. El movimiento en una dirección

Tema 1. El movimiento rectilíneo

Sentido común. Razona y explica

1 a 14. Respuesta libre

Problemas

15. $d = 49{,}58$ km **16.** $v = 24$ km/h
17. $t = 29{,}41$ s **18.** $t = 180$ s
19. $t = 6.630$ s
20. **a.** De 10 s a 18 s y de 20 s a 25 s
b. De 18 s a 20 s **c.** En ningún intervalo
d. $d = 1.480$ cm $= 14{,}8$ m
e. $v = 42{,}3$ cm/s
21. **a.** Respuesta libre **b.** De 5 s a 6 s
c. De 2 s a 5 s **d.** No existe el intervalo
22. **a.** La variación en cada intervalo es de 2 m/s^2
b. $a = 2$ m/s^2 **c.** Respuesta libre
23. $a = -1{,}18$ m/s^2

Problemas de profundización

24. $d = 400$ km, $t = 8$ h
25. $d_{total} = 840$ m
26. $\Delta x = 25{,}2$ km
27. **a.** $v = 1{,}81$ m/s
b. $v_1 = 1{,}43$ m/s; $v_2 = 1{,}66$ m/s;
$v_3 = v_4 = 2{,}22$ m/s
28. $d = 176{,}4$ km
29. **a.** De la semana 28 a la semana 40
b. $v = 0{,}83$ cm/semana $= 1{,}24 \times 10^{-8}$ m/s
c. $v = 1{,}66$ cm/semana $= 2{,}48 \times 10^{-8}$ m/s
30. Sí **31.** **a.** $d = 300$ km **b.** $d = 304$ km

Tema 2. Caída libre

Sentido común. Razona y explica

1 a 10. Respuesta libre

Problemas

11. $t = 3{,}25$ s **12.** $t = 3{,}19$ s
13. $h = 490$ m
14. **a.** $h = 122{,}5$ m **b.** $v = 49$ m/s
15. **a.** $v = 29{,}7$ m/s **b.** $t = 3{,}03$ s
16. $v = 29{,}4$ m/s
17. **a.** $v = 17{,}14$ m/s **b.** $t = 1{,}75$ s
18. **a.** $v = 147$ m/s **b.** $h = 1.102{,}5$ m
19. $h = 19{,}6$ m **20.** $h = 1{,}19$ m
21. $v = 30$ m/s **22.** $h = 7{,}34$ m
23. $t = 4{,}28$ s, $v = 41{,}94$ m/s
24. $v_0 < 7{,}93$ m/s
25. $h = 1.702{,}5$ m

Problemas

26. $t = 0{,}5$ s
27. **a.** $t = 2{,}04$ s **b.** $v = 19{,}6$ m/s
28. $t = 0{,}65$ s
29. **a.** $t = 0{,}22$ s
b. Tardan el mismo tiempo
30. **a.** Chocan a 19,6 m de la parte más alta
b. A los 2 s de iniciado el movimiento
31. $v = 1.952$ km/h
32. **a.** $h_{máx} = 78{,}4$ m
b. $h_{máx} = 313{,}6$ m; $t_{máx} = 8$ s
33. $v = 18{,}1$ m/s
34. Respuesta libre

Unidad 3. Movimiento en el plano

Tema 1. Magnitudes vectoriales

Sentido común. Razona y explica

1 a 24. Respuesta libre

Problemas

25. $d = 11{,}18$ km, con un ángulo de 63,4° en dirección suroeste
26. $d = 56$ m, con un ángulo de 26,6° en dirección noreste
27. $d = 21{,}3$ km, con un ángulo de 15° en dirección noreste
28. $d_3 = 20$ m, con un ángulo de 53° en dirección sureste
29. $d_2 = 171{,}525$ m, con un ángulo de 30° en dirección sureste
30. $d = 96{,}3$ m, con un ángulo de 140° en dirección noroeste
31. $v_r = 108$ m/s, con un ángulo de 65,3° en dirección sureste
32. **a.** *distancia* = 27 km
b. *desplazamiento* = 19,2 km
33. $v_r = 18{,}8$ m/s, con un ángulo de 64,8° en dirección noreste
34. $v_{real} = 30$ km/h
35. $v = 4{,}47$ km/h, con un ángulo de 63,4° con respecto a la dirección de la corriente

© SANTILLANA

36. a. $v_r = 211$ km/h b. Se debería mover en dirección noroeste con una inclinación de 7,8°
37. Se encuentra a 2,53 km por debajo del nivel del mar
38. $v = 922$ km/h
39. $d_x = 2,16$ m; $d_y = 1,25$ m

Problemas de profundización

40 y 41. Respuesta libre
42. $t = 26,5$ min
43. a. $d_r = 4,16$ m
    b. Se debe ubicar a 5° en dirección sureste
44. $v_{viento} = 121$ km/h, con un ángulo de 8,1° en dirección suroeste
45. a. Cada carro se encuentra a 120 km del punto de partida b. $d = 154,26$ km
46. a. $v_1 = (v_{1x}, v_{1y}) = (13,6; 6,34)$,
    $v_2 = (v_{2x}, v_{2y}) = (-38; 81,6)$,
    $v_3 = (v_{3x}, v_{3y}) = (0, -60)$
    b. $v_r = 37,1$ u, con un ángulo de 48,8° en dirección noreste

Tema 2. Movimiento de proyectiles

Sentido común. Razona y explica

1 a 18. Respuesta libre

Problemas

19. a. $t = 7,14$ s b. $x = 357$ m
20. $t = 1,43$ s
21. a. $h_{máx} = 215,6$ m b. $x = 594$ m
22. a. $x = 117$ m b. $v = 150,2$ m/s
23. $v_{0x} = 8,45$ m/s; $a = -9,8$ m/s^2; $x = 31,27$ m
24. $v_0 = 17,15$ m/s
25. a. $v_0 = 16,8$ m/s b. $h_{máx} = 10,8$ m
26. $t = 4,08$ s 27. $h = 5,33 \times 10^{-13}$ m
28. $v_{0x} = 1,17$ m/s 29. $v_{0x} = 1,64$ m/s
30. a. $t = 2,47$ s b. $v_{0x} = 0,2$ m/s
31. a. $v_{0x} = 2$ m/s b. $h = 240$ m/s
32. a. $v_{0x} = 7,96$ m/s b. $x = 10$ m
33. $x = 63,2$ m 34. $v_0 = 20,7$ m/s
35. Debe estar a 79 cm del otro obrero

Problemas de profundización

36. a. $h_{máx} = 1,7$ m b. $x = 39,3$ m
37. $v = 17,4$ m/s 38. $h_{máx} = 4,27$ m
39. $v_0 = 100$ m/s
40. $\tan\theta = \sqrt{\frac{2h}{g} \cdot \frac{h}{v_{0x}}}$

41. Cae a 78 cm por debajo del blanco
42. $t = 1,1$ s
43. a. $t = 3,2$ s
    b. $v = 28$ m/s
    c. En $x = 20 \cdot t$, $y = 4,9 \cdot t^2 + 50$ m
44. a. $v_{min} = 9,75$ m/s b. $x > 3,5$ m
45. Respuesta libre

Unidad 4. Las leyes de la dinámica

Tema 1. La fuerza - Primera ley de Newton

Sentido común. Razona y explica

1 a 21. Respuesta libre

Problemas

22. $x = 0,5$ cm
23. $x = 2$ m
24. $k = 150$ N/cm
25. $F_{neta} = 156.205$ N
26. a. Respuesta libre b. $k = 50$ N/cm
    c. $F = 600$ N
27. $F = 6,4$ N, con ángulo de 38,6° en dirección suroeste
28. a. $\vec{F}, \vec{F_r}, \vec{F_N}, \vec{w}$ b. $F_N = 150$ N c. $F_r = 90$ N
29. $k = 0,5$ N/cm; $x = 9,8$ cm
30. $F_r = 2$ N
31. $F_r = 0,1$ N
32. $F_r = 17,2$ N
33. $F_N = 4,9$ N
34. $T_1 = 60,3$ N; $T_2 = 87,3$ N
35. $F_r = 9,8$ N
36. $w_A = 11,6$ N
37. a. $T_1 = 75,6$ N y $T_2 = 130,43$ N
    b. $T_1 = 86,6$ N y $T_2 = 173,2$ N
38. $F_3 = 9,2$ N, con un ángulo de 49,4° en dirección suroeste
39. Debe tener un ángulo de 25,1° en dirección sureste

Problemas de profundización

40. $k_2 = k_1/3$
41. El alargamiento sigue siendo el mismo
42. Actúan las fuerzas: normal, peso, rozamiento y elástica
43. $T_{1,2} = 4.000$ N
44. $T_1 = 3 \cdot m \cdot g$; $T_2 = 2 \cdot m \cdot g$; $T_3 = m \cdot g$

Tema 2. Ley fundamental de la dinámica - Segunda ley de Newton

Sentido común. Razona y explica

1 a 20. Respuesta libre

Problemas

21. $F = 98$ N
22. La aceleración se reduce a la mitad
23. $a = 40$ m/s^2 **24.** $F = 17,64$ N
25. $F = 3$ N **26.** $m = 0,24$ kg
27. $F_r = 8,3 \times 10^4$ N
28. $F_r = 0,54$ N **29.** $a = 1$ m/s^2
30. $F = 702$ N
31. a. $F = 160$ N b. $a = 850$ m/s^2
32. $a_{máx} = 13,75$ m/s^2
33. $F = 4,9$ N
34. $a = 20$ m/s^2 **35.** $F = 50.000$ N
36. $a = 4,17$ m/s^2; $t = 6$ s
37. El primer ciclista tiene mayor probabilidad de ganar
38. La aceleración aumenta en un 200%
39. $F = 14,1$ N **40.** $m = 5$ kg
41. $w = 4,5 \times 10^{-6}$ N **42.** $F = 1.561,5$ N
43. $a = 5$ m/s^2 **44.** $a = 7,06$ m/s^2
45. $F = 122,5$ N
46. a. $a = 1,36$ m/s^2 b. $a = 5,28$ m/s^2

Problemas de profundización

47. Soporta máximo 7 personas de 632,3 N de peso
48. a. $a = -1,125$ m/s^2 = 4,05 km/h^2
b. $t = 29,6$ s c. $d = 439,7$ m
49. $a = 161,2$ m/s^2; $d = 0,6$ m; $v = 10$ m/s
50. a. $a = 26,6$ m/s^2 b. $d = 851,6$ m
51. a. $a = 10,35$ m/s^2 b. $d = 6.339,4$ m
52. a. $F_N = 433$ N; $F_r = 250$ N; $\mu_r = 0,58$
b. $F_N = 433$ N; $F_r = 173,5$ N; $\mu_r = 0,4$
53. $F = 288,9$ N **54.** $F_{4m} = F/3$

Tema 3. Acción y reacción - Tercera ley de Newton

Sentido común. Razona y explica

1 a 19. Respuesta libre

Problemas

20. $F_{reacción} = 20$ N
21. $F_{reacción} = 15$ N
22. $F_{reacción} = 25$ N
23. a. Respuesta libre
b. Peso de 2 kg y superficie (normal) de $m_2 = 3$ kg;
Peso de 2 kg y 3 kg sobre la superficie (normal) de $m_3 = 4$ kg;
Peso de 2 kg, 3 kg y 4 kg sobre el piso (normal)
24. $F = 12$ N
25. $v = 6$ m/s
26. $v = -72$ m/s, hacia la izquierda
27. $F = 90$ N
28. a. $I = 10$ N · s b. $F = 1.111,1$ N
29. $v = -1$ m/s **30.** $\Delta p = 115, 2$ g · m/s

Problemas de profundización

31. $v = 2,15$ m/s, con un ángulo de 35,5° en dirección sureste
32. $v_3 = 19,1$ m/s
33. a. $v = 60$ m/s b. $d = 306,1$ m
34. $v = \dfrac{m + M}{m}\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

Unidad 5. El movimiento de rotación

Tema 1. Movimiento circular

Sentido común. Razona y explica

1 a 19. Respuesta libre

Problemas

20. a. $s = 31,4$ m b. $v = 2,1$ m/s
21. $v = 0,184$ m/s; $\omega = 0,52$ rad/s
22. $\omega = 0,036$ rad/s
23. $\omega = 3,5$ rad/s; $v = 2,8$ m/s
24. a. $v_T = 0,1$ m/s b. $a_c = 0,418$ m/s^2
25. a. $\omega = 0,08$ rad/s b. $v = 0,8$ m/s
26. a. $\omega = 1,3$ rad/s b. $v = 0,98$ m/s
c. $a_c = 1,28$ m/s^2
27. a. $f = 291,7$ s^{-1} b. $T = 3,4 \times 10^{-3}$ s
28. a. $T = 0,03$ s b. $\omega = 209,3$ rad/s
29. a. $T = 0,012$ s b. $\omega = 523,3$ rad/s
30. $t = 0,3$ s **31.** $v = 235,5$ m/s
32. $f = 0,31$ s^{-1}
33. a. $T = 0,27$ s b. $\omega = 22,86$ rad/s
34. a. $\omega = 1,57$ rad/s b. $v = 0,54$ m/s
35. $v = 465$ m/s; $a_c = 3,38 \times 10^{-2}$ m/s^2
36. a. $f = 2,5$ s^{-1} b. $T = 0,4$ s
37. $\omega = 23,15$ rad/s

38. Dos vueltas
39. a. $\omega = 2{,}1$ rad/s b. $a_c = 31{,}6$ m/s^2
40. *Tensión* $= 8{,}28$ N
41. $T = 0{,}22$ s; $f = 4{,}45$ s^{-1}; $\omega = 27{,}9$ rad/s; $v = 488{,}45$ m/s; $a_c = 136{,}32$ m/s^2
42. Da 79 vueltas
43. Da 6 vueltas

Problemas de profundización

44. $F = 10.825{,}8$ N
45. $F_c = 1{,}4 \times 10^{-4}$ N
46. a. $T = 60$ s; $f = 0{,}017$ s^{-1}
 b. $v = 1{,}67 \times 10^5$ m/s c. $\omega = 0{,}517$ rad/s
 d. $a_c = 1{,}74 \times 10^4$ m/s^2
47. $\theta = \tan^{-1}\left(\dfrac{v_T^2}{r \cdot g}\right)$
48. a. $\omega = 0{,}9$ rad/s b. $v = 4{,}5$ m/s
 c. *Tensión* $= 625{,}34$ N
49. *Tensión* $= 4\pi^2 \cdot (m_1 \cdot R_1 - m_2 \cdot R_2)$

Tema 2. La mecánica celeste

Sentido común. Razona y explica

1 al 15. Respuesta libre

Problemas

16. No es perceptible el cambio
17. a y b. Respuesta libre
18. $F = 6{,}8 \times 10^{-8}$ N
19. $r = 25.600$ km, con respecto al centro de la Tierra
20. Respuesta libre
21. $r = 0{,}49$ m
22. $F_g = 0{,}092$ N
23. a. $F_g = 1{,}35 \times 10^{-7}$ N
 b. $a = 0{,}75 \times 10^{-10}$ m/s^2
24. $F_g = 0{,}95 \times 10^{24}$ N
25. $F_g = 3 \times 10^{-7}$ N
26. La Tierra daría 249 vueltas

Problemas de profundización

27. a. 0,7% b. Pesaría lo mismo
28. $m = 9{,}4$ kg
29. $r = 3.828$ km
30. a. $g_{sol} = 274$ m/s^2 b. $w = 14.440$ N
31. $g_{planeta} = 19{,}6$ m/s^2
32. $m_{estrella} = 1{,}19 \times 10^{14}$ kg
33. a. $w = 112$ N b. $h = 15{,}1$ m
34. $F = 1.970$ N

Tema 3. Rotación de sólidos

Sentido común. Razona y explica

1 y 19. Respuesta libre

Problemas

20. $\tau = 3{,}75$ N · m
21. $\tau = 15$ N · m
22. $T_1 = 5{,}5$ N y $T_2 = 4{,}5$ N
23. $\tau = 0{,}16$ N · m
24. $d_3 = 13{,}34$ cm
25. $\tau = 1{,}5$ N · m
26. $d = 1{,}67$ m
27. $T = 49$ N
28. $\tau = 3{,}24$ N · m
29. $L = 28{,}26$ kg · m^2/s
30. a. $I_\perp = 432$ kg · m^2 b. $I_N = 864$ kg · m^2
31. $L = 84{,}78$ kg · m^2/s
32. $\tau_1 = 0$ N · m; $\tau_2 = -4{,}2$ N · m; $\tau_3 = -7{,}2$ N · m
33. Respuesta libre

Problemas de profundización

34. $F_1 = 349{,}67$ N y $F_2 = 94{,}73$ N
35. a. $\tau = 4{,}5$ N · m b. $\alpha = 16{,}7$ rad/s^2
 c. $a = 5$ m/s^2 d. $\theta = 225{,}45$ rad
 e. $l = 67{,}6$ m
36. $L = 76{,}3$ kg · m^2/s;
 $\tau = 5{,}1$ N · m
37. La rapidez angular aumenta
38. Respuesta libre
39. $\tau = 0{,}86$ N · m
40. $I = \dfrac{3 \cdot m \cdot L^2}{4}$

Unidad 6. La energía

Tema 1. Trabajo, energía y potencia

Sentido común. Razona y explica

1 a 19. Respuesta libre

Problemas

20. $W = 176{,}4$ J
21. $h = 23{,}2$ m
22. $W = 6.982{,}5$ J
23. $W = 307{,}05$ J
24. $W = 58{,}8$ J

25. $W = 3$ J
26. $m = 3{,}34$ kg
27. $W = 1.078$ J
28. $E_c = 347{,}8$ J
29. $E_c = 40$ J
30. $E_{pg} = 2.940$ J
31. $E_{pg} = 147$ J
32. $m = 0{,}4$ kg
33. a. $E_c = 5{,}67 \times 10^6$ J b. $E_p = 3{,}45 \times 10^7$ J
34. Se incrementa en 305.760 J
35. $P = 27{,}2$ W
36. a. $W = 29.400$ J b. $P = 5.880$ W
37. $P = 98{,}8$ W
38. a. $w = 245$ N b. W = 68.600 J
    c. $P = 32{,}6$ W
39. $W = 96.040$ J; $P = 4.802$ W
40. $46.632
41. a. $E_{olla} = 1{,}44 \times 10^6$ J,
    $E_{plancha} = 1{,}0 \times 10^7$ J,
    $E_{máquina} = 7{,}2 \times 10^3$ J,
    $E_{bombillos} = 3{,}46 \times 10^6$ J
    b. $E_{total} = 1{,}5 \times 10^7$ J
    c. El costo fue de $964,7

Problemas de profundización

42. a. $W = 0{,}4$ J b. $E = 0{,}4$ J
43. a. $W = 1{,}41 \times 10^6$ J
    b. $E = 1{,}41 \times 10^6$ J
44. $x = 0{,}52$ m
45. $W_{neto} = 27{,}9$ J
46. $W_1 = 674{,}73$ J; $W_2 = 0$ J
47. a. $W_F = 39$ J b. $W_{F_N} = 0$ J c. $W_{F_g} = 0$ J
    d. $W_{F_{neta}} = 39$ J
48. $W = 40$ J
49. a. $W = 8.750$ J b. $F_r = 175$ N

Tema 2. La conservación de la energía

Sentido común. Razona y explica

1 a 23. Respuesta libre

Problemas

24. $v = 241{,}2$ m/s
25. a. $h = 15{,}9$ m b. $E_c = 78{,}15$ J c. $E_p = 0$ J
26. a. $k = 3.529{,}4$ N/m b. $W = 51$ J
27. $k = 8.778{,}4$ N/m
28. $x = 0{,}20$ m
29. $x = 0{,}55$ m
30. a. $k = 150$ N/m b. $E_{pe} = 3$ J
31. $v = 6{,}45$ m/s
32. $x = 0{,}44$ m
33. a. $E_m = 780$ J b. $E_p = 780$ J
    c. $h_{máx} = 16{,}5$ m
34. $k = 1.341{,}7$ N/m
35. $x = 1$ m
36. $h = 1{,}6$ m

Problemas de profundización

37. $x = 0{,}12$ m
38. $F_r = 9.112{,}5$ N
39. $W = 838{,}9$ J
40. a. $E_m = 1.470$ J
    b. $E_c = 735$ J
    c. $v = 17{,}15$ m/s
41. a. $E_c = 4{,}02$ J b. $E_p = 4{,}02$ J
42. $v = 1{,}15$ m/s
43. $E = 38{,}6$ J; $F_r = 6{,}43$ N
44. $v = 62{,}6$ m/s

Unidad 7. Mecánica de fluidos

Tema 1. Fluidos en reposo

Sentido común. Razona y explica

1 a 19. Respuesta libre

Problemas

20. $V = 0{,}73$ cm^3
21. $V = 25{,}6$ cm^3
22. $\rho = 2{,}7 \times 10^{-3}$ g/cm^3
23. $m = 77{,}4$ kg
24. $m = 1{,}135$ kg
25. $m = 305{,}21$ g
26. $m = 2{,}38$ kg
27. $l = 13{,}5$ cm
28. $w = 150$ N
29. $F = 72$ N
30. $F = 375$ kg-f
31. $V = 100$ cm^3
32. $P = 4.531{,}52$ Pa
33. $\rho = 13{,}6$ g/cm^3
34. $h = 33$ m
35. $h = 47{,}4$ cm
36. $h = 217{,}6$ cm

© SANTILLANA

Problemas de profundización

37. Respuesta libre
38. Respuesta libre
39. a. P = 3.920 Pa b. P = 980 Pa
40. P = 1.960 Pa
41. a. P_{fondo} = 19.600 Pa b. Respuesta libre
42. a. P = 61.250 Pa b. P = 551.250 Pa
43. a. P = 2.110 Pa b. h = 0,08 m
44. h = 138 m
45. a. V = 27,52 cm^3 b. l = 1,72 cm
46. a. w = 2,56 N b. F_{empuje} = 0,33 N
    c. a = 8,54 m/s^2 d. t = 0,55 s
47. $h_{máx}$ = 82,7 m
48. h = 940 mm
49. a. Flotará el 20% del cubo
    b. Se hundirá el 26,8% del cubo
50. $w_{aparente}$ = 350 N; F_{empuje} = 150 N
51. a. $P_{cara\ superior}$ = 93.100 Pa
    b. $P_{cara\ inferior}$ = 107.800 Pa

Tema 2. Fluidos en movimiento

Sentido común. Razona y explica

1 a 26. Respuesta libre

Problemas

27. v = 9,9 m/s
28. v = 2,3 × 10^{-5} m/s
29. v = 5,43 m/s
30. t = 0,29 s
31. v = 1,4 m/s
32. h = 3,26 m
33. v = 4,85 m/s
34. v = 3,43 m/s
35. a. v = 3,43 m/s b. t = 13 min
36. a. r = 0,8 cm
    b. *caudal* = 1.406,72 cm^3/s
37. v = 149,3 m/s
38. a. v = 17,15 m/s
    b. *diámetro* = 4,8 cm
39. v = 7,84 m/s
40. t = 0,53 s
41. A = 6,67 cm^2
42. v = 1,97 cm/s
43. v = 70,8 cm/s
44. *gasto* = 0,133 m^3/s
45. Respuesta libre
46. v = 140 cm/s
47. t = 1,82 s
48. v = 0,58 m/s
49. a. v = 111,13 m/s
    b. *caudal* = 1,67 × 10^3 cm^3/s

Problemas de profundización

50. a. P = 1 atm b. v = 7,67 m/s
    c. x = 19,6 m d. t = 2,56 s
51. v = 1.856 cm/s
52. w = 19.700 N
53. P = 62.958,33 Pa

Unidad 8. Termodinámica

Tema 1. Calor y temperatura

Sentido común. Razona y explica

1 a 26. Respuesta libre

Problemas

27. T_C = 5,5 °C
28. T_F = 102,2 °F
29. a. T_K = 63 K b. T_F = −346 °F
30. T_C = 110 °C
31. c = 0,2 cal/g · °C
32. Q = 300.000 cal
33. Q = 1.367,4 cal
34. c = 0,22 cal/g · °C
35. c = 1 cal/g · °C
36. T_f = 65 °C
37. c = 0,1 cal/g · °C
38. c = 0,034 cal/g · °C
39. T_f = −0,44 °C
40. ΔL = 230,18 m
41. ΔV = 8,74 × 10^{-2} cm^3
42. c = 1,5 × 10^{-3} cal/g · °C
43. Q = 2.850 cal
44. c = 0,23 cal/g · °C
45. Q = 12.100 cal
46. m = 50,5 g
47. T_f = 63,3 °C
48. *diámetro* = 0,13 cm
49. m = 1,3 kg
50. Q = 33 cal
51. ΔL = 0,02 m
52. c = 0,17 cal/g · °C
53. ΔL = 9,2 × 10^{-4} m
54. ΔL = 8,00317 m

55. $\Delta V = 19\ cm^3$
56. $V = 200{,}25\ cm^3$
57. $Q = 4{,}68 \times 10^6$ cal

Problemas de profundización

58. $h = 186{,}7$ cm
59. a. $\Delta L = 3{,}84 \times 10^{-3}$ m
    b. $\Delta L = 0{,}011$ m
60. $h = 96{,}56$ cm
61. El diámetro cambiará en $1{,}35 \times 10^{-2}$ cm
62. Respuesta libre
63. a. $Q = 17.500$ cal
    b. Aumentaría solo 0,3 °C
64. $T = 45$ °C

Tema 2. Las fases de la materia

Sentido común. Razona y explica

1 a 21. Respuesta libre

Problemas

22. $Q = 9.382{,}2$ cal
23. $Q = 3{,}81 \times 10^{10}$ cal
24. $Q = 239.100$ cal
25. a. $Q = 2.718$ cal b. $Q = 19.200$ cal
26. $Q = 28.800$ cal
27. $Q = 1.080$ kcal
28. $Q = 833.520$ cal
29. $Q = 200.000$ cal
30. $Q = 4.800$ cal
31. $m = 662{,}5$ g
32. $Q = 37.800$ cal
33. $V = 75{,}08$ L
34. $V = 25\ cm^3$
35. $V = 20\ cm^3$
36. a. $V = 138$ L
    b. $n = 6{,}18$ moles;
    $N = 3{,}72 \times 10^{24}$ moléculas
37. a. $P = 135$ atm b. $n = 62{,}43$ moles
38. $\Delta V = 17{,}14$ L
39. $V = 15$ L
40. $\Delta V = 57{,}9\ m^3$
41. $\Delta V = 23{,}9$ L
42. $V = 50$ L
43. $V = 250$ g
44. $Q = 60.201{,}38$ cal
45. $Q = 2.122$ cal
46. $m = 2.700$ g
47. $P = 0{,}47$ Pa
48. $V = 4{,}21 \times 10^{-3}\ m^3$
49. $T = 264{,}14$ K
50. $V = 368$ L
51. $P_0 = 0{,}45$ atm

Problemas de profundización

52. $m = 1{,}06$ kg
53. $m = 173{,}6$ g
54. $h = 3{,}42$ km
55. La presión disminuye en 10^5 Pa
56. $P_f = 1{,}58 \cdot P_0$
57. $\Delta T = 1.272$ K
58. $n = 7{,}55 \times 10^{-3}$ moles
59. $T_3 = 1.500$ K
60. El volumen aumentó en 1,6%
61. $n = 5.226{,}5$ moles;
    $N = 3{,}15 \times 10^{27}$ moléculas

Tema 3. Las leyes de la termodinámica

Sentido común. Razona y explica

1 a 14. Respuesta libre

Problemas

15. $\Delta U = 1.993$ J
16. a. $W = 130.606{,}6$ J b. $Q = 640.000$ cal
    c. $\Delta U = 2{,}55 \times 10^6$ J
17. La energía interna se alteró en 72.059,2 J
18. $W = 405{,}3$ J
19. $\Delta U = 53.580$ J
20. $\Delta U = 1.900$ J
21. a. $W = 293$ J
    b. El rendimiento es del 54%
22. $\Delta U = -153$ J

Problemas de profundización

23. a. $T = 29{,}24$ °C b. $Q_{agua} = 84.800$ cal
    c. $Q_{hierro} = 84.800$ cal
24. $T = 236{,}5$ K
25. a. $Q_{absorbido} = 1.733{,}34$ cal
    b. $Q_{cedido} = 1.213{,}34$ cal
26. $T = 388$ K
27. $W = 1.127{,}74$ J
28. $T = 338{,}4$ K
29. a. $P_f = 12$ atm, si $T =$ constante
    b. $T_f = 273$ K c. $W = 25.969{,}34$ J
30. a. $W = 486{,}35$ J b. $\Delta U = 101{,}35$ J
31. $v = 352{,}9$ m/s
32. a. $Q = 187.950$ cal b. $t = 1{,}88$ h
    c. Estado líquido