

COORDINACIÓN EDUCATIVA Y CULTURAL CENTROAMERICANA
(CECC)

Física para Docentes de Educación Primaria



José Alberto Villalobos Morales



Colección Pedagógica Formación Inicial de
Docentes Centroamericanos de Educación
Primaria o Básica

VOLUMEN
31

COORDINACIÓN EDUCATIVA Y CULTURAL CENTROAMERICANA
(CECC)

Física para Docentes de Educación Primaria



José Alberto Villalobos Morales



Colección Pedagógica Formación Inicial de
Docentes Centroamericanos de Educación
Primaria o Básica

VOLUMEN
31

PRESENTACIÓN

En los últimos años, la Coordinación Educativa y Cultural Centroamericana (CECC) ha venido ejecutando importantes proyectos que, por su impacto y materia, han complementado los esfuerzos ministeriales por mejorar y modernizar la Educación. Los proyectos de más reciente aprobación, por parte del Consejo de Ministros, están direccionados a enfrentar graves problemas o grandes déficits de los sistemas educativos de nuestra región. Este es el caso del Proyecto "Apoyo al Mejoramiento de la Formación Inicial de Docentes de la Educación Primaria o Básica", cuyo desarrollo ha conducido a una exhaustiva revisión de los diversos aspectos relacionados con la formación de los maestros. Sus resultados son evidentes en cada país y con ello la CECC cumple su finalidad de servir cada vez mejor a los países miembros.

En este caso, ha de recordarse que este valioso proyecto es el producto de los estudios diagnósticos sobre la formación inicial de docentes ejecutados en cada una de las seis repúblicas centroamericanas en el año 1996, los cuales fueron financiados con fondos donados por el Gobierno de los Países Bajos. Entre las conclusiones y recomendaciones formuladas en el Seminario Centroamericano, una de las actividades finales del estudio indicado, el cual fue realizado en Tegucigalpa, Honduras, en setiembre de ese mismo año, los participantes coincidieron plenamente en poner especial atención a la formación de los formadores y en promover la "tercerización" de la formación de los maestros donde no existiere. También, hubo mayoría de opiniones sobre la necesidad de establecer perfiles del formador y de los maestros y respecto a la actualización de los respectivos planes de estudio. Por consiguiente, es apropiado afirmar que el contenido de este proyecto, orientado a mejorar la formación inicial de docentes, se sustenta en los seis informes diagnósticos nacionales y en el informe regional. Este último recoge los principales resultados del Seminario Regional.

Como consecuencia del trabajo previo, explicado anteriormente, y de las conversaciones sostenidas con los funcionarios de la Embajada Real sobre los alcances y el presupuesto posible para este proyecto, finalmente se aprobó y dio inicio al mismo en diciembre de 1999 con los siguientes programas:

- 1. Desarrollo del perfil marco centroamericano del docente de Educación Primaria o Básica para mejorar el currículo de formación inicial de docentes.** Con base en este perfil se construyeron los perfiles nacionales, los que sustentaron acciones de adecuación de los currículos de formación inicial de docentes en cada país.
- 2. Mejoramiento de la formación de formadores de docentes para la Educación Primaria o Básica.** Con el propósito de definir perfiles académicos de los formadores de docentes que den lugar a planes de estudio de grado y de postgrado.
- 3. Producción de recursos educativos para el mejoramiento del desarrollo del currículo de formación inicial de docentes de la Educación Primaria o Básica.** Dirigido a editar obras bibliográficas y a producir materiales interactivos que se empleen en las aulas de formación de maestros.
- 4. Innovaciones pedagógicas.** Consistente en poner en práctica y evaluar innovaciones pedagógicas en el campo de la formación inicial y en servicio de docentes.
- 5. Investigación Educativa.** Desarrollo de investigaciones sobre temas dentro de la formación inicial de los docentes del Nivel Primario.

Es oportuno destacar cómo la cooperación financiera y técnica del Gobierno de los Países Bajos, por medio de su Embajada Real en San José, Costa Rica, ha sido no solo útil a los Ministerios de Educación del Área, por centrarse en uno de los factores determinantes de la calidad de la Educación, sino también porque ha permitido, en dos momentos, completar una propuesta de trabajo que ha impactado y que ha abierto nuevas vertientes de análisis y reflexión de la formación inicial de docentes para la Educación Primaria.

Con esta Presentación se quiere exaltar la importancia y trascendencia del Programa 3, en el que se enmarca la elaboración de las obras bibliográficas, orientadas a solventar, en alguna medida, la falta de disponibilidad de textos referenciales de actualidad en el campo educativo, que contribuyan a elevar la calidad de la formación profesional de los maestros y la de sus formadores, donde ello sea una necesidad. Además, la colección que se pone en manos de quienes forman educadores para la Educación Primaria y de los estudiantes de pedagogía. Todo esto es producto del conocimiento y la experiencia de profesionales centroamericanos que han consagrado su vida a la Educación y al cultivo de los diversos saberes. Llegar a la definición de las obras y sus títulos fue un largo y cuidadoso proceso en el que intervinieron diversos profesionales de la región, de acuerdo con el concurso establecido y publicado para tales efectos.

Es importante apuntar que las obras que integran esta colección de valor incalculable, cubren los principales temas curriculares y técnico-pedagógicos que deben acompañar a un adecuado proceso de formación inicial de docentes. Por ello, van desde los temas fundamentales de Educación, el Currículo, Ejes Transversales, la Didáctica, la Evaluación, la Supervisión y Administración Educativa, hasta temas metodológicos y estratégicos específicos relacionados con el conocimiento teórico y con la enseñanza de la Ciencias Sociales, la Matemática, las Artes, el Lenguaje, las Ciencias Naturales y la Investigación Educativa. En su elaboración se siguió un proceso de amplia participación, dentro del cual se recurrió a jueces que analizaron las obras y emitieron sus comentarios y recomendaciones enriquecedoras en algunos casos y correctivas en otros. En este proceso, los Ministerios de Educación de la región tuvieron un papel fundamental al promover dicha participación.

Esta Secretaría General considera que la rica colección, por la diversidad temática, visión y actualidad, es un aporte sustantivo, muy visible, manejable y de larga duración, que el Gobierno de los Países Bajos, por medio de la CECC, le entrega gratuitamente a las instituciones formadoras de educadores y a las dependencias de los Ministerios de Educación, encargadas de este campo. Del buen uso que hagan formadores y formados del contenido de esta colección de obras, va a depender, en definitiva, que el esfuerzo de muchos profesionales, realizado en el marco de la CECC, genere los resultados, el impacto y las motivaciones humanas y profesionales de quienes tendrán en las aulas centroamericanas el mayor tesoro, la más grande riqueza, de nuestras naciones: las niñas y los niños que cursan y cursarán la Educación Primaria. El aporte es objetivo. Su buen uso dependerá de quienes tendrán acceso a la colección. Los resultados finales se verán en el tiempo.

Finalmente, al expresar su complacencia por la entrega a las autoridades de Educación y al Magisterio Centroamericano de obras tan valiosas y estimulantes, la Secretaría General resalta la importancia de las alianzas estratégicas que ha logrado establecer la CECC, con países y agencias cooperantes con el único espíritu de servir a los países del Área y de ayudar a impulsar el mejoramiento de la Educación en los países centroamericanos. En esta ocasión la feliz alianza se materializó gracias a la reconocida y solidaria vocación de cooperación internacional del Gobierno de los Países Bajos y, particularmente, a los funcionarios de la Embajada Real, quienes con su apertura, sensibilidad y claridad de sus funciones hicieron posible que la CECC pudiese concluir con tanto éxito un proyecto que nos deja grandes y concretas respuestas a problemas nuestros en la formación de maestros, muchas enseñanzas y deseos de continuar trabajando en una de las materias determinantes para el mejoramiento de la calidad de la Educación.



MARVIN HERRERA ARAYA
Secretario General de la CECC

FÍSICA PARA DOCENTES DE EDUCACIÓN PRIMARIA

CONTENIDO

CAPÍTULO I. CANTIDADES FUNDAMENTALES	3
La unidad de longitud: el metro (m)	3
La unidad de tiempo: el segundo (s)	4
La unidad de masa: el kilogramo (kg)	4
Sistema Internacional de Unidades (SI)	5
Las unidades suplementarias del SI	6
Las mediciones	7
Las cantidades derivadas	8
Conversiones de unidades	8
Ejercicios y actividades de laboratorio	10
Referencias	11
 CAPÍTULO II. MOVIMIENTO	 13
La posición de un cuerpo	14
Movimiento y velocidad	14
Movimiento y aceleración	15
Movimiento uniformemente acelerado	16
Caída libre de los cuerpos	19
Movimiento circular	20
Ejercicios y actividades de laboratorio	23
Referencias	24

CAPÍTULO III. FUERZAS EN LA NATURALEZA	25
Características de las fuerzas	26
Primera ley de Newton	27
Segunda ley de Newton	27
La unidad de fuerza: el newton (N)	28
Tercera ley de Newton	29
Peso y masa	31
La fuerza de rozamiento	32
Fuerza elástica	33
Gravitación universal	34
Ejercicios y actividades de laboratorio	37
Referencias	38
 CAPÍTULO IV. CANTIDADES VECTORIALES	 39
Escalares y vectores	39
Representación gráfica de vectores	39
Suma y resta de vectores	40
Ímpetu y su conservación	42
Colisiones de dos partículas	43
Ejercicios y actividades de laboratorio	46
Referencias	46
 CAPÍTULO V. ENERGÍA Y SU CONSERVACIÓN	 47
Trabajo	47
La unidad de trabajo: el joule (J)	48
Trabajo y energía cinética	49
Potencia	51
Energía potencial	52
Conservación de la energía mecánica	53
Energía potencial elástica	54
Ejercicios y actividades de laboratorio	57
Referencias	58

CAPÍTULO VI. FLUIDOS	59
Densidad	59
Presión	60
Presión hidrostática	61
Manómetros	63
Presión atmosférica y barómetros	64
Principio de Arquímedes	66
Flotación	68
Líquidos en movimiento	69
Ecuación de continuidad	70
Ecuación de Bernoulli	71
Ejercicios y actividades de laboratorio	73
Referencias	74
CAPÍTULO VII. CALOR Y TEMPERATURA	75
Energía interna	75
Calor	77
Transmisión del calor	77
Temperatura	77
La escala Celsius	78
La escala Kelvin	79
Calor específico	80
Calorimetría	81
Calor de fusión y de vaporización	82
Ejercicios y actividades de laboratorio	83
Referencias	83
CAPÍTULO VIII. ONDAS Y SONIDO	85
Ondas mecánicas	85
Tipos de ondas	86
Amplitud y longitud de onda	87
Frecuencia y velocidad de propagación	88

Sonido y su propagación	89
Intensidad tono y timbre	90
Efecto Doppler	91
Ejercicios y actividades de laboratorio	93
Referencias	94
 CAPÍTULO IX. ELECTROMAGNETISMO	 95
Estructura atómica	95
Carga eléctrica	96
Corriente eléctrica	96
Conductores y aisladores	98
Diferencia de potencial o voltaje	98
Resistencia eléctrica	99
Potencia eléctrica	100
Efecto térmico de la corriente	101
Efecto magnético de la corriente	102
Pilas y baterías	103
Circuitos eléctricos	104
Resolución de circuitos simples	104
Aparatos eléctricos en el hogar	109
Bombillos y fluorescentes	110
Ejercicios y actividades de laboratorio	111
Referencias	112
 CAPÍTULO X. ÓPTICA GEOMÉTRICA	 113
Fuentes y rayos luminosos	113
Naturaleza y propagación de la luz	114
Reflexión de la luz	114
Refracción de la luz	115
Espejos, prismas y lentes	118
Ejercicios y actividades de laboratorio	122
Referencias	123

INTRODUCCIÓN

Este libro de texto está diseñado para proveer al estudiante que intenta ser educador de enseñanza primaria, con los conocimientos básicos mínimos de Física, para que pueda desenvolverse con capacidad cuando realice su trabajo como docente, en la disciplina más amplia que normalmente denominamos ciencias.

También le puede servir como referencia para atender las consultas que inevitablemente le harán los estudiantes interesados en ampliar conocimientos, aunque el programa de estudios desarrollado en la institución no los abarque, o sea menos ambicioso.

Referencias para ampliar conocimientos, conceptos y habilidades en el campo de la Física, se encuentran al final de cada capítulo (ligas a la Internet), más una bibliografía general en la página 119.

Se ha partido del supuesto de que el curso se imparte a nivel universitario básico, o su equivalente, pero en todo caso, después de haber concluido el ciclo de Enseñanza Media.

Por tal motivo se presuponen conocimientos satisfactorios de aritmética, álgebra, geometría y trigonometría elemental. El manejo apropiado de notación científica y de calculadoras le será de gran ayuda.

Los supuestos conocimientos de Física son al menos semejantes a los que tendrá que enseñar como docente en el curso de ciencias de primaria, y como máximo, lo que acaba de recibir en su clase de Física de Enseñanza Media.

Ninguna institución educativa de prestigio tomará como punto de partida para sus cursos, que sus estudiantes no conservan un dominio aceptable sobre lo que estudiado en las asignaturas previas. Si así lo hace estaría fomentando el estancamiento de sus estudiantes, no favorecerá su desarrollo y progreso y los hará cada vez más dependientes.

Por eso usted encontrará que el planteamiento de los conceptos, el desarrollo de los ejemplos y el planteo de los ejercicios en este libro, supone un conocimiento mínimo aceptable, el que se espera de una persona que se desempeñe apropiada y eficientemente en la sociedad.

No se desespere si encuentra algo totalmente desconocido, tanto en la parte conceptual, como en la resolución de problemas. Eso es bueno, porque entonces usted va a lograr un aprendizaje de algo nuevo. Si lo toma con calma, buena voluntad e interés, seguro que podrá dar respuesta a la mayoría de los problemas que encuentre en su vida. Solicite ayuda solo cuando esta sea realmente indispensable, encontrará que esta es una excelente manera para crecer como ser humano, en todos sus aspectos.

Atentamente,

José Alberto Villalobos Morales

Zapote, San José, Costa Rica, 1 de febrero de 2003

javillalobos@racsa.co.cr

<http://www.geocities.com/astrovilla2000>

CAPÍTULO I

CANTIDADES FUNDAMENTALES

En cualquier disciplina científica que usted se imagine, tal como la Astronomía, la Biología, la Física, la Geología o la Química, lo mismo que en las actividades tecnológicas y en casi cualquier actividad humana, es necesario manipular cantidades físicas, realizar mediciones, estimaciones y cálculos. Por ese motivo la comunidad científica, de común acuerdo, ha llegado a establecer el Sistema Internacional de Unidades (SI), constituido por siete unidades básicas y dos suplementarias, con las cuales se puede expresar cualquier cantidad física que encontremos en el estudio de las ciencias y las actividades tecnológicas.

Las definiciones de esas cantidades fundamentales o básicas se dan a continuación y comenzaremos por las tres de uso más común, con las que usted posiblemente haya tenido que trabajar.

LA UNIDAD DE LONGITUD: EL METRO (m)

Para medir la distancia en línea recta de un punto a otro (por ejemplo, de su casa a la institución donde estudia) se definió la unidad de longitud denominada metro, que representamos con el símbolo m (no es permitido usar ms o mts).

El metro se determinó originalmente para representar una distancia relacionada con la Tierra, de tal manera que el metro patrón se consideraba una diezmillonésima parte de un cuadrante de meridiano terrestre (desde el polo hasta el ecuador). Se hicieron unas cuantas mediciones (evidentemente no de todo el cuadrante), se realizaron algunas estimaciones y se produjo un metro patrón de un material que sufre cambios mínimos cuando varía la temperatura. Este patrón se guarda en la Oficina de Pesos y Medidas en París, Francia. Posteriores avances de la ciencia y la tecnología han permitido redefinir el metro en términos de cantidades atómicas, que son más exactas y prácticamente imperecederas.

Un múltiplo muy usado del metro es el kilómetro (**km**), equivalente a mil metros, el cual se usa mucho para indicar distancia a lo largo de carreteras. Actualmente tiende a desaparecer el uso del decámetro (10 m) y el hectómetro (100 m), ya que mediciones como 4 decámetros o 3 hectómetros, se expresan fácilmente como 40 m y 0,3 km, respectivamente.

Los submúltiplos del metro, como el milímetro (**mm**), el centímetro (**cm**) y el decímetro (**dm**) son muy usados en actividades cotidianas. Sin embargo, en los diferentes campos de la ciencia moderna, a veces se requiere de submúltiplos mucho más pequeños como el micrómetro (**μm**) y el nanómetro (**nm**), cuyas equivalencias son las siguientes:

$$1 \text{ m} = 1.000.000 \text{ } \mu\text{m} = 10^6 \text{ m}$$
$$1 \text{ m} = 1.000.000.000 \text{ nm} = 10^9 \text{ nm}$$

LA UNIDAD DE TIEMPO: EL SEGUNDO (s)

En la naturaleza los acontecimientos parecen ocurrir en una cierta dirección o sentido, por ejemplo, un ser vivo nace, crece, envejece y muere. El Sol sale por el Este alrededor de las 6 a. m., sube hasta su punto más alto cerca de las doce y se oculta por el Oeste alrededor de las 6 p. m. Nunca vemos, por así decirlo, la película de la naturaleza proyectada en sentido opuesto; el progreso de los fenómenos naturales está marcado por la flecha del tiempo y viceversa.

Para medir el tiempo siempre nos hemos basado en el movimiento, es decir, en un conjunto de fenómenos naturales que se repiten con mucha regularidad. Lo que esperamos, entre dos repeticiones sucesivas, es lo que llamamos una unidad de tiempo. Así, el tiempo entre dos salidas consecutivas del Sol es un día y el tiempo que tarda el Sol en regresar al mismo punto, con respecto a las estrellas de fondo, es un año.

El segundo es la unidad de tiempo en el Sistema Internacional de Unidades y se definió originalmente como una cierta parte del período de rotación de la Tierra sobre su propio eje (un día). Sin embargo, tecnología moderna y métodos más precisos han permitido determinar el segundo en términos de variables atómicas más exactas y precisas.

El símbolo para el segundo es s (no debemos usar seg o segs).

Para todos los procesos cotidianos podemos considerar que:

1 minuto = 60 segundos

1 hora = 60 minutos = 3.600 s

1 día = 24 horas = 86.400 s

Los astrónomos han encontrado que la rotación de la Tierra no tarda exactamente 24 horas y que su revolución requiere 365 días, 5 horas, 48 minutos y 46 segundos, pero esos datos corresponden a mediciones posteriores que no afectan la definición de la unidad de tiempo.

Los tiempos muy cortos, como milésimas y millonésimas de segundo, se expresan por medio de los respectivos submúltiplos: el milisegundo (**ms**) y el microsegundo (**μs**).

*¿Sabe usted cuánto es un nanosegundo (**ns**)?. Averigüelo.*

LA UNIDAD DE MASA: EL KILOGRAMO (kg)

La masa es una medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo y su unidad dentro del Sistema Internacional de Unidades es el kilogramo (**kg**). No se debe usar kgr ni kgs.

En el lenguaje cotidiano ocurre una ambigüedad entre los conceptos de masa y de peso y sus respectivas unidades. La masa, al representar la cantidad de materia de un cuerpo, es una constante, independiente del lugar del espacio donde el cuerpo esté. Por el contrario, el peso es la fuerza de atracción gravitatoria ejercida sobre el cuerpo por la Tierra, o por el planeta o satélite donde se encuentre. El peso depende entonces del lugar donde esté el cuerpo, mientras que la masa no.

La situación se vuelve un tanto compleja porque usamos (en el lenguaje cotidiano) la misma palabra (kilogramo) para la unidad de masa y para la unidad de peso, pero con significado diferente.

Por ejemplo, si decimos que la masa de un cuerpo es 20 kilogramos, nos referimos a su cantidad de materia, pero si decimos que el peso del cuerpo es 20 kg, seguramente nos referimos a la fuerza con que la Tierra lo atrae. Algunas personas prefieren decir, en este último caso, que el peso es 20 kilogramos fuerza (20 kgf), interpretando un kilogramo fuerza como el peso, en la Tierra, de un cuerpo de un kilogramo de masa.

Para determinar tanto el peso como la masa de un cuerpo, lo colocamos en una balanza. En realidad la balanza es un aparato diseñado para comparar fuerzas, pero como la masa y el peso en un mismo lugar están ligados por una ecuación simple, la balanza puede darnos tanto la masa (en kilogramos) como el peso (en kilogramos fuerza u otra unidad), lo único que se requiere es un cambio en su carátula o escala.

El peso de un cuerpo se determina multiplicando el valor de su masa (**m**) en kilogramos por el campo gravitatorio terrestre (**g**), que en promedio tiene una magnitud de 9,8 newton/ kilogramo.

$$\text{peso} = m g \quad (1.1)$$

Esta es una de las razones por las cuales los científicos expresan el peso en newton (**N**), para colaborar con la distinción entre masa y peso, usando unidades diferentes. La otra es, que el kilogramo fuerza (**kgf**) no forma parte del Sistema Internacional de Unidades, mientras que el newton (**N**) es la unidad oficial para expresar fuerza (o peso).

Un cuerpo con una masa de 1 kg es atraído hacia el centro de la Tierra con una fuerza de 9,8 newton, es decir, su peso es 9,8 N. Podemos ver entonces que el kgf al cual nos referimos (tal vez sin pensarlo) al decir "peso tantos kilos", en realidad equivale a 9,8 newton.

El kilogramo se definió originalmente como la masa de 1 decímetro cúbico (1 litro) de agua destilada bajo ciertas condiciones de presión atmosférica y temperatura ambiente. Con base en esto, se fabricó un cilindro prototipo de platino e iridio que se guarda en la Oficina de Pesos y Medidas de París, el cual es considerado el kilogramo patrón, del que se hacen copias para todos los países.

Algunos submúltiplos del kilogramo de uso frecuente son: el gramo y el miligramo.

$$1 \text{ kilogramo} = 1.000 \text{ gramos} = 10^3 \text{g}$$

$$1 \text{ gramo} = 1.000 \text{ miligramos} = 10^{-3} \text{g}$$

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

A finales de junio de 1799 se construyeron en París, Francia, dos patrones de medidas: uno para longitud (el metro) y otro para masa, (el kilogramo). Este hecho puede considerarse como el inicio de un sistema de medidas de uso internacional.

Los esfuerzos unificadores de destacados científicos produjeron en 1960 el establecimiento del Sistema Internacional de Unidades (SI en todos los idiomas), con siete unidades fundamentales y dos suplementarias, para medir cantidades físicas independientes, es decir, que no pueden ser expresadas una en términos de las otras. Todas las demás unidades son derivadas, porque se pueden expresar en términos de las nueve básicas.

El kelvin (K) es la unidad de temperatura en el SI y se definió en términos de las condiciones en las cuales el agua pura coexiste en sus tres fases (sólida, líquida y gaseosa). Una temperatura muy cercana a la que se funde el hielo a presión atmosférica. El tamaño de 1 kelvin es igual al tamaño de 1 grado en la escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$), de uso muy generalizado; sin embargo, como estas dos escalas de temperatura no empiezan desde el mismo punto, se utiliza la siguiente igualdad para pasar valores de una temperatura a la otra:

$$T (\text{en K}) = T (\text{en } ^{\circ}\text{C}) + 273,15 \quad (1.2)$$

Las otras tres unidades básicas: mole, amperio y candela, posiblemente comiencen a aparecer en sus estudios a medida que usted entre en contacto con campos de la ciencia como la Química, el Electromagnetismo y la Óptica, y dejaremos su análisis para el momento oportuno.

LAS 7 UNIDADES BÁSICAS DEL SI		
Especie física	Unidad	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tempo	Segundo	s
Temperatura	Kelvin	K
Corriente eléctrica	Amperio	A
Intensidad luminosa	Candela	cd
Cantidad de sustancia	Mole	mol

LAS UNIDADES SUPLEMENTARIAS DEL SI

Las siete unidades citadas arriba nos permiten trabajar en cualquier campo de la ciencia y de la tecnología, siempre que no sea necesario utilizar ángulos. Ni ángulos planos (como el que dibujamos en el cuaderno cuando interceptamos dos rectas o el que se forma en el interior de un cono), ni sólidos (como el que forman dos paredes de una habitación y el piso).

Seguro que si usted tiene buena práctica con un transportador para medir ángulos planos en grados, sabe que un ángulo recto mide 90° , un ángulo plano 180° y un ángulo de vuelta entera 360° . Sin embargo, es más útil para la ciencia medir los ángulos planos en la unidad denominada radián (**rad**).

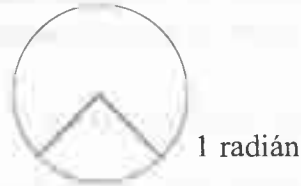
El radián se define como el ángulo en el centro de un círculo, delimitado por dos radios y de tal manera que el arco menor entre los dos radios tiene una longitud también igual a la de un radio. Ese es el motivo por el cual la longitud de una circunferencia de radio R se calcula por medio de la fórmula:

$$C = 2 \pi R$$

Los matemáticos han demostrado que el radio de un círculo cabe 2π veces en la circunferencia. El símbolo griego π (léase pi) es una constante cuyo valor con dos decimales es 3,14. Sin embargo, las calculadoras de bolsillo le muestran en pantalla el valor de π hasta con 10 decimales.

Para expresar en radianes cualquier ángulo que se ha medido en grados, es necesario realizar una conversión de unidades, tomando en cuenta que:

$$1 \text{ radián} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,29578$$



Posiblemente usted nunca tenga que trabajar con ángulos sólidos y sus unidades (estereorradianes), así que sólo le daremos una referencia al final del capítulo.

LAS MEDICIONES

Una medición es el resultado numérico (cuantitativo) de comparar una cantidad física con otra de la misma especie, que se ha tomado como patrón o unidad de medida.

Por ejemplo, si quiere saber cuántos metros de largo mide el salón de clase, puede usar una regla de 1 metro (la unidad o patrón) o una cinta flexible de varios metros y comparar cuántas veces cabe ese patrón de longitud en el largo del aula, tomando en cuenta posibles fracciones por medio de los submúltiplos, en los que deberá estar graduada la regla.

El proceso de comparación debe hacerse con cuidado para no cometer errores, por ejemplo, no traslapar las comparaciones, ni dejar espacios y, sobre todo, leer y anotar correctamente las divisiones de la escala, lo cual requiere concentración y práctica.

Si el instrumento de medición es más complejo que una simple regla, como un cronómetro para medir tiempo o una balanza de precisión para medir masa, debe conocerlo bien, saber cómo se usa, interpretar correctamente sus escalas y darle mantenimiento para evitar que sufra problemas de calibración; por ejemplo, que el cronómetro adelante varios segundos cada hora, que le falten unos milímetros a la regla, o que la balanza no indique cero cuando no hay ningún objeto en su plato.

Los instrumentos digitales como cronómetros, balanzas, termómetros y otros realizan la comparación internamente y lo único que debemos hacer es leer la medición y, desde luego, mantenerlos bien calibrados.

Las mediciones siempre se expresan con un número seguido por las unidades correspondientes con su nombre completo, o preferentemente su símbolo, por ejemplo:

• Altura de una pared de la casa:	2,2 metros	2,2 m
• Tiempo para leer esta página:	48 segundos	48 s
• Masa de este libro:	57,3 gramos	57,3 g
• Rapidez de una hormiga:	1,6 centímetros por segundo	1,6 cm/s
• Capacidad de una caja de leche:	1,0 litros	1,0 L
• Temperatura ambiente	22,8 grados Celsius	22,8 °C
• Densidad del agua	1.000 kilogramos por metro cúbico	1 000 kg/m ³

Las mediciones son muy importantes para la ciencia, la tecnología, la industria, la construcción y para muchas otras actividades de los seres humanos. Mientras no se mida lo que se fabrica, construya o investiga, no se tiene un buen conocimiento de lo que se hace.

LAS CANTIDADES DERIVADAS

A medida que avancemos en este curso de Física, encontraremos muchas cantidades que se definen como combinaciones de las nueve básicas.

En el cuadro anterior citamos tres que posiblemente usted conoce: la capacidad de un recipiente, es decir, el volumen de un líquido por ejemplo, que podría caber dentro del recipiente. También está la rapidez o magnitud de la velocidad de un objeto en movimiento y, finalmente, la densidad de un cuerpo, es decir, su masa por unidad de volumen.

Todas las anteriores son cantidades derivadas porque se expresan en términos de las nueve unidades básicas, por medio de relaciones matemáticas simples.

El área de una superficie se puede definir como la cantidad de metros cuadrados (m^2) que mide y, generalmente, se determina por alguna fórmula de cálculo que toma en cuenta mediciones de longitud.

Una definición correspondiente se utiliza para el volumen de un cuerpo y su magnitud se puede expresar en el SI como un cierto número de metros cúbicos (m^3), resultado de operaciones matemáticas con mediciones de largo, ancho, alto o espesor del cuerpo.

En el cálculo de áreas y volúmenes, debe cuidarse que en la fórmula matemática empleada —por ejemplo, $\text{base} \times \text{altura} / 2$, para el área de un triángulo, o $\pi R^2 h$, para el volumen de un cilindro de radio R y altura h — las cantidades estén expresadas en el mismo tipo de unidades, para obtener resultados congruentes.

Recuerde además, que el volumen de líquidos puede medirse fácilmente usando una probeta, que es simplemente un cilindro graduado que permite realizar una medición directa por medio de una comparación, sin tener que recurrir a cálculos matemáticos.

En el caso de cantidades derivadas, definidas en términos de dos o más cantidades básicas, tal como la velocidad, la aceleración o la densidad de un cuerpo, se debe emplear las unidades que se usan con mayor frecuencia, o las que el problema específico solicite, realizando conversiones si es necesario.

CONVERSIONES DE UNIDADES

Si usted necesita realizar **conversiones** de cantidades físicas fundamentales o derivadas, por ejemplo, de gramos a kilogramos o de kilómetros por hora a metros por segundo, debe conocer los factores de conversión necesarios y realizar algunas operaciones matemáticas que involucren simples multiplicaciones y divisiones. Para ello es conveniente que conozca y maneje el significado de algunos **prefijos** del Sistema Internacional, y que sea capaz de realizar operaciones usando notación científica, para lo cual las calculadoras de bolsillo son muy útiles.

Es posible que también deba realizar conversiones entre unidades del SI y unidades que no pertenecen al sistema, como pies, millas por hora, o libras. En estos casos necesita consultar los factores de conversión, en un libro que maneje este tipo de unidades.

ALGUNOS PREFIJOS DEL SI			
Prefijo	Símbolo	Significado	Equivalencia en notación científica
nano	n	mil millonésima parte	10^{-9}
micro	μ	millonésima parte	10^{-6}
mili	m	milésima parte	10^{-3}
centi	c	centésima parte	10^{-2}
deci	d	décima parte	10^{-1}
kilo	k	mil	10^3
mega	M	millón	10^6
giga	G	mil millones	10^9

EJEMPLO 1.1.

Realice las siguientes conversiones: a) 4,25 kg a g; b) 120 km/h a m/s; c) una densidad de 3,2 g/cm³ a kg/m³; d) una velocidad de 70 millas por hora a kilómetros por hora y a e) metros por segundo.

Resolución:

$$a) \ 4,25 \text{ kg} = (4,25 \text{ kg}) \left(\frac{1000\text{g}}{1\text{kg}} \right) = 4250\text{g}$$

$$b) \ 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \left(120 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \right) \left(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \right) = 33\text{m/s}$$

$$c) \ 3,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \left(3,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1\,000 \text{ g}} \right) \left(\frac{10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 3200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$d) \ 70 \frac{\text{millas}}{\text{hora}} = \left(\frac{70 \text{ millas}}{\text{hora}} \right) \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right) = 112,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$e) \ 70 \frac{\text{millas}}{\text{hora}} = \left(70 \frac{\text{millas}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1609 \text{ m}}{1 \text{ milla}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 31,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. Consiga una roca pequeña y determine su masa (en gramos) usando una balanza. Use una probeta para medir su volumen en cm^3 (método del desplazamiento de líquido). Calcule la densidad de la roca en g/cm^3 .
2. Obtenga un bloque de madera (prisma recto). Mida con una regla, cuya menor división sea un milímetro, el largo, el ancho y el alto del bloque. Determine la masa en gramos usando una balanza. Calcule:
 - a) el área de todas las caras,
 - b) el volumen y
 - c) la densidad en g/cm^3 del bloque de madera.
3. Consiga un cronómetro o un reloj con segundero para medir el tiempo que tarda cada una de las siguientes actividades:
 - a) leer esta página,
 - b) lo que tarda en oscilar (ir de un lado a otro y regresar) una pequeña roca atada en el extremo de un hilo de 1 m de largo y
 - c) el número de pulsaciones de su corazón en 1 minuto.
4. Consiga un termómetro (de mercurio en vidrio) con capacidad para medir temperaturas menores que 0°C y mayores que 100°C . Úselo con cuidado para medir la temperatura de:
 - a) el aire ambiente,
 - b) el agua que sale de la llave,
 - c) el agua hirviendo,
 - d) una mezcla de hielo con agua,
 - e) debajo de su lengua. Luego exprese todas estas temperaturas en kelvin.
5. Dibuje **sin usar transportador** un ángulo que mida 1 radián.
6. Investigue el significado y la unidad respectiva en el SI de cada una de las siguientes cantidades fundamentales:
 - a) corriente eléctrica,
 - b) cantidad de sustancia.
7. Exprese cada una de las siguientes cantidades en metros; primero con valores decimales, luego en notación científica:
 - a) 75 nm,
 - b) 0,48 mm,
 - c) 33 mm,
 - d) 785 km,
 - e) 0,79 Mm,
 - f) 503 Gm.

8. Calcule el área y el perímetro de un trapecio, como el que muestra la figura, que tiene las siguientes características: base mayor 734 mm, base menor 22,4 cm, altura 0,310 m.



9. Mida las dimensiones del trapecio de la figura y calcule su área y perímetro.
10. Realice las siguientes conversiones:
- 753 milímetros a metros.
 - 0,984 metros a milímetros.
 - 200 miligramos a kilogramos.
 - 0,453 kilogramos a gramos.
 - 0,314 segundos a milisegundos.
11. Convierta:
- 17.387 metros a kilómetros.
 - 45.840 segundos a horas.
 - 3.475 gramos a kilogramos.
 - 50 metros por segundo a kilómetros por hora.
12. Conociendo que: 1 galón = 4,546 litros; 1 libra = 0,4536 kg; 1 pulgada = 2,54 cm, haga las siguientes conversiones:
- 25 galones a litros.
 - 3,3 libras a kilogramos.
 - 50 pulgadas a metros.
 - 40 kilogramos a libras.
 - 25 centímetros por segundo a pulgadas por minuto.

REFERENCIAS

Sistema Internacional de Unidades

<http://redquimica.pquim.unam.mx/fqt/cyd/glinda/Sistema1.htm>

<http://edison.upc.es/units/SIcas.html-ssi>

Notación científica:

http://www.visionlearning.com/biblioteca_espanol/ciencia/general/SCI1.3s-medida.htm

Tabla de conversiones:

<http://caos.eis.uva.es/conversor/conversion.htm>

CAPÍTULO II

MOVIMIENTO

En la naturaleza, prácticamente todo está en movimiento, desde las microscópicas partículas que forman los átomos, hasta los grandes conglomerados de galaxias.

Encontramos movimientos que nos parecen muy lentos como el de una tortuga, rápidos como los del guepardo, muy veloces como los de un meteoro que vemos cruzando la esfera celeste en una noche despejada o extraordinariamente veloces como el de un fotón en un rayo luminoso, que se mueve nada menos que a 300.000 kilómetros por segundo.

Estime ¿cuánto tiempo tardaría en viajar la luz de Panamá a Guatemala?

Intuitivamente, consideramos que cualquier movimiento ocurre mientras transcurre el **tiempo**. Si de alguna manera congeláramos ese tiempo, también cesaría el movimiento.

Por esa asociación íntima entre tiempo y movimiento es que diseñamos aparatos para medir tiempo (relojes y cronómetros) por medio del **movimiento** de fenómenos repetitivos, como los de un péndulo, el movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra, o el movimiento que realiza la Luna en un mes alrededor de nuestro planeta.

Usted habrá identificado movimientos simples, como podría ser el que realiza un automóvil que se mueve por una avenida rectilínea de una de nuestras ciudades, manteniendo fijo el número de kilómetros por hora. Ese es un **movimiento rectilíneo uniforme** o rectilíneo con velocidad constante.

Cuando usted deja caer un objeto que sostenía en su mano, una pequeña bola por ejemplo, el movimiento es rectilíneo, pero si le presta atención y lo analiza, encontrará que la bola cada vez se mueve más rápido. En este caso se trata de un movimiento rectilíneo acelerado, porque decimos que hay aceleración cuando la rapidez de un movimiento cambia.

Las aspas de un ventilador y un disco compacto realizan un **movimiento circular**, pero los planetas alrededor de una estrella se mueven en órbitas que son elipses, como lo demostró el astrónomo Johannes Kepler (1571-1630).

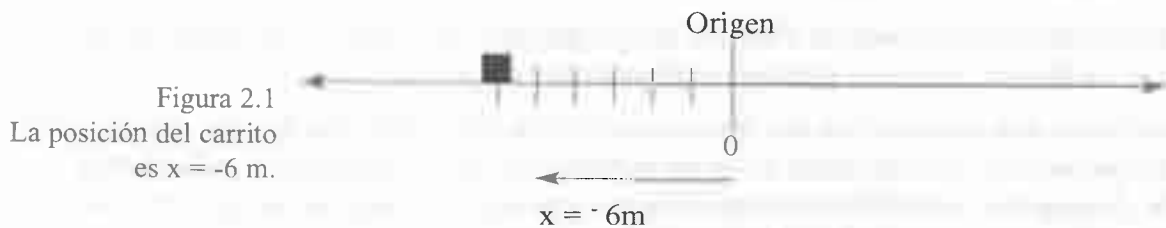
¿Cómo describiría usted el movimiento que realiza una bola de fútbol en el saque de un portero, o el que toma una bola de béisbol en un home run?

Concluimos estableciendo que el movimiento es el cambio de posición de un cuerpo mientras transcurre el tiempo; por eso, para describir movimientos, necesitamos medir posiciones, desplazamientos, distancias, tiempos, velocidades y aceleraciones y eso es lo que haremos en este capítulo.

POSICIÓN DE UN CUERPO

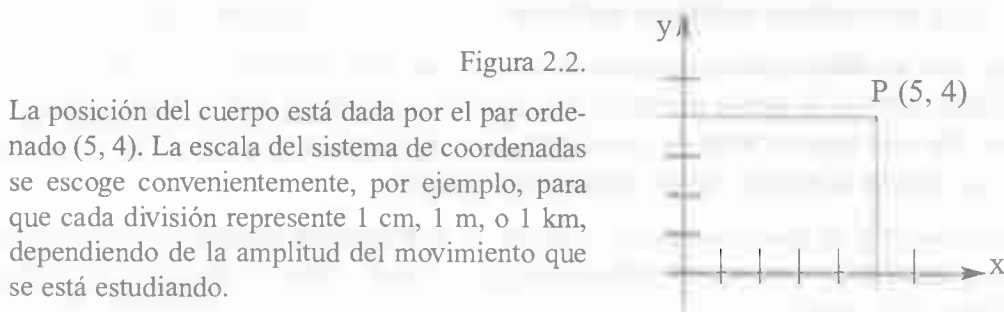
Si queremos saber dónde se encuentra un cuerpo, debemos especificar de manera inequívoca su posición en el espacio. Eso lo podemos hacer estableciendo de manera arbitraria y conveniente un punto fijo que se llama origen, además de un sistema eficiente para establecer posiciones a partir de él.

Si los movimientos que vamos a estudiar, son únicamente a lo largo de una línea recta (unidimensionales), nos basta con una recta numérica centrada en el origen (punto cero) y extendida en ambas direcciones, con valores positivos hacia la derecha y valores negativos hacia la izquierda.



Ahora bien, si el movimiento ocurre en tres dimensiones, como lo haría un avión que sale de la pista del aeropuerto con rumbo hacia el Noreste, luego se eleva, da una vuelta hacia el Sudoeste y finalmente aterriza en otro aeropuerto, se necesitan métodos más complejos para estudiarlo tales como, un sistema de coordenadas cartesianas con tres ejes: uno en la dirección Norte - Sur, otro orientado de Este a Oeste, y otro en dirección vertical.

El caso bidimensional es más simple, pues necesitamos sólo dos rectas: el eje "x", orientado en la dirección Este - Oeste y el eje "y", orientado en la dirección Norte - Sur, pero si lo prefiere, puede orientarlo a lo largo de un renglón de su cuaderno (el eje "x") y hacia el margen superior (el eje "y"). Así, la posición de cualquier punto P, quedaría especificada señalando los valores de la coordenada "x" y de la coordenada "y" en un par ordenado (x, y), como se muestra en la figura 2.2.



MOVIMIENTO Y VELOCIDAD

El tipo más simple de movimiento es el que ocurre a lo largo de una línea recta, sin cambios en sus características, es decir, cuando el cuerpo recorre distancias iguales en tiempos iguales y mantiene fija su dirección. Este es el tipo de movimiento que esperaríamos en un vehículo que se mueve por una carretera recta y plana durante un corto intervalo de tiempo, para que no varíen las condiciones.

Bajo las circunstancias anteriores, podemos definir el concepto de rapidez (v), como la distancia recorrida por unidad de tiempo, por medio de la relación simple que resulta de dividir la distancia recorrida por el tiempo transcurrido.

$$v = \frac{\text{distancia recorrida}}{\text{tiempo transcurrido}} \quad (2.1)$$

Usamos el símbolo v para la rapidez, porque la mayoría de las personas acostumbra dar a este concepto el nombre de velocidad. Como puede observarse, las unidades con que se expresa la rapidez en el SI son metros por segundo (m/s). La velocidad, sin embargo, es un concepto que incluye magnitud (rapidez) y dirección.

La mayoría de los carros que circulan en nuestro país tienen un medidor de rapidez (speedometer) graduado en kilómetros por hora, junto con un odómetro que da el kilometraje total recorrido en el viaje.

EJEMPLO 2.1

Suponga que usted viaja por una autopista y pierde el control de su vehículo durante 2 segundos. Calcule la distancia que recorre sin control si viaja con una rapidez de: a) 90 km/h, b) 50 km/h.

Resolución:

Primero reduciremos las velocidades de km/h a m/s.

$$90 \frac{\text{km}}{\text{h}} \equiv 90 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \right) \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \right) = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \equiv 50 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \right) \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \right) = 13,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ahora podemos calcular las distancias :

$$\text{a) distancia} = (\text{rapidez})(\text{tiempo}) = (v)(t) = \left(25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (2\text{s}) = 50\text{m}$$

$$\text{b) distancia} = \left(13,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (2\text{s}) = 27,8\text{m}$$

Ambas distancias, especialmente la primera, son lo suficientemente grandes para que a lo largo de ellas pueda ocurrir un accidente fatal, por eso no debemos descuidarnos ni por un momento, ni perder el control del vehículo que conducimos. Es nuestra obligación conducir responsablemente.

MOVIMIENTO Y ACELERACIÓN

Cuando conducimos un carro y aceleramos, aumentamos la velocidad por algún propósito específico en la conducción del vehículo, por ejemplo, porque pasamos de una calle a una autopista, porque podemos adelantar con seguridad y sin correr riesgos al vehículo que está delante de nosotros, porque nos aproximamos a una cuesta y necesitamos tener más velocidad (dentro del límite permitido) para impulsarnos y poder subirla sin dificultad. Aquí la palabra aceleración la asociamos con la idea de **aumento la velocidad**.

Al conducir un carro por una carretera plana, si se retira el pie de pedal del acelerador, disminuimos bastante el suministro de combustible al motor, por consiguiente, éste gira más lentamente y el carro disminuye su velocidad, y hasta podría detenerse. Algo semejante se logra cuando pisamos el pedal del freno, también disminuimos la velocidad. En estos casos se dice que el carro experimenta una **aceleración o desaceleración de frenado**, ya que hay una variación de velocidad, no de aumento, sino por el contrario, de disminución de su magnitud.

También aceleramos (variemos la velocidad) **si tomamos una curva**, aunque mantengamos fijos los kilómetros por hora, ya que estamos cambiando en cada momento la dirección de la velocidad, mientras estamos en la curva.

Las condiciones normales de manejo, en calles y autopistas, tomando en cuenta altos, semáforos, zonas de seguridad, de velocidad restringida, curvas, cuestas y pendientes, requiere que estemos variando la velocidad (aumentando, disminuyendo o girando) con cierta frecuencia.

Cuando dejamos caer una bola desde cierta altura, su velocidad aumenta unos **9,8 metros por segundo cada segundo**; éste es el valor con que aceleran los cuerpos que caen, debido al efecto de la gravedad de la Tierra.

Algo parecido sucede cuando usted acelera un carro. La velocidad aumenta, por ejemplo, 5 metros por segundo, cada segundo; por ello decimos que la aceleración es 5 metros por segundo cada segundo, aunque normalmente decimos **5 metros por segundo al cuadrado** (5 m/s^2). Dependiendo del tipo de carro, del motor, la cantidad de combustible que le damos y la carretera, la aceleración puede ser pequeña, por ejemplo, 1 metro por segundo cada segundo (1 m/s^2), o grande, unos 20 metros por segundo cada segundo (20 m/s^2).

Cuando aplicamos los pedales del freno a un carro y su velocidad comienza a disminuir, se produce entonces una **desaceleración** que puede ser mucha o poca. Si es poca, porque el sistema de frenos no está bien, o por otras condiciones, el carro tarda más en detenerse, por lo que debemos estar muy atentos para no provocar algún problema. Si la carretera y el sistema de frenos están en buenas condiciones, un carro puede frenar con una desaceleración de unos 10 metros por segundo cada segundo (10 m/s^2). Esto quiere decir, que si el carro va a 90 kilómetros por hora ($= 25 \text{ m/s}$), por ejemplo, su velocidad disminuye a 15 metros por segundos en el primer segundo y a 5 metros por segundo en el siguiente, por lo que *necesita unos dos segundos y medio para detenerse. ¡No lo hace de manera instantánea!. Recorre unos 31 metros antes de detenerse.*

MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE ACELERADO

Vamos a estudiar de manera sistemática el movimiento de un cuerpo que se mueve a lo largo de una línea recta, con una velocidad que varía de manera constante.

La posición del cuerpo se especifica por medio del valor de la coordenada "x" a lo largo de la recta, sobre la cual ocurre el movimiento. Sea x_0 la posición inicial, cuando comienza el movimiento, en el instante t_0 y suponga que cuando el tiempo es t , el cuerpo se encuentra en la nueva posición x . Llamamos desplazamiento (Δx) a la distancia entre la posición inicial y la final, es decir:

$$\Delta x = x - x_0 \quad (2.2)$$

Se define la velocidad del cuerpo como la razón (cociente) del desplazamiento con respecto al tiempo, es decir:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0} \quad (2.3)$$

Observe, que si por conveniencia establecemos que colocamos el origen del sistema en el punto donde inicia el movimiento, en el momento en que ponemos a funcionar el cronómetro, entonces $x_0 = 0$ y $t_0 = 0$, por lo que la relación anterior se puede escribir como:

$$v = \frac{x}{t}, \text{ o } x = vt \quad (2.4)$$

Como sabemos las unidades de velocidad en el SI son metros por segundo (m/s), pero en la práctica, también encontraremos kilómetros por hora, metros por minutos, pies por segundo, millas por hora, etc.

Si la velocidad del cuerpo cambia de manera uniforme, se define la **aceleración (a)** como la razón del cambio de velocidad con respecto al tiempo, es decir:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (2.5)$$

Donde v_0 es la velocidad cuando el tiempo es t_0 y v la velocidad en un tiempo posterior t . Sin embargo, si tomamos $t_0 = 0$, la relación anterior se reduce simplemente a:

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

de donde, luego de un poco de álgebra elemental, resulta que: *"la velocidad final es igual a la velocidad inicial más la aceleración multiplicada por el tiempo transcurrido"*:

$$v = v_0 + a t \quad (2.6)$$

Para este tipo de movimiento con aceleración constante, en el que la velocidad varía de manera lineal con el tiempo, es válido definir una velocidad promedio ($\bar{v}$) de la siguiente manera:

$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2} \quad (2.7)$$

Esta velocidad promedio caracteriza el desplazamiento efectuado por el cuerpo, cuyo valor será:

$$x = (\bar{v})t = \left(\frac{v + v_0}{2} \right) t = \left(\frac{(v_0 + at) + v_0}{2} \right) t = \frac{(2v_0 + at)t}{2} \quad (2.8)$$

y que luego de simplificar resulta:

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (2.9)$$

"El desplazamiento es igual a la velocidad inicial multiplicada por el tiempo, más un medio de la aceleración multiplicada por el tiempo elevado a la segunda potencia."

Con un poco de manipulación algebraica entre las ecuaciones (2.6) y (2.8), se puede eliminar el tiempo y resulta una ecuación bastante útil cuando no se dispone de esa información en un problema específico:

$$v^2 = (v_0)^2 + 2ax \quad (2.10)$$

"El cuadrado de la velocidad final es igual al cuadrado de la velocidad inicial, más dos veces el producto de la aceleración y el desplazamiento".

Con las relaciones (2.4), (2.6), (2.8) y (2.9), se puede resolver cualquier problema de movimiento rectilíneo con aceleración constante.

EJEMPLO 2.2.

Un automovilista que viaja a 60,0 kilómetros por hora frena bruscamente su vehículo y éste deja unas marcas en la carretera de 30,0 metros de longitud, hasta cuando se detiene. Calcule: a) la aceleración de frenado y b) el tiempo para detenerse.

Resolución:

$$60,0 \text{ km/h} = 1,00 \text{ km/min} = 16,67 \text{ m/s}$$

a) De la ecuación (2.4) resulta: $0^2 = (16,67 \text{ m/s})^2 + 2(a)(30,0 \text{ m})$, de donde $a = -4,63 \text{ m/s}^2$.
¿Qué significa el signo negativo?

b) De la ecuación (2.2): $0 = 16,67 \text{ m/s} + (-4,63 \text{ m/s}^2) t$, de donde $t = 3,6 \text{ s}$.

EJEMPLO 2.3.

Suponga que usted inicia un recorrido en bicicleta con un empujón que le da una velocidad de 3,0 metros por segundo. Esa velocidad la mantiene durante 10 segundos y luego decide pedalear fuertemente, de tal manera que produce una aceleración de $0,80 \text{ m/s}^2$, durante otros 5,0 segundos. Luego usted decide continuar durante 4 segundos con la velocidad que adquirió al final de la etapa anterior y finalmente aplica los frenos y se detiene en una distancia adicional de 50 m. Calcule la distancia y el tiempo total.

Resolución:

El recorrido tiene cuatro etapas relativamente independientes, que requieren cálculos separados:

a) Etapa de velocidad constante

$$x = vt = (3,0 \text{ m/s}) (10 \text{ s}) = 30 \text{ m}$$

b) Etapa con aceleración constante

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = (3,0 \text{ m/s}) (5,0 \text{ s}) + \frac{1}{2} (0,80 \text{ m/s}^2) (5,0 \text{ s})^2 = 15 \text{ m} + 10 \text{ m} = 25 \text{ m}$$

c) Etapa de velocidad constante. Se calcula primero la velocidad al final de la etapa anterior, que se convierte en velocidad inicial en la última etapa.

$$v = v_0 + at = 3,0 \text{ m/s} + (0,8 \text{ m/s}^2) (5,0 \text{ s}) = 3,0 \text{ m/s} + 4,0 \text{ m/s} = 7,0 \text{ m/s}$$

Entonces el desplazamiento es $x = vt = (4,0 \text{ m/s})(20 \text{ s}) = 80 \text{ m}$

- d) En esta última etapa "desacelerada", no sabemos el valor de la aceleración de frenado ni el tiempo, pero la velocidad inicial es 7 m/s, la final es cero y el desplazamiento 50 m. Entonces, aplicando la ecuación (2.10):

$$0^2 = (7,0 \text{ m/s})^2 + 2(a)(50 \text{ m}), \text{ de donde resulta}$$

$$a = -0,49 \text{ m/s}^2$$

Ahora calculemos el tiempo requerido en esta cuarta etapa:

$$v = v_0 + at = 0 = 7,0 \text{ m/s} + (-0,49 \text{ m/s}^2)(t), \text{ de donde } t = 14,3 \text{ s.}$$

La respuesta es entonces:

$$\text{Tiempo total} = 10 \text{ s} + 5 \text{ s} + 4 \text{ s} + 14,3 \text{ s} = 33,3 \text{ s.}$$

$$\text{Distancia total} = 30 \text{ m} + 25 \text{ m} + 80 \text{ m} + 50 \text{ m} = 185 \text{ m.}$$

CAÍDA LIBRE DE LOS CUERPOS

La caída (en línea recta) de un cuerpo en las cercanías de la superficie terrestre, suponiendo que no hay ninguna influencia del viento y despreciando el efecto del rozamiento con el aire, para cuerpos pequeños, como una canica por ejemplo, puede describirse por medio de un modelo, en el cual se considera que la única influencia sobre la canica es el resultado de la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra, que se traduce en una aceleración verticalmente hacia abajo, cuyo valor promedio es 9,8 metros por s^2 y que denominamos **aceleración de la gravedad**.

Las ecuaciones (2. 6), (2. 8) y (2. 9) se aplican para la caída libre, pero la describiremos denotando la aceleración de la gravedad con el símbolo g y el desplazamiento vertical hacia abajo con la letra y , es decir:

$$v = v_0 + g t \quad (2.6')$$

$$y = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.7')$$

$$v^2 = (v_0)^2 + 2ay \quad (2.8')$$

EJEMPLO 2.3

Desde la azotea de un edificio de 30 metros de altura se deja caer una pequeña bola. Calcule: a) la velocidad con que llega al suelo, b) el tiempo requerido c) ¿cuáles serían los valores anteriores si la bola se lanza hacia abajo a 10 metros por segundo?

Resolución:

a) $v^2 = 0^2 + 2(9,8 \text{ m/s}^2)(30 \text{ m}), \text{ de donde } v = 24,2 \text{ m/s}$

b) $30 \text{ m} = (0 \text{ m/s}) t + \frac{1}{2} (9,8 \text{ m/s}^2) t^2, \text{ de donde } t = 2,5 \text{ s}$

c) $v^2 = (10 \text{ m/s})^2 + 2(9,8 \text{ m/s}^2)(30 \text{ m}), \text{ de donde } v = 26,2 \text{ m/s}$

d) $26,2 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s} + (9,8 \text{ m/s}^2) t$, de donde $t = 1,66 \text{ s}$.

¿Cuánto tardaría en caer la bola y cuál sería su velocidad al llegar al suelo si se lanzara verticalmente hacia arriba a 10 metros por segundo?

No discutiremos aquí el movimiento de un cuerpo que asciende verticalmente y luego cae. Simplemente se debe aplicar un convenio de signos algebraicos para la velocidad y la aceleración. Al final del capítulo puede encontrar algunas referencias que le serán de utilidad.

MOVIMIENTO CIRCULAR

Discutiremos únicamente el movimiento que realiza un cuerpo que se mantiene a una distancia fija (**R**) del un punto K; es decir, que su trayectoria es una circunferencia de radio R y de tal manera que recorre dicha trayectoria manteniendo constante la magnitud de su velocidad (rapidez).

La relación (2.4.) distancia = (rapidez)(tiempo) puede aplicarse a una vuelta entera del movimiento, para la cual la distancia recorrida es una circunferencia $C = 2 \pi R$. Esta distancia es recorrida en el tiempo necesario para que el cuerpo dé una vuelta completa, que se denomina **período** de movimiento circular (T). Resulta entonces que la rapidez en el movimiento circular uniforme está dada por:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \quad (2.11)$$

donde v = velocidad tangencial, R = radio y T = período (tiempo en dar la vuelta).

Usted se preguntará por la dirección que tiene la velocidad en el movimiento circular. Bueno, es fácil demostrar que está variando de un punto a otro, pero que en un punto dado, en un instante, la dirección de la velocidad es tangente a la circunferencia, esto es, perpendicular al radio y por tal motivo se le llama **velocidad tangencial**.

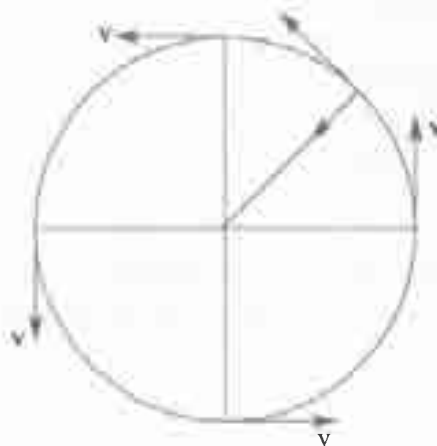


Figura 2.3.a
Velocidad tangencial en el movimiento circular con rapidez constante.

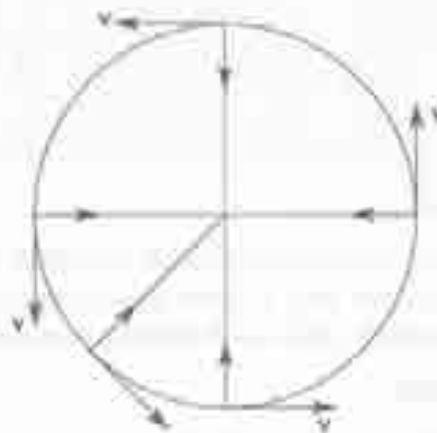


Figura 2.3.b
Velocidad tangencial y aceleración radial en el movimiento circular con rapidez constante.

El movimiento circular, con rapidez constante, es un ejemplo de movimiento acelerado, porque la dirección de la velocidad cambia en cada momento, a pesar de que su magnitud se mantiene constante.

El efecto de la aceleración lo siente nuestro cuerpo como una fuerza que nos empuja en dirección opuesta a la dirección de la aceleración. Por ejemplo, cuando vamos en un carro y éste acelera hacia delante, sentimos un empujón hacia atrás y, por el contrario, si frena bruscamente nos vamos hacia delante. Si tomamos una curva con cierta rapidez sentimos que nos empujan hacia afuera y ese efecto aumenta cuando aumenta la rapidez. Entonces, concluimos, que la aceleración en el movimiento circular se incrementa al aumentar la rapidez.

Por otro lado, si tomamos curvas cada vez más cerradas (de menor radio) todas con la misma rapidez, encontraremos que el efecto (aceleración) aumenta al disminuir el radio de la curva. Por tal motivo, concluimos que la aceleración depende inversamente del radio. En resumen $a = v/R$.

Sin embargo, un análisis de unidades para la fórmula anterior muestra una incongruencia ya que,:

$$a \text{ (m/s}^2\text{)} = \frac{v \text{ (m/s)}}{R \text{ (m)}} = \frac{v}{R} \left(\frac{1}{s}\right)$$

de tal manera que a la derecha faltan los m/s, para que haya concordancia de unidades. Esto se solucionaría si la rapidez estuviese al cuadrado. Con la matemática apropiada se puede encontrar que la aceleración en el movimiento circular con rapidez constante es:

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (2.12)$$

¿Qué dirección tiene la aceleración en el movimiento circular con rapidez constante? No puede ser ni a favor ni en contra de la velocidad tangencial, porque en ese caso su magnitud (rapidez) aumentaría o disminuiría, como sucede con los vehículos que aceleran o desaceleran. Concluimos, entonces, que la aceleración en el movimiento circular, con rapidez constante, está dirigida de forma perpendicular (ángulo recto) a la velocidad tangencial, es decir, a lo largo del radio y dirigida hacia el centro de la circunferencia. Por este motivo se le conoce como **aceleración radial** o **aceleración centrípeta**.

EJEMPLO 2. 4

Suponga que el radio ecuatorial de la Tierra es 6.400 km y que su órbita alrededor del Sol es circular, con un radio de una unidad astronómica (1.5×10^8 km). Calcule la velocidad tangencial que tendría una persona en el ecuador, debido a: a) la rotación de la Tierra sobre su propio eje, b) la revolución de la Tierra alrededor del Sol.

Resolución:

$$a) \ v = \frac{2 \pi (6\,400 \text{ km})}{24 \text{ h}} = 1,68 \times 10^3 \text{ km/h.}$$

$$b) \ v = \frac{2 \pi (1,5 \times 10^8 \text{ km})}{(365 \times 24 \text{ h})} = 1,07 \times 10^5 \text{ km/h.}$$

Expresa las velocidades anteriores en metros por segundo.

EJEMPLO 2. 5

Las aspas de un ventilador dan 1.800 vueltas por minuto. Calcule: a) la velocidad tangencial y b) la aceleración centrípeta que experimenta una marca en una de las aspas, que está a 35 cm del centro.

Resolución:

1.800 vueltas por minuto no es el período sino la frecuencia, es decir, el inverso del período. El tiempo para dar una vuelta sería 1 minuto dividido por 1.800, ó 60 segundos / 1.800 = 0,033 s.:

$$a) \ v = \frac{2 \pi R}{T} = \frac{2 \pi (0,35\text{m})}{0,33 \text{ s}} = 6,6 \text{ m/s}$$

$$b) \ a = \frac{v^2}{R} = \frac{(6,6 \text{ m/s})^2}{0,35\text{m}} = 124 \text{ m/s}^2$$

EJEMPLO 2.6

Un auto de carreras recorre una pista circular de 78 m de radio con una velocidad tangencial cuya magnitud es 350 km/h. Calcule: a) El tiempo requerido para dar una vuelta, b) la aceleración centrípeta, c) la distancia recorrida en 5 minutos, d) el número de vueltas que realiza en 5 minutos.

Resolución:

Primeramente convertimos los kilómetros/hora a metros/ segundo:

$$350 \text{ km/h} = \frac{350 \text{ km}}{\text{h}} \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) = 97,22 \text{ m/s.}$$

$$a) \ 97,22 \text{ m/s} = \frac{2 \pi (78 \text{ m})}{T}, \text{ de donde } T = 5,04 \text{ s.}$$

$$b) \ a = \frac{v^2}{R} = \frac{(97,22 \text{ m/s})^2}{78 \text{ m}} = 121 \text{ m/s}^2.$$

$$c) \ d = v t = (97,22 \text{ m/s})(5 \times 60 \text{ s}) = 29 \ 166 \text{ m.}$$

$$d) \ \# \text{ vueltas} = \frac{\text{tiempo}}{T} = \frac{300 \text{ s}}{5,04 \text{ s}} = 59,5 \text{ vueltas, esto es 59 vueltas completas y media vuelta más.}$$

También:

$$\frac{29166\text{m}}{2\pi(78\text{m})} = 59,5 \text{ vueltas.}$$

EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. Averigüe la distancia entre el aeropuerto Ilopango en El Salvador y el aeropuerto Juan Santamaría en Costa Rica, para calcular la **rapidez promedio** que debería tener un avión, en km/h y en m/s, si hace el vuelo en 55 minutos.
2. Salga a una plaza deportiva, use una cinta métrica y marque una distancia de 100 m. Corra dicha distancia tratando de mantener una rapidez constante y mida el tiempo con un cronómetro. Calcule la rapidez promedio de esa carrera en m/s y en km/h.
3. Suponga que de Rivas, Nicaragua, a Peñas Blancas en la frontera con Costa Rica hay 38 km.
 - a) ¿En cuánto tiempo se puede hacer el viaje si se pudiese viajar con una rapidez constante de 60 km/h?
 - b) Si un automovilista recorre 25 km a 50 km/h, ¿qué rapidez debe mantener en los restantes 13 km para hacer el viaje en el mismo tiempo?
4. Dos vehículos parten al mismo tiempo en direcciones opuestas; el vehículo A con una rapidez de 40 km/h y el B a 60 km/h.
 - a) ¿En cuánto tiempo estarán separados 350 km?
 - b) Si el vehículo B decide salir en persecución del vehículo A, pero 1 hora después, ¿en cuánto tiempo lo alcanza?
5. Un carrito parte del reposo, se mueve en línea recta y acelera a $0,95 \text{ m/s}^2$.
 - a) ¿En cuánto tiempo alcanzará un desplazamiento de 500 m?
 - b) ¿qué velocidad lleva en ese momento?
6. Un tren metropolitano parte del reposo en una estación y se mueve en línea recta con una aceleración de $0,5 \text{ m/s}^2$, mantenida durante 10 s; luego continúa con la rapidez constante alcanzada durante 2 minutos más. Finalmente, frena uniformemente a $-0,4 \text{ m/s}^2$, hasta detenerse en la siguiente estación. Calcule el tiempo y la distancia total entre estaciones.
7. Un automóvil que acelera a $1,2 \text{ m/s}^2$ pasa por un punto con una velocidad de 90 km/h. Si partió con una velocidad inicial de 5 m/s calcule:
 - a) la distancia recorrida,
 - b) el tiempo empleado en el recorrido,
 - c) ¿Qué velocidad constante debería mantener en el recorrido de vuelta al punto de partida para emplear el mismo tiempo en el regreso.
8. Una persona deja caer una bola desde la azotea de un edificio alto y encuentra que llega al suelo en 4,5 s. Calcule:
 - a) la altura del edificio,
 - b) la velocidad de la bola cuando llega al suelo,
 - c) la velocidad de la bola y su altura a los 4 s,
 - d) la velocidad de la bola y el tiempo que requiere para llegar a una posición en la que esté a 1 m de altura sobre el suelo.

9. Cuando un objeto se lanza verticalmente hacia arriba, sufre una aceleración de frenado debido a la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra, igual a $-9,8 \text{ m/s}^2$. Si una bola se lanza verticalmente hacia arriba con una velocidad de 50 m/s , calcule:
 - a) la altura máxima que alcanza,
 - b) el tiempo necesario para llegar a dicha altura.
10. Con referencia al problema anterior, cuando la bola llega a la altura máxima empieza inmediatamente a caer. Calcule:
 - a) la velocidad con que regresa al suelo,
 - b) el tiempo empleado en regresar al suelo,
 - c) el tiempo total que estuvo la bola en el aire.
11. En una centrífuga de 40 cm de diámetro, la aceleración que experimentan las muestras que están en el borde es de $39,2 \text{ m/s}^2$. Calcule:
 - a) la velocidad tangencial de las muestras,
 - b) el tiempo requerido para una vuelta completa (período T),
 - c) el número de vueltas por minuto que da la centrífuga.
12. En un carrusel, los niños que están a $3,0 \text{ m}$ del centro, se mueven con una velocidad de 5 m/s . Calcule la aceleración que experimentan y el tiempo requerido para dar 50 vueltas.
13. En una pista cerrada, los carros toman las vueltas con una aceleración centrípeta de 100 m/s^2 y tarda 1 minuto en dar una vuelta completa. Calcule el radio de la pista y la magnitud de la velocidad tangencial de los carros.

REFERENCIAS

Movimiento rectilíneo uniforme

http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/teoria/A_Franco/cinematica/practica/practica.htm

Caída libre

http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/teoria/A_Franco/cinematica/graves/graves.htm

Movimiento circular:

<http://www.manizales.unal.edu.co/cursofisica/circula.html#uniforme>

Proyectiles:

http://home.a-city.de/walter.fendt/phs/projectile_s.htm

CAPÍTULO III

FUERZAS EN LA NATURALEZA

Todos sabemos que debemos aplicar fuerza si queremos mover un objeto; también sabemos que, si un objeto grande y veloz choca contra nosotros, nos golpea con mucha fuerza.

Los animales de carga como el caballo y el buey, desde cuando fueron domesticados por los humanos, aplican su fuerza para realizar trabajos como transportarnos, dar vueltas a un molino, o mover objetos pesados.

Es muy evidente la fuerza que ejercen objetos inertes como bandas de hule o resortes, y sabemos que todos los objetos que colisionan ejercen fuerzas entre sí, de direcciones opuestas, pero de la misma magnitud. Aun este libro que descansa sobre la mesa, ejerce una fuerza sobre ella y como respuesta, la mesa también ejerce una fuerza opuesta sobre el libro.

Conocemos la **fuerza de gravitación** que ejerce un cuerpo como la Tierra sobre nosotros, sobre la Luna, o sobre un satélite artificial. Sabemos que este tipo de fuerza es la responsable de la estructura macroscópica del universo, es decir, de mantener unidos los grandes conglomerados de galaxias, estrellas, planetas y satélites para que produzcan todas sus interacciones y así mostrarnos el universo dinámico que vemos. La **fuerza de gravedad**, como también se llama, es causada únicamente por la cantidad de materia de los cuerpos que interaccionan, o sea, por su masa.

Las partículas cargadas eléctricamente también ejercen fuerzas mutuas que llamamos **electrostáticas**. Sabemos que son de atracción si el tipo de carga es diferente, por ejemplo, entre protones y electrones, y de repulsión si el tipo de carga es igual, como entre dos protones o dos electrones.

La **fuerza electrostática** es la principal responsable de las interacciones entre átomos y la que origina las condiciones para producir todos los compuestos químicos que hay en la naturaleza.

Los imanes ejercen fuerza entre sí de atracción o repulsión y atraen objetos de hierro. Esta **fuerza magnética** también afecta cargas eléctricas en movimiento, como sucede con los electrones que se mueven por las bobinas de un motor eléctrico.

Citaremos finalmente las poderosas fuerzas nucleares que mantienen la estructura central del átomo, para que los protones y los neutrones constituyan núcleos relativamente estables.

Existe también un tipo de **fuerzas nucleares** débiles, que son las responsables de los procesos de desintegración radiactiva que ocurren en cierto tipo de átomos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS FUERZAS

Las fuerzas son cantidades físicas que poseen magnitud, es decir, tamaño o valor acompañado de sus unidades; pero también tienen dirección, como las cantidades que se denominan genéricamente vectores (ver Capítulo IV).

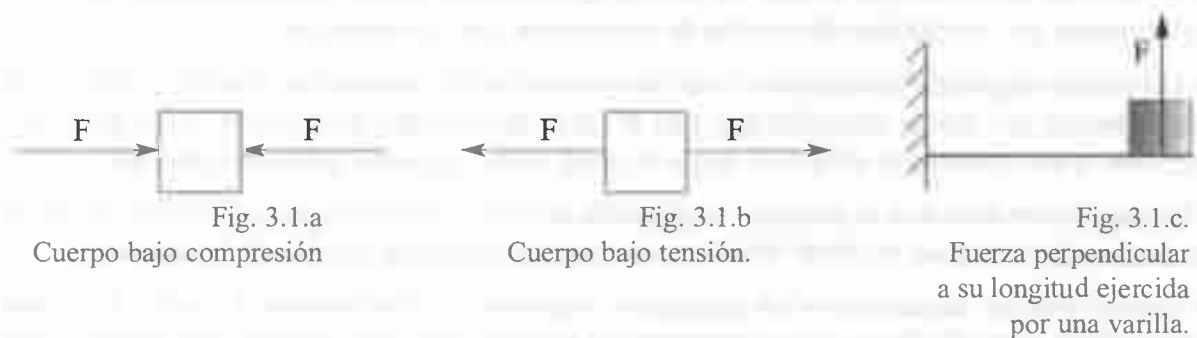
La primera característica es importante porque determina la intensidad del efecto de la fuerza, mientras que la segunda, asociada con el punto del cuerpo donde se aplica la fuerza, determina la calidad del efecto que podría manifestarse como cambios en el movimiento (traslaciones en línea recta y rotaciones), o deformaciones.

Aplicada a un cuerpo como una columna de un edificio, un hueso, el cable de un puente colgante, o un músculo de un animal, las fuerzas pueden ponerlo en estado de compresión o de tensión, causándole deformaciones temporales o permanentes.

Como se ilustra en la figura 3.1.a, la compresión ocurre cuando las fuerzas actúan hacia el interior del cuerpo, provocando una deformación que tiende a disminuir la longitud de éste, a lo largo de la recta de aplicación de las fuerzas.

Por el contrario, si las fuerzas actúan hacia el exterior del cuerpo y, consecuentemente, la deformación tiende a aumentar la longitud de éste, se dice que el estado es de tensión (Fig.3.1.b).

Los cuerpos como hilos, cuerdas, fibras biológicas o sintéticas sólo pueden ponerse en tensión. Los cuerpos rígidos como varillas, reglas, vigas, bloques de concreto, etc. pueden ponerse tanto en compresión como en tensión. Además, los cuerpos rígidos pueden ejercer fuerzas perpendiculares a su longitud, como lo hace una caña de pescar o cualquier varilla, Fig.3.1.c.



Cuando dos cuerpos sólidos se ponen en contacto generan dos tipos de fuerzas: las fuerzas normales que son perpendiculares a las superficies en contacto y las fuerzas de rozamiento (o de fricción), que actúan a lo largo de las superficies en contacto y son muy evidentes cuando ocurre deslizamiento relativo entre ellas. Las fuerzas de rozamiento también se presentan cuando el sólido se mueve a través de fluidos como el aire y el agua.

Estas fuerzas se toman muy en cuenta en el diseño aerodinámico de aviones, barcos y submarinos. En la naturaleza hemos encontrado incontables aplicaciones y eficientes diseños en plantas y animales que el ser humano ha imitado, como el vuelo de las aves y la eficiente hidrodinámica del nado de focas y tiburones, por ejemplo.

PRIMERA LEY DE NEWTON

¿Qué le sucedería a un cuerpo sobre el cual no actúa ninguna fuerza?

Podemos contestar de acuerdo con el físico Isaac Newton, que el estado de movimiento del cuerpo nunca cambiaría. Esto es, si el cuerpo está en reposo continúa en reposo, y si está en movimiento, continúa moviéndose en línea recta y con rapidez constante. Este resultado se conoce con el nombre de Primera Ley de Newton.

Como vemos, esta ley responsabiliza a la fuerza de ser la causante de cambios en el estado de movimiento del cuerpo, y por tal motivo, si no existe ninguna fuerza actuando sobre un cuerpo, su estado de movimiento tendría forzosamente que ser constante, esto es, se movería con velocidad constante en magnitud y dirección.

El complemento de la primera ley es tan importante como ella misma, porque si observamos un cuerpo que no se mueve con velocidad constante, inmediatamente podemos concluir que debe existir algún tipo de fuerza actuando sobre él. Si de momento no conocemos la naturaleza de esa interacción, la certeza de su existencia nos facilita su descubrimiento, por medio de una investigación a fondo de la situación.

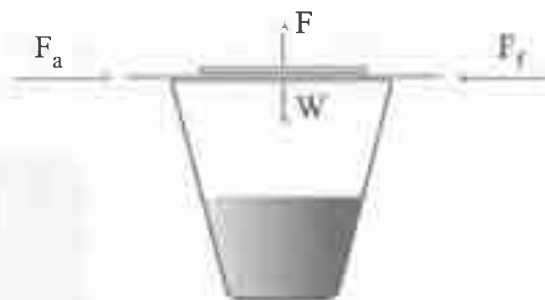


Fig. 3.2

Un golpe rápido a la tarjeta puede sacarla de debajo de la moneda, haciendo que esta caiga dentro del vaso.

SEGUNDA LEY DE NEWTON

¿Qué le sucede a un cuerpo sobre el cual actúa una fuerza conocida?

Evidentemente, sufrirá cambios en su estado de movimiento, es decir, no se moverá con velocidad constante. Como vimos en el capítulo II, si la velocidad de un cuerpo varía por cualquier motivo, el cuerpo experimenta una aceleración. Ahora estamos concluyendo aquí que la fuerza es la responsable de provocar la aceleración.

Como la fuerza y la aceleración son cantidades que poseen magnitud y dirección, es lógico asociar a la aceleración la misma dirección que la fuerza. Ahora bien, nuestra experiencia con una fuerza que se aplica a diferentes objetos nos dice que a mayor masa, menor será el efecto de la fuerza (menor será la aceleración).

Si diseñamos un experimento en el cual una misma fuerza determinada se aplica sucesivamente a objetos de 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, etc., encontraremos que la aceleración que experimentan dichos objetos es respectivamente a , $a/2$, $a/3$, $a/4$, etc., de donde concluimos que la aceleración que sufre

un cuerpo debido a la acción de una fuerza constante específica, es inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

En resumen, se puede establecer la siguiente ecuación de la Segunda Ley de Newton que resume los anteriores resultados entre la fuerza ($\vec{F}$), la masa (m) y la aceleración ($\vec{a}$):

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (3.1)$$

En la ecuación anterior se ha colocado una flecha encima de la fuerza y de la aceleración para indicar que son cantidades que tienen la misma dirección.

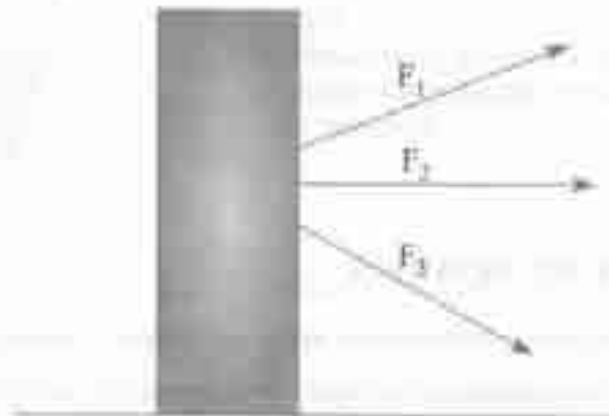
Ahora bien, en la práctica no se tiene una única fuerza, sino que normalmente actúa sobre el cuerpo más de una, por lo que para aplicar la segunda ley debemos primeramente encontrar la fuerza resultante de ellas, sumándolas de acuerdo con los procedimientos usuales para sumar cantidades que poseen magnitud y dirección (vectores), como lo haremos en el próximo capítulo.

Una expresión más completa de la Segunda Ley de Newton sería entonces:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (3.2)$$

La letra griega Σ (léase sigma) indica que debe realizarse la suma de todas las fuerzas que se aplican al cuerpo, tomando en cuenta sus magnitudes y direcciones y obtener así una única fuerza resultante.

Fig. 3.3



$$\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = m\vec{a}$$

LA UNIDAD DE FUERZA: EL NEWTON (N)

La ecuación 4. 1 establece la relación cuantitativa para la Segunda Ley de Newton y permite definir la unidad de fuerza en el SI, ya que tanto la aceleración como la masa son cantidades con unidades ya establecidas.

La masa es una cantidad fundamental que se expresa en kilogramos (kg) y la aceleración es una cantidad derivada, cuyas unidades son metro por segundo al cuadrado (m/s^2).

La unidad de fuerza es el newton (N) y se define de la siguiente manera:

"Un newton es la fuerza que aplicada a un cuerpo de 1 kilogramo de masa, le produce una aceleración igual a 1 m/s^2 , en la misma dirección de la fuerza."

Esta unidad de fuerza se estableció en honor al físico inglés Isaac Newton (1643–1727), coautor de la teoría del cálculo infinitesimal y que realizó grandes descubrimientos en Mecánica, la rama de la Física que estudia el movimiento, las fuerzas y la energía. El nombre de la unidad se escribe con minúscula, pero no su símbolo, que es N.

El newton es una unidad más bien pequeña, puesto que si usted levanta un cuerpo de 1 kg, deberá hacer una fuerza hacia arriba de 9,8 N, o si le parece, para sostener en su mano un cuerpo de 102 gramos (0,102 kg) debe hacer una fuerza hacia arriba de aproximadamente un newton.

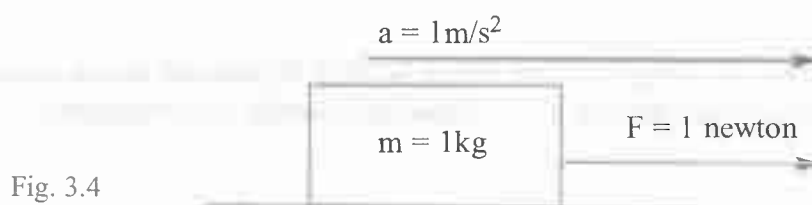


Fig. 3.4

TERCERA LEY DE NEWTON

¿Cree usted que con algún tipo de estrategia pueda ejercer una fuerza sobre algún objeto vivo o inerte y arreglárselas para que este objeto no ejerza una fuerza sobre usted?

Si contestó que 'no' entonces está en lo correcto. No hay manera de actuar sin interactuar. No es posible que un cuerpo ejerza algún tipo de acción, como una fuerza sobre otro cuerpo, sin que resulte simultánea y proporcionalmente una acción del segundo cuerpo sobre el primero.

Con las fuerzas que resultan del contacto directo entre dos cuerpos esto parece muy evidente, pero aún las fuerzas que parecen actuar a distancia, o por medio de un campo, como la fuerza de gravedad, la electrostática y la magnética, siempre son el resultado de interacciones entre dos cuerpos.

Isaac Newton estableció esta propiedad de las fuerzas que siempre actúan en parejas por medio de su tercera ley del movimiento de la siguiente manera:

"Las fuerzas de interacción entre dos cuerpos son siempre de igual magnitud y de dirección opuesta"

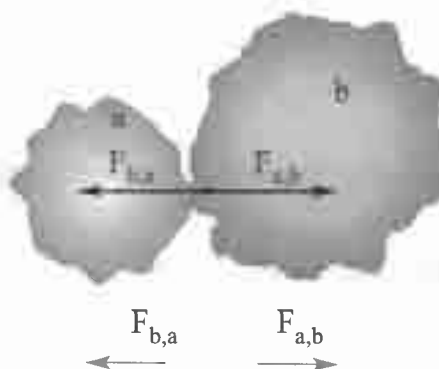


Fig. 3.5
Tercera Ley de Newton.

En la figura 3.5, dos cuerpos a y b interaccionan por medio de una colisión directa. Sea $F_{a,b}$ la fuerza que el cuerpo a ejerce sobre el cuerpo b y sea $F_{b,a}$ la fuerza que el cuerpo b ejerce sobre el cuerpo a. Una expresión matemática de la Tercera Ley de Newton sería:

$$\vec{F}_{a,b} = -\vec{F}_{b,a} \quad (3.3)$$

La ecuación anterior expresa que las fuerzas de interacción siempre tienen dirección opuesta (signo negativo), que tienen la misma magnitud (tome el valor absoluto de la expresión) y que nunca cancelan su efecto porque no actúan sobre el mismo cuerpo, ya que una actúa sobre b y la otra sobre a.

EJEMPLO 4.1

Sobre un cuerpo de 10 kg actúa una fuerza de 20 N. Si parte del reposo, calcule a) la aceleración que sufre el cuerpo, b) la velocidad y c) la distancia recorrida en 5,0 segundos.

Resolución:

a) De acuerdo con la Segunda Ley de Newton: $\vec{F} = m\vec{a}$

$$20 \text{ N} = (10 \text{ kg}) (a), \text{ de donde } a = 2,0 \text{ N/kg} = (2,0 \text{ kg m/s}^2) \text{ kg} = 2,0 \text{ m/s}^2$$

b) Para la velocidad y la distancia usamos las ecuaciones del capítulo III.

$$v = v_0 + a t$$

$$v = 0 + (2,0 \text{ m/s}^2)(5,0 \text{ s}) = 10 \text{ m/s}$$

$$c) \quad x = (v_0)t + \frac{1}{2}at^2 = 0 + \frac{1}{2}(2,0 \text{ m/s}^2)(5,0 \text{ s})^2 = 25 \text{ m}$$

EJEMPLO 4.2

En una colisión un objeto a de 40 kg choca contra otro b de 0,8 kg. La fuerza de interacción que se da entre dichos objetos es de 100 N. Calcule la aceleración que experimenta cada objeto mientras la fuerza actúa.

Resolución:

De acuerdo con la Tercera Ley de Newton la magnitud de la fuerza ejercida sobre a por b es 100 N, entonces el valor de la aceleración del objeto a es:

$$a = \frac{m}{F} = \frac{100 \text{ N}}{40 \text{ kg}} = 2,5 \text{ m/s}^2.$$

La fuerza que actúa sobre b tiene dirección opuesta pero la misma magnitud, y entonces la aceleración de b será:

$$a = 100 \text{ N} / 0,8 \text{ kg} = 125 \text{ m/s}^2.$$

Observe que la tercera ley establece que las fuerzas son de igual magnitud, pero no dice nada con respecto a la consecuencia de dichas fuerzas sobre cuerpos de masas muy dispares, obviamente el cuerpo de menor masa o de consistencia más débil sufre las mayores consecuencias. Para averiguar estas consecuencias aplicamos la segunda ley.

PESO Y MASA

La masa de un cuerpo se definió como una medida de su cantidad de materia y en el Sistema Internacional de Unidades se expresa en kilogramos.

La fuerza gravitatoria con la que la Tierra atrae a un cuerpo, colocado en su superficie, es lo que llamamos el peso del cuerpo y, como toda fuerza, se expresa en newton, no en kilogramos.

El peso se calcula multiplicando la masa del cuerpo por el valor local del campo gravitatorio de la Tierra (g), cuyo valor promedio en su superficie es $g = 9,8 \text{ N/kg}$.

El campo gravitatorio es conceptualmente equivalente a lo que llamamos aceleración de la gravedad (g) cuyo valor promedio es $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

En sus cálculos use cualquiera de las dos cantidades, la diferencia sólo está en la apariencia externa de las unidades.

$$\text{peso} = m g \quad (3.4)$$

El campo gravitatorio de la Tierra no es exactamente el mismo en todas partes, ni en magnitud ni en dirección, es mayor en las vecindades de los polos que cerca del ecuador y además disminuye con la altitud.

Si un objeto está en la Luna, Marte o Júpiter, el peso estará determinado por el campo gravitatorio del satélite o planeta respectivo. Entonces el peso no es una constante característica del cuerpo, como si lo es la masa, sino que depende del lugar donde esté, pero desde luego, en un mismo lugar un cuerpo siempre tendrá el mismo peso, a menos que de alguna manera aumente o disminuya su masa.

EJEMPLO 4.3

Una persona que pesa 637 N en la Tierra, viaja a la Luna, donde el valor del campo gravitatorio es: $g_{\text{Luna}} = 1,63 \text{ N/kg}$. Calcule su peso en la Luna.

Resolución:

Primero debemos encontrar la masa de la persona, que es una constante independiente del lugar donde esté:

$$637 \text{ N} = (m) (9,8 \text{ N/kg}), \text{ de donde } m = 65 \text{ Kg}$$

$$\text{El peso en la Luna será entonces: } \text{peso Luna} = (m)(g_{\text{Luna}}) = (65 \text{ kg})(1,63 \text{ N/kg}) = 106 \text{ N}$$

LA FUERZA DE ROZAMIENTO

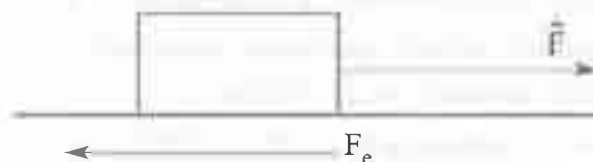
Una de las fuerzas que más interviene, en situaciones cotidianas, es la fuerza de rozamiento (o de fricción), pues está presente cada vez que un cuerpo se desliza contra otro, lo mismo que al caminar, o cuando dejamos estacionado un vehículo en una pendiente.

La fuerza de rozamiento es causada por dos factores principales: las irregularidades de las dos superficies en contacto y la fuerza que comprime a un cuerpo contra el otro.

Otra característica de la fuerza de rozamiento es que su dirección es siempre opuesta a la del movimiento del cuerpo, es decir, siempre produce un efecto de frenado sobre él.

Discutiremos únicamente el caso de un cuerpo, como una caja, que se coloca sobre una superficie horizontal, como el piso de una habitación. Para el estudio de otras situaciones consulte las referencias del final del capítulo.

Fig. 3.6



Suponga que la caja de masa (m) y peso (mg) está en reposo sobre el piso. Si se empuja con una fuerza horizontal (F) hacia la derecha, puede que la caja no se mueva, porque la **fuerza de rozamiento estático** (f_e) resulte igual en magnitud a la fuerza (F).

Si se aumenta poco a poco el valor de (F), se llega a una situación en la que el cuerpo está a punto de moverse, porque la fuerza de rozamiento estática ha llegado a su valor máximo y está por ser superada por (F).

Ese valor máximo para la situación descrita es igual al peso del cuerpo multiplicado por el **coeficiente de rozamiento estático** (μ_e), un número que caracteriza a las dos superficies (caja y piso) y que se puede determinar con cierta facilidad por medio de un experimento sencillo.

$$F_{e,\text{máx}} = \mu_e (mg) \quad (3.5)$$

Cuando un carro está estacionado en una pendiente, la fuerza de rozamiento estático es la que cancela la acción del peso del vehículo que lo llevaría cuesta abajo. De esa manera, la fuerza neta sobre el carro es cero y entonces permanece en reposo, según la primera ley de Newton.

En el caso de que la caja se esté deslizando sobre el piso, también hay fuerza de rozamiento, pero en esta situación las irregularidades de la superficie tienen menor oportunidad para actuar más a fondo y el coeficiente de rozamiento cinético (μ_c) entre ellas es menor que el coeficiente estático.

La fuerza de rozamiento cinético (f_c) siempre tiene un valor fijo, independiente de la velocidad con que se mueva la caja y está dada por:

$$f_c = \mu_c (mg) \quad (3.6)$$

EJEMPLO 4.4

Una caja de madera de 8 kg descansa sobre un piso de mosaico. Los coeficientes de rozamiento entre la madera y el mosaico son: $\mu_e = 0,25$ y $\mu_c = 0,15$. Sobre la caja se aplican sucesivamente fuerzas horizontales hacia la derecha, de valor a) 10 N, b) 19,6 N y c) 20 N.

Determine para cada fuerza el estado de movimiento de la caja.

Resolución:

- a) La fuerza de rozamiento estático máxima es $f_{e,m\acute{a}x} = (0,25)(8 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg}) = 19,6 \text{ N}$.

La caja no se mueve porque la fuerza aplicada (10 N) no sobrepasa la fuerza de rozamiento estático máxima, que tiene dirección opuesta. Pero lo más interesante es que en esta situación, la magnitud de la fuerza de rozamiento estático es sólo 10 N.

Si aceptáramos que esta fuerza adquiere su valor máximo, entraríamos en contradicción, pues el cuerpo forzosamente tendría que acelerar (segunda ley), impulsado por una fuerza de rozamiento y sabemos que esto no ocurre.

- b) La suma de las fuerzas es cero y entonces la caja permanece en reposo (primera ley).

Sin embargo, podemos decir, que está a punto de moverse, ya que un mínimo incremento en la fuerza aplicada produciría un desequilibrio de fuerza en la dirección de ésta.

- c) La fuerza aplicada es mayor que la de rozamiento y se produce movimiento, pero ahora que el cuerpo está moviéndose, entra en juego la fuerza de rozamiento cinético, cuyo valor es $f_c = (0,15) (8 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg}) = 11,8 \text{ N}$

La fuerza neta hacia la derecha es $F - f_c = 20 \text{ N} - 11,8 \text{ N} = 8,2 \text{ N}$ y entonces la caja acelera a $1,03 \text{ m/s}^2$.

Es interesante anotar que la fuerza mínima para mover la caja con velocidad constante hacia la derecha es justamente 11,8 N (primera ley).

FUERZA ELÁSTICA

Discutiremos ahora las características de la fuerza que oponen algunos cuerpos a ser deformados, cuando son sometidos a tensión o a compresión. Llamaremos a ésta, **fuerza elástica**.

Cuando ciertos cuerpos elásticos como resortes de acero son estirados (o comprimidos) se da una longitud x llamada elongación, éstos oponen una fuerza F_k de tal manera, que el resorte pueda siempre recuperar su estado de equilibrio, mientras no existan fuerzas deformadoras aplicadas. En muchos cuerpos elásticos esta fuerza es proporcional a la **elongación** (x) y a una característica del cuerpo que depende del tipo de sustancia de la cual esté hecho (de su rigidez o suavidad), denominada **constante elástica** (k).

La magnitud de dicha fuerza está dada por la siguiente ecuación que llamaremos ecuación Hooke:

$$F_k = k x \quad (3.7)$$

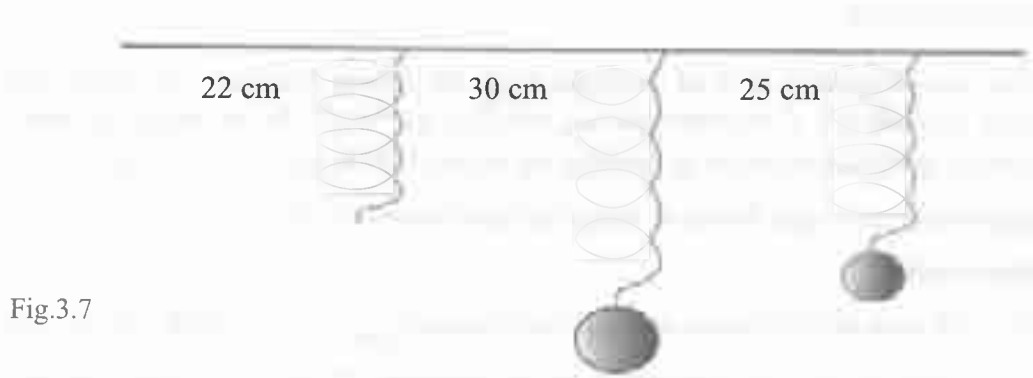


Fig.3.7

EJEMPLO 4.5

Un resorte que satisface la ecuación de Hooke se cuelga verticalmente y tiene una longitud de equilibrio de 22 cm. Un cuerpo de 2,0 kg se cuelga del resorte y entonces éste se estira hasta medir 30 cm. Calcule: a) la constante elástica, b) la longitud del resorte cuando se le cuelga un cuerpo de 0,5 kg, c) la masa del cuerpo colgado cuando el resorte mide 25 cm.

Resolución:

En todas las situaciones, la magnitud de la fuerza que ejerce el resorte hacia arriba es igual al peso del cuerpo colgado, es decir: $F_k = k x = m g$

- a) $k (8 \text{ cm}) = (2,0 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg})$, de donde $k = 2,45 \text{ N/cm}$
- b) $(2,45 \text{ N/cm}) (x) = (0,5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg})$, de donde $x = 2,0 \text{ cm}$ y el resorte medirá 24 cm.
- c) $(2,45 \text{ N/cm})(3 \text{ cm}) = m (9,8 \text{ N/kg})$, de donde $m = 0,75 \text{ kg}$

GRAVITACIÓN UNIVERSAL

¿Se ha preguntado sobre el tipo de fuerza que mantiene unidos a la Luna y la Tierra, al Sol y sus planetas y los cúmulos de galaxias?

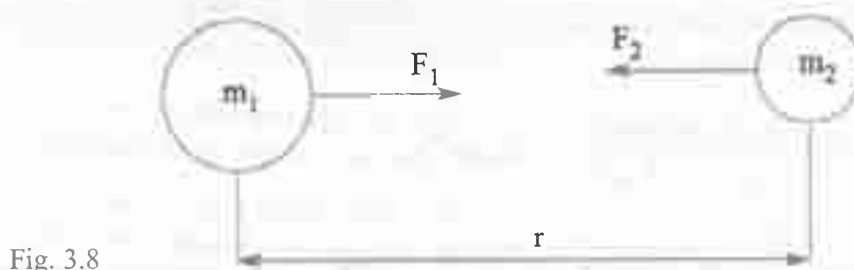
Los físicos la llaman fuerza de gravedad y no hay que confundirla con la aceleración de la gravedad, aunque están relacionadas.

¿Cuál es el origen de la fuerza de gravedad?

Parece que la sola presencia de materia, cuantificada por la cantidad de masa (kilogramos) produce alrededor de ella una especial propiedad en el espacio circundante, modificándolo de tal manera que cualquier otro objeto material situado en ese espacio siempre siente una fuerza de atracción y viceversa (tercera ley). Esta fuerza entonces no depende de otras propiedades de la materia como su carga eléctrica, estado físico, etc., sino únicamente de su masa.

En el año 1666, Isaac Newton propuso una expresión matemática para la fuerza de atracción gravitatoria entre dos cuerpos cuya cantidad de materia sea por ejemplo m_1 y m_2 , respectivamente, y que están separados por una distancia determinada r (de centro a centro).

Es interesante anotar que esta fuerza depende de la masa de los dos cuerpos que interaccionan, es decir, de su producto, y de la distancia que los separa multiplicada por sí misma (elevada a la segunda potencia), pero desde luego en forma inversa, esto es, a mayor distancia menor fuerza.



En la ecuación siguiente, llamada Ley de Newton de la Gravitación Universal, la letra G es una constante necesaria para correlacionar los valores y unidades de la izquierda y la derecha, que se puede medir con un experimento sencillo en un laboratorio, en cualquier parte del universo:

$$F_G = G \frac{(m_1)(m_2)}{r^2} \quad (3.8)$$

G es una constante denominada constante de gravitación universal, cuyo valor es: $G = 6,67 \times 10^{-11}$.

La fuerza de atracción gravitatoria no es muy grande, hay fuerzas que lo son más, como la nuclear y la electromagnética, pero cuando la masa de los cuerpos involucrados es tan grande como la de estrellas, planetas y satélites, es capaz de mantenerlos ligados y propiciar condiciones como las que tenemos en el sistema estelar en el que vivimos.

La belleza de la formulación matemática de una ley de la naturaleza, considerada universal, es que se puede aplicar para calcular la órbita de un trasbordador espacial, el efecto de la fuerza de marea entre la Luna y la Tierra, los eclipses de los satélites de Saturno, o la fuerza de atracción entre la Vía Láctea y la Galaxia de Andrómeda.

A veces pensamos que la Tierra es muy especial, porque vivimos en ella, de la misma manera que nuestro vecindario o país son importantes para nosotros. En realidad es así, pero las leyes de carácter universal nos dicen que nuestro planeta no es excepcional, "no es el cielo ni el infierno", es simplemente un planeta más de los miles de millones que hay alrededor de las estrellas de nuestra galaxia.

Así, los más de cien elementos que encontramos en nuestro vecindario, seguro son los mismos que hay en galaxias lejanas y las diferencias posiblemente se deban a factores como abundancia, concentración, estado físico, bioquímica, antigüedad, estado de desarrollo, etc.

Entonces nos será fácil aceptar –por simple razonamiento– por ahora, que puede haber vida muy diversa en muchos lugares del universo, es decir, algún tipo de seres que nacen, se desarrollan, crecen, aprenden, realizan cosas, se reproducen y finalmente mueren. Nosotros (la Tierra y todos sus seres vivos e inertes) simplemente somos un grupo más, tratando de subsistir en la región del universo en la que nos tocó vivir.

9. Un resorte que mide 15 cm tiene una constante elástica de 700 N/m. ¿Qué fuerza debe aplicársele para que:
- a) se comprima 5,0 cm,
 - b) se estire 5,0 cm,
 - c) mida 25 cm.
10. Un resorte se cuelga verticalmente y se deja que alcance su estado de equilibrio. Luego se cuelga de su extremo libre una masa de 100 g y el resorte se estira 4 cm. Determine lo que se estirará el resorte si se le cuelgan masas de 50 g, 250 g, 500 g.
11. Calcule la fuerza de atracción gravitatoria entre la Tierra y la Luna, si la masa de la Tierra es $6,0 \times 10^{24}$ kg, la masa de la Luna, $7,0 \times 10^{23}$ kg y su distancia (de centro a centro) es 384.000 km.
12. Calcule la fuerza de atracción gravitatoria entre un protón y un electrón en un átomo de hidrógeno, si la masa del protón es $1,67 \times 10^{-27}$ kg, la masa del electrón $9,1 \times 10^{-31}$ kg y su separación es $5,9 \times 10^{-11}$ m.

REFERENCIAS

Newton y la ley de gravitación:

<http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/history/newtongrav.html>

Gravitación universal:

<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/Sgravity.htm>

Astrónomos y físicos famosos:

<http://www.phy.hr/~dpaar/fizicari/xnewton.html>

CAPÍTULO IV

VECTORES

ESCALARES Y VECTORES

Todas las cantidades que encontramos en la naturaleza y, particularmente en el campo de la Física, pueden clasificarse en dos tipos a saber, escalares y vectores.

Llamamos escalares a las cantidades como la masa, el tiempo, la temperatura, la carga eléctrica, la densidad y la corriente eléctrica, que para quedar completamente especificadas requieren únicamente su magnitud, valor o tamaño, en un determinado sistema de unidades.

De ser necesario al escalar se le puede asociar un número negativo, por ejemplo si se trata de una temperatura bajo cero, o de la carga eléctrica de partículas como el electrón, pero en ninguna situación se considera que son cantidades que requieren dirección.

Los escalares se denotan simplemente con la letra del símbolo de la cantidad: **m** para masa, **d** para densidad, **t** para el tiempo, **T** para temperatura.

Las cantidades que además de la magnitud (valor o tamaño) requieren dirección para quedar completamente especificadas se denominan vectores.

Ejemplos de cantidades vectoriales son: la velocidad, la aceleración, la fuerza, el ímpetu y el campo eléctrico, entre otras. Por ejemplo, una velocidad de 3 km/h hacia el Norte significa que los *tres km/h* son la magnitud y *hacia el Norte* especifica la dirección.

Para distinguir los vectores de los escalares se acostumbra denotar los primeros con una letra en tipografía negrita (como **v** para la velocidad) o con una flecha encima del símbolo (como $\vec{F}$ para la fuerza).

Cuando se multiplica un vector por un escalar, resulta otro vector que tiene la misma dirección que el vector original si el escalar es positivo, o dirección opuesta si el escalar es negativo.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE VECTORES

Un vector se representa gráficamente por medio de una flecha orientada en la dirección que tenga. El tamaño de la flecha representa la magnitud del vector a una escala conveniente, por ejemplo: 1 cm = 1 newton, o 1 cm = 5 newton. La punta de la flecha está en la dirección del vector.

Aquí sólo estudiaremos vectores colineales, es decir, aquéllos que están a lo largo de una recta en una dirección o en la dirección opuesta, indicada por la posición de la punta de la flecha, como se muestra en la figura 4. 1.



Fig. 4.1 a.
Vector $F_1 = 4 \text{ N}$
dirigido hacia el Este.
Escala $1 \text{ cm} = 1 \text{ N}$.



Fig. 4.1 b.
Vector $F_2 = 5 \text{ N}$ dirigido
hacia el Oeste.
Escala $1 \text{ cm} = 1 \text{ N}$.

SUMA Y RESTA DE VECTORES

Para sumar dos vectores se coloca el segundo a continuación del primero, de tal manera que el origen del segundo coincida con la punta de flecha del primero, como se muestra en la figura 4.2 para el caso de dos vectores que no son colineales. El vector suma $A+B$ es el que va desde el origen de A hasta la punta de flecha de B.. En esta situación siempre se forma un triángulo, por lo que este procedimiento se conoce con el nombre de método del triángulo.

Dados dos vectores:

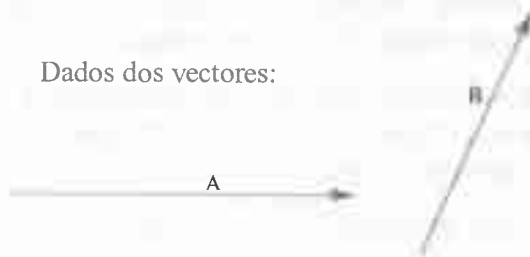


Fig. 4.2.a
Suma de vectores $C = A + B$

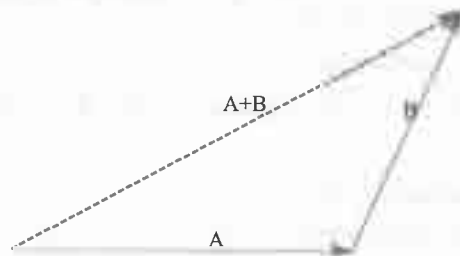
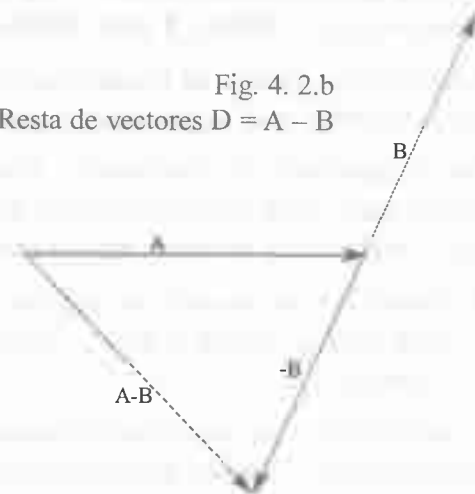


Fig. 4. 2.b
Resta de vectores $D = A - B$



Si los vectores que se suman son colineales, el triángulo siempre se reduce a una recta y puede utilizarse el siguiente convenio para hacer la suma por medio de un procedimiento algebraico basado en la recta numérica. Se consideran positivos los vectores que se dirigen hacia la derecha (o hacia el Este) y negativos los que se dirigen hacia la izquierda (o hacia el Oeste).

Entonces la suma de un vector $F_1 = 3 \text{ N}$ hacia el Este, con un vector $F_2 = 5 \text{ N}$, también hacia el Este, da como resultado un vector $F = F_1 + F_2 = 3\text{N} + 5 \text{ N} = 8 \text{ N}$ hacia el Este, como se ve en la figura 4. 3. Sin embargo, la suma de F_1 con $F_3 = 5 \text{ N}$ hacia el Oeste da como resultado un vector $F' = 2 \text{ N}$ hacia el Oeste, porque $F' = F_1 + F_3 = 3\text{N} + (-5\text{N}) = -2\text{N}$, como se muestra en la Fig. 4. 3. a.

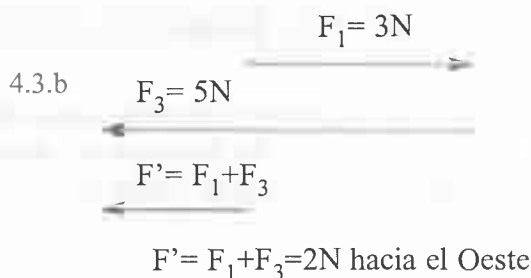
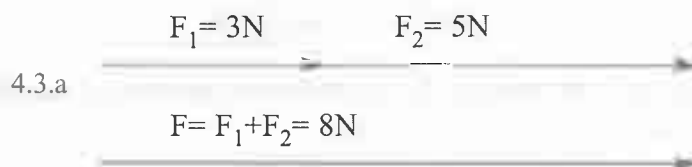


Fig. 4.3
Suma de vectores
colineales.

Un vector que tiene la misma magnitud que otro que llamaremos A, pero dirección opuesta (180° de diferencia), se denomina vector opuesto de A y se denota por $-A$. Así en la figura 4.3 b, el vector F_3 es el opuesto del vector F_2 y en vez de llamarlo F_3 pudimos llamarlo $-F_2$.

La resta de vectores se define de la siguiente manera:

$$A - B = A + (-B) \quad (4.1)$$

Para restarle a un vector A un vector B, realizamos la suma del vector A con el opuesto de B, según se muestra en la figura 4. 2.b.

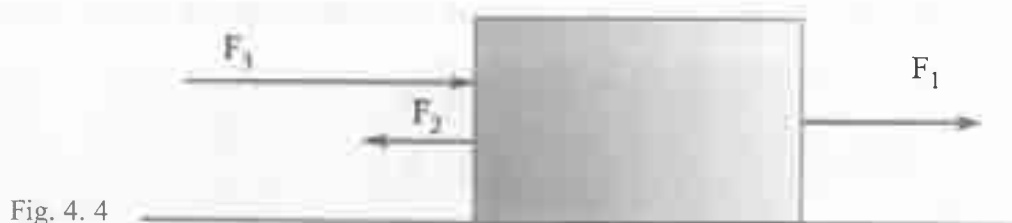
EJEMPLO 4. 1

Sobre un cuerpo de 4 kg actúan tres fuerzas: $F_1 = 2\text{N}$ hacia el Este, $F_2 = 3\text{N}$ hacia el Oeste y $F_3 = 5\text{N}$ hacia el Este, como se muestra en la figura 4. 4. Calcule la aceleración que sufre el cuerpo.

Resolución:

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 = 2\text{N} + (-3\text{N}) + 5\text{N} = 4\text{N}$ hacia el Este. Esta es la fuerza neta o resultante.

Entonces la aceleración del cuerpo es $a = \Sigma F/m = 4\text{N}/4\text{kg} = 1\text{m/s}^2$, hacia el Este.



EL ÍMPETU Y SU CONSERVACIÓN

Como un ejemplo del manejo de cantidades vectoriales, en una dimensión, se discutirá el caso elemental de una colisión unidimensional.

Se llama ímpetu ($\mathbf{p}$) de un cuerpo al vector resultado de multiplicar su velocidad por su masa, o sea:

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (4.2)$$

La unidad en que se expresa el ímpetu, también conocido como cantidad de movimiento, en el Sistema Internacional de Unidades es kg m/s. Su dirección es, desde luego, la misma que la dirección de la velocidad, ya que la masa es un escalar positivo.

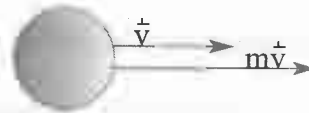
EJEMPLO 4. 2

Un cuerpo de 450 N tiene un ímpetu de 345 kg m/s, calcule: a) su masa y b) su velocidad.

Resolución:

$$a) \quad m = \frac{\text{Peso}}{g} = \frac{450 \text{ N}}{9,8 \text{ N/kg}} = 46 \text{ kg.}$$

$$b) \quad v = \frac{p}{m} = \frac{345 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}}{46 \text{ kg}} = 7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



La Segunda Ley de Newton aplicada a un cuerpo de masa m , puede expresarse en términos del ímpetu de la siguiente manera:

$$\sum F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{m(v - v_o)}{\Delta t} = \frac{mv - mv_o}{\Delta t} = \frac{p - p_o}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (4.3)$$

La ecuación anterior pone de manifiesto que la fuerza externa que actúa sobre un cuerpo es igual al cambio en el ímpetu con respecto al tiempo.

Ahora bien, si se da el caso de que sobre uno o varios cuerpos que conforman un sistema interactivo no actúa ninguna fuerza externa, entonces, el cambio en el ímpetu es cero y por lo tanto este permanece constante a medida que transcurre el tiempo. Estas condiciones se pueden dar, por ejemplo, en las colisiones entre moléculas de un gas y aproximadamente en las colisiones de bolas de billar.

Entonces, en ausencia de fuerzas externas, el ímpetu total de un conjunto de partículas se conserva, es decir, se mantiene constante, lo cual se expresa de cualquiera de las tres maneras siguientes:

$$\Delta \vec{p} = 0 \quad (4.4)$$

$$\sum \vec{p} = \sum \vec{p}_o \quad (4.5)$$

$$(\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots)_{\text{inicial}} = (\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots)_{\text{final}} \quad (4.5)$$

En palabras, la última ecuación implica que si se realiza la suma vectorial del ímpetu de todas las partículas en un estado inicial, por ejemplo, antes de una colisión entre ellas, el resultado es el mismo que cuando se realiza la suma en un estado posterior o final, por ejemplo después de la colisión.

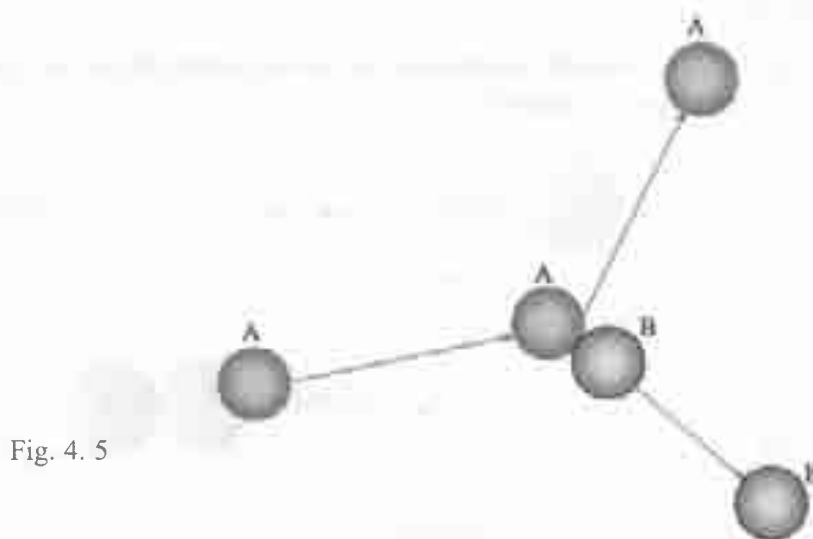


Fig. 4. 5

COLISIONES DE DOS PARTÍCULAS

Trataremos únicamente la colisión unidimensional. Sea **a** una partícula de masa m_a que se mueve a lo largo de una recta (el eje x de un sistema de coordenadas) con una velocidad v_{a1} , donde el subíndice 1 significa que es antes de la colisión. Del mismo modo la partícula **b** con una masa m_b tiene una velocidad v_{b1} , antes de la colisión.

En un momento dado, las dos partículas colisionan y sus velocidades respectivas, después de la colisión, siempre a lo largo de la misma recta (colisión unidimensional) son respectivamente v_{a2} y v_{b2} . Si sólo intervienen fuerzas de interacción, esto es, si no hay fuerzas externas actuando sobre las partículas, la Ley de Conservación del Ímpetu garantiza que:

$$m_a(\vec{v}_{a1}) + m_b(\vec{v}_{b1}) = m_a(\vec{v}_{a2}) + m_b(\vec{v}_{b2}) \quad (4.7)$$

Tome en cuenta que el ímpetu y la velocidad son cantidades vectoriales, por lo que debe usar los métodos de la suma vectorial para armar la ecuación anterior. Puede usar el convenio de signos de la página 38.

EJEMPLO 4.2

Una partícula de masa 30 g se mueve hacia la derecha con una velocidad de 4 m/s. Otra partícula de 20 g se mueve enfrente de la anterior con una velocidad de 5 m/s, hacia la izquierda. Si después de la colisión la primera partícula rebota, en dirección opuesta, con una velocidad de 1,7 m/s, calcule la velocidad de la otra.

Resolución:

$$(30 \text{ g})(4 \text{ m/s}) + (20 \text{ g})(-5 \text{ m/s}) = (30 \text{ g})(-1,7 \text{ m/s}) + (20 \text{ g})(v_{b2})$$

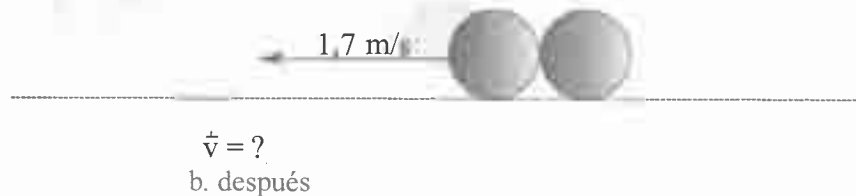
De donde resulta que $v_{b2} = -3,55 \text{ m/s}$, es decir, la segunda partícula también rebota y se mueve hacia la derecha a $3,55 \text{ m/s}$.

Observe que se pueden utilizar unidades mezcladas, ya que el mismo factor de conversión afectaría todos los términos y entonces se cancela.

Fig. 4.6.a
Ejemplo 4.2



Fig. 4.6.b
Ejemplo 4.2

**EJEMPLO 4.3**

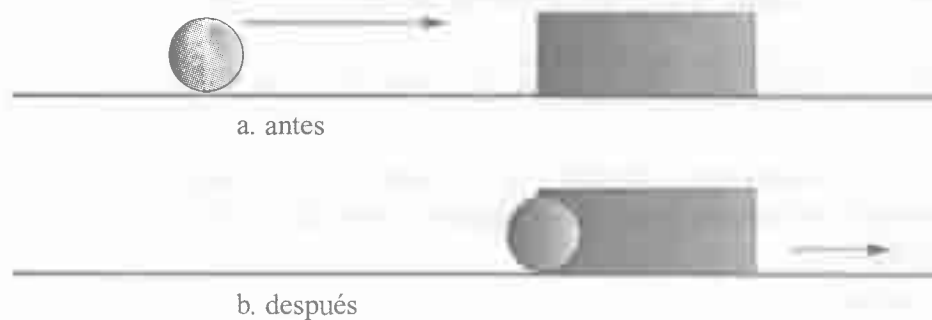
Una partícula de $0,1 \text{ kg}$ de masa se dispara con una velocidad desconocida contra un bloque de 2 kg . Después de la colisión la partícula queda incrustada en el bloque y ambos se mueven (juntos) con una velocidad de 20 m/s . Suponga una colisión, unidimensional, donde se conserva el ímpetu y calcule la velocidad desconocida.

Resolución:

$$(0,1 \text{ kg})(v) + 0 = (2 \text{ kg} + 0,1 \text{ kg})(20 \text{ m/s}), \text{ de donde } v = 420 \text{ m/s}.$$

Observe que es más simple no usar subíndices, si no es necesario.

Fig. 4.7
Ejemplo 4.3



EJEMPLO 4. 4

Un cuerpo de 5 kg que se mueve hacia la izquierda a 20 m/s, explota en dos pedazos, uno de 1 kg que continúa hacia la izquierda a 150 m/s y otro de 4 kg que se mueve hacia la derecha. Calcule la velocidad del pedazo mayor.

Resolución:

$(5 \text{ kg})(-20 \text{ m/s}) = (1 \text{ kg})(-150 \text{ m/s}) + (4 \text{ kg})(v)$, de donde $v = 12,5 \text{ m/s}$ hacia la derecha.



EJEMPLO 4.5

Un muchacho de 70 kg y una muchacha de 50 kg montados en patines, que prácticamente no ejercen ninguna fuerza de rozamiento con el suelo, están inicialmente en reposo, uno frente al otro.

En un momento determinado se empujan con sus brazos y salen en direcciones opuestas. Si el muchacho sale con una velocidad de 12 m/s, ¿con qué velocidad sale la muchacha?

Resolución:

El ímpetu inicial del sistema es cero, por lo cual si se cumplen las condiciones para que se conserve, deberá seguir siendo cero.

$$0 = (70 \text{ kg})(0 \text{ m/s}) + (50 \text{ kg})(0 \text{ m/s}) = (70 \text{ kg})(12 \text{ m/s}) + (50 \text{ kg})(v_{\text{muchacha}}),$$

de donde la velocidad de la muchacha es:

$$v_{\text{muchacha}} = -16,8 \text{ m/s}$$

¿Qué significado físico tiene el signo negativo (-)?

EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. Dibuje un sistema de coordenadas cartesianas, suponiendo que el eje x está a lo largo de la dirección Oeste - Este, y el eje y a lo largo de la dirección Sur - Norte. Represente allí los siguientes vectores, usando una escala tal que $1 \text{ cm} = 5 \text{ N}$.:
 - a) $F_1 = 10 \text{ N}$ hacia el Oeste,
 - b) $F_2 = 5 \text{ N}$ hacia el Sur,
 - c) $F_3 = 15 \text{ N}$ exactamente hacia el Noreste,
 - d) $F_4 = 10 \text{ N}$ en una dirección que forma un ángulo de 30° a partir del Sur y hacia el Este.
2. Utilice el método del triángulo para sumar gráficamente los vectores fuerza F_1 y F_3 del ejercicio anterior. Use la misma escala y determine la magnitud del vector suma. Use un transportador y mida el ángulo que forma el vector suma con respecto a la línea Sur - Norte.
3. Determine la magnitud y la dirección de la suma de los siguientes vectores: $F_1 = 4 \text{ N}$ hacia el Este, $F_2 = 5 \text{ N}$ hacia el Oeste, $F_3 = 3 \text{ N}$ hacia el Oeste y $F_4 = 2 \text{ N}$ hacia el Este.
4. Calcule la distancia que recorre un cuerpo de 4 kg y la velocidad que alcanza a los 10 segundos de iniciado el movimiento, si sobre él actúan las cuatro fuerzas del ejercicio anterior.
5. Un vagón de ferrocarril de 10.000 kg avanza hacia la derecha a $0,5 \text{ m/s}$, mientras que delante de él y en la misma dirección, otro vagón de 15.000 kg avanza a $0,3 \text{ m/s}$. Calcule la velocidad común de los vagones, cuando el primero alcanza al segundo y quedan enganchados. Suponga que se conserva el ímpetu.
6. Resuelva el ejercicio anterior, pero esta vez el vagón de 15.000 kg se mueve en dirección opuesta, es decir, hacia el primero.
7. Una bola de billar (blanca) de masa m que viaja a 3 m/s , choca contra otra bola idéntica (negra) que está en reposo. Después del choque la bola blanca queda en reposo, determine entonces, la velocidad de la bola negra.

REFERENCIAS

Vectores:

<http://www.dic.uchile.cl/~fisica/compmat/vectores.html>

<http://platea.pntic.mec.es/~anunezca/UnidDidVectores/Index/>

Ímpetu:

<http://www.manizales.unal.edu.co/cursofisica/linea.htm>

Colisiones:

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/con_mline/choques/choques.htm

CAPÍTULO V

LA ENERGÍA Y SU CONSERVACIÓN

Si usted abre el periódico, escucha la radio o ve televisión, encontrará el término energía con mucha frecuencia. Ya se trate de una crisis energética por falta de agua, electricidad o petróleo, o porque va a producirse un racionamiento, por una alza en el precio, o el descubrimiento de nuevas fuentes de abastecimiento, el tema de la energía está presente.

¿Pero qué es la energía?

La clarificación de este concepto es uno de los propósitos de este capítulo.

Sabemos que si no hay energía disponible es muy difícil, o imposible, realizar algún tipo de trabajo.

Cuando trabajamos, estudiamos, jugamos y aún cuando dormimos gastamos energía.

Los alimentos nos ayudan a reponer la energía del cuerpo gastada en nuestras actividades cotidianas.

Un bombillo de 100 watt gasta mucho más energía que uno de 15 watt y por su funcionamiento debemos pagar aproximadamente 75 veces más.

Podemos seguir escribiendo oraciones relacionadas con la energía y le recomiendo que escriba unas tres más, para familiarizarse con algunas de las interacciones de este concepto con diversos campos del quehacer humano y con el comportamiento de la naturaleza.

La energía se relaciona con muchos fenómenos y acontecimientos, y vamos a proceder a definirlos y esclarecerlos para que nos ayuden a construir un concepto más depurado.

TRABAJO

Hay algunos conceptos en la ciencia como peso o masa, que en el lenguaje cotidiano, poco cuidadoso, no tratamos correctamente porque usamos una palabra que tiene un significado físico determinado con una significación distinta.

Si usted busca la palabra trabajo, en un diccionario, encontrará muchas acepciones que no se ajustan del todo a la que le da la Física. Las que más se parecen a ésta son las que se refieren a realizar un esfuerzo para hacer, construir o mover algo.

En ciencias, se dice, que una fuerza (o el mecanismo responsable de ejercerla) realiza un trabajo sobre un cuerpo, si éste sufre un desplazamiento en cualquier dirección, siempre que dicha dirección no sea perpendicular a la fuerza, porque en ese caso se considera que el trabajo es cero.

Desde luego, una fuerza realiza el máximo trabajo cuando su dirección es la misma que la del desplazamiento (están a cero grados una de la otra). En el lenguaje cotidiano, esto equivale a decir que debemos poner el esfuerzo y la intención orientados de la misma manera.

Obviamente, cuando una fuerza y el desplazamiento del cuerpo están en direcciones opuestas, la fuerza se opone al movimiento y realiza un trabajo negativo, lo cual asociaremos luego con un gasto de energía. Desde luego, tendrá que existir otra fuerza responsable de mover el cuerpo en la dirección del desplazamiento observado.

Sea F una fuerza aplicada a un cuerpo que forma un ángulo θ con el desplazamiento d que sufre el cuerpo: se define el trabajo (W) de la fuerza de la siguiente manera:

$$W = Fd(\cos\theta) \quad (5.1)$$

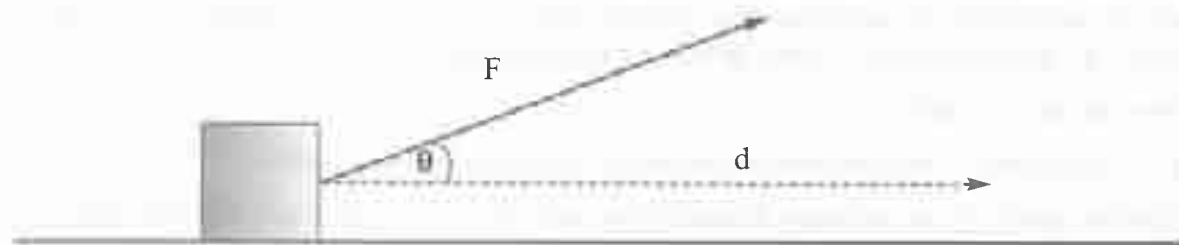


Fig.5 1.

La fuerza realiza un trabajo igual al producto de su magnitud, la magnitud del desplazamiento y el coseno del ángulo entre el vector fuerza y el vector desplazamiento. El trabajo es una cantidad escalar.

Observe que como dijimos anteriormente, la fuerza no hace trabajo ($W = 0$) cuando el ángulo es 90° . Además, el trabajo es positivo para ángulos θ , tal que $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$, y es negativo para $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$.

LA UNIDAD DE TRABAJO: EL JOULE (J)

De manera similar a como definimos el newton, escogeremos aquí una unidad de fuerza (1N) y una unidad de desplazamiento (1m) con un ángulo de 0° entre los dos vectores para definir la unidad de trabajo, el joule. Entonces:

"1 joule es el trabajo que realiza una fuerza de 1 newton a lo largo de un desplazamiento de 1 metro."

El joule, cuyo símbolo es **J**, se estableció en honor al físico inglés James P. Joule (1818–1889), que realizó trabajos importantes relacionados con la energía.

$$W = 1J$$



Fig. 5. 2.

1 joule es el trabajo que realiza una fuerza de 1 newton a lo largo de un desplazamiento de 1 metro.

EJEMPLO 5.1

Suponga que en la Fig. 5.1 F es la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo y tiene una magnitud de 40 N, d es el desplazamiento de 15 m y el ángulo θ es 37° . Calcule el trabajo hecho por la fuerza F . En ejemplos como éste, el valor efectivo de la fuerza (componente en la dirección del movimiento) que produce trabajo y la aceleración es $F(\cos \theta)$. Calcule entonces la aceleración del cuerpo si su masa es 4 kg.

Resolución:

$$W = F d (\cos \theta) = (40 \text{ N})(15 \text{ m})(\cos 37^\circ) = 479 \text{ J}$$

La aceleración en la dirección del desplazamiento está dada por:

$$F (\cos \theta) = ma, \text{ es decir: } (40 \text{ N})(\cos 37^\circ) = (4 \text{ kg}) a, \text{ de donde } a = 8 \text{ m/s}^2.$$

TRABAJO Y ENERGÍA

Si combinamos las dos ecuaciones usadas en la resolución del ejemplo anterior, encontraremos que el trabajo hecho por la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es:

$$W_{\text{neto}} = F d (\cos \theta) = [F (\cos \theta)] d = m a d$$

Ahora bien, en el caso de movimiento rectilíneo con aceleración constante, la diferencia de los cuadrados de la velocidad final y la velocidad inicial, según la ecuación (2. 9), es:

$$2ad = v^2 - (v_o)^2$$

Si multiplicamos ambos miembros de esta ecuación por la masa, al mismo tiempo que dividimos por 2 resulta:

$$W_{\text{neto}} = mad = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m(v_o)^2 \quad (5.2)$$

Concluimos, entonces, que el trabajo hecho por la fuerza neta (o trabajo total) es igual a la variación de una nueva cantidad que resulta de multiplicar la masa del cuerpo por el cuadrado de la velocidad y dividir entre 2. Esta nueva cantidad se denomina energía cinética (E.C.), es decir:

$$\text{E.C.} = \frac{mv^2}{2} \quad (5.3)$$

Usted puede probar por simple congruencia de unidades en la ecuación (5. 2), o sustituyendo las unidades en la ecuación 5. 3, que la unidad SI para la energía cinética es la misma que la del trabajo, es decir, el joule (J).

¿Qué es la energía cinética de un cuerpo de masa m y velocidad v ?

Es una cantidad que representa la capacidad que tiene el cuerpo para realizar trabajo, como veremos a continuación.

Sólo los cuerpos que están en movimiento tienen energía cinética, así que podemos decir que es la energía de un cuerpo asociada con su movimiento, o más específicamente con su velocidad y también con su masa.



Fig. 5. 3.

La energía cinética es una cantidad escalar igual al producto de la masa por el cuadrado de la magnitud de la velocidad y dividido por 2.

La ecuación 5. 2 encierra un resultado muy importante, desde el punto de vista científico y tecnológico, pues establece el hecho de que si se realiza trabajo sobre un cuerpo, se produce una variación en la energía cinética de éste y viceversa. Un cambio en la energía cinética permite que el cuerpo realice un trabajo.

La primera situación es evidente cuando empujamos un carro, por ejemplo, y éste aumenta su energía cinética. La segunda, la encontramos en una caída de agua para una planta hidroeléctrica, donde el cambio de energía cinética del agua permite realizar el trabajo de mover las turbinas.

Este resultado de la ecuación 5. 2 se denomina teorema trabajo – energía y para destacar su importancia escribiremos de nuevo la ecuación poniendo en evidencia que:

"El trabajo neto hecho sobre un cuerpo es igual al cambio de su energía cinética."

$$W_{\text{neto}} = \Delta E.C. \quad (5.4)$$

EJEMPLO 5. 2

Calcule la energía cinética de un cuerpo A de 20 gramos y de un cuerpo B de 20 kg, si ambos se mueven con una velocidad de a) 2 m/s, b) 50 m/s.

Resolución:

Para el cuerpo A:

$$a) \quad \Delta E.C. = \frac{1}{2}(0,020\text{kg})(2\text{m/s})^2 = 0,04\text{J}.$$

$$b) \quad \Delta E.C. = \frac{1}{2}(0,020 \text{ kg})(50 \text{ m/s})^2 = 25\text{J}.$$

Para el cuerpo B:

$$a) \quad \Delta E.C. = \frac{1}{2}(20 \text{ kg})(2 \text{ m/s})^2 = 40\text{J}.$$

$$b) \quad \Delta E.C. = \frac{1}{2}(20 \text{ kg})(50 \text{ m/s})^2 = 25.000\text{J}.$$

EJEMPLO 5. 3

Suponga que 10^6 kg de agua llegan a la turbina de una planta hidroeléctrica, con una velocidad de 35 m/s y salen de ella a 15 m/s. Calcule: a) el trabajo neto hecho sobre el agua, b) la energía que entrega el agua a las turbinas.

Resolución:

$$W_{\text{neto}} = \Delta E.C. = \frac{1}{2} 10^6 \text{ kg} [(15 \text{ m/s})^2 - (35 \text{ m/s})^2] = -5,0 \times 10^8 \text{ J.}$$

¿Por qué el trabajo neto hecho sobre el agua tiene signo negativo?

Porque el cambio de energía cinética es negativo, ya que el agua disminuye su velocidad. Un cambio negativo de energía cinética significa que el agua cedió energía a las turbinas, realizando sobre ellas un trabajo de $+5,0 \times 10^8$ J.

¿Qué cuerpo realizó ese trabajo negativo sobre el agua?

POTENCIA

Cuando una fuerza realiza un trabajo, éste no depende del tiempo en el cual se llevó a cabo.

Usted sabe que arar un terreno puede representar el trabajo de una semana para un agricultor, pero un tractor quizás haga esa misma labor en un día.

Una medida de la rapidez con que se realiza el trabajo o se emplea o gasta energía es la potencia (**P**). La potencia promedio se define como el cociente del trabajo (**W**) y el intervalo de tiempo en que es realizado. La potencia es una cantidad escalar.

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad (5.5)$$

La unidad de potencia en el SI es el watt (W), establecida en honor al ingeniero inglés James Watt (1736 –1819), que perfeccionó la máquina de vapor.

Una potencia de 1 watt significa que se realiza un trabajo (se produce o gasta energía) a razón de 1 joule por segundo (1 J/s).

La potencia de algunos dispositivos, como motores, se clasifica en watt o en kilowatt; también la potencia de equipos de sonido.

Si usted examina los bombillos de su casa, verá que todos tienen una etiqueta de 110 V (ciento diez voltios) que es una característica eléctrica, pero notará que los que dan mucha luz (y gastan mucha energía que usted debe pagar) son de 100 watt, y los que dan menos luz son los de 15 watt que se usan en refrigeradores. Un bombillo de 100 watt gasta el doble de energía por segundo que uno de 50 watt.

$$1 \text{ kilowatt} = 1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W} = 1.000 \text{ J/s}$$

Si se multiplica la potencia por el tiempo se obtiene trabajo (o energía). Esto es:

$$(\text{watt})(\text{segundos}) = \text{joule.}$$

Pero si el tiempo no se expresa en unidades SI, sino en horas, se obtiene una cantidad de energía muy utilizada por las compañías eléctricas, el kilowatt hora (kWh).

El kilowatt hora no es una unidad de potencia sino de energía o trabajo. 1 kilowatt hora es la energía que emplea un mecanismo que funciona a la potencia de 1 kilowatt durante 1 hora:

$$1 \text{ kWh} = (P = 1 \text{ kW})(\Delta t = 1 \text{ hora}) = (1\,000 \text{ J/s})(3.600 \text{ s}) = 3,6 \times 10^6 \text{ J}.$$

EJEMPLO 5. 4

Una fuerza de 7.500 N actúa a lo largo de una distancia de 30 m durante 2 minutos.

- Calcule el trabajo en kilowatt hora y la potencia promedio en kilowatt.
- ¿En cuánto tiempo haría el mismo trabajo un dispositivo que funciona con una potencia de 30 kilowatt?

Resolución:

$$a) \quad W = (7.500 \text{ J})(300 \text{ m}) = 2,25 \times 10^6 \text{ J}.$$

$$P = W/\Delta t = 2,25 \times 10^6 \text{ J}/120 \text{ s} = 188 \times 10^4 \text{ watt} = 18,8 \text{ kW}.$$

$$b) \quad \Delta t = W/P = 2,25 \times 10^6 \text{ J}/30000 \text{ W} = 75 \text{ s}.$$

ENERGÍA POTENCIAL

¿Cuánto sería el trabajo mínimo que debe hacerse para levantar un cuerpo de masa m desde el nivel del suelo hasta una altura h ?

La fuerza mínima (hacia arriba) es equivalente al peso del cuerpo para moverlo en equilibrio a velocidad constante.

El trabajo sería $W = (mg)(\cos 0^\circ)(h) = mgh$.

Cuando un cuerpo es levantado hasta cierta altura, estando allí tiene capacidad para realizar trabajo, si se deja caer, por ejemplo. Al caer gana energía cinética y por el teorema trabajo –energía, sabemos que el cuerpo tiene capacidad para hacer trabajo.

¿Cuánto trabajo?

El mismo que se le aplicó al cuerpo cuando se levantó a una altura h (si no hay pérdidas por rozamiento, por ejemplo).

Definimos, entonces, que un cuerpo de masa m , a una altura h , en el campo gravitatorio de la Tierra g , tiene una **energía potencial** cuyo valor es mgh , es decir:

$$E. P. = m g h \quad (5.6)$$

En realidad, esta es la energía potencial gravitatoria del cuerpo cerca de la superficie de la Tierra, donde $g = 9,8 \text{ N/kg} = 9,8 \text{ m/s}^2$, pero la llamamos simplemente energía potencial (E. P.) y es una cantidad escalar.

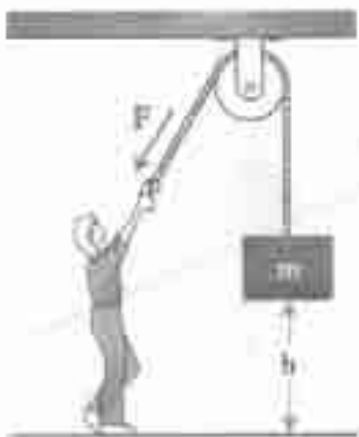


Fig. 5.4
El trabajo hecho contra la gravedad es igual a la energía potencial.

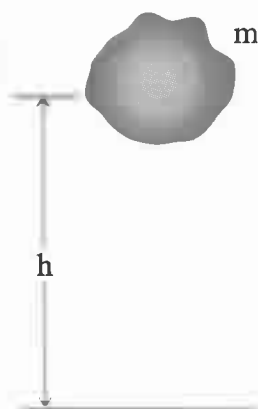


Fig. 5.5
Energía potencial = $m g h$.

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

Se llama energía mecánica (E. M.) de un cuerpo a la suma de su energía cinética y la energía potencial, o sea:

$$E. M. = E. C. + E. P. \quad (5.7)$$

Se puede probar que si no hay fuerzas que disipen energía, como la de rozamiento actuando sobre el cuerpo, la energía mecánica de éste se conserva, o lo que es lo mismo, se mantiene constante. Su valor entre dos situaciones cualesquiera es el mismo.

En la figura 5.6 se muestra un cuerpo de masa m que desliza sobre una pista de altura variable y, consecuentemente, tiene velocidad variable. En la posición 1 el cuerpo tiene velocidad v_1 y está a una altura h_1 , y en la posición 2 tiene velocidad v_2 y su altura es h_2 . Entonces, si no hay fuerzas que disipen energía:

$$E. M._1 = E. M._2$$

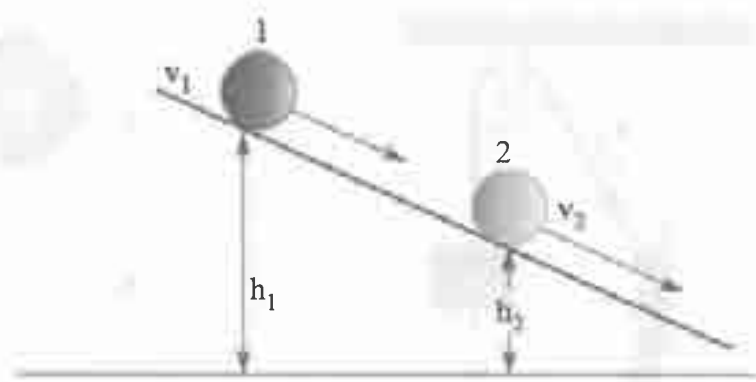
$$E.C._1 + E. P._1 = E. C._2 + E. P._2$$

O de manera más explícita:

$$\frac{1}{2} m (v_1)^2 + mgh_1 = m(v_2)^2 + mgh_2. \quad (5.8)$$

La conservación de la energía mecánica establece entonces que si un cuerpo aumenta su energía cinética, disminuye su energía potencial y viceversa, ya que su suma debe permanecer constante.

Fig. 5.6.
La energía mecánica del
cuerpo se conserva, si no
actúan sobre él fuerzas
que la disipen.



EJEMPLO 5. 5

Suponga que en la figura 5.6 el cuerpo de 5,0 kg tiene una velocidad de 3,0 m/s y una altura de 13 m en el punto 1, mientras que en el punto 2 la altura es 2,5 m. Calcule: a) la velocidad en el punto 2, b) la energía mecánica en el punto 1, c) la energía potencial en otro punto 4, si la energía cinética es 600 J.

Resolución:

$$a) \frac{(m)(3,0 \text{ m/s})^2}{2} + (m)(9,8 \text{ m/s}^2)(13 \text{ m}) = \frac{m (v_2)^2}{2} + (m)(9,8 \text{ m/s}^2)(2,5 \text{ m})$$

Observe que la masa del cuerpo está en todos los términos y se cancela; no se necesita.

De la ecuación anterior resulta $v_2 = 14,6 \text{ m/s}$.

b) La energía mecánica se puede calcular en cualquier punto, pero se necesita la masa:

$$E.M. = \frac{(5,0 \text{ kg})(3 \text{ m/s})^2}{2} + (5,0 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2)(13 \text{ m}) = 660 \text{ J}$$

c) $E. M. = 660 \text{ J} = 600 \text{ J} + E. P.$, de donde $E. P. = 60 \text{ J}$.

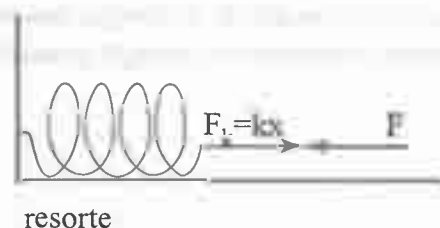
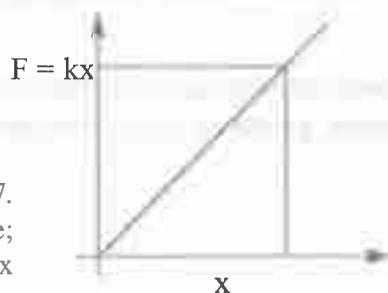
ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA

Un cuerpo elástico puede almacenar energía potencial en sí, si está bajo compresión o bajo tensión, y esta energía puede ser liberada para impulsar un objeto que se ha colocado en su extremo libre.

Supongamos que el resorte tiene una respuesta lineal, es decir, satisface la ecuación de Hooke

$F = k x$, como se muestra en la Fig. 5. 7. Esa fuerza, evidentemente, no es constante y si se desea comprimir o estirar el resorte de tal manera que la elongación sea x , el agente externo (fuerza externa) debe realizar un trabajo para deformarlo.

Fig. 5. 7.
Ecuación de Hooke;
 $F_k = kx$



Evidentemente, la fuerza externa F que se debe ejercer para comprimir el resorte es igual en todo momento a la fuerza elástica, pero de dirección opuesta.

El trabajo que realiza esta fuerza no se puede calcular simplemente multiplicando su magnitud por la elongación, ya que la fuerza no es constante. Sin embargo, se puede demostrar que ese trabajo es igual al área bajo la curva en la gráfica de F en función de x , que es un triángulo.

$$\text{Entonces: } W = \frac{(\text{base})(\text{altura})}{2} = \frac{(x)(kx)}{2} = \frac{1}{2}kx^2.$$

Se define entonces la energía potencial almacenada en el resorte ($E.P.k$), cuando está comprimiendo una distancia x (la elongación), como igual al trabajo realizado sobre él para comprimirlo, esto es:

$$E.P._k = \frac{kx^2}{2} \quad (5.9)$$

Esta energía potencial elástica, al igual que la energía potencial gravitatoria, se expresa en joule (J) en el Sistema Internacional de Unidades.

EJEMPLO 5. 6

Un resorte lineal tiene una constante elástica de 820 N/m. Calcule la fuerza necesaria para estirarlo 10 cm. Calcule además la energía potencial que almacena cuando se comprime:

a) 10 cm,

b) 30 cm.

Resolución:

De acuerdo con la ecuación de Hooke:

$F = kx = (820 \text{ N/m})(0,1 \text{ m}) = 82 \text{ N}$. Se trata de una fuerza que pone el resorte en tensión.

$$\text{a) } E.P._k = \frac{(820 \text{ N/m})(0,1 \text{ m})^2}{2} = 4,1 \text{ J}$$

$$\text{b) } E.P._k = \frac{(820 \text{ N/m})(0,3 \text{ m})^2}{2} = 36,$$

Observe que este valor no es tres veces la energía calculada en b), sino nueve veces, porque la energía potencial elástica depende de la elongación elevada a la segunda potencia.

EJEMPLO 5. 7.

Suponga que el resorte del ejemplo anterior se coloca dentro de un carril horizontal y es comprimido 20 cm por una bola de 100 gramos. Si luego se permite que el resorte se descomprima, ¿con qué velocidad impulsará la bola?

Resolución:

Aplicamos conservación de la energía, es decir, consideramos que toda la energía potencial del resorte se transfiere a la bola, en forma de energía cinética:

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

$$\frac{(820\text{N/m})(0,2\text{m})^2}{2} = \frac{(0,100\text{ kg})(v^2)}{2}, \text{ de donde } v = 18,1\text{m/s}.$$

EJEMPLO 5.8

Un resorte de 20 cm de largo y cuya constante elástica es 922 N/m se coloca verticalmente sobre el piso. Una bola de 0,8 kg se deja caer sobre el resorte desde una cierta altura y comprime al resorte una distancia máxima de 12 cm. Calcule: a) la altura desde la cual cayó la bola, b) la velocidad de la bola en el momento de chocar contra el resorte.

Resolución:

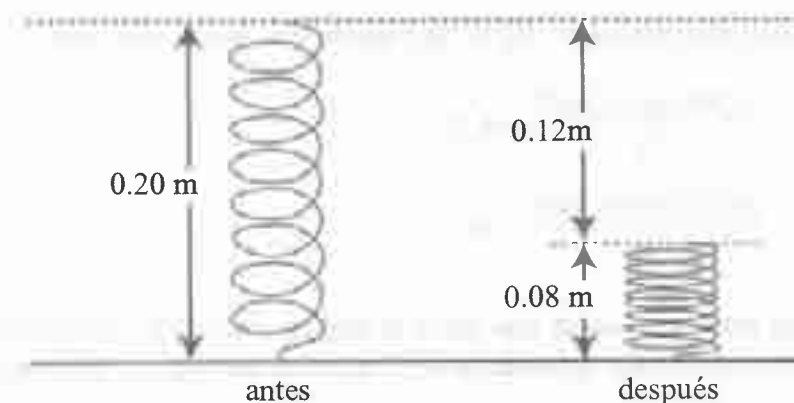
- a) La energía potencial elástica máxima del resorte es igual a la energía potencial gravitatoria de la bola

$$\frac{(922\text{ N/m})(0,12\text{ m})^2}{2} = (0,8\text{ kg})(9,8\text{ N/kg})(h), \text{ de donde } h = 0,85\text{m}$$

Esta altura se ha calculado con respecto a la posición del resorte ya comprimido, de tal manera que la altura con respecto al suelo es 0,93 m.

$$(0,8\text{ kg})(9,8\text{ N/kg})(0,93\text{ m}) = \frac{(0,8\text{ kg})(v)^2}{2} + (0,8\text{ kg})(9,8\text{ N/kg})(0,2\text{ m}), \text{ de donde } v = 3,8\text{ m/s}$$

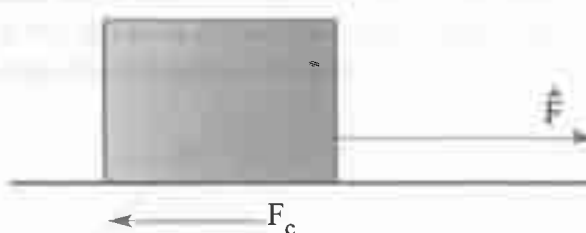
Fig. 5.7
Ejemplo 5.8.



EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. En la figura 5.8 una caja es halada sobre el suelo por medio de una fuerza F de 400 N, mientras que hay una fuerza de rozamiento cinético f_c de 75 N en contra de la dirección del movimiento. Si el desplazamiento es 10 m calcule el trabajo que realiza:
 - a) la fuerza F ,
 - b) la fuerza de rozamiento.

Fig. 5.8.
Ejercicio 1.



2. Calcule:
 - a) el trabajo que realiza una fuerza $F = 100$ N que levanta un bloque de 10 kg una distancia de 5 m,
 - b) el trabajo que realiza el peso del cuerpo y
 - c) el trabajo mínimo que tendría que hacer una fuerza F' para levantar el cuerpo la misma distancia pero a velocidad constante.
3. Calcule la energía cinética de:
 - a) una caja que pesa 400 N y se mueve a 35 cm/s,
 - b) una bola de 200 g que tiene un ímpetu de 458 kg m/s.
4. La energía que transporta el aire, cuando el viento tiene una velocidad de 50 km/h, es energía cinética. ¿Cuánta será la energía si se trata de un huracán con viento al doble de la velocidad anterior?
5. Determine el cambio de energía cinética que sufre la caja del ejercicio 1 y también su velocidad final si parte del reposo. La masa de la caja es 4 kg.
6. Un carrito pequeño de 1.350 kg está varado sobre una carretera plana horizontal. Si usted lo empuja aplicándole un trabajo 5.000 J, calcule la energía cinética y la velocidad que adquiere el carrito si parte del reposo.
7. Si ahora para frenar el carrito, del ejercicio anterior, usted le aplica un trabajo de -2.000 J, ¿a qué valor reduce la velocidad?
8. Un aparato para subir cajas desde el suelo hasta una altura de 10 m sube una caja de 80 kg cada 2 minutos. Calcule la potencia a la que está funcionando.
9. Determine la potencia eléctrica, en kilowatt, utilizada en su casa y el consumo de energía en joule y en kilowatt hora, si mantuvo funcionando durante 45 minutos los siguientes aparatos: 5 bombillos de 60 watt, una cocina de 1,2 kilowatt, un radio de 200 watt y dos motores de 0,75 kW.

10. Calcule la energía mecánica de una avioneta de 1.500 kg que vuela a 1.000 m de altura con una velocidad de 300 km/h.
11. Un pequeño bloque se desliza por una pista sin rozamiento con una velocidad de 9 m/s y luego se eleva por un plano inclinado.
 - a) Calcule la altura máxima a la que sube el bloque por el plano.
 - b) ¿Qué velocidad tiene el bloque cuando está a la mitad de la altura máxima sobre el plano?
 - c) ¿A qué altura está el bloque sobre el plano, cuando su velocidad se ha reducido a la mitad de su valor inicial?
12. La masa de un péndulo de 1,2 m de largo se coloca de tal manera que queda a una altura igual a la mitad de su longitud, según se muestra en la Fig. 5.9. Luego el péndulo se suelta y comienza a oscilar; calcule la velocidad de la masa cuando pasa por el punto más bajo de la oscilación.

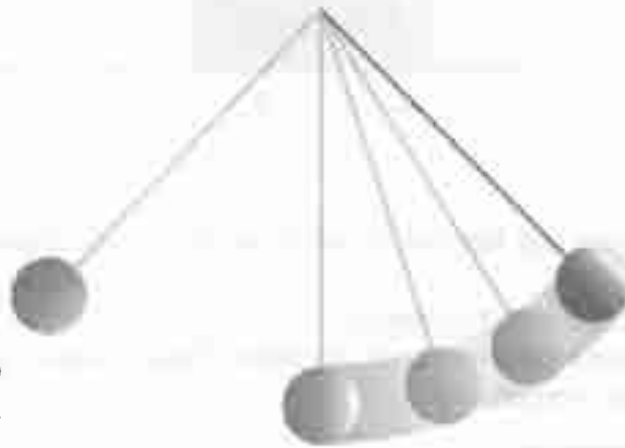


Fig. 5.9
Ejercicio 12.

13. Calcule la energía potencial elástica que almacena un resorte cuya constante es 666 N/m, si está comprimido o estirado 12 cm.

REFERENCIAS

Trabajo, potencia y energía:

<http://newton.cnice.mecd.es/primerasunidades/ud-trabajoenergia/intro.htm>

Energía mecánica:

http://www.lafacu.com/apuntes/fisica/ener_meca/default.htm

Conservación de la energía:

<http://www.cienciaredcreativa.org/informes/energia%201.pdf>

CAPÍTULO VI

FLUIDOS

Llamamos fluidos a las sustancias como los líquidos y gases que fluyen con cierta facilidad, en contraposición a los sólidos, que no lo hacen.

Los fluidos que más conocemos son seguramente el agua y el aire, y a ellos nos referiremos frecuentemente como ejemplos típicos.

Vamos a suponer que, cuando nos referimos a las propiedades de una sustancia, estamos tomando en consideración una muestra homogénea de ésta, para que dichas propiedades sean representativas de toda la masa o de todo el volumen que estamos analizando.

La presión, aunque en su definición participa una fuerza, no es una cantidad vectorial sino escalar. En un punto dentro del interior de un fluido la presión es la misma, no importa la dirección en la cual se esté intentando calcular o medir.

DENSIDAD

Todas las sustancias pueden clasificarse por su densidad (d), la cual es igual a la masa (m) por unidad de volumen (V) de dicha sustancia:

$$d = \frac{m}{V} \quad (6.1)$$

Evidentemente, en el Sistema Internacional la densidad se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3), pero también se usan mucho, dependiendo del tipo de actividad que se realice, unidades como gramos por centímetro cúbico (g/cm^3), o gramos por mililitro (g/mL) que es lo mismo.

La densidad del agua es 1 g/cm^3 , lo cual equivale a 1.000 kg/m^3 .

Todos tenemos la experiencia de que las sustancias más densas son más pesadas, lo cual es cierto, ya que el peso de un volumen cualquiera de alguna sustancia, es el producto de la densidad, el campo gravitatorio y el volumen ($\text{peso} = d \cdot g \cdot V$).

La medición de la densidad de un sólido requiere una determinación cuidadosa del volumen. Si se trata de un sólido con una forma geométrica regular y simple, su volumen se calcula por medio de una operación matemática entre las dimensiones (largo, ancho, espesor, altura diámetro, etc.) que se han medido.

Si se trata de sólidos no regulares (una roca, o granos como frijoles y maíz), se pueden colocar dentro de una probeta que tenga una cantidad conocida de un líquido (generalmente agua) y usar el método del desplazamiento para determinar el volumen, como se ilustra en la Fig. 6.1

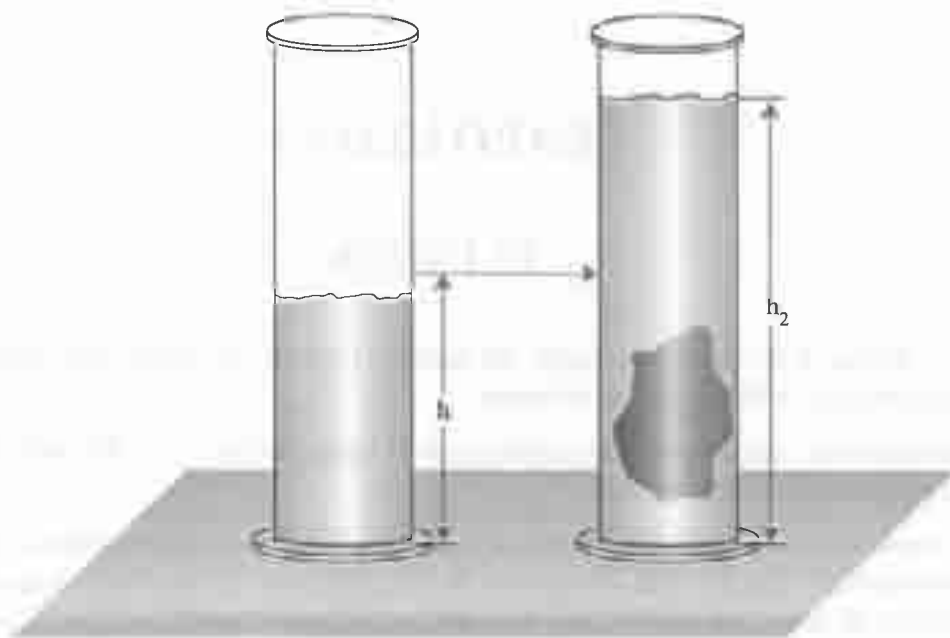


Fig. 6.1

Método del desplazamiento para medir el volumen de un sólido.

EJEMPLO 6.1

Suponga que en la figura 6.1 la altura inicial del líquido (agua) en la probeta está en la marca de $52,0 \text{ cm}^3$ y la marca final en la de 375 cm^3 . La probeta con agua se había colocado previamente sobre una balanza que indicó $185,8 \text{ g}$ y cuando se introdujo el sólido, la lectura fue de $963,5 \text{ g}$. ¿Cuál es la densidad del sólido que está dentro de la probeta? Expresé el resultado en g/cm^3 y en kg/m^3 .

Resolución:

El volumen del sólido, según el método del desplazamiento es: $V = 375 \text{ cm}^3 - 52 \text{ cm}^3 = 323 \text{ cm}^3$.

La masa es: $m = 963,5 \text{ g} - 185,8 \text{ g} = 777,7 \text{ g}$.

La densidad del sólido es entonces: $d = m / V = 777,7 \text{ g} / 323 \text{ cm}^3 = 2,41 \text{ g/cm}^3$.

$2,41 \text{ g/cm}^3 = (2,41 \text{ g/cm}^3)(1 \text{ kg} / 1.000 \text{ g})(10^6 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3) = 2.41 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

PRESIÓN

Una de las propiedades importante y útiles de los fluidos es su capacidad para ejercer presión sobre sus moléculas, sobre las paredes de los recipientes que los contengan y sobre sólidos parcial o totalmente sumergidos dentro de ellos.

La **presión** (p) se define como la fuerza por unidad de área (A) ejercida sobre una superficie, cuando la fuerza actúa en dirección perpendicular (a 90°) con dicha superficie y hacia adentro de ella.

$$p = \frac{F}{A} \quad (6.2)$$

En el SI la **presión** se expresa en newton/metro² (N/m²), unidad a la cual se le ha dado el nombre de pascal (Pa), en honor al físico francés Blaise Pascal (1623 – 1662).

Sin embargo, como veremos luego, dependiendo de la rama de la ciencia o de la tecnología, también se usan unidades como atmósferas, milibares, milímetros de mercurio y libras por pulgada cuadrada.

$$p = \frac{F_{\text{perpendicular}}}{\text{Área}}$$

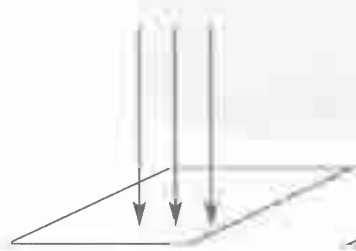


Fig. 6.2.a

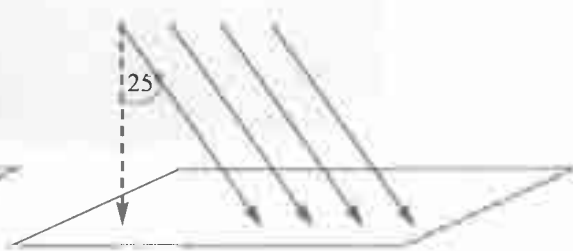


Fig. 6.2.b

EJEMPLO 6.2

Suponga que en la Fig.6.2–b una fuerza $F = 80 \text{ N}$ se aplica de tal manera que está igualmente distribuida (repartida) sobre una superficie de 30 cm^2 de área. Sin embargo, la fuerza no está perpendicular a la superficie, sino que está inclinada un ángulo de 25° con respecto a una recta normal a ella. Calcule la presión ejercida por dicha fuerza.

Resolución:

Primero calculamos el valor efectivo (componente) de la fuerza en la dirección perpendicular a la superficie, cuyo valor es:

$$F_{\text{perpendicular}} = (80 \text{ N})(\cos 25^\circ) = 72,5 \text{ N}.$$

Luego expresamos el área en metros cuadrados:

$$A = 30 \text{ cm}^2 = (30 \text{ cm}^2)(1 \text{ m}^2 / 10.000 \text{ cm}^2) = 3,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2.$$

La presión es entonces:

$$p = 72,5 \text{ N} / 3,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 2,4 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 2,4 \times 10^4 \text{ Pa}.$$

PRESIÓN HIDROSTÁTICA

Se denomina presión hidrostática a aquella que ejerce un líquido como el agua, debido a su propio peso.

Para calcular el valor de la presión hidrostática a cierta profundidad (h), en un líquido de densidad (d), suponemos que el líquido está confinado en un recipiente y que no está en movimiento.

Imaginemos una columna prismática de líquido de altura (h) levantada sobre un área (A), como la de un pequeño mosaico en el piso del recipiente, Fig. 6. 3.

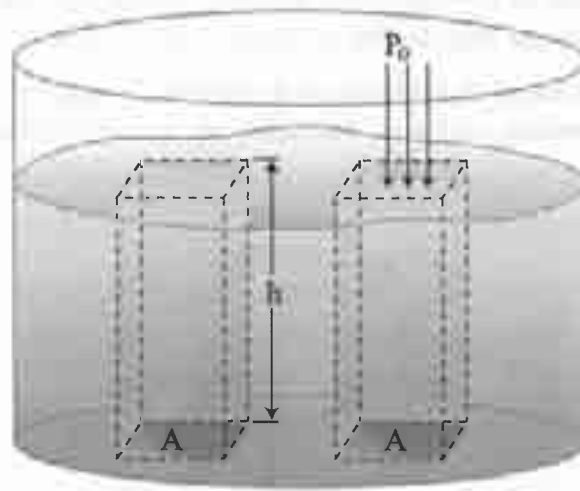


Fig. 6.3:
Presión hidrostática

El volumen de la columna es:

$$V = h A$$

Su masa es:

$$m = d h A$$

Su peso es:

$$\text{peso} = (d h A) g$$

La presión sobre el área de la base de la columna (a la profundidad h) es:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{d g h A}{A} = d g h .$$

Lo que quiere decir, que la presión ejercida por el líquido (**presión hidrostática**), es igual al producto de la densidad del líquido, el campo gravitatorio y la profundidad:

$$p = d g h \quad (6.3)$$

Ahora bien, normalmente la superficie superior del líquido ya está sometida a una presión (p_0), que puede ser la que ejerce la atmósfera, o la presión que ejerce un gas como ocurre en una bomba de agua. Esta condición implica otra presión, además de la ejercida por el líquido propiamente dicho, que se aplica a todos los puntos del líquido y las paredes del recipiente. Esto se conoce con el nombre de **principio de Pascal**.

En resumen, la presión hidrostática a una profundidad h en un líquido de densidad d, cuya superficie libre superior está a una presión p_0 , es:

$$p = p_0 + d g h \quad (6.4)$$

EJEMPLO 6. 3

Suponga que el valor de la presión atmosférica estándar es $1,0 \times 10^5$ Pa y calcule la presión a 1,0 m y a 10 m de profundidad bajo la superficie del mar, cuya densidad es $1,03 \text{ g/cm}^3$.

Resolución:

$$p_1 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa} + (1\,030 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ N/kg})(1 \text{ m}) = 1,1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_{10} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa} + (1\,030 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ N/kg})(10 \text{ m}) = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

Podemos ver que la presión hidrostática en el agua aumenta aproximadamente un valor igual a la presión atmosférica por cada 10 metros de profundidad.

MANÓMETROS

Un manómetro simple es un tubo en "u" que contiene un líquido de densidad (d), abierto por ambos lados como el mostrado en la Fig. 6.4—a. La columna izquierda y la columna derecha alcanzan la misma altura, puesto que ambas están sometidas a la presión atmosférica en la superficie libre y el líquido está en equilibrio (en reposo), por lo que las presiones en el fondo de ambas columnas son iguales.

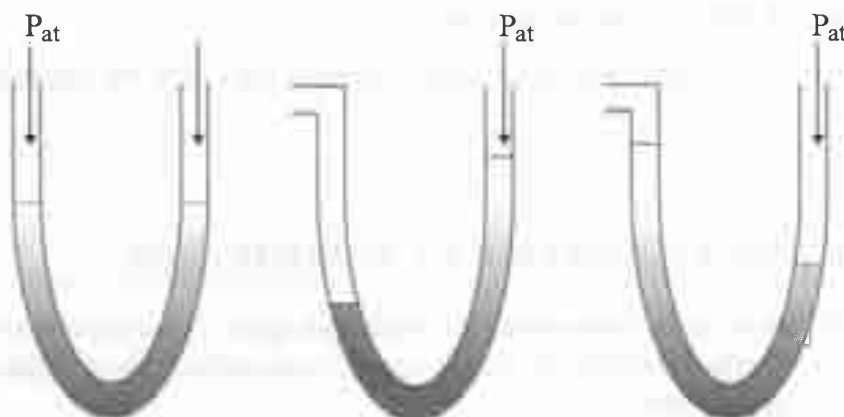


Fig. 6.4
Manómetro.

Fig. 6.4.a
 $p = p_{at}$

Fig. 6.4.b
 $p > p_{at}$

Fig. 6.4.c
 $p < p_{at}$

Si la rama izquierda del manómetro se conecta a un recipiente que contiene un gas, a una presión mayor que la atmosférica, obviamente, el nivel del líquido en dicha columna descenderá cierta distancia, y al mismo tiempo, el nivel en la columna derecha se elevará en la misma proporción.

La diferencia de niveles (h) es proporcional a la diferencia entre la presión del gas (p) y la presión atmosférica (p_{at}), que se denomina **presión manométrica**, expresión basada en el nombre del instrumento con el que se mide.

$$\Delta p = p - p_{at} = d g h \quad (6.6)$$

La Fig. 6.4—b muestra un manómetro marcando una presión manométrica positiva, porque la presión del gas en el balón es mayor que la atmosférica, mientras que la Fig. 6. 4—c muestra una presión manométrica negativa (un ligero vacío), porque la del balón es menor que la presión atmosférica.

Si el líquido de un manómetro tiene una gran densidad, como sucede con el mercurio ($13,6 \text{ g/cm}^3$), posee la capacidad de medir grandes presiones manométricas, con sólo unos pocos centímetros de diferencia entre las dos columnas. Sin embargo, para aplicaciones biológicas se utilizan manómetros con agua.

EJEMPLO 6. 4

Suponga que la diferencia de nivel en los manómetros de la figura 6. 4–b es 13,2 cm y en la Fig. 6.4–c es 18,7 cm. Si la presión atmosférica es $1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$, calcule la presión absoluta del gas en los respectivos balones. El líquido del manómetro es mercurio.

Resolución:

a) $\Delta p = (13.600 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ N/kg})(0,132 \text{ m}) = 1,76 \times 10^4 \text{ Pa}.$

b) La presión absoluta en ese balón es entonces:

$$p = p_{\text{at}} + p_{\text{man}} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} + 1,76 \times 10^4 \text{ Pa} = 1.18 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

b) $\Delta p = -(13.600 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ N/kg})(0,187 \text{ m}) = -2,49 \times 10^4 \text{ Pa}$

La presión absoluta en ese balón es:

$$p = p_{\text{at}} + p_{\text{man}} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} + (-2,49 \times 10^4 \text{ Pa}) = 7,61 \times 10^4 \text{ Pa, alrededor de } 0,75 p_{\text{at}}.$$

PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y BARÓMETROS

La atmósfera de la Tierra está constituida por gases como nitrógeno y oxígeno principalmente. Existen en ella otros gases en mucho menor proporción, como dióxido de carbono, vapor de agua, ozono y gases nobles.

Esos gases confinados por el campo gravitatorio terrestre ejercen presión, que obviamente disminuye con la altitud sobre la superficie de la Tierra. Esto es lo que llamamos **presión atmosférica** (p_{at}).

Para comprender el cálculo de la presión atmosférica procedemos de manera semejante a como se hizo para derivar la ecuación hidrostática, es decir, sobre una superficie plana, como un mosaico en la acera de su casa, imaginamos una columna de aire, hasta una altitud donde suponemos termina la atmósfera, se calcula el peso de dicha columna y dividimos por el área del mosaico.

La principal diferencia es que la densidad del aire no es constante y las condiciones de la atmósfera son variables, dependiendo de la humedad y la temperatura, por lo que se necesitan métodos matemáticos más poderosos, o una manera de medirla directamente.

El valor estándar de la **presión atmosférica** a nivel del mar en un día soleado es:

$$p_{\text{at}} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

Si hay nubes cargadas de agua en la atmósfera, la presión atmosférica desciende porque el vapor de agua que desplaza al nitrógeno, por ejemplo, tiene menor peso molecular.

Para medir la presión atmosférica se utiliza un aparato denominado barómetro, que consiste en un capilar de vidrio de unos 800 mm, cerrado en uno de sus extremos y lleno de mercurio, el cual se coloca verticalmente e invertido, de tal manera que su extremo abierto queda bajo la superficie del mercurio en un recipiente, como se muestra en la Fig. 6. 5.

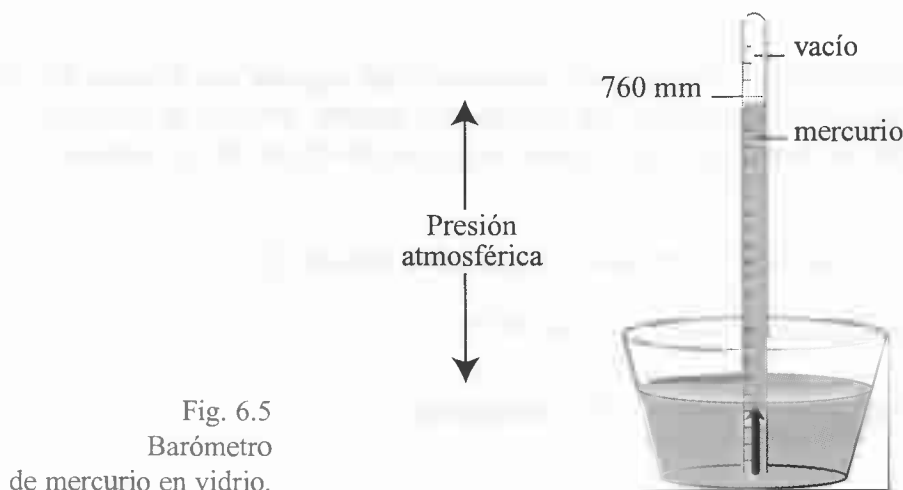


Fig. 6.5
Barómetro
de mercurio en vidrio.

El mercurio en el capilar desciende un poco y se deposita en el recipiente, dejando prácticamente un vacío en la parte superior del menisco.

La columna se equilibra y estabiliza en una altura estándar de 760 mm porque su peso es sostenido por la fuerza hacia arriba, que ejerce la acción de la presión atmosférica sobre el mercurio del recipiente.

Se concluye, entonces, que la altura de la columna del barómetro determina la presión atmosférica, esto es:

$$p_{at} = d_{\text{mercurio}} g h_{\text{mercurio}} = (13600 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ N/kg})(0,760 \text{ m}) = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Como la altura de la columna de un barómetro de mercurio usualmente se mide en milímetros, la presión atmosférica también se expresa en milímetros de mercurio, significando con ello la presión producida por una columna de mercurio de esa altura.

Otra unidad utilizada es la denominada atmósfera, ya que el valor estándar de la presión atmosférica se denomina 1 atmósfera.

En resumen:

$$1 \text{ atmósfera} \equiv 760 \text{ mm de mercurio} \equiv 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

EJEMPLO 6. 5

En un día con lluvia el barómetro de una estación meteorológica marca 700 mm. Determine la presión en a) mm de mercurio, b) pascales, c) atmósferas.

Resolución:

a) $p = 760 \text{ mm de mercurio}$, es la medida directa del barómetro.

$$b) \frac{p_{Pa}}{700 \text{ mm}} = \frac{1,01 \times 10^5 \text{ Pa}}{760 \text{ mm}}, \text{ de donde } p = 9,30 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$c) \frac{p_{atmósferas}}{700 \text{ mm}} = \frac{1 \text{ atmósfera}}{760 \text{ mm}}, \text{ de donde } p = 0,92 \text{ atmósferas.}$$

EJEMPLO 6.6

Un cilindro con aire comprimido se conecta a un manómetro que registra una presión de 1.068 mm de mercurio, mientras que un barómetro que está al lado registra 706 mm de mercurio. Determine la presión absoluta del aire dentro del cilindro en a) mm de Hg, b) Pa, c) atmósferas.

Resolución:

$$a) p = p_{at} + p_{man} = 706 \text{ mm de Hg} + 1\,068 \text{ mm de Hg} = 1.774 \text{ mm de Hg.}$$

$$b) p = (13.600 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ N/kg})(1,774 \text{ m}) = 2,36 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

$$c) p = (1\,774 \text{ mm de Hg}) \left(\frac{1 \text{ atmósfera}}{760 \text{ mm de Hg}} \right) = 2,33 \text{ atmósferas.}$$

PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Supongamos un cuerpo que está totalmente sumergido en un líquido de densidad (d), abierto a la atmósfera. Es decir, sobre su superficie libre actúa la presión atmosférica (p_{at}). Por simplicidad en el análisis matemático, consideremos que es un prisma (una pequeña caja) de base (B) y altura (h) de tal manera que la base está horizontal.

Como sabemos, todo cuerpo dentro de un fluido experimenta presión en todas direcciones hacia adentro del cuerpo. Mediante un razonamiento que toma en cuenta la simetría de la caja, se dice que las fuerzas que ejercen la presión sobre las cuatro paredes laterales de la caja se cancelan entre sí. Pero la fuerza hacia arriba sobre la base inferior es mayor que la fuerza hacia abajo sobre la base superior, porque la primera está a mayor profundidad y por consiguiente, la presión hidrostática sobre ella es mayor que sobre la base superior.

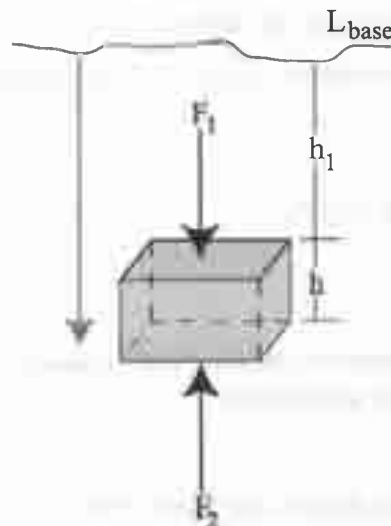


Fig. 6. 6

Sea (h_1) la profundidad a la que está la base superior de la caja y ($h_1 + h$) la profundidad de la base inferior, las respectivas presiones hidrostáticas serán entonces:

$$p_1 = p_{at} + d g h_1$$

$$p_2 = p_{at} + d g (h_1 + h)$$

Las respectivas fuerzas debidas son:

$$F_1 = [p_{at} + d g h_1] B; \text{ hacia abajo.}$$

$$F_2 = [p_{at} + d g (h_1 + h)] B; \text{ hacia arriba.}$$

Entonces, la fuerza resultante hacia arriba ejercida por el líquido, que llamaremos **fuerza boyante o empuje** (E) será $F_2 - F_1$, esto es:

$E = d g (B h)$, donde ($B h$) es simplemente el volumen de la caja, que es igual al volumen del líquido desalojado por ésta al estar sumergida dentro de él.

El resultado anterior se conoce como principio de Arquímedes, en honor al famoso matemático y físico de ese nombre, que vivió en Siracusa, Sicilia (298 a.C. – 212 a.C.), que establece que:

"Todo cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido, experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, cuya magnitud es igual al peso del fluido desalojado."

$$E = (d_{\text{fluido}}) g (V_{\text{des}}) \quad (6.6)$$

¿Por qué decimos que el empuje es igual al peso del fluido desalojado?.

Porque en la ecuación 6. 6, (V_{des}) es un volumen igual al volumen sumergido del cuerpo (todo o una parte), que al estar en el fluido ha desalojado un volumen igual de líquido. La densidad del fluido es (d_{fluido}) y (g) el campo gravitatorio de la Tierra, por consiguiente, la expresión completa (el producto) es el peso del líquido desalojado.

El **principio de Arquímedes** se aplica tanto a líquidos como a gases. La fuerza de empuje sobre los globos aerostáticos y los zeppelines se calcula mediante dicho principio. También se aplica para explicar el nadado de los peces, la flotación de barcos, balsas y personas en una piscina y para las maniobras de ascenso o descenso de un submarino.

La forma del cuerpo sumergido no es problema para calcular la fuerza de empuje, pero desde luego, sí interviene para determinar el volumen de fluido desalojado, porque por ejemplo, un bote de aluminio desaloja mayor cantidad de agua (y puede entonces flotar) que el bloque de aluminio del cual está hecho, que desaloja poca agua y entonces se va al fondo.

EJEMPLO 6. 7

Calculemos la fuerza de empuje que ejerce el agua de mar sobre tres boyas de diferente peso, pero de igual volumen, $0,58 \text{ m}^3$, si: a) está totalmente sumergida y posada sobre el fondo de una bahía poco profunda, b) está totalmente sumergida pero no en el fondo, c) flota con 10% de su volumen fuera del agua.

Resolución:

a) $E = (d_{\text{líquido}}) g (V_{\text{des}}) = (1\,030 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ N/kg})(0,58 \text{ m}^3) = 5,85 \times 10^3 \text{ N}.$

b) El empuje es igual, pero en el caso a), sobre la boya (b) también actúa la fuerza hacia arriba que ejerce el fondo de la bahía.

c) $E = (d_{\text{líquido}}) g (V_{\text{des}}) = (1\,030 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ N/kg})[(0,9)(0,58 \text{ m}^3)] = 5,27 \times 10^3 \text{ N}$

La boya (c) está flotando, entonces, ¿Cuánto pesa?.

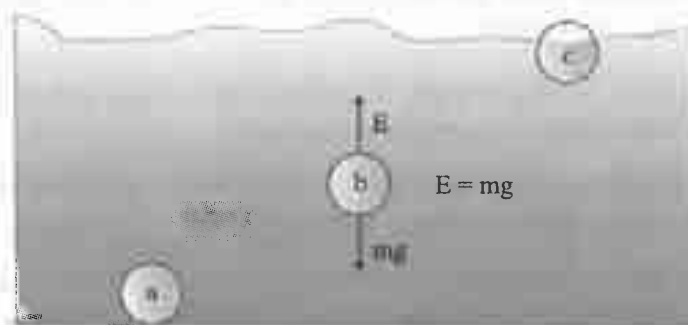


Fig. 6.7
Ejemplo 6.7

FLOTACIÓN

Si un cuerpo flota en un líquido, forzosamente tiene una parte de su volumen sumergido dentro del fluido.

La condición de flotación es una condición de equilibrio de fuerzas, donde el peso del cuerpo dirigido hacia abajo, es exactamente equilibrado por el empuje con dirección hacia arriba, esto es:

$$\text{peso} = (d_{\text{cuerpo}})(g)(V_{\text{cuerpo}}) = (d_{\text{líquido}})(g)(V_{\text{des}}) = \text{empuje}.$$

De donde, y simplificando el campo gravitatorio, resulta que la condición para que un cuerpo flote en un líquido es:

$$(d_{\text{cuerpo}})(V_{\text{cuerpo}}) = (d_{\text{líquido}})(V_{\text{sumergido}}) \quad (6.7)$$

Ecuación en la que se ha usado $V_{\text{sumergido}}$ en vez de V_{des} , que son iguales, para enfatizar conceptualmente ese volumen.

Ejemplo 6. 8

¿Qué porcentaje del volumen de un trozo de madera, cuya densidad es $0,64 \text{ g/cm}^3$, flota por encima de agua de mar con densidad $1,03 \text{ g/cm}^3$?

Resolución:

$$(0,64 \text{ g/cm}^3)(V_{\text{madera}}) = (1,03 \text{ g/cm}^3)(V_{\text{sumergido}})$$

El porcentaje del volumen sumergido es entonces el cociente de la parte entre el todo:

$$\frac{V_{\text{sumergido}}}{V_{\text{total}}} = \frac{0,64}{1,03} = 0,62 = 62 \%$$

De tal manera que el trozo de madera flota con el 38 % de su volumen fuera del agua de mar.

EJEMPLO 6. 9

Un trozo de cierto tipo de madera flota en agua pura (1 g/cm^3) con 42% de su volumen dentro, y en otro líquido con 82% de su volumen fuera de él. Calcule: a) la densidad de la madera y b) la densidad del líquido.

Resolución:

- a) $(d_{\text{madera}})(V) = (1 \text{ g/cm}^3)(0,42 V)$, de donde, y simplificando el volumen total (V), la densidad de la madera es $0,42 \text{ g/cm}^3$.
- b) $(0,42 \text{ g/cm}^3)(V) = (d_{\text{líquido}})(0,18 V)$
de donde se tiene que la densidad del líquido es $2,33 \text{ g/cm}^3$.

LÍQUIDOS EN MOVIMIENTO

Consideraremos solamente la circulación de un líquido no viscoso como el agua, a lo largo de una tubería de paredes rígidas, que no opone ninguna fuerza de rozamiento mientras el líquido se desplaza, manteniendo constante su densidad.

Aunque en la realidad la velocidad del agua cerca de las paredes es casi cero y máxima en el centro del tubo, como muestra la Fig. 6.8.a, consideraremos como una aproximación que la velocidad del agua que atraviesa una cierta sección de la tubería es un valor promedio, constante. Fig. 6.8.b.



Fig.6.8.a

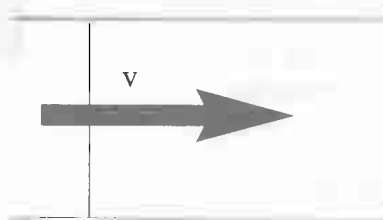


Fig.6.8.b

Llamamos caudal Q al volumen por unidad de tiempo que pasa a través de una sección de la tubería y fácilmente usted puede demostrar que el caudal es igual al producto de la velocidad del agua por el área de sección transversal del tubo:

$$Q = (v)(A)$$

(6.8)

Evidentemente el caudal se expresa en metros cúbicos por segundo en el SI, ya que:

$$Q = \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (\text{m}^2) = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Si el líquido (agua) circula por una tubería de diámetro variable, la experiencia nos dice que en las secciones donde el diámetro es menor la velocidad es mayor.

Lo anterior es consecuencia de la ley de conservación de la masa, puesto que si no hay fuentes ni sumideros a lo largo de la tubería, la masa por unidad de tiempo (kg/s) que pasa por un punto debe ser constante, pues de lo contrario, se estaría creando o desapareciendo masa en algún punto y esto no sucede.

Como consideramos únicamente los casos en que la densidad es constante, la conservación de la masa es equivalente a la conservación del volumen y entonces, el caudal debe ser constante a lo largo de la tubería.

Sea v_1 la velocidad del agua a través de una sección transversal del área A_1 , y v_2 la velocidad a través de otra sección transversal del tubo de área A_2 , como se muestra en la Fig. 6.9. Se llama **ecuación de continuidad** la que establece el valor constante del caudal:

$$(v_1)(A_1) = (v_2)(A_2) \quad (6.9)$$

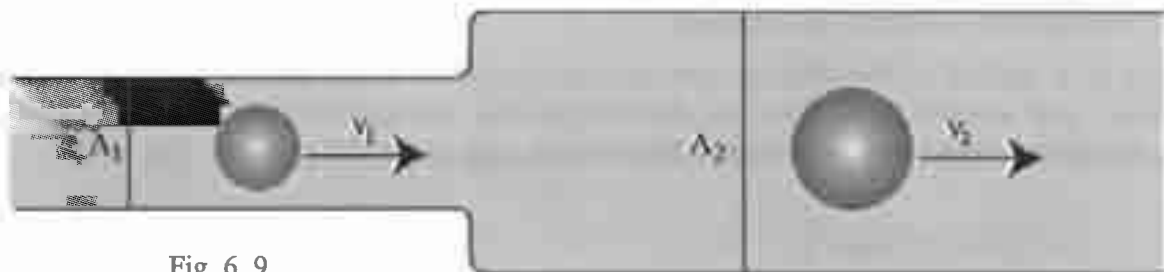


Fig. 6.9

Ecuación de continuidad

EJEMPLO 6.10

Por una tubería de sección circular de 2,54 cm de diámetro circula agua a una velocidad de 15,0 m/s. Calcule la velocidad que llevaría el agua en dos secciones posteriores, una de a) 3,81 cm de diámetro y otra de b) 1,27 cm de diámetro.

Resolución:

$$a) \left(15,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \left[\pi \left(\frac{2,54 \text{ cm}}{2} \right)^2 \right] = (v_2) \left[\pi \left(\frac{3,81 \text{ cm}}{2} \right)^2 \right]$$

de donde, luego de simplificar el número π y el número 4 en ambos miembros de la ecuación, y elevar al cuadrado los diámetros, resulta que $v_2 = 6,66 \text{ m/s}$. Hay menor velocidad donde la sección transversal (o el diámetro) es mayor.

$$b) (15,0 \text{ m/s}) \left[\frac{\pi(2,54 \text{ cm})^2}{4} \right] = (v_3) \left[\frac{\pi(1,27 \text{ cm})^2}{4} \right]$$

de donde $v_3 = 60 \text{ m/s}$.

ECUACIÓN DE BERNOULLI

Consideraremos únicamente el caso particular de una tubería horizontal por la que circula un líquido de densidad constante como el agua y analizaremos la relación entre la presión hidrostática (p) y la velocidad del líquido (v).

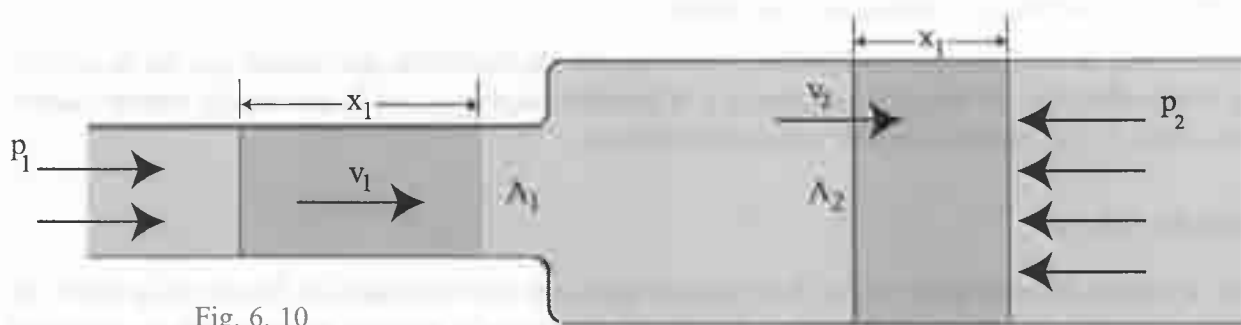


Fig. 6. 10
Ecuación de Bernoulli

Supongamos que en la sección de área A_1 la velocidad del agua es v_1 y la presión es p_1 , mientras que en la sección de área A_2 la velocidad es v_2 y la presión p_2 . Supongamos además que no hay fuerzas de rozamiento actuando sobre el agua que circula por la tubería.

El trabajo hecho por la presión (p_1), a la izquierda de la sección de área (A_1) sobre un volumen de agua que es empujado a una distancia (x_1) es:

$$W_1 = F_1(x_1) = [(p)(A_1)](x_1) = (p_1)(\text{volumen})$$

Mientras que el trabajo hecho por la presión (p_2) a la derecha de la sección de área (A_2) sobre el mismo volumen, cuando circula posteriormente por ahí es:

$$W_2 = -F_2(x_2) = -[(p_2)(A_2)](x_2) = -(p_2)(\text{volumen})$$

El signo negativo resulta porque la fuerza es opuesta al desplazamiento.

El trabajo neto es entonces:

$$W_{\text{neto}} = (p_1 - p_2)(\text{volumen}).$$

Ahora bien, de acuerdo con el teorema trabajo – energía, ecuación (5. 3), el trabajo neto sobre el volumen de agua es igual a su cambio de energía cinética, esto es:

$$W_{\text{neto}} = (p_1 - p_2)(\text{volumen}) = \frac{1}{2} m(v_2)^2 - \frac{1}{2} m(v_1)^2,$$

Donde m es la masa del volumen que primero pasa por la sección 1 y después por la sección 2. Luego de reagrupar términos y usar la densidad (d) del líquido, en vez del cociente $m/\text{volumen}$ resulta:

$$p_1 + \frac{1}{2}d(v_1)^2 = p_2 + \frac{1}{2}d(v_2)^2 \quad (6.10)$$

Esta es la llamada **ecuación de Bernoulli** para el caso particular de una tubería horizontal.

Observe que una consecuencia de esta ecuación es que si la velocidad aumenta de la sección 1 a la sección 2, la presión disminuye y viceversa.

Finalmente, la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli, garantizan que en la sección de mayor diámetro la velocidad es menor y la presión mayor, que en la sección de menor diámetro, donde la velocidad es mayor y la presión menor.

EJEMPLO 6.11

Por la tubería horizontal de la Fig. 6.10 circula agua con una velocidad de 10 m/s en la parte estrecha, donde la presión es $1,0 \times 10^5$ Pa, calcule la presión en la sección mayor si allí la velocidad es 5 m/s.

Resolución:

Aplicando la ecuación 6.10 resulta:

$$1,0 \times 10^5 \text{ Pa} + \frac{1}{2} \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = p_2 + \frac{1}{2} \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$1,0 \times 10^5 \text{ Pa} + 5 \times 10^4 \text{ Pa} = p_2 + 1,25 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$\text{de donde } p_2 = 1,4 \times 10^5 \text{ Pa}$$

EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. Use una probeta ancha para determinar, por el método del desplazamiento, el volumen de objetos regulares tales como un huevo, una piedra, una papa. Tenga cuidado de no quebrar la probeta. Use una balanza para medir la masa de cada objeto y calcule su densidad.
2. Calcule el peso de un objeto de forma prismática de 50 cm de largo, 30 cm de ancho y 12 cm de espesor, si su densidad es $5,4 \text{ g/cm}^3$.
3. Pruebe:
 - a) que una densidad en g/cm^3 es equivalente a su expresión en g/mL ,
 - b) que el producto ($d \cdot g \cdot h$) tiene unidades de presión.
4. Un bloque de cemento de 2 kg se coloca con su cara de $20 \times 30 \text{ cm}$ sobre el piso, calcule la presión ejercida sobre el piso por el ladrillo.
5. Una esfera de 5,0 cm de radio está en una profundidad de 15 m bajo el agua (1 g/cm^3). Calcule la presión y la fuerza hacia adentro que la comprime.
6. ¿A qué profundidad bajo el nivel del mar la presión absoluta es 10 atmósferas?
7. Un manómetro acoplado a una bomba de vacío da una lectura de 200 mm de Hg. El barómetro del laboratorio indica una presión atmosférica de 710 mm de mercurio. Calcule la presión absoluta dentro de la bomba de vacío en:
 - a) mm de Hg,
 - b) Pa,
 - c) atmósferas.
8. Construya un nivel de manguera, como el que usa un albañil, justifique el principio físico en que se sustenta y utilícelo para pasar el nivel de una ventana, de una pared a otra en su casa.
9. ¿Cuál sería la altura estándar de la columna de un barómetro, si se usara agua en vez de mercurio?
10. Investigue cómo está constituida la atmósfera de la Tierra.
11. Investigue en que campos de la ciencia y la tecnología se mide la presión en milibares y en libras/pulgada cuadrada. Encuentre su equivalente en pascuales, mm de mercurio y en atmósferas.
12. Calcule el empuje que experimenta una bola de 17 cm de diámetro que flota en el agua (1 g/cm^3), con el 17% de su volumen fuera del agua. ¿Cuánto pesa la bola? ¿Cuál es su masa? ¿Cuál es su densidad promedio?
13. Explique con base en el principio de Arquímedes, que deben hacer los tripulantes de un submarino para que:
 - a) se sumerja,
 - b) se pose suavemente sobre el fondo del mar,
 - c) se quede en equilibrio a 30 m de profundidad,
 - d) flote.

14. Un bloque de madera flota en agua con 33 % de su volumen fuera de ella y en un líquido de densidad desconocida con 66 % de su volumen fuera. Calcule la densidad del líquido.
15. Por una tubería de 2,54 cm de diámetro circula agua a 11 m/s. Más adelante la tubería se amplía a 3,00 cm de diámetro. Calcule el caudal y la velocidad en la segunda sección de la tubería.
16. Pruebe que en el SI el producto vA tiene unidades de metros cúbicos/segundo.
17. Usted construye una ducha de tal manera que a un tubo de 2,54 cm de diámetro le pega una caja con 20 agujeros de 1 mm de diámetro cada uno. Suponga que el agua sale igual por cada uno de los agujeros y calcule la velocidad con que lo hace, si en el tubo circula a 7,2 m/s.
18. Investigue como está construido un atomizador y explique su funcionamiento con base en la ecuación de Bernoulli.
19. Las alas de un avión están hechas de tal manera que la velocidad del viento es mayor en la parte superior que en la inferior. ¿Qué implicaciones tiene esto en relación con la presión arriba y abajo del ala y con la sustentación del avión?

REFERENCIAS

Presión y manómetros:

http://www.testo.es/pdfs/tecn_pre.pdf

Ecuación hidrostática:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/ecuacion/ecuacion.htm>

Barómetro:

<http://cipres.cec.uchile.cl/~mvivanco/>

Principio de Arquímedes:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm>

Dinámica de fluidos:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/bernoulli/bernoulli.htm>

CAPÍTULO VII

CALOR Y TEMPERATURA

Calor y temperatura, probablemente, sean dos de los términos más usados como sinónimos en el vocabulario cotidiano, a pesar de que su significado físico sea diferente al que a diario se les da. Desde luego las acepciones están estrechamente relacionadas.

Cuando alguien dice: "¡qué calor!" o "¡qué día más caliente!", posiblemente se refiera a que la temperatura ambiente es alta, pero no lo expresa usando este último concepto, quizás porque el lenguaje y su uso no se prestan.

Una de las diferencias entre estos dos conceptos, que de seguro manejamos por lo menos de manera intuitiva, es que la temperatura se mide en grados usando un termómetro.

¿Pero en qué tipo de unidades se mide el calor?

El calor es energía y como tal se mide en joule (J) según el Sistema Internacional de Unidades y en calorías o BTU en otros sistemas.

ENERGÍA INTERNA

Si se tiene un gas como hidrógeno, oxígeno, helio, etc., dentro de un recipiente cerrado, éste se puede trasladar en su totalidad de un punto a otro, dándole velocidad al recipiente, o colocándolo a una determinada altura.

Entonces el sistema (recipiente y gas) puede tener energía cinética $\frac{1}{2}(\text{masa total})(v)^2$ y también puede tener energía potencial $(\text{masa total})(g)(h)$. Estos dos tipos de energía se pueden llamar energía externa o macroscópica del sistema, porque perfectamente se visualiza la velocidad (v) y la altura (h), de la misma manera que se hace con una piedra, una bola, o cualquier otro cuerpo, en vez del gas dentro del recipiente cerrado.

Sin embargo, las partículas que constituyen el gas (átomos y moléculas), poseen un movimiento microscópico y de seguro estarán rebotando entre sí y contra las paredes del recipiente. Además, si son poliatómicas tendrán movimientos de rotación y vibración, es decir, muchas formas de acumular energía microscópica.

Toda esta energía de las partículas a escala microscópica se denomina energía interna, y también la tienen la piedra y la bola citadas anteriormente, sólo que es más fácil de visualizar en el caso del gas.

La **energía interna** de un sistema es una característica de su estado. En otras palabras, es una propiedad o función de estado y como cualquier energía se expresa en joule (J) en el SI.

Se puede probar que en un gas ideal, la energía interna depende de la temperatura absoluta a la cual está y de factores constantes característicos del tipo de gas en particular.



Fig. 7.1.a
Temperatura alta

Fig. 7.1.b
Temperatura baja

La energía interna es
proporcional a la
temperatura.



Fig. 7.1.c
Temperatura intermedia

¿Cómo podemos variar la energía interna del gas?

Una manera es **realizando trabajo**, comprimiendo o expandiendo el gas. Para simplificar, supongamos que el recipiente es un cilindro con un émbolo, como una jeringa para poner inyecciones, o un inflador de bicicleta, pero cerrado de tal manera que no entre ni salga ninguna partícula.

Si comprimimos el gas, moviendo el émbolo hacia adentro, se hace un trabajo sobre el gas, y si por el contrario, permitimos que éste se expanda, moviendo y sacando el émbolo, el gas hace el trabajo.

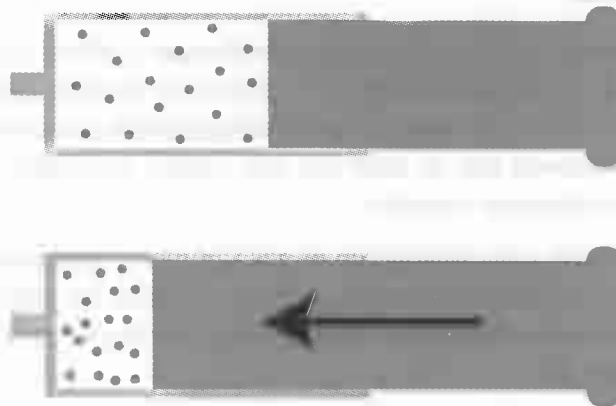


Fig. 7.2

Por un simple razonamiento de conservación de la energía, el trabajo que recibe el gas cuando el émbolo entra aumenta su energía interna, y por la misma razón, el trabajo que invierte (o gasta) cuando saca el émbolo, la disminuye.

En el primer caso el gas aumenta su temperatura y en el segundo caso la disminuye.

¿Existe otra forma de variar la energía interna del gas?

CALOR

Si el émbolo del que hablamos anteriormente se fija, de tal manera que no pueda moverse, entonces no se podrá realizar ningún tipo de trabajo sobre el gas. Sin embargo, queda una manera de variar su energía interna y ésta es, colocándolo en contacto con otro sistema que esté a una temperatura mayor o menor que la suya.

¿Y qué es lo que se transmite de un cuerpo a otro cuando tienen una diferencia de temperatura?

La respuesta es: calor.

El calor es la energía que pasa de un cuerpo a otro si no están a la misma temperatura. Siempre se transmite del cuerpo con mayor temperatura hacia el de menor temperatura y el intercambio de calor cesa cuando los cuerpos alcanzan un mismo punto.

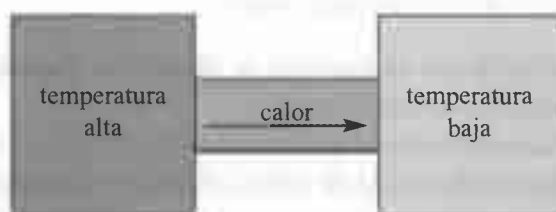


Fig. 7.3

TRANSMISIÓN DEL CALOR

Tenemos entonces que la energía interna de un sistema no es calor. Algunas veces a este tipo de energía se le llama energía térmica, pero le aconsejo no hacerlo para no entrar en confusiones. Llámemosla simplemente energía interna.

El calor es entonces la energía que pasa de un cuerpo a otro durante un proceso en el que se da una diferencia de temperatura entre los cuerpos.

Por ejemplo, cuando usted coloca su mano que está a unos 25 grados, en una mezcla de agua con hielo que está a 4 grados, pasa calor de la mano al agua con hielo. De la misma manera, si coloca su mano en agua tibia a unos 60 grados, ahora pasa calor del agua a su mano.

Si la mano se deja un tiempo suficiente en contacto con el agua tibia, o con la mezcla de hielo, eventualmente los dos sistemas alcanzarán una temperatura de equilibrio, y en ese momento cesa el intercambio de calor, cuando ambos tienen igual temperatura.

TEMPERATURA

Si dos cuerpos A y B están en equilibrio térmico con un tercero C, entonces estarán en equilibrio térmico entre sí. Es decir, si entre el cuerpo A y el cuerpo C no hay intercambio de calor, tampoco entre el cuerpo B y el cuerpo C y entonces tampoco habrá intercambio de calor entre A y B.

El simple razonamiento anterior, conocido como ley cero de la Termodinámica posibilita la construcción de un termómetro, que vendrá a ser un instrumento de comparación, que permitirá determinar si dos cuerpos intercambiarán o no, calor entre sí, dependiendo de la temperatura que registre el termómetro.

"Si el cuerpo A tiene la misma temperatura que el cuerpo C, y el cuerpo B tiene la misma temperatura que el cuerpo C, entonces el cuerpo A y el cuerpo B tienen la misma temperatura y no habrá intercambio de calor entre ellos."

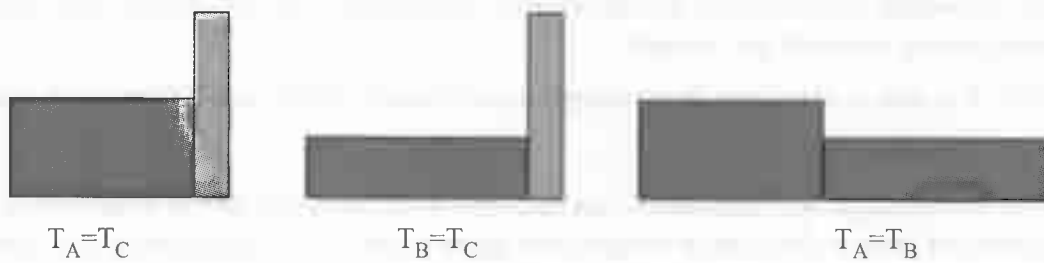


Fig. 7.4

¿CÓMO SE CONSTRUYE UN TERMÓMETRO?

Para construir un termómetro lo que se necesita es identificar alguna propiedad de una sustancia que varíe proporcionalmente con la temperatura.

En el termómetro de mercurio en vidrio la propiedad que se utiliza es la dilatación, puesto que una columna de mercurio dentro de un capilar de vidrio, como en un barómetro, se dilata más (aumenta su longitud) que el capilar de vidrio y entonces el extremo superior de la columna sube o baja, dependiendo de la temperatura, permitiendo así la construcción de este instrumento de medición.



Fig. 7.5

Termómetro de mercurio en vidrio

LA ESCALA CELSIUS

La escala de Celsius de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) se estableció de la siguiente manera. Primeramente, se construyó un tubo capilar de vidrio, con una pequeña ampolla en su base. La ampolla y parte del capilar se llenaron con mercurio. Luego se definieron dos estados arbitrarios de una sustancia, que fueran invariables, tales como el punto de fusión del hielo (punto de congelación del agua) y el punto de ebullición del agua (punto de condensación del vapor de agua), a la presión atmosférica estándar. A continuación, se introdujo la ampolla y el capilar en una mezcla de agua y hielo en equilibrio, se observó la altura de la columna de mercurio, se marcó en el capilar y arbitrariamente se le asignó el valor de cero grados Celsius (0°C). Después, se introdujo el capilar en agua hirviendo, se observó la nueva altura de la columna de mercurio, se marcó en el capilar y arbitrariamente se le asignó el valor de cien grados Celsius (100°C).

El procedimiento anterior definió el tamaño del intervalo de temperatura que llamaremos un grado Celsius, como la centésima parte de la longitud entre las dos marcas en el capilar.

Finalmente el capilar se marcó con una escala que se extiende un poco más de 100 °C y un poco más abajo de 0 °C para poder medir temperaturas más altas y más bajas que las establecidas por los dos puntos fijos.

Así se construyó el termómetro, pero ¿qué es la temperatura?

Es simplemente lo que marca este aparato construido arbitrariamente y que llamamos termómetro.

LA ESCALA KELVIN

Existe una escala de temperatura que está relacionada con una propiedad de las sustancias más importante que la dilatación, utilizada en el termómetro de mercurio en vidrio. Se puede probar que la denominada escala absoluta de temperatura o escala Kelvin, está relacionada en forma directa con la energía interna del sistema, por eso se definió el kelvin (K) como la unidad de temperatura en el Sistema Internacional de Unidades, con la categoría de cantidad básica.

El símbolo para la temperatura kelvin es K y no se utiliza el símbolo de grados (°) que si se emplea en la escala Celsius.

El kelvin fue establecido en honor al físico inglés William Thomson, conocido como Lord Kelvin (1824 – 1907).

Debido a la popularidad y uso extenso de la escala Celsius en muchos campos de la ciencia y la tecnología, cuando se estableció la escala Kelvin se decidió que el tamaño de 1 kelvin fuera el mismo que el de 1 °C, esto es: $1 \text{ K} = 1^\circ\text{C}$.

Sin embargo, las escalas difieren en aproximadamente 273 °C, una constante que resulta del ajuste de la temperatura absoluta con el comportamiento de un gas ideal, de tal manera que:

$$K = ^\circ\text{C} + 273 \quad (7.1)$$



Fig. 7.6
Comparación
de temperaturas en kelvin
y en grados Celsius.

EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. Suponga un gas cuyas partículas son triatómicas, como el dióxido de carbono (CO_2) y discuta las posibilidades que tiene para acumular energía interna.
2. Consiga un termómetro y mida la temperatura de:
 - a) su cuerpo,
 - b) agua del tubo,
 - c) una mezcla de agua con hielo picado,
 - d) agua que utiliza para hacer café.
3. Escriba un párrafo de 5 renglones en el que establezca similitudes y diferencias entre los conceptos de calor y temperatura.
4. Otra escala de temperatura muy utilizada en otros países es la escala Fahrenheit. Su relación con la escala Celsius es la siguiente:

$$\frac{^{\circ}\text{F} - 32}{^{\circ}\text{C}} = \frac{90}{5}.$$

Expresa todas las temperaturas del ejemplo 7.1 en $^{\circ}\text{F}$.

5. Cuando 300 g de una sustancia absorben 200 J de calor, su temperatura cambia de 22°C a 30°C . Calcule el calor específico de la sustancia.
6. Calcule la temperatura de equilibrio de una mezcla de 4 litros de agua a 98°C , con 1 litro de agua a 4°C . La mezcla se hace en un calorímetro.
7. ¿Cuántos litros de agua a 10°C se deben mezclar con 10 litros de agua a 80°C , para que la temperatura final de la mezcla sea de 50°C ?
8. Calcule la cantidad de calor que se debe extraer a una masa de 30 g de vapor de agua a 100°C , para finalmente tener un cubo de hielo a 0°C .

REFERENCIAS

Concepto de calor y temperatura:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/calorimetro/calorimetro.htm>

Temperatura, calor y termómetros:

<http://ceciba.escuelaing.edu.co/lladino/arttemp/arttemp.htm>

Capacidad térmica y cambios de fase:

<http://www.udec.cl/~dfiguero/curso/capacidadfases/capacidadfases.htm>

EJEMPLO 7. 1

- a) Exprese las siguientes temperaturas en kelvin: 22 °C, -17,7 °C, -40 °C.
 b) Exprese las siguientes temperaturas en grados Celsius: 70 K, 300 K, 2K.

Resolución:

- a) Simplemente sumamos 273, no hay valores negativos en la escala kelvin.

$$K = 22\text{ °C} + 273 = 295\text{ K}.$$

Los otros valores son: 255,3 K y 233 K, respectivamente.

- b) Simplemente restamos 273:

$$\text{°C} = 70\text{ K} - 273 = -203\text{ °C}.$$

Los otros valores son: 27 °C y -271 °C, respectivamente.

CALOR ESPECÍFICO

La cantidad de energía en forma de calor que debe suministrársele a un cuerpo, para producir un cambio de temperatura, depende del tipo de sustancia, de su masa y de la cantidad de grados que deseemos cambiar.

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que debe absorber 1 kilogramo de sustancia para aumentar su temperatura en 1 °C.

Así, por ejemplo, el calor específico del agua es 4.190 joule por kilogramo, cada grado Celsius (1.190 J/ kg °C).

Si en vez de 1 kilogramo de sustancia tenemos una masa (m), que va a experimentar un cambio de temperatura ΔT , la cantidad de calor (Q) requerida es:

$$Q = m c (\Delta T) \quad (7.2)$$

Donde c representa el calor específico de la sustancia, el cual se determina con un experimento simple en un laboratorio de normas.

EJEMPLO 7. 2

- a) Se suministran 4.000 J de calor a 3,0 kg de plomo cuyo calor específico es 129 J/kg °C. Calcule el cambio de temperatura.
 b) ¿Cuál es el calor específico del vidrio, si para calentar 250 g de 22 °C a 90 °C se requieren 14.280 J?

Resolución:

- a) $Q = 4.000\text{ J} = (3,0\text{ kg})(129\text{ J/kg °C})(\Delta T)$, de donde $\Delta T = 10,3\text{ °C}$.

- b) $Q = 14.280\text{ J} = (0,250\text{ kg})(c\text{ vidrio})(90\text{ °C} - 22\text{ °C})$, de donde $c\text{ vidrio} = 840\text{ J/kg °C}$.

CALORIMETRÍA

Un calorímetro es un recipiente rodeado de una envoltura a través de la cual no hay intercambio de calor. Dentro del calorímetro se pueden colocar y mezclar sustancias diversas a temperaturas diferentes, las cuales intercambian calor entre sí, pero no con el exterior. El calorímetro posee un conjunto de termómetros para determinar la temperatura de cada uno de los componentes que se vacían en él y, desde luego, la temperatura final de equilibrio.

Analizaremos únicamente la mezcla de dos cantidades de agua dentro de un calorímetro, pero el razonamiento se puede extender a otras sustancias, como se indica en las referencias al final del capítulo.

Sea una masa m_1 de agua a una temperatura alta T_1 y otra masa m_2 de agua a una temperatura baja T_2 . El calor específico del agua ($4.190 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$) lo representaremos con la letra c . Sea T la temperatura final de equilibrio de la mezcla.

Si no hay intercambio de calor hacia el ambiente, sólo entre los dos volúmenes de agua, tenemos que:

$$Q = \text{cero} = m_1 (c)(T - T_1) + m_2 (c) (T - T_2) \quad (7.3)$$

Luego de simplificar el calor específico (c) que aparece en todos los términos de la ecuación, se despeja la temperatura final de equilibrio, que resulta ser:

$$T = \frac{(m_1)(T_1) + (m_2)(T_2)}{m_1 + m_2} \quad (7.4)$$

Como la masa y el volumen de una sustancia son proporcionales, la ecuación anterior también se puede escribir, en términos de volumen, en litros o metros cúbicos.

$$T = \frac{(V_1)(T_1) + (V_2)(T_2)}{V_1 + V_2} \quad (7.4')$$

Tenga presente que las dos ecuaciones representan un caso particular de masa de dos sustancias con igual calor específico, y que los problemas de calorimetría más generales se resuelven con una ecuación semejante a la 7. 3.

EJEMPLO 7. 3.

Se mezclan en un calorímetro 2 litros de agua a 90°C , 3 litros a 50°C y 0,5 litros a 10°C . Calcule la temperatura final de equilibrio.

Resolución:

Generalizamos la ecuación 7. 4' a:

$$T = \frac{(V_1)(T_1) + (V_2)(T_2) + (V_3)(T_3)}{V_1 + V_2 + V_3}$$

$$T = \frac{(2 \text{ L})(90^\circ\text{C}) + (3 \text{ L})(50^\circ\text{C}) + (0,5 \text{ L})(10^\circ\text{C})}{2 \text{ L} + 3 \text{ L} + 0,5 \text{ L}} = 61^\circ\text{C}.$$

CALOR DE FUSIÓN Y DE VAPORIZACIÓN

Es interesante anotar, que cuando una sustancia sufre un cambio de fase, por ejemplo, de sólido a líquido (fusión), de líquido a gaseoso (vaporización), de sólido a vapor (sublimación), la temperatura permanece constante y es necesario suministrar cierta cantidad de calor, que pasa a aumentar la energía interna de la sustancia.

En los cambios opuestos, por ejemplo, de gas a sólido, de gas a líquido y de líquido a sólido, la temperatura también permanece constante, pero ahora se debe sustraer cierta cantidad de calor.

Se llama **calor latente de fusión** (L_f) a la cantidad de calor que se suministra a 1 kg de sustancia en estado sólido para pasarla al estado líquido, a la temperatura del punto de fusión. Se llama **calor latente de vaporización** (L_v) a la cantidad de calor que se suministra a 1 kg de sustancia en estado líquido para cambiarla a gas (o vapor), a la temperatura del punto de ebullición. En el caso del agua, la temperatura del punto de fusión es 0°C y la del punto de ebullición es 100°C . El calor latente de fusión del agua es 333 kJ/kg , y el calor latente de vaporización es 2260 kJ/kg .

EJEMPLO 7. 4.

Calcular la cantidad de calor requerida para llevar 10 kg de hielo a 0°C , hasta 100°C (vapor).

Resolución:

a) Primero se funde el hielo a 0°C :

$$Q = m (L_f) = (10 \text{ kg})(333 \times 10^3 \text{ J/kg}) = 3,33 \times 10^6 \text{ J}.$$

b) Luego se calienta el agua:

$$Q = m c \Delta T = (10 \text{ kg})(4.190 \text{ J/kg } ^\circ\text{C})(100^\circ\text{C}) = 4,19 \times 10^6 \text{ J}.$$

c) Finalmente se evapora el agua a 100°C : $Q = m (L_v) = (10 \text{ kg})(2.260 \times 10^3 \text{ J/kg}) = 2,26 \times 10^7 \text{ J}.$

El calor total que se debe suministrar es la suma de los anteriores, esto es: $3,01 \times 10^7 \text{ J}.$

CAPÍTULO VIII

ONDAS MECÁNICAS Y SONIDO

Una onda es una perturbación periódica que se propaga de un punto a otro transportando energía y, desde luego, información. Así lo hacen las ondas sonoras que nos traen el sonido producido en las cuerdas vocales de una persona que está hablando, o la música que sale de las cuerdas de una guitarra.

Las ondas de radio llevan la producción de una estación a lugares muy distantes de la Tierra, pero también las utilizamos para comunicarnos con sondas espaciales en planetas distantes como Neptuno.

Las ondas luminosas que viajan a gran velocidad, iluminan el mundo en que vivimos, se reflejan y nos traen información sobre formas, texturas, distribución geométrica y color, gracias a que estimulan el sentido de la vista tanto en humanos como en animales.

ONDAS MECÁNICAS

Para generar ondas en un medio como una cuerda, se debe perturbar uno de sus extremos, por ejemplo, imprimiéndole un movimiento periódico hacia arriba y hacia abajo, o hacia izquierda y derecha. Observaremos, entonces, que esta perturbación se propaga por toda la cuerda, viajando desde la fuente o emisor de ondas hasta el receptor.

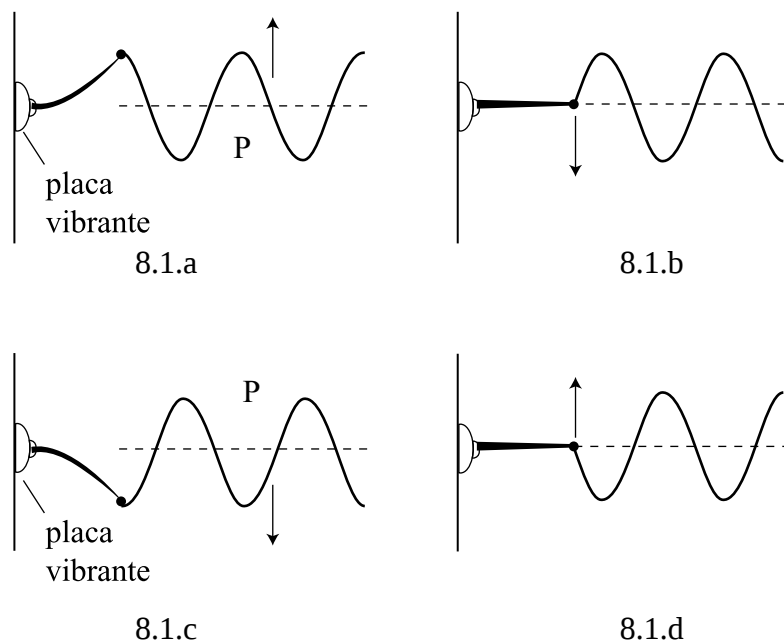


Fig. 8.1
Ondas en una cuerda

Para generar ondas, el emisor necesita utilizar energía, la cual se propaga hasta el receptor, sin que haya transmisión de materia, pues el medio, en el caso de ondas mecánicas, no sufre un desplazamiento neto; esto es, luego de que pasó la onda, el medio queda de nuevo en su estado original no perturbado.

No todas las ondas requieren un medio para propagarse de la fuente al emisor, como las ondas electromagnéticas (la luz, ondas de radio y televisión, rayos x, rayos gamma), pero llamaremos a las que lo necesitan ondas mecánicas.

Entonces, las ondas sísmicas, las que se producen en las cuerdas de los instrumentos musicales como violines y pianos, las que se generan en columnas de aire que vibran como en las flautas y cornetas, las generadas en membranas de panderetas y timbales, son ondas mecánicas.

Las ondas sonoras que nos traen por el aire el sonido producido en todas estas fuentes sonoras, pero que además viajan a través de líquidos y sólidos, son también ondas mecánicas.

TIPOS DE ONDAS

Dependiendo de la manera en que una onda mecánica perturbe el medio, podemos clasificarlas en dos tipos: las ondas transversales y las longitudinales.

Una onda transversal ocasiona que las partículas del medio vibren en dirección perpendicular a la de propagación de la onda. Por ejemplo, si la onda se propaga de la fuente al receptor a lo largo del eje x , las partículas del medio vibrarán a partir de sus posiciones de equilibrio en la dirección del eje y , en ambos sentidos, como se ilustra en la Fig.8. 2

Fig. 8.2
Onda transversal
en una cuerda.



Las ondas producidas en cuerdas tensas como en un violín, una guitarra, o un piano son ondas transversales.

Una onda longitudinal hace que las partículas del medio vibren en una dirección paralela a la de propagación de la onda. Entonces, si la onda longitudinal se propaga a lo largo del eje x , las partículas del medio vibrarán a partir de sus posiciones de equilibrio a lo largo del eje x , en ambos sentidos, como se ilustra en la Fig. 8.3.

Las ondas longitudinales pueden producirse y observarse con cierta claridad en un resorte. Las ondas sonoras son ondas longitudinales.

Los fluidos tales como líquidos y gases sólo pueden propagar ondas longitudinales.

Durante un sismo es posible sentir ondas longitudinales y también ondas transversales.

Fig.8.3
Onda longitudinal
en un resorte.



Hay otros tipos de ondas mecánicas, tales como las ondas de superficie en el agua y las de torsión, que se producen cuando a un cuerpo elástico como un cable de acero o una barra de hule duro se le aplica una fuerza que le provoca un giro de su sección transversal. No estudiaremos este tipo de ondas mecánicas en este curso.

AMPLITUD Y LONGITUD DE ONDA

La figura 8.4 muestra dos ondas transversales que avanzan a la derecha, propagándose a través de dos cuerdas diferentes.

Puede observarse que algunas de sus características son distintas:

- En la primera, la separación transversal máxima de las partículas es mayor que en la segunda, esto es, las partículas del medio (la cuerda en este caso) vibran de tal manera que sufren desplazamientos mayores respecto a su posición de equilibrio, que en la segunda onda.
- En la primera, las ondas están más apretadas, o se repiten en un espacio menor que en la segunda, lo que significa que el tamaño de lo que llamaremos una onda completa es mayor en el segundo caso.

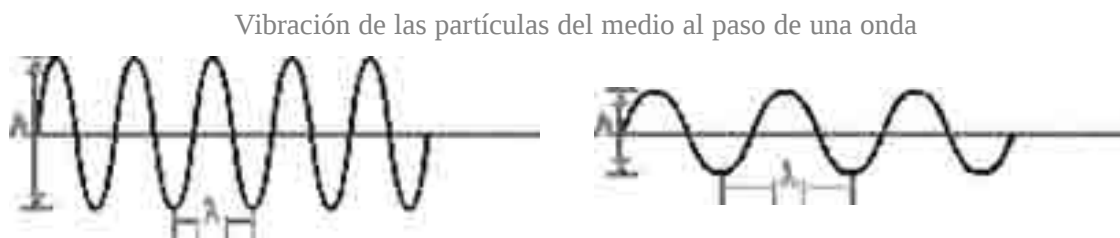


Fig. 8.4.a
Onda de alta frecuencia

Fig. 8.4.b
Onda de baja frecuencia

Se llama amplitud (**A**) a la separación máxima de las partículas del medio, con respecto a sus posiciones de equilibrio. El concepto de amplitud se aplica a cualquier tipo de onda mecánica, longitudinal o transversal e incluso a las ondas electromagnéticas como la luz, que son transversales.

La amplitud de una onda está directamente ligada a la energía que se está aplicando en la fuente para producir la onda y, desde luego, a la energía que transporta dicha onda. Si la energía va decreciendo, porque sufre algún proceso de absorción o amenguamiento, la amplitud de la onda también decrece.

Si tomamos una fotografía instantánea de la onda transversal de amplitud (**A**), obtendríamos algo como lo que se ilustra en la Fig. 8. 5.

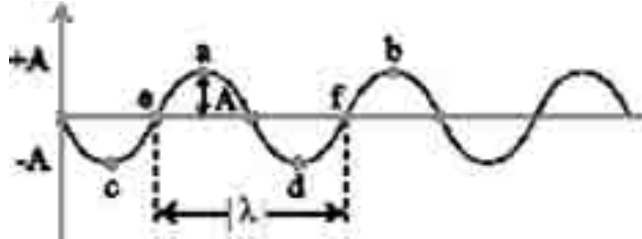
Observe que el máximo desplazamiento de las partículas es $\pm A$, sin embargo, en dicha foto algunas partículas están experimentando desplazamientos menores que A y otras se han tomado en sus posiciones de equilibrio. Observe, además, que hay algunas partículas del medio como las *a* y *b*, lo mismo que la *c* y *d*, que están realizando el mismo tipo de movimiento de manera simultánea y sincronizada.

Se llama **longitud de onda (λ)** a la menor distancia entre dos partículas del medio que realizan sincronizadamente el mismo tipo de movimiento, el cual se observa al ver que el patrón de onda se repite.

Se acostumbra llamar cresta de la onda a los puntos que tienen desplazamiento positivo ($+A$) y se llama valle a los puntos que tienen desplazamiento negativo ($-A$), de acuerdo con un convenio arbitrio de signos.

Todas las crestas (a,b) y todos los valles (c y d) están separando una longitud de onda.

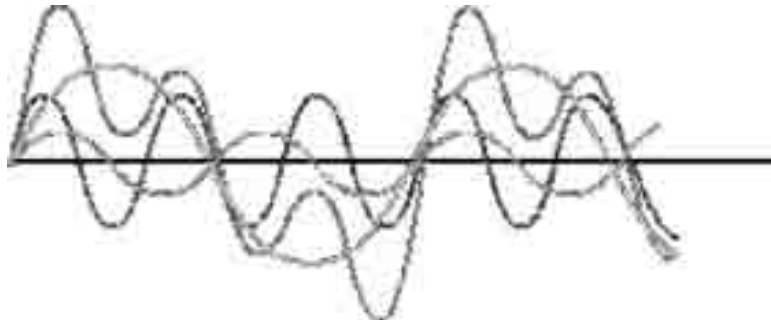
Fig. 8.5
Amplitud de onda (A),
longitud de ondas (λ),
crestas y valles.



¿Cómo se produce una determinada longitud de onda?

En una cuerda tensa de guitarra, depende de ciertos factores como la masa por unidad y longitud de la cuerda, la tensión y los modos de vibración que la cuerda adopte.

Fig. 8. 6
Diferentes modos de
vibración (armónicos) de
una cuerda de guitarra.



FRECUENCIA Y VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

Supongamos que podemos observar una partícula del medio por donde se propaga una onda mecánica transversal o longitudinal, y contamos el número de ondas por unidad de tiempo que pasan por dicho punto.

Una manera de lograr lo anterior, sería tomar un vídeo de la partícula para contar el número de oscilaciones completas durante una unidad de tiempo. En el caso de ondas mecánicas, en una cuerda, podríamos pintar un punto con un marcador o colocarle una pequeña etiqueta, lo que nos ayudaría a visualizar las oscilaciones.

La frecuencia (**f**) de una onda es el número de vibraciones por unidad de tiempo en una posición fija, lo que es igual al número de ondas por unidad de tiempo que pasan por dicha posición.

En el Sistema Internacional de Unidades la frecuencia se mide en hertz (**Hz**), unidad establecida en honor del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894).

1 hertz es una frecuencia relacionada con 1 vibración por segundo, o el paso de 1 onda en ese lapso.

El tiempo que tarda una oscilación completa, que es igual al tiempo durante el cual pasa una onda por una posición fija se denomina período (T) de la onda. Evidentemente $T = 1/f$. En el SI el período se mide en segundos.

Suponga que usted puede viajar sobre la cresta de una onda transversal, algo así como lo que haría un "surfeador". ¿Con qué velocidad se movería? ¿Cuál es la velocidad de propagación (v) de la onda?

En un medio homogéneo, las ondas mecánicas se desplazan con rapidez constante, igual al cociente entre la longitud de onda y el período, es decir $v = \lambda / T$. Sin embargo, la relación anterior se prefiere expresar en términos de la frecuencia, la velocidad de propagación y la longitud de onda, de la siguiente manera:

$$v = \lambda f \quad (8.1)$$

EJEMPLO 8. 1

Una onda sonora de 0,70 m de longitud se propaga a 330 m/s. La fuente produce ondas durante 0,8 s. Calcule: a) la frecuencia de la onda, b) el número de ondas completas producidas durante los 0,8 s, c) la distancia que viajó la cresta de la onda durante 0,8 s.

Resolución:

$$a) \quad f = \frac{v}{\lambda} = \frac{330 \text{ m/s}}{0,70 \text{ m}} = 4,71 \times 10^2 \text{ Hz}$$

$$b) \quad \# = \frac{0,8 \text{ s}}{T} = (0,8 \text{ s}) \left(\frac{1}{T} \right) = (0,8 \text{ s}) (4,71 \times 10^2 \text{ Hz}) = 377 \text{ ondas}$$

$$d = (\#) (\lambda) = (377) (0,70 \text{ m}) = 264 \text{ m}$$

EL SONIDO Y SU PROPAGACIÓN

El sonido es una onda longitudinal que está constituida por regiones alternantes de compresiones a alta presión y rarefacciones a baja presión y se transmite a través de un gas, un líquido o un sólido.

Igual que cualquier onda periódica, el sonido está caracterizado por una longitud de onda (λ), una velocidad de propagación (v), una frecuencia (f) y una amplitud (A).

El sonido se propaga en el aire porque las fuentes sonoras producen variaciones periódicas en la presión del aire y sus moléculas colisionan unas con otras y transmiten las oscilaciones de la fuente al receptor.

La onda es longitudinal porque las moléculas del aire vibran paralelamente a la dirección de propagación de la onda.

La velocidad del sonido en el aire depende de la temperatura de éste, pero podemos considerar que a la presión atmosférica y a 20 °C, la velocidad es 343 m/s.

La velocidad del sonido en sólidos y líquidos es mayor que en el aire.

El sonido no se propaga en el vacío, porque allí no hay partículas que se muevan y colisionen para transmitir la oscilación.

Las ondas sonoras, al igual que las demás, pueden ser reflejadas por objetos sólidos, es decir, pueden ser devueltas para producir eco, propiedad utilizada por los murciélagos para detectar sus presas y por el mecanismo de exploración de la profundidad del suelo oceánico, denominado sonar.

Cuando las ondas sonoras pasan de un medio a otro, por ejemplo, del aire al agua, sufren el fenómeno de refracción, entonces su velocidad y longitud de onda cambian, lo mismo que la dirección de propagación, pero no la frecuencia, definida por la fuente sonora.

EJEMPLO 8. 2

El oído humano puede detectar sonidos cuyas frecuencias están entre 20 Hz y 16 kHz. Suponga que el sonido viaja en el aire a 343 m/s y encuentre la mayor y la menor longitud de onda que el oído puede detectar.

Resolución:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343 \text{ m/s}}{20 \text{ Hz}} = 17,15 \text{ m}, \text{ para la menor } \lambda$$

$$\lambda = \frac{343 \text{ m/s}}{16000 \text{ Hz}} = 2,14 \times 10^{-2} \text{ m}, \text{ para la mayor } \lambda$$

Las ondas sonoras también tienen otras dos propiedades generales de las ondas: la difracción por objetos sólidos o pequeñas aberturas, que permite escuchar una conversación que tiene lugar en una habitación diferente a la nuestra, y la interferencia, que es la suma de efectos de ondas que se superponen en un punto, permitiéndonos escuchar una sinfonía, no cada uno de los instrumentos por aparte. Sin embargo, las ondas sonoras no se pueden polarizar, como si se puede hacer con ondas mecánicas transversales y con ondas electromagnéticas.

INTENSIDAD TONO Y TIMBRE

Las características del sonido son: la intensidad, el tono y el timbre.

La **intensidad** determina si un sonido puede ser escuchado a mayor o menor distancia, pues depende de la amplitud de la onda sonora y entonces está ligado con la energía que transmite.

El oído humano es capaz de detectar presiones desde unos 2×10^{-5} pascals que es el límite inferior de la sensación audible, hasta unos 20 pascals en el límite superior, donde la sensación es dolorosa.

Se acostumbra medir la intensidad sonora dando el nivel de intensidad en decibeles (dB), desde cero (0 dB) en el límite inferior, hasta unos 120 decibeles (120 dB), nivel que produce una sensación dolorosa, por ejemplo, la producida por el despegue cercano de un avión jet.

Usted puede obtener más información sobre el nivel de intensidad sonora en decibeles en las referencias al final del capítulo.

El **tono** está esencialmente determinado por la frecuencia de la onda sonora. Por ejemplo, la nota C tiene una frecuencia de 262 Hz y la nota E tiene una frecuencia de 5/4 del valor anterior, o sea, 327 Hz.

La mayoría de los sonidos consiste en la superposición de ondas con más de una frecuencia.

La calidad del sonido está dada por el **timbre**, que nos permite distinguir el sonido de un violín o un clarinete del de un piano, aunque estén ejecutando la misma nota (frecuencia) con la misma intensidad (decibeles).

El **timbre** depende fundamentalmente del instrumento que produce el sonido, de la mezcla de frecuencias producidas y de las intensidades relativas de ellas. Esto es lo que nos permite tener un timbre de voz particular y que ésta pueda ser reconocida por teléfono o en una grabación.

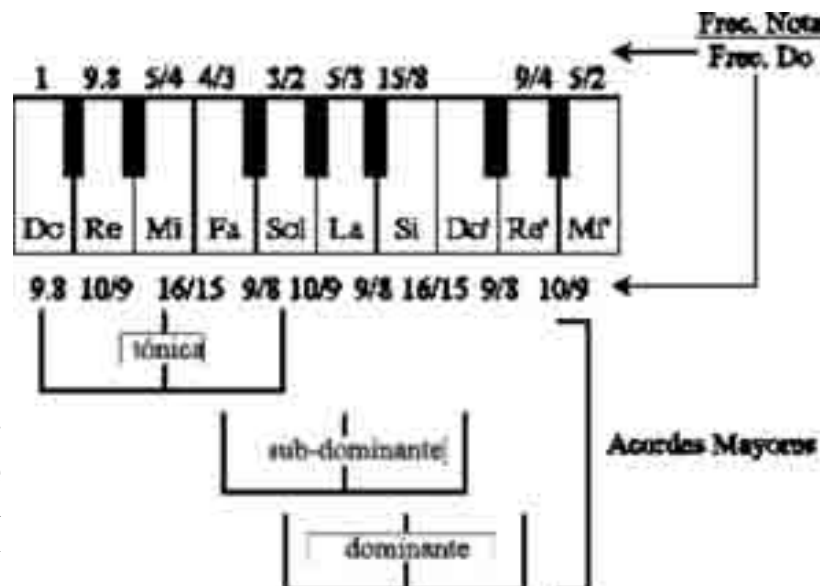


Fig. 8.7
La distribución de frecuencias es una característica del instrumento musical.

EFEECTO DOPPLER

Posiblemente haya notado que el tono (frecuencia) de una sirena, de ambulancia, carro de bomberos o policía es mayor cuando el vehículo se acerca y menor cuando se aleja. Esta alteración en la frecuencia escuchada (no en la emitida) se llama **efecto Doppler** y se ilustra en la Fig. 8.8.

El efecto Doppler se debe al movimiento relativo de la fuente sonora y al detector. Cuando la fuente sonora está en reposo las ondas se distribuyen en círculos concéntricos a partir de ella, de tal manera que hay cierto número de ondas entre la fuente y el receptor y entonces, la frecuencia escuchada es la misma que la emitida.

Si la fuente se mueve hacia el receptor, más ondas se acumulan en el espacio entre él y la fuente, la longitud de onda disminuye y la frecuencia aumenta, ya que la velocidad de propagación del sonido es constante.

Si la fuente se aleja del receptor, se acumulan menos ondas entre éste y la fuente, la longitud de onda aumenta y consecuentemente la frecuencia disminuye.

El efecto Doppler también ocurre si el observador se acerca o aleja de la fuente, o si ambos están en movimiento con velocidades relativas diferentes de cero.

El efecto Doppler ocurre además en ondas electromagnéticas como la luz, el radar y en ondas de radio.

Entre las muchas aplicaciones citamos: el uso que le dan los murciélagos para detectar si su presa (insectos) se aleja o acerca y los detectores de radar de la policía de tránsito para determinar la velocidad de los vehículos en las autopistas.

Los astrónomos utilizan el corrimiento Doppler de la luz emitida por las galaxias para determinar su velocidad y su distancia. Cuando a una galaxia se le encuentra un corrimiento hacia el rojo (menores frecuencias) en el espectro de su luz, la galaxia se está alejando y, por el contrario, si el corrimiento es hacia el azul (mayores frecuencias), la galaxia se acerca.

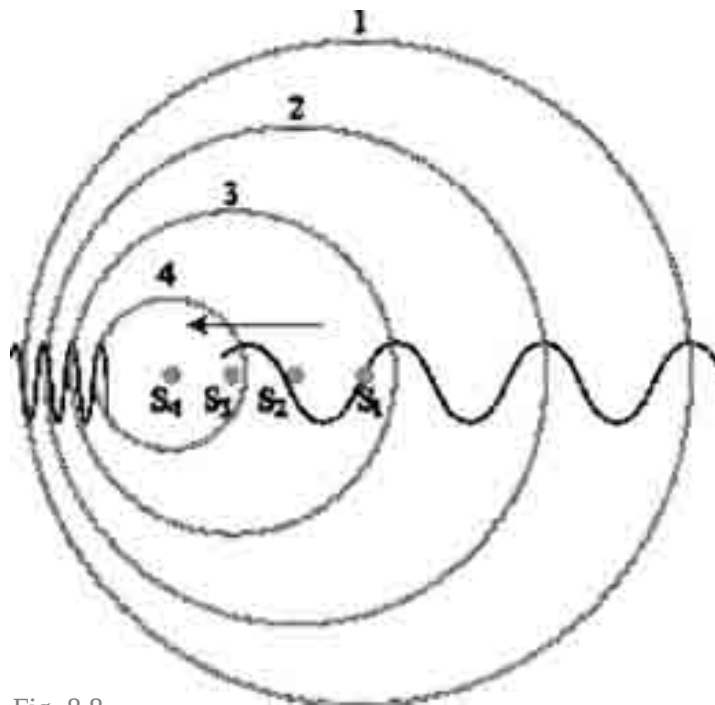


Fig. 8.8
Efecto Doppler

EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. Consiga un resorte largo y con poca rigidez y ate sus dos extremos a algún soporte. Envíe por él ondas longitudinales y ondas transversales e investigue algunas propiedades.
2. Consiga una cuerda gruesa y una más delgada y únalas. Use la cuerda completa para transmitir ondas transversales que se generan en el extremo grueso, e investigue algunas características de la reflexión y la refracción de las ondas.
3. La velocidad de las ondas transversales producidas por un sismo es 8,9 km/s, mientras que las de las ondas longitudinales es 5,1 km/s. Un sismógrafo registra el arribo de ondas transversales 73 segundos antes de las longitudinales. ¿A qué distancia ocurrió el sismo?
4. Una onda sonora producida por el despertador de un reloj que está a 515 m de distancia se oye 1,5 s después. Calcule:
 - a) la velocidad del sonido en el aire,
 - b) el período y la longitud de onda, si la frecuencia es 436 Hz.
5. Una persona grita contra la pared vertical de un edificio que está a 685 m de distancia y escucha el eco 4,00 s después. Calcule:
 - a) la velocidad del sonido en el aire,
 - b) la frecuencia y el período de la onda si la longitud de onda, es 0,750 m.
6. Una onda sonora de 442 Hz viaja por acero con una longitud de onda de 1,66 m. ¿Cuál es la velocidad del sonido en el acero?
7. La siguiente es la ecuación para la frecuencia recibida en el detector (f'). La frecuencia emitida en la fuente sonora es f y la velocidad v . La fuente está en movimiento con velocidad v_s y el detector también con velocidad v_d :

$$f' = f \frac{v \pm v_d}{v \mp v_s}$$

Si el detector se mueve hacia la fuente v_d es positiva, si la fuente se mueve hacia el detector v_s es positiva. Un tren que se mueve hacia el detector a 31 m/s, tiene un silbato que emite a 305 Hz. ¿Cuál es la frecuencia detectada en:

- a) un tren estacionario,
 - b) un tren que se dirige hacia el detector a 21 m/s.
8. Una fuente de ondas mecánicas transversales produce ondas con una frecuencia de 400 Hz, que se propagan por un medio dado a 500 m/s. Calcule a) la longitud de onda y el período de las ondas.
 9. Cuando las ondas pasan de un medio a otro, la frecuencia se mantiene constante, puesto que ésta la determina el tipo de vibración de la fuente. Una ecuación que describe la relación entre las velocidades y longitudes de onda en ambos medios es la siguiente:

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$$

Calcule la longitud de onda en cada medio, cuando una onda de 700 Hz pasa de un medio en que la velocidad es 400 m/s a otro en que es 300 m/s

10. ¿A qué velocidad debe alejarse una fuente sonora para que la frecuencia de 50 Hz que produce, sea detectada como 20 Hz por un detector estacionario?
11. ¿A qué velocidad debe acercarse una fuente sonora de 15 000 Hz para que no pueda ser detectada por el oído humano, cuya máxima frecuencia audible es 16 000 Hz?

REFERENCIAS

Ondas y transporte de energía:

<http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/Class/waves/wavestoc.html>

Ondas sonoras:

<http://www.xtec.es/centres/a8019411/caixa/ondas.htm>

Contaminación acústica:

http://www.conama.cl/investigacion_info/temas_ambientales/Ruido/indice_ruido.htm

Efecto Doppler:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/doppler/doppler.html>

CAPÍTULO IX

ELECTROMAGNETISMO

El estudio de la electricidad y sus aplicaciones en la ciencia y la tecnología actual es una de las ramas más importantes de la Física moderna, porque prácticamente todo lo que se hace en dichos campos requiere del uso de energía eléctrica.

ESTRUCTURA ATÓMICA

El átomo es la partícula más pequeña de una sustancia elemental que aún mantiene sus propiedades físicas y químicas. Si pudiésemos viajar al interior de un átomo, por ejemplo del elemento cobre, encontraríamos una región central, llamada núcleo, que acumula la mayor parte de la masa del átomo, por medio del agregado de dos tipos de partículas, los protones y los neutrones.

El protón es una partícula con carga eléctrica positiva que se encuentra en el núcleo atómico, identificada en 1920.

El número atómico (Z) de un elemento está dado por el número de protones en su núcleo y determina las propiedades químicas del elemento. La masa del protón es $m_p = 1,673 \times 10^{-27}$ kg.

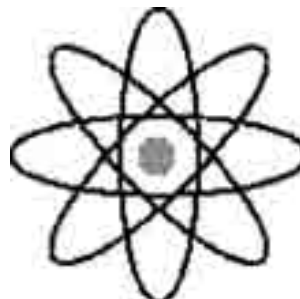
El neutrón es una partícula con aproximadamente la misma masa que el protón, pero sin carga eléctrica, que forma parte del núcleo atómico. Fue identificado en 1932. El número de neutrones de un átomo es $N = A - Z$, donde A es el número másico o número de nucleones. La masa del neutrón es $m_n = 1,675 \times 10^{-27}$ kg.

El electrón es una partícula con carga eléctrica negativa de la misma magnitud que la carga del protón y fue identificado en 1897. En un átomo neutro el número de electrones es también Z . La carga del electrón se considera la unidad fundamental de carga. La masa del electrón es $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg.

Resumiendo, los protones y los electrones poseen masa, volumen, carga eléctrica y otras propiedades.

La carga eléctrica es importante porque determina un tipo de interacción entre partículas que provoca fuerzas de repulsión entre ellas (cuando las cargas son iguales), o fuerzas de atracción (cuando las cargas son opuestas).

Fig. 9.1
Modelo clásico
del átomo

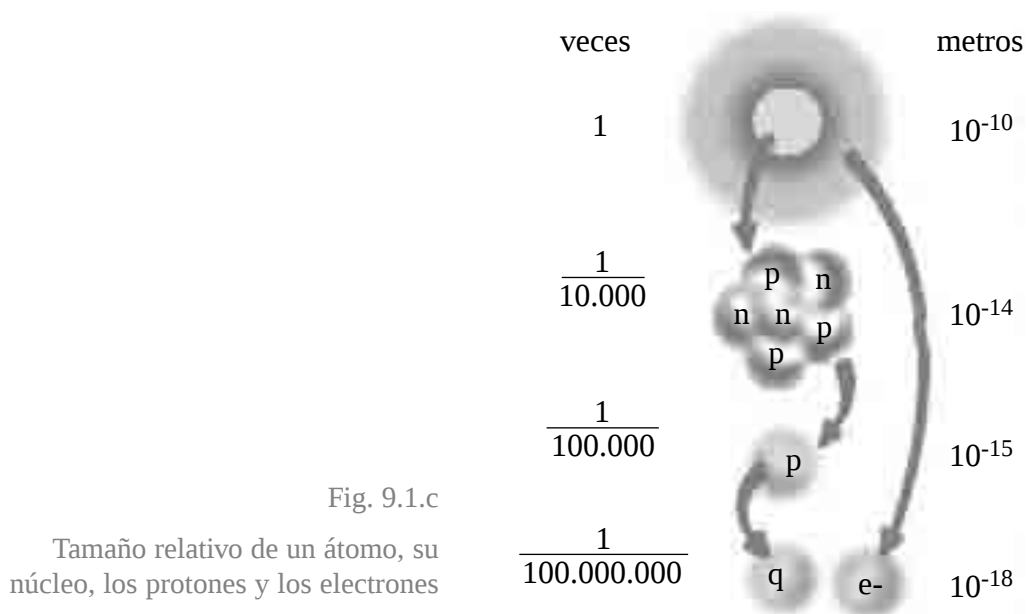


CARGA ELÉCTRICA

La materia en su estado neutro no manifiesta las propiedades asociadas con la carga eléctrica, porque en los átomos, el número de electrones (carga negativa) y de protones (carga positiva) es el mismo. Sin embargo, es posible agregar o quitar electrones a un trozo de materia y en este caso decimos que "tiene carga" (está cargada eléctricamente). La carga eléctrica en un cuerpo, se debe simplemente a un exceso o deficiencia de electrones (con respecto a los protones).

Una manera sencilla de cargar eléctricamente un cuerpo consiste en friccionarlo con otro cuerpo de tal manera que el contacto cercano entre ellos hace que pasen electrones de uno hacia el otro. Entonces el primero quedará con carga positiva (perdió electrones) y el segundo con carga negativa (ganó electrones).

Hay otras formas más eficientes de cargar un cuerpo, como veremos luego, las cuales consisten básicamente en colocarlo en contacto con otro cuerpo cargado previamente o con un generador, un dispositivo que, mediante procesos físicos o químicos, separa las cargas positivas de las negativas y las acumula en puntos diferentes, esto es básicamente lo que hacen una dínamo, una pila seca, una batería de carro o una fotocelda.



CORRIENTE ELÉCTRICA

Una corriente eléctrica es un flujo de carga y en casi el 100% de las situaciones dicha carga está constituida por electrones, por lo que podemos decir que, una corriente eléctrica es un flujo de electrones.

La intensidad (**I**) de una corriente eléctrica se define como la carga por unidad de tiempo que transporta dicha corriente por un punto dado, es decir

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \quad (9.1)$$

Donde Q es la carga transportada durante el intervalo de tiempo Δt .

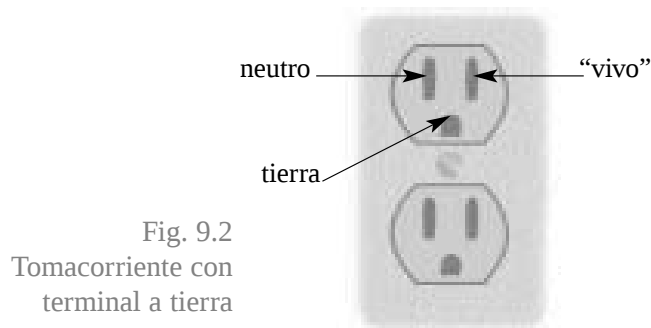
La carga eléctrica se expresa en unidades llamadas culombios (C) y la corriente eléctrica en amperios (A).

Una corriente de 1 amperio transporta 1 culombio de carga cada segundo y para ello se requiere mover alrededor de $6,24 \times 10^{18}$ electrones cada segundo.

Los aparatos para medir la intensidad de una corriente eléctrica, muy usados por electricistas y técnicos en electrónica, se denominan amperímetros que funcionan de manera semejante a un medidor de agua: toda la corriente debe pasar a través de él para ser medida.

Normalmente, la corriente eléctrica se hace circular a través de un conductor eléctrico, que puede ser simplemente hilo o cable de cobre o de otros metales, que no opone mucha resistencia a ser atravesados por los electrones de la corriente y presentan la facilidad de que se doblan en diferentes direcciones y pueden llevarse a casi cualquier punto de una casa o de un equipo que funciona con energía eléctrica. Generalmente estos conductores poseen un forro de un material aislante (hule, plástico, fibras), para evitar que las cargas eléctricas circulen por lugares no deseados y así proteger de accidentes al equipo y los usuarios.

En su casa usted obtiene la corriente eléctrica para un radio o una computadora, a partir de un tomacorriente, el cual está conectado a los generadores de la planta eléctrica a través de toda la red de distribución que tiene la empresa eléctrica que le suple la energía eléctrica.



EJEMPLO 9. 1

Calcule: a) la cantidad de carga eléctrica que transporta una corriente de 5 miliamperios durante 3 décimas de segundo, b) el número de electrones transportados, si la carga del electrón es $1,6 \times 10^{-19}$ C, c) el tiempo que circularía una corriente de 1 amperio, si el número de electrones fuera $1,6 \times 10^{19}$.

Resolución:

a) $Q = I t = (0,005 \text{ A})(0,3 \text{ s}) = 0,0015 \text{ C} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ C} = 1,5 \text{ milicoulombios}$

b) $\# \text{ de electrones} = \frac{1,5 \times 10^{-3} \text{ C}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 9,4 \times 10^{15}$

c) La carga eléctrica sería $Q = (\# \text{ electrones})(\text{carga del electrón}) = (1,6 \times 10^{19})(1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) = 2,56 \text{ C}$.

Entonces :



CONDUCTORES Y AISLADORES

Los electrones de los átomos de las sustancias que encontramos en la naturaleza están más o menos ligados a sus núcleos respectivos.

En las sustancias aisladoras, la fuerza que los liga es relativamente fuerte. Esto sucede con las cerámicas, por ejemplo, que se usan como aislantes en las torres y postes de conducción del tendido eléctrico, ya que son excelentes aisladores, o, lo que es lo mismo, pésimos conductores.

Por el contrario en un alambre de cobre, como en la mayoría de los metales, los electrones no se encuentran unidos a átomos particulares, sino que algunos constituyen una especie de nube de cargas libres que puede moverse con cierta facilidad, respondiendo a un estímulo eléctrico, por ejemplo, la acumulación de algún tipo de carga en los extremos del alambre, que se ha conectado a un generador, pila seca o batería.

Debido a esa característica, se dice que los metales son conductores de corriente eléctrica.

El cobre es el metal que más se utiliza para fabricar cables y alambres para instalaciones eléctricas, porque es un buen conductor y su precio es bajo.

Usted habrá notado que los cables que introducen la corriente eléctrica a su casa son mucho más gruesos que, por ejemplo, un alambre del timbre de la puerta. Esto se debe a que los primeros transportan toda la corriente eléctrica que llega a su casa, para las bombillas, la computadora, el radio, el televisor, la cocina y demás aparatos que funcionan con energía eléctrica.

Luego veremos que mientras más grueso es un cable conductor, menor es su resistencia al paso de la corriente y por ello, puede soportar corrientes mayores que los más delgados sin sufrir calentamiento. El calor podría ser peligroso para la instalación eléctrica en general o para un equipo en particular.

Es conveniente que la instalación eléctrica de nuestra casa sea revisada para comprobar su buen estado y para verificar que el grueso de los cables sea el apropiado para manejar la intensidad de corriente que circula por ellos.

DIFERENCIA DE POTENCIAL O VOLTAJE

El voltaje, también llamado fuerza electromotriz o diferencia de potencial, es el resultado de colocar cargas eléctricas en las vecindades de un conductor eléctrico, lo que ocasiona que fluya una corriente eléctrica entre los extremos del conductor.

La unidad del Sistema Internacional que expresa el voltaje es el voltio (V). Fue establecida en honor al físico italiano Alessandro Volta (1745 – 1827).

Una pila seca corriente proporciona un voltaje de 1,5 voltios entre sus terminales (positivo y negativo), mientras que una batería de carro da 12 voltios entre sus bornes. Las compañías eléctricas pueden proporcionar un voltaje de 110 o de 220 voltios a la instalación eléctrica de nuestra casa, según las especificaciones y necesidades de voltaje de los aparatos eléctricos que usamos; sin embargo, el voltaje en las líneas de transmisión y distribución es de varias decenas de miles de voltios.

El voltaje (V) puede interpretarse como la energía (W) por unidad de carga (Q) suplida a un circuito eléctrico:

$$\xi = \frac{W}{Q} \quad (9.2)$$

"1 voltio es la diferencia de potencial entre dos puntos que proporcionan una energía de 1 joule a cada culombio de carga que se mueve entre dichos puntos".

También podemos decir, que si la diferencia de potencial entre dos puntos es de 1 voltio, por cada amperio de corriente que circule entre ellos, se proporciona una energía de 1 joule cada segundo o lo que es lo mismo, una potencia de 1 vatio.

EJEMPLO 9. 2

Calcule la energía proporcionada a una corriente eléctrica de 0,1 A durante 2 segundos, si circula entre dos puntos cuyo voltaje es 110 V.

Resolución:

Primero calculamos la carga eléctrica:

$$Q = I t = (0,1 \text{ A})(2 \text{ s}) = 0,2 \text{ C.}$$

$$W = Q V = (0,2 \text{ C})(110 \text{ V}) = 22 \text{ J.}$$

El consumo de energía eléctrica es lo que pagamos a las compañías eléctricas.

RESISTENCIA ELÉCTRICA

La resistencia es la oposición que un conductor ofrece al paso de la corriente eléctrica. Depende del tipo de sustancia y de la geometría del conductor (longitud y grueso) y en algunos casos de su temperatura.

El símbolo para la resistencia es (**R**) y su unidad en el Sistema Internacional es el ohm, cuyo símbolo es (Ω). Dicha unidad fue establecida en honor al físico alemán George Simon Ohm (1789 – 1854).

Para cierto tipo de conductores, la resistencia es la constante de proporcionalidad que liga la corriente eléctrica (**I**) que circula a través de ellos y el voltaje (**V**) al que son sometidos, tenemos que:

$$V = I R \quad (9.3)$$

Si una corriente de un amperio pasa a través de un componente de un circuito eléctrico, cuyos extremos tienen una tensión de 1 voltio entre sí, la resistencia de dicho componente es de un ohm (1 Ω).

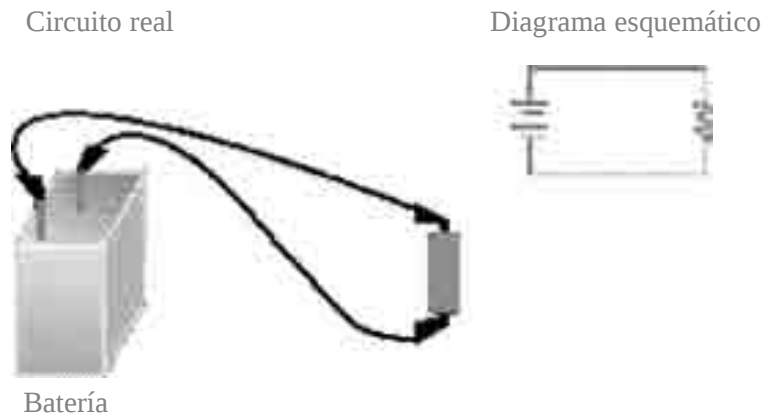


Fig. 9.3

Batería

Podemos decir, que cuando el voltaje se mantiene constante (los 110 V de las instalaciones domésticas, por ejemplo), la corriente es inversamente proporcional a la resistencia, y entonces, por los elementos de mayor resistencia circula la corriente de menor intensidad y viceversa.

POTENCIA ELÉCTRICA

La potencia (**P**) es una cantidad física que caracteriza el uso de energía por unidad de tiempo, ya sea que ésta se esté generando o consumiendo en un dispositivo. La potencia se expresa en watts (**W**) en el Sistema Internacional de Unidades, de acuerdo con la relación $P = \frac{E}{t}$, que fue introducida en el capítulo sobre energía.

1 watt es la potencia a la que funciona un aparato si usa una energía de 1 joule cada segundo.

La potencia eléctrica es la tasa a la cual la energía eléctrica se convierte en alguna otra forma de energía, por ejemplo, en calor en un disco de cocina, en movimiento en el motor de la licuadora, o en un campo electromagnético en la antena de un transmisor de radio.

La potencia se calcula multiplicando la intensidad (amperios) por el voltaje **V** (voltios), es decir:

$$P = I V \quad (9.4)$$

Cuando la corriente pasa a través de un componente de resistencia (ohm), la potencia disipada o convertida en calor por dicho componente es:

$$P = I^2 R \quad (9.5)$$

Por último, si deseamos calcular la potencia en función del voltaje a través de un componente de resistencia usamos la siguiente relación:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (9.6)$$



Fig. 9.4

Todo los bombillos de su casa son de 110 voltios, porque esa es la tensión que suplen las compañías eléctricas. Sin embargo, si revisa la potencia seguro encontrará bombillos de 25 watt, 60 watt, o 100 watt, dependiendo de la cantidad de energía luminosa por segundo que necesite para iluminar determinado lugar.

EFECTO TÉRMICO DE LA CORRIENTE

La corriente eléctrica siempre calienta el conductor por el cual circula. Este ocurre porque los electrones, al abrirse paso a través de dicho conductor, sufren múltiples colisiones con los átomos de éste y transmiten una parte de su energía cinética a esos átomos que la absorben en forma de calor, aumentando su temperatura.

En el calorífero (disco o espiral) de una cocina eléctrica tenemos este efecto actuando al máximo y la producción de calor depende de su resistencia y de la corriente que hacemos circular a través de él, controlada por las perillas del aparato.

La energía consumida depende desde luego de la potencia y del tiempo de funcionamiento:

$$Q = P \tau \quad (9.7)$$

Como los caloríferos se mantienen más o menos calientes luego de ser desconectados, es conveniente usar este calor residual para cocinar los alimentos, por lo que debemos desconectarlos un poco antes de terminar el proceso de cocción.

Un bombillo (lámpara incandescente) consta de un delgado filamento de tungsteno dentro de una ampolla de vidrio al vacío. Al circular la corriente por el filamento de alta resistencia, éste se calienta hasta el punto de incandescencia y entonces emite luz.

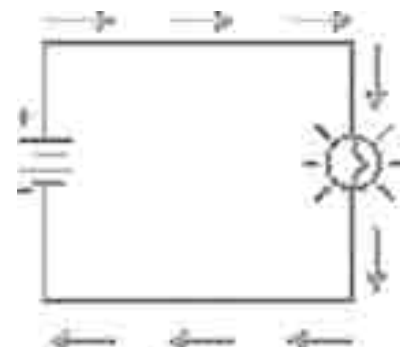


Fig. 9.5

Esquema de un circuito eléctrico simple, con una fuente de poder (la batería) y un elemento pasivo que consume energía eléctrica (el bombillo), unidos con cables conductores.

EJEMPLO 9. 4

¿Cuál bombillo tiene más resistencia (en el filamento), uno de 25 vatios o uno de 100, si ambos están conectados a un voltaje de 110 V?

Resolución:

La última relación (9.6) es la más apropiada en este caso:

$$P_{25} = \frac{(110 \text{ voltios})^2}{25 \text{ vatios}} = 484 \, \Omega$$

$$P_{100} = \frac{(110 \text{ voltios})^2}{100 \text{ vatios}} = 121 \, \Omega$$

Evidentemente, el bombillo de mayor potencia tiene un filamento de menor resistencia.

La eficiencia del bombillo incandescente es muy poca, porque la mayor parte de la energía eléctrica que recibe se convierte en calor indeseable que se desperdicia. Sólo cerca de un 30% de esa energía se convierte en luz.

La potencia eléctrica que consume un bombillo está relacionada con la cantidad de luz (y calor) que produce, por tal motivo se deben seleccionar de manera apropiada según el tipo de iluminación que necesitamos: un bombillo de 15 vatios es suficiente para la luz interior de un refrigerador o del horno de una cocina, 25 vatios para iluminar de noche el garaje de una casa; 60 ó 75 vatios para la lámpara del escritorio cuando leemos; 250 vatios para un proyector de diapositivas, etc.

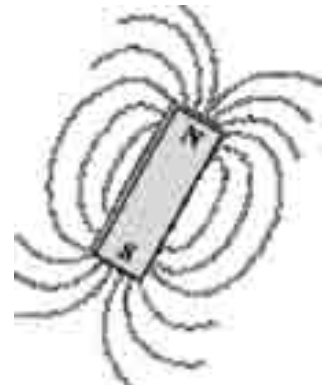
EFEECTO MAGNETICO DE LA CORRIENTE

Toda corriente eléctrica produce a su alrededor un campo magnético, es decir, un efecto similar al de un imán permanente, sólo que en este caso, el campo magnético existe únicamente si hay corriente y mientras más intensa sea ésta así lo será el campo magnético. Además, si la corriente es variable el campo también lo será.

Recordemos que los imanes siempre presentan dos polos donde el campo magnético es más fuerte (norte y sur) que ejercen fuerzas de atracción (polos diferentes) y de repulsión (polos iguales). Además, los imanes atraen cierta clase de materiales (hierro, por ejemplo) porque su campo magnético los convierte temporalmente en imanes.

Fig.9.6

Imán de barra con ambos polos (norte y sur) debidamente identificados. Además se visualizan algunas líneas del campo magnético, por medio de limaduras de hierro.



Si se conecta un alambre a los terminales de una batería, asociado a la corriente eléctrica que circula por el alambre hay un campo magnético. Éste se puede identificar por medio del efecto (desviación) que causa en la aguja de una brújula (pequeño imán orientado por el campo magnético terrestre). Este electroimán simple puede fortalecer su campo magnético arrojando el alambre (aislado con forro) alrededor de un clavo, por ejemplo.

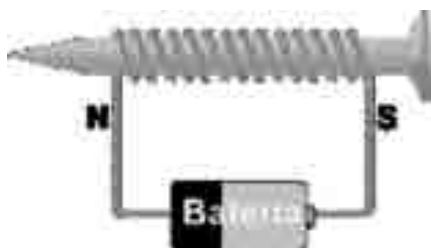


Fig. 9.7
electroimán



Fig. 9.8
pila seca (1.5 V)

PILAS Y BATERÍAS

Normalmente llamamos pilas (o baterías) a las fuentes químicas de electricidad que utilizamos en equipo portátil como linternas de mano (focos), calculadoras, radios, grabadoras, reproductores de disco compacto, etc.

En realidad, son pilas secas, que tienen sus semejanzas y diferencias con las baterías de los carros (acumuladores), que contienen un líquido (ácido) responsable en buena parte de las reacciones químicas que liberan electrones, pero que pueden reutilizarse, pues las reacciones químicas ocurren de manera reversible y por ello es posible recargarlas al pasarles una corriente eléctrica en sentido inverso.

Las partes principales de una batería son: el ánodo, el cátodo, el electrolito y el recipiente (empaquete).

Se llama cátodo al electrodo (terminal) en el cual ocurren reacciones de reducción. Cuando las pilas se están descargando, el cátodo es el electrodo positivo. Por el contrario, el ánodo es el electrodo donde ocurren reacciones de oxidación (liberación de electrones) y en descarga es este el electrodo negativo. La función del electrolito es permitir el flujo de iones de un terminal a otro.

Cuando una pila se conecta en un circuito se produce un flujo de carga. En el ánodo (–) las reacciones químicas de oxidación liberan electrones que fluyen por la rama externa del circuito (calculadora, bombillo, etc.) y llegan al cátodo (+) donde son usados en las reacciones de reducción de los iones del electrolito.

Dentro de la pila la carga es transportada por los iones del electrolito de un electrodo al otro. Por cada electrón liberado en el ánodo hay un electrón capturado en el cátodo, hasta cuando las reacciones químicas se detienen (se agotan las sustancias) y entonces decimos que la pila está descargada.

Las baterías corrientes tienen un electrodo de zinc y otro de carbón, con el electrolito sustituido por una pasta ácida. Las denominadas pilas alcalinas usan un electrodo de zinc y el otro de magnesio y un electrolito alcalino.

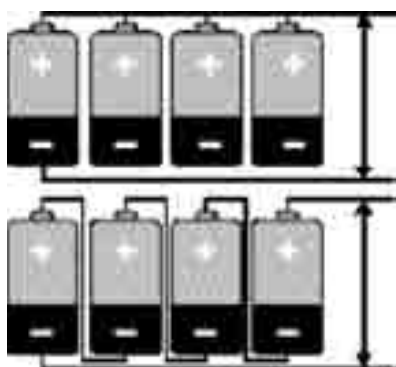


Fig. 9.9.a
Pilas secas en paralelo y en serie



Fig. 9.9.b
Batería de automóvil (12 V)

Las baterías recargables, como las que usan los carros, funcionan con reacciones químicas reversibles. En este caso, al pasar corriente en sentido inverso, se restablecen las sustancias que se habían agotado cuando la batería estaba en uso (descargándose).

Las celdas de las baterías de carro contienen una placa de plomo y otra de dióxido de plomo, sumergidas en una solución de ácido sulfúrico. En la placa de plomo ocurre una reacción química que produce sulfato de plomo (PbSO_4) y libera electrones. En la otra placa se forman sulfato de plomo y agua. La celda produce una diferencia de potencial de 2 voltios, por lo que conectando en serie seis celdas se tiene una batería de 12 voltios. Como las reacciones químicas son totalmente reversibles, la batería se puede recargar y usarse de nuevo. Esto no ocurre con las pilas secas, porque las reacciones químicas no son reversibles.

CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Un circuito eléctrico es una trayectoria cerrada constituida por conductores y elementos de circuito (resistencias, motores, baterías, transformadores, lámparas, etc.) por donde puede circular la corriente eléctrica. Si en un circuito hay un interruptor abierto, no hay circulación de corriente, y se dice entonces que es un circuito abierto.

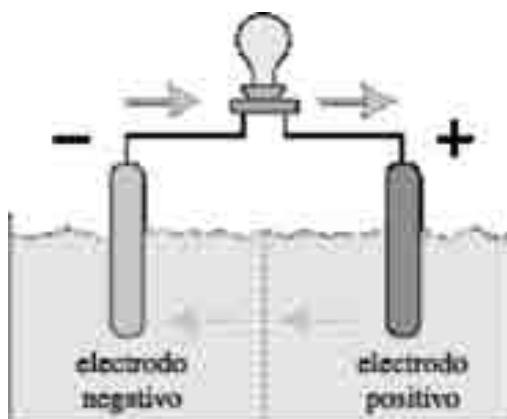
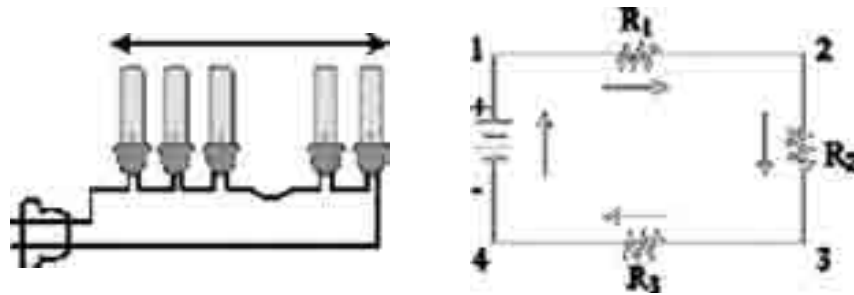


Fig. 9.10
Componentes
de una batería

Fig. 9.11
Circuito en serie



El tipo de circuito más simple es el que encontramos, por ejemplo, en una linterna de mano (foco), donde las pilas (dos o más) están en secuencia con el bombillo y el interruptor, de tal manera que ofrece un recorrido único para que circule la corriente. Este circuito se llama **serie** y entre sus características citamos las siguientes:

- Una única trayectoria para la corriente.
- La corriente en cada elemento del circuito es la misma.
- Si se abre un interruptor en cualquier parte del circuito, no circula corriente.
- El voltaje (diferencia de potencial) de los diferentes elementos generalmente es diferente.
- En caso de un único circuito simple, la suma de los voltajes a que están sometidos los elementos pasivos (resistencias) es igual al voltaje de la fuente (pila, batería, generador).

EJEMPLO 9. 5

Una linterna de mano usa tres pilas secas de 1,5 V: a) ¿De qué voltaje debe ser el bombillo para que funcione? b) ¿Cuál es la resistencia del filamento si circulan 30 miliamperios por el circuito?

Resolución:

a) Las tres pilas están en serie, de tal manera que suministran un voltaje de $3(1,5 \text{ V}) = 4,5 \text{ V}$.

Entonces el bombillo que utiliza la lámpara debe estar diseñado para funcionar a 4,5 V.

b)
$$P = \frac{V}{I} = \frac{4,5 \text{ V}}{0,03 \text{ A}} = 150 \Omega$$

El otro tipo de circuito es denominado circuito en paralelo, como el que presenta el tendido eléctrico en su casa junto con todos los aparatos eléctricos conectados a él. Esto se debe a que los aparatos que usan corriente eléctrica tienen un terminal por donde entra la corriente (+) y uno por donde sale (–) y se fabrican para que sean conectados a un voltaje específico, 110 voltios, por ejemplo.

La manera de conectar estos aparatos para que reciban el mismo voltaje y no interfieran unos con otros, si están encendidos o apagados, es conectarlos en paralelo. Esto se logra pegando directamente o por medio de enchufes su terminal positivo al lado positivo de la línea y su terminal negativo al lado negativo de la línea (en paralelo).

Entre las características de un circuito en paralelo citamos las siguientes:

- Hay más de una trayectoria para la corriente.
- El voltaje al cual está sometido cada elemento es el mismo.
- Si se abre un interruptor en alguna rama del circuito, no circula corriente por dicha rama, pero sí por las otras.
- La corriente por cada una de las ramas del circuito generalmente es diferente.
- En caso de un circuito único simple, la corriente total suministrada por la fuente es igual a la suma de todas las corrientes que circulan por cada rama.

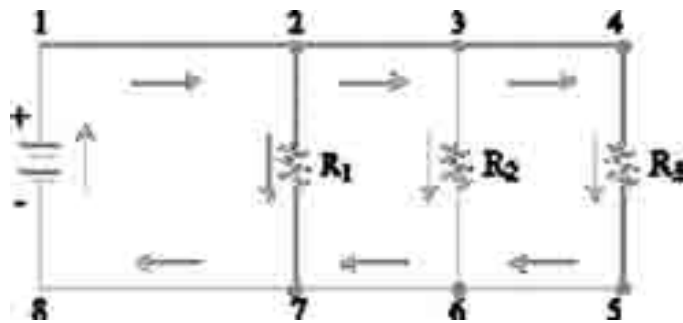


Fig. 9.12.a
Circuito en paralelo.

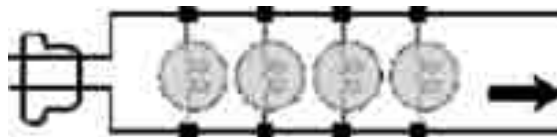


Fig. 9.12.b
Bombillos conectados en un circuito en paralelo

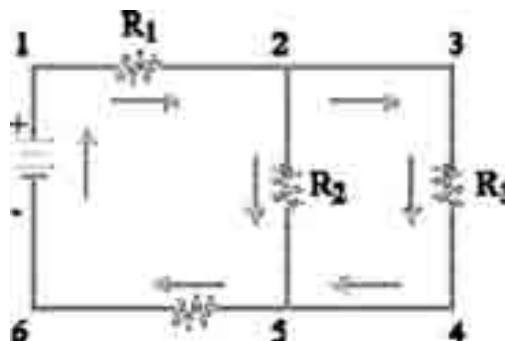


Fig. 9.12.c
Red eléctrica

En aparatos como radios, calculadoras, televisores y computadoras, siempre se encuentran circuitos más complejos que simples series y paralelos o combinaciones de éstos. Este tipo de circuito se llama red y su análisis requiere el uso de ecuaciones especiales para encontrar los valores de la corriente y el voltaje de los diferentes elementos.

RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS SIMPLES

EJEMPLO 9. 6

En una casa están conectados en paralelo a la línea de 110 voltios: un radio de 15 vatios, una licuadora de 330 vatios y un bombillo de 75 vatios. Calculemos: a) la corriente que circula por cada aparato, b) toda la corriente tomada de la línea, c) la potencia total disipada por los tres aparatos, d) la resistencia de cada uno y e) la resistencia equivalente del circuito.

Resolución:

$$a) \quad I_{\text{radio}} = \frac{P}{V} = \frac{15 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 0,14 \text{ A}$$

$$I_{\text{licuadora}} = \frac{330 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 3,00 \text{ A}$$

$$I_{\text{bombillo}} = \frac{75 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 0,68 \text{ A}$$

b) En un circuito en paralelo, la corriente total es la suma de las corrientes:

$$I_{\text{total}} = 0,14 \text{ A} + 3,00 \text{ A} + 0,68 \text{ A} = 3,82 \text{ A}.$$

c) La potencia total es la suma de las potencias: $P_{\text{total}} = 15 \text{ W} + 330 \text{ W} + 75 \text{ W} = 420 \text{ W}.$

$$\text{También: } P = I_{\text{tot}} V = (3,82)(110) = 420 \text{ W}.$$

$$P_{\text{radio}} = \frac{V^2}{R_{\text{radio}}} = 110^2 = 807 \text{ W}, \quad P_{\text{licuadora}} = \frac{110^2}{330} = 37 \text{ W}, \quad P_{\text{bombillo}} = \frac{110^2}{75} = 161 \text{ W}$$

$$d) \quad P_{\text{eq}} = \frac{V^2}{R_{\text{eq}}} = \frac{110^2}{420} = 28,8 \text{ W}$$

$$\text{Observe que: } P_{\text{total}} = \frac{V^2}{R_1} + \frac{V^2}{R_2} + \frac{V^2}{R_3} = V^2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{V^2}{R_{\text{eq}}} = V^2 \left(\frac{1}{R_{\text{eq}}} \right)$$

De donde puede concluirse que la resistencia equivalente de un circuito en paralelo se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Calculada de esta manera la resistencia equivalente esta dada por:

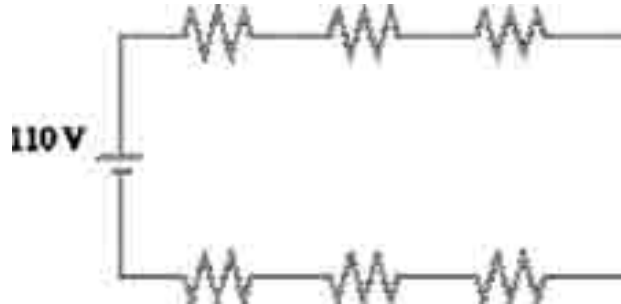
$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{807} + \frac{1}{37} + \frac{1}{161} \quad \text{de donde resulta } R_{\text{eq}} = 29 \text{ } \Omega.$$

En la resolución del cálculo anterior es muy útil la tecla 1/x de las calculadoras. Aprenda a usarla.

EJEMPLO 9.7.

Seis bombillos de 10 watt se conectan en serie y luego se unen a la línea de 110 V. Calculamos a) la corriente que consumen, b) el voltaje aplicado a cada bombillo, c) la resistencia de cada bombillo, d) la resistencia equivalente del circuito.

Fig. 9.13
Ejemplo 9.7

**Resolución:**

- a) La potencia total es 60 W, entonces

$$I = \frac{P_{\text{total}}}{V} = \frac{60 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 0,54 \text{ A}$$

Esta corriente es la misma por cada uno de los bombillos de la serie.

- b) Es evidente que el voltaje se distribuye equitativamente, es decir $V = 110/6 = 18,3$ voltios. También puede calcularlo si aplica

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{10 \text{ W}}{(0,54 \text{ A})^2} = 34 \Omega$$

- c) $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(18,3 \text{ V})^2}{34 \Omega} = 9,7 \text{ W}$

- d) $R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = R_{\text{eq}}$, de donde se deduce que en un circuito en serie la **resistencia equivalente** es la suma aritmética de las resistencias $R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

Para el ejemplo $R_{\text{eq}} = 6 (34 \Omega) = 204 \Omega$

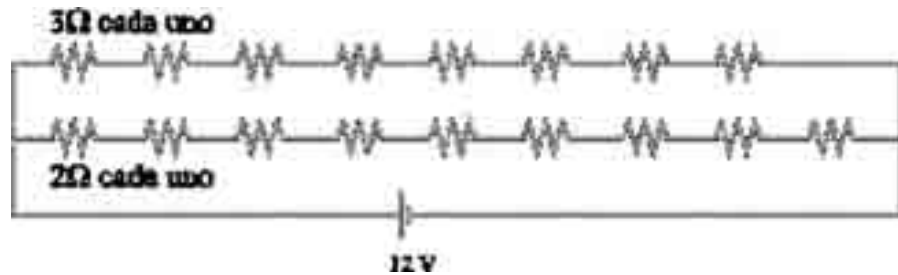
También puede calcularse así:

$$R_{\text{eq}} = \frac{V}{I} = \frac{110 \text{ V}}{0,54 \text{ A}} = 204 \Omega$$

EJEMPLO 9. 8

Se hace una serie con 8 bombillos de 3 ohm y otra con nueve bombillos de 2 ohm. Las dos series se conectan en paralelo y éste a una batería de 12 voltios. Calculamos a) la resistencia equivalente del circuito, b) la corriente por cada rama, c) la corriente total consumida.

Fig. 9.14
Ejemplo 9.8



Resolución:

a) Las dos series son:

$$P_{\text{serie}} = 8(3) = 24 \, \Omega \quad \psi \quad P_{\text{serie}} = 8(2) = 16 \, \Omega \quad \text{θνε εστ(ν εν πρ)}$$

$$\frac{1}{P_{\text{eq}}} = \frac{1}{24} + \frac{1}{16} = \frac{3+4}{72} = \frac{7}{72} \quad \text{δε δονδε } P_{\frac{72}{7}} = 10,3 \, \Omega$$

$$b) \quad I_{\text{serie}} = \frac{\xi}{P_{\text{serie}}} = \frac{12}{24} = 0,5 \, A \quad I_{\text{serie}} = \frac{12 \xi}{16 \, \Omega} = 0,67 \, A$$

$$c) \quad I_{\text{serie}} = \frac{\xi}{P_{\text{eq}}} = \frac{12 \xi}{10,3 \, \Omega} = 1,17 A \quad \text{Οβσερπωε θνε εστ ταμβι ν ελ ρεσυλταδο δε σ.}$$

APARATOS ELÉCTRICOS EN EL HOGAR

Haga una inspección de los aparatos que hay en su casa y anote cuáles tienen motores eléctricos. Seguramente, su lista contendrá algunos de los siguientes: batidora y licuadora, ventiladores, horno de microondas, refrigerador, cocina, computadora, lavadora, aspiradora, secadora de pelo, ví-deograbadora, grabadora, lector de CD, bombas de agua, taladros, sierras, arrancador del carro, limpiaparabrisas, portones eléctricos, etc.

En la casa también encontraremos aparatos que tienen resistencias (cocina, bombillos, calentadores, secadoras, etc.) y transformadores (radios, teléfonos inalámbricos y celulares, cargadores de batería, computadoras portátiles, impresoras, parlantes, etc.)

En realidad, no importa si sólo marcó tres o cuatro aparatos, o agregó unos más, lo interesante es que todos consumen energía eléctrica y la transforman en energía de algún otro tipo (mecánica, sonora, térmica, luminosa, etc.). Todos estos equipos necesitan la corriente eléctrica directa o alterna, requieren un voltaje apropiado para su correcto funcionamiento, "consumen" cierto número de vatios de potencia y, dependiendo del tiempo en que estén operando, "gastarán" determinada cantidad de energía (joules o kilovatios hora) que es suplida por las compañías eléctricas, y por lo tanto, debemos pagar el costo de generación correspondiente.

¿Le parece entonces que es imprescindible usar eficientemente la energía eléctrica?

BOMBILLOS Y FLUORESCENTES

En un bombillo incandescente, la energía eléctrica no se transforma directamente en energía luminosa, en realidad lo que hace la corriente eléctrica, es calentar el filamento del bombillo hasta ponerlo incandescente para que emita luz.

La parte esencial de un bombillo es el filamento, un fino arrollado del metal tungsteno, más un soporte de vidrio y dos contactos metálicos para conectarse con el circuito exterior. Esto se introduce en un bulbo de vidrio sellado con un gas inerte en su interior. La ausencia de oxígeno dentro del bulbo evita la combustión del filamento y el argón (gas inerte) evita que se evapore.

El tungsteno se usa por su alto punto de fusión para que no se derrita a la alta temperatura requerida y emita luz visible (2 200 °C).

Los electrones que circulan por el filamento colisionan con los átomos de este y lo calienta. Los electrones vibran y se excitan alcanzando estados temporales de mayor energía. Cuando regresan a sus estados normales, emiten esta energía adicional en forma de radiación (fotones infrarrojos, visibles, o ultravioleta).

Sólo un 10% de la energía producida en el bombillo cae en el ámbito visible, el resto se produce en el infrarrojo (calor), lo cual hace que los bombillos incandescentes sean poco eficientes.

Las lámparas fluorescentes son tubos sellados recubiertos en su interior con un polvo fosforescente y tienen un electrodo en cada extremo para conectar la corriente. Dentro del tubo hay una gotita de mercurio y un gas inerte (argón). Cuando se conecta el tubo hay una corriente de un electrodo al otro a través del gas, el mercurio se convierte en vapor y sus átomos son excitados a niveles energéticos altos, que al regresar a su estado fundamental emiten fotones, principalmente en el ámbito ultravioleta (que no vemos). Estos fotones ultravioleta excitan la sustancia fosforescente del interior del tubo y sus electrones emiten nuevos fotones en el ámbito visible cuando regresan a su estado base.

Por ese motivo las lámparas fluorescentes son unas seis veces más eficientes que los bombillos y funcionan a más baja temperatura, por lo que el color de su luz es más blanco (mezcla de todos los colores), comparada con la luz incandescente que tiene mayor porcentaje de rojo que de azul.



Fig. 9.15.a
Fluorescente compacto

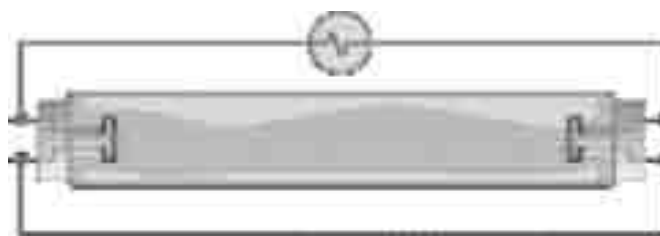


Fig. 9.15.b
Fluorescente clásico

EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. Investigue cuántos electrones, protones y neutrones tiene un átomo de cobre (Cu).
2. Calcule la intensidad de una corriente eléctrica que transporta una millonésima de culombio durante 10 segundos. ¿Cuántos electrones fueron transportados?
3. Suponga que de una fuente sale carga eléctrica de manera uniforme. Si la fuente tiene un millón de electrones ¿durante cuánto tiempo puede fluir una corriente de 1 miliamperio?
4. Investigue qué tipo de material usan las compañías eléctricas para el cableado eléctrico y para los aisladores en los postes.
5. Investigue (vea las etiquetas) cuál es la diferencia de potencial de todos los aparatos eléctricos que hay en su casa.
6. Si el horno de una cocina de 220 V consume una carga de 20 culombios durante 60 segundos. Calcule:
 - a) la energía consumida
 - b) la potencia de funcionamiento.
7. ¿Cuánta debe ser la resistencia eléctrica de un circuito conectado a una batería de carro de 12 voltios, para que la corriente eléctrica que circula sea de 3 miliamperios?
8. ¿Cuánta potencia consume un aparato conectado a dos pilas secas de 1,5 V en serie, si la corriente que circula es de 0,08 A?
9. La potencia que usa un circuito es de 1 kilowatt. ¿Cuál es su resistencia, si circula por él una corriente de 1 miliamperio?
10. Una resistencia de 50Ω está disipando una potencia de 100 W, calcule el voltaje al que está sometida.
11. Investigue algunas diferencias al conectar tres pilas secas de 1,5 V cada una:
 - a) en serie,
 - b) en paralelo.
12. Investigue por qué al cargar una batería de carro debe someterse a un voltaje y corriente apropiados, para no dañarla.
13. ¿Qué tipo de problemas presentarían los aparatos eléctricos de su casa si estuviesen conectados en serie, en vez de en paralelo?
14. ¿Qué ventaja se obtiene con una linterna de mano (foco) que utiliza 4 pilas secas de 1,5 V en serie?. ¿De cuánto voltaje debe ser el bombillo?. ¿Qué sucedería si esas cuatro pilas se conectarán en paralelo?.
15. ¿Por qué motivo en las llamadas series navideñas, cuando se apaga un bombillo de una rama, se apagan todos los demás bombillos de esa rama en particular?.
16. Suponga que tiene doce bombillos de 1,5 voltios cada uno conectados en serie:

- a) ¿cuánto sería el voltaje apropiado para construir un circuito en el cual todos los bombillos enciendan?
 - b) ¿cuánta corriente recibe cada bombillo?
 - c) ¿cuál es voltaje a que está sometido un solo bombillo?
 - d) calcule la potencia eléctrica consumida por un bombillo y por toda la serie.
17. Si en un momento dado están funcionando en su casa tres bombillos de 75, 50 y 25 vatios, calcule:
- a) la corriente que circula por cada uno,
 - b) la corriente total y la potencia consumida.
18. Inspeccione las placas o etiquetas de todos los aparatos eléctricos de su casa y determine la potencia eléctrica total requerida si todos se conectaran al mismo tiempo. Suponga que todos son de 110 V, ¿cuánta corriente requerirán tomar de la línea?

REFERENCIAS

Análisis de circuitos:

<http://www.caonabo.com/circuito.html>

Electrónica al alcance de todos:

<http://www.unicrom.com/Tutoriales.asp>

CAPÍTULO X

ÓPTICA GEOMÉTRICA

Llamamos óptica geométrica a la rama de la Física que estudia la luz, los fenómenos de reflexión, refracción, la formación de imágenes y los instrumentos ópticos.

La óptica física por su parte, trata los fenómenos relacionados con el comportamiento ondulatorio de la luz tales como, la interferencia, la difracción y la polarización.

El estudio de la luz es importante porque vivimos en un mundo iluminado, en el cual, casi todas nuestras actividades se hacen durante el día y porque los fenómenos luminosos están estrechamente relacionados con los últimos adelantos en ciencia y tecnología.

Sin luz no habría fotografías, fotocopadoras, televisión, artes gráficas, láser, ni discos compactos y usted no podría estar leyendo este libro.

Tampoco existirían los bellos colores de los atardeceres y amaneceres, ni las gotas de lluvia formarían arco iris en el cielo.

FUENTES Y RAYOS LUMINOSOS

El Sol es nuestra principal fuente de luz y prácticamente la única por la que no pagamos; por eso debemos realizar la mayor cantidad posible de actividades empleando luz solar.

La Luna es una fuente indirecta de luz, que nos brinda una luz reflejada proveniente del Sol.

La combustión de materiales como leña, petróleo y sus derivados, cera de abejas y resinas de árboles para producir luz, calor y cocinar alimentos, comenzó a ser utilizada por los humanos desde épocas remotas, cuando descubrieron el fuego y dominaron su uso.

Finalmente podemos citar la producción de luz por medio de la electricidad que hace que los filamentos de los bombillos se calienten y emitan luz.

En el caso de las lámparas fluorescentes, la producción de luz es el resultado de la excitación directa de ciertas sustancias (fosforescentes y fluorescentes) por medio de cargas eléctricas, que al perder excitación y regresar a su estado básico emiten el sobrante de energía en forma de luz.

La luz viaja en todas direcciones a partir de los átomos donde es producida; pero mediante la acción de pantallas opacas y la colimación producida por aberturas estrechas podemos enviarla en una dirección determinada, eliminando, absorbiendo o atenuando todas las demás.

Una recta en la dirección de propagación de la luz es lo que llamamos un rayo luminoso. La luz que sale de los focos de un auto, de una linterna de baterías, o de un apuntador láser, es un manojo de rayos luminosos con aproximadamente la misma dirección, lo que permite apuntarla y enfocarla a voluntad para iluminar algún objeto.

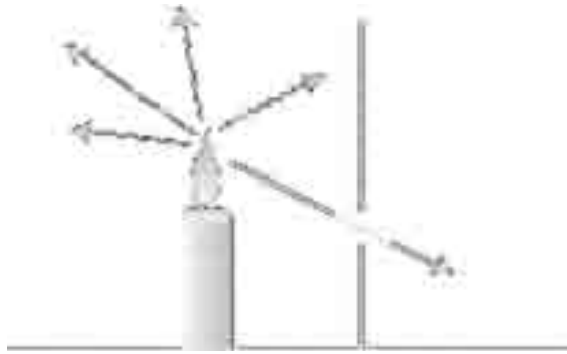


Fig.10.1
Rayo luminoso

NATURALEZA Y PROPAGACIÓN DE LA LUZ

La luz se propaga en línea recta a la increíble velocidad de trescientos mil kilómetros por segundo ($c = 300\,000\text{ km/s}$) en el vacío. Ningún objeto puede ser acelerado para alcanzar la velocidad de la luz.

La luz podría viajar del Darién al Usumasinta, atravesando toda Centroamérica (unos 1.800 km) en solamente seis milésimas de segundo.

Cuando la luz viaja a través de un medio como el agua o el vidrio, lo hace con menor velocidad que en el vacío. Se denomina índice de refracción de un medio (η) al cociente de la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad de la luz en dicho medio (v). Esto es:

$$\eta = \frac{c}{v}$$

El índice de refracción de sustancias transparentes se determina mediante un experimento simple, es una cantidad mayor que 1 y no tiene unidades.

El índice de refracción del agua es 1,33; del vidrio *crown* 1,52; del vidrio *flint* 1,61 y del diamante 2,42.

Se puede describir y analizar la propagación de la luz como si fuera una onda transversal, en donde la oscilación se refiere a las magnitudes del campo eléctrico y del campo magnético que constituyen una **onda electromagnética**.

La luz experimenta los fenómenos típicos de las ondas como la superposición que causa interferencia y difracción. Las ondas electromagnéticas también pueden ser polarizadas, propiedad exclusiva de las ondas transversales.

Sin embargo, también puede describirse como una partícula llamada fotón, que no tiene masa en reposo, pero sí lleva un ímpetu y una energía específica, capaz de interactuar con la materia como lo hacen las partículas materiales. Lo anterior se comprueba en el análisis del efecto fotoeléctrico, descrito en las referencias del final del capítulo.

REFLEXIÓN DE LA LUZ

Suponga que un rayo luminoso que viaja en un medio, por ejemplo, el aire o el agua, encuentra la superficie de separación con otro medio, transparente u opaco, por ejemplo, una placa de vidrio o de metal.

Si analizamos el rayo luminoso como un haz de partículas (fotones), podemos concluir con cierta facilidad que algunas de ellas, al colisionar con la superficie, sufren una desviación que las devuelve al medio original, como si se tratara de una colisión elástica (sin pérdida de energía cinética) de moléculas de un gas ideal contra una pared, o como choques de las bolas contra la banda de una mesa de billar.

Si se hace un análisis geométrico del rayo que llega a la superficie y del que emerge de ella, se encontrará que forman ángulos iguales con una recta perpendicular a la superficie en el punto donde llega y sale el rayo, como se muestra en la Fig. 10. 2. Esto se resume en la ley de la reflexión de la luz:

1. El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están en un mismo plano: $\theta_i = \theta_r$.
2. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

La **reflexión** de la luz es entonces el fenómeno que ocurre en una superficie de separación de medios, que provoca la emisión de un rayo reflejado en el mismo punto donde llega el rayo incidente.

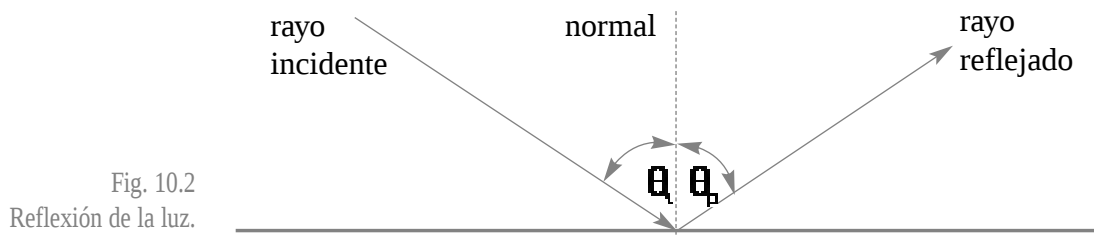


Fig. 10.2
Reflexión de la luz.

El vocabulario utilizado en los temas de la reflexión y refracción de la luz, los espejos y las lentes es el siguiente:

- **Rayo incidente:** el que llega a la superficie donde ocurre reflexión y refracción.
- **Rayo reflejado:** el que sale de la superficie donde ocurre reflexión.
- **Punto de incidencia:** punto en una superficie reflectora o refractora donde llega un rayo luminoso.
- **Normal:** recta perpendicular a la superficie en el punto de incidencia.
- **Ángulo de incidencia:** el que forma el rayo incidente con la normal.
- **Ángulo de reflexión:** el que forma el rayo reflejado con la normal.

REFRACCIÓN DE LA LUZ

Cuando un rayo luminoso llega a la superficie de separación de dos medios transparentes, un porcentaje de la energía que conlleva es devuelta al primer medio, de acuerdo con la ley de la reflexión. Sin embargo, el resto pasa al segundo medio, lo que quiere decir, que continúa un rayo luminoso que se propaga con diferente velocidad y generalmente con un cambio de dirección.

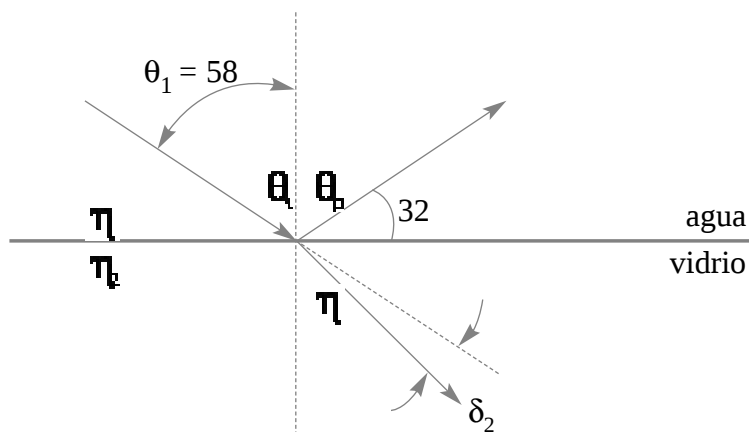
Se denomina **refracción** de la luz al fenómeno que ocurre en una superficie de separación de medios, que provoca la emisión de un rayo hacia el segundo medio en el mismo punto donde llega el rayo incidente.

Un análisis de la refracción de la luz nos muestra que:

1. El rayo incidente, el rayo refractado y la recta normal en el punto de incidencia son coplanares (se encuentran en un mismo plano).
2. $(n_1) (\text{sen } \theta_1) = (n_2) (\text{sen } \theta_2)$.

Esas son las leyes de la refracción de la luz y, en particular, el resultado número 2 se conoce con el nombre de ley de Snell y su significado y aplicación se ilustra con la figura y el ejemplo siguientes:

Fig.10. 3
Reflexión y refracción de la luz



n_1 = índice de refracción del medio 1
 n_2 = índice de refracción del medio 2
 θ_1 = ángulo de incidencia
 θ_r = ángulo de reflexión
 θ_2 = ángulo de refracción

EJEMPLO 10.1

Un rayo luminoso que viaja dentro del agua ($n = 1,33$) incide sobre una placa de vidrio crown ($n = 1,52$) con un ángulo de incidencia de 58° . Calcule: a) el ángulo con que se refleja una parte del rayo en el agua, b) el ángulo con que penetra la luz en el vidrio, c) la desviación del rayo reflejado y del rayo refractado, d) la velocidad de la luz en el agua y en el vidrio.

Resolución:

- a) Según la ley de la reflexión, el ángulo de reflexión θ_2 es igual al ángulo de incidencia.

$$1,33 \text{ sen } 58 = 1,52 \text{ sen } \theta_r, \text{ de donde: } \frac{(1,33)(0,85)}{1,52} = \text{sen } \theta_r = 0,74 \text{ y } \theta_r = 48^\circ.$$

- b) De acuerdo con la ley de Snell, de donde

$$\theta_2 = 48^\circ.$$

- c) La desviación δ de un rayo es la diferencia entre la dirección final y la dirección inicial:

$$\delta_{\text{reflejado}} = 32^\circ + 32^\circ = 64^\circ.$$

$$\delta_{\text{refractado}} = 58^\circ - 48^\circ = 10^\circ.$$

- d) Las velocidades en el agua y en el vidrio se calculan por medio de la definición del índice de

$$n_{\text{agua}} = 1,33 = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{v_{\text{agua}}}, \text{ de donde } v_{\text{agua}} = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,33} = 2,26 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

$$n_{\text{vidrio}} = 1,52 = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{v_{\text{vidrio}}}, \text{ de donde } v_{\text{vidrio}} = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,52} = 1,97 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

EJEMPLO 10.2

REFLEXIÓN TOTAL INTERNA

Suponga un rayo luminoso que viaja del agua hacia el aire ($n_{\text{aire}}=1$), producido por un bombillo en el fondo de una piscina, por ejemplo. Determine la trayectoria del rayo si: a) incide con un ángulo de 30° , b) el ángulo de refracción es 90° , c) el ángulo de incidencia es mayor que el encontrado en el punto b).

Resolución:

a) $(1,33)(\sin 30^\circ) = (1)(\sin \theta_2)$, de donde $\theta_2 = 41,7^\circ$.

$(1,33)(\sin \theta_L) = (1)(\sin 90^\circ)$, de donde $\theta_L = 48,7^\circ$.

Si se utiliza un ángulo mayor que $48,7^\circ$ (llamado ángulo límite para los medios agua y aire), la ley de Snell no tiene solución pues se vuelve inconsistente, ya que propone calcular un ángulo cuyo seno es mayor que 1; cosa imposible. Si se intenta el cálculo, una calculadora marcará error.

El **ángulo límite** θ_L para una pareja de medios es el ángulo de incidencia ($\theta_1 = \theta_L$) en el medio de menor índice de refracción (n_1), que corresponde a un ángulo de refracción ($\theta_2 = 90^\circ$) para un rayo refractado que justamente se propaga a lo largo de la frontera que limita ambos medios.

Entonces, aplicando la ley de Snell tenemos:

$(n_1)(\sin \theta_L) = (n_2)(\sin 90^\circ) = n_2$, de donde despejando para θ_L se encuentra que:

$$\sin \theta_L = n_2 / n_1$$

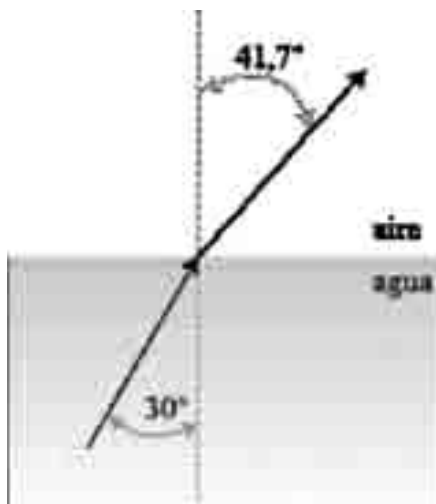


Fig. 10.4.a

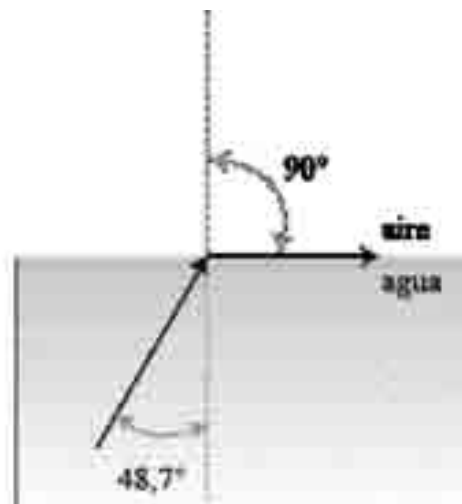
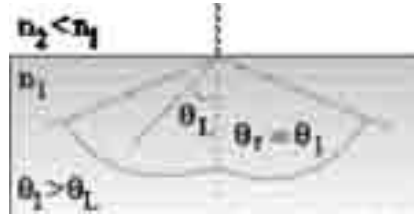


Fig. 10.4.b

Entonces, cuando un rayo luminoso incide en la superficie de separación de medios, de tal manera que el segundo tiene menor índice de refracción que el primero y el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo límite para esa pareja de medios, no se produce refracción, o sea, el rayo luminoso no sale hacia el segundo medio. Bajo esas condiciones, el rayo se refleja hacia el primer medio con el 100% de su energía, fenómeno que se conoce con el nombre de **reflexión total interna**.

Fig. 10.4.c



ESPEJOS, PRISMAS Y LENTES

La reflexión y la refracción de la luz permiten la construcción de elementos simples tales como espejos, prismas y lentes que se utilizan en instrumentos ópticos complejos como periscopios, microscopios, telescopios, cámaras fotográficas, proyectores, láser, etc.

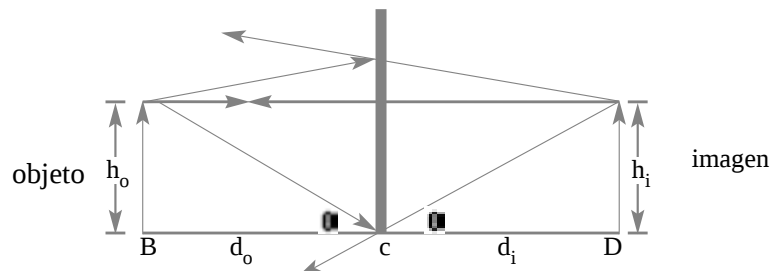
ESPEJOS PLANOS

La reflexión de la luz en espejos planos permite la formación de imágenes virtuales, es decir, imágenes que parecen estar detrás del espejo, donde no llegan los rayos de luz sino las prolongaciones hacia atrás de los rayos reflejados.

Algunas características de las imágenes formadas por espejos planos son las siguientes:

- Son virtuales.
- Son del mismo tamaño que el objeto, o sea que el aumento es igual a la unidad.
- Son erectas: la parte superior de la imagen corresponde con la parte superior del objeto.
- Son falseadas: la izquierda de la imagen corresponde a la derecha del objeto.

Fig. 10.5
Imagen formada por un
espejo plano.



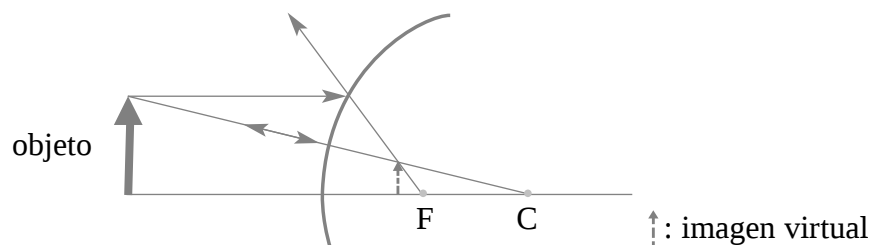
ESPEJOS CÓNCAVOS Y CONVEXOS

Es posible hacer espejos cóncavos o convexos. Los más simples son los esféricos, como los ilustrados en las figuras 10.6 y 10.7.

Los espejos esféricos convexos (fig. 10.6) sólo producen imágenes virtuales, erectas y más pequeñas que el objeto (aumento < 1), mientras que los espejos esféricos cóncavos pueden producir imágenes virtuales e imágenes reales, dependiendo de la posición del objeto con respecto al espejo.

Una imagen real está formada por rayos luminosos que efectivamente se interceptan en los puntos que la constituyen. Puede ser recogida por el ojo, la pantalla, la cámara fotográfica, el proyector de diapositivas, etc.

Fig.10.6
Espejo esférico convexo



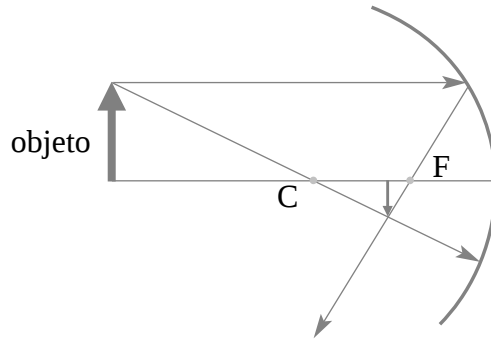


Fig.10.7:
Espejo esférico cóncavo

↑: imagen real

LOS PRISMAS

Los **prismas** son instrumentos de caras planas fabricados de un material transparente, como vidrio, cuarzo o algunos plásticos. Su funcionamiento está basado en la refracción de la luz y se utilizan para desviar convenientemente los rayos luminosos y descomponer la luz en sus componentes espectrales: los colores (o longitudes de onda) que constituyen la luz blanca, como lo hacen las gotas de agua en un arco iris.

La figura 10. 8 muestra la trayectoria de la luz y su desviación realizadas por un prisma triangular.

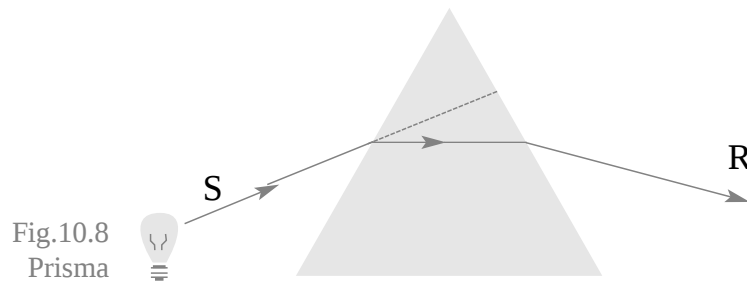


Fig.10.8
Prisma

LAS LENTES

Las **lentes** son elementos contruidos de material transparente que tienen al menos una cara curva, como las lentes de los anteojos, las lupas, los microscopios, cámaras, proyectores y cierto tipo de telescopios.

Las lentes que concentran los rayos luminosos, en una pequeña región, se denominan lentes convergentes y las que por el contrario provocan la divergencia de los rayos luminosos son obviamente lentes divergentes. En la figura 10.8 se ilustran los dos tipos y algunas de sus características.

Las lentes divergentes sólo producen imágenes virtuales, erectas y de menor tamaño que los objetos, mientras que las lentes convergentes pueden producir imágenes reales o virtuales, de mayor o menor tamaño que el objeto, dependiendo de la posición de éste con respecto a la lente.

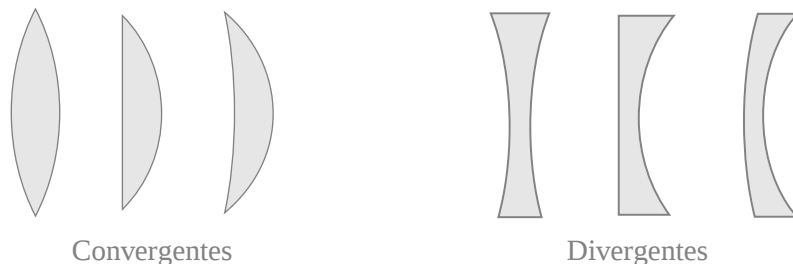


Fig.10.9
Tipos de lentes

Convergentes

Divergentes

LENTES DELGADAS

Se llaman lentes esféricas a las que están limitadas por superficies constituidas por casquetes esféricos. Estas son las lentes más fáciles de pulir a partir de placas de vidrio, o materiales plásticos.

El centro del casquete esférico de cada superficie se denomina el centro de curvatura de esa superficie. Una lente delgada biconvexa tiene dos centros de curvatura, uno a cada lado y la recta que pasa a través de esos dos centros se denomina el eje principal o eje óptico de la lente. Para los demás tipos de lentes, el eje óptico se define de una manera semejante, simplemente una recta imaginaria por el centro de la lente y perpendicular a sus superficies.

Cuando una lente delgada se ilumina con luz que proviene de un punto distante, el sol, por ejemplo, los rayos luminosos se concentran en un punto sobre el eje principal, si la lente es convergente. Este punto se llama el foco (F) de la lente y la distancia de la lente al foco es conocida como distancia focal (f).

Cuando una lente divergente se ilumina con luz proveniente de un objeto distante, los rayos luminosos divergen y parecen provenir de un punto del eje óptico detrás de la lente, el cual es el foco (F') de dicha lente. De la misma manera la distancia de la lente al foco es la distancia focal de esa lente divergente.

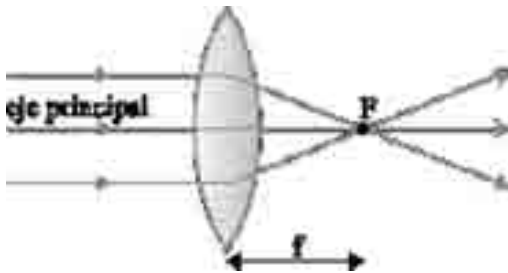


Fig.10.10.a: lente convergente

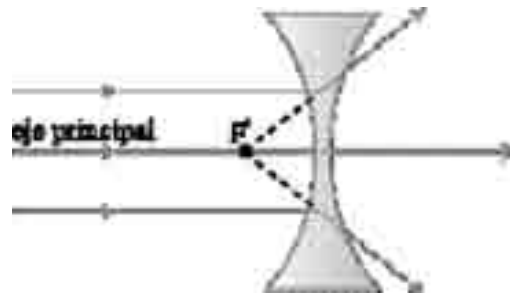


Fig.10.10.b: lente divergente

Se puede demostrar que una lente cuya distancia focal es (f), forma una imagen a una distancia (d_i) de la lente, si a través de ella pasan los rayos luminosos provenientes de un objeto a una distancia (d_o) de dicha lente. Las tres cantidades están relacionadas por medio de la siguiente ecuación, siempre y cuando los rayos luminosos se mantengan cercanos al eje óptico, lo que equivale a decir que el objeto y la imagen sean pequeños con respecto al tamaño de la lente:

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$$

donde: d_i = distancia de la imagen al lente; d_o = distancia del objeto al lente; f = distancia focal..

La ecuación anterior requiere un convenio de signos para poder manejar distancias a un lado y a otro de la lente, que detallamos a continuación:

- d_o es siempre positivo, pues es por definición el lado por donde proviene la luz, donde está el objeto.
- d_i es positivo si la imagen se forma al otro lado de la lente respecto al objeto, porque correspondería a una imagen real.

- d_i es negativo si la imagen se forma del mismo lado de la lente donde está el objeto, porque correspondería a una imagen virtual.
- f es positivo para cualquier tipo de lente convergente (biconvexa, plano convexa, menisco convexa), pues corresponde a un foco real, que está al otro lado del objeto.
- f es negativo para cualquier tipo de lente divergente (bicóncava, plano cóncava, menisco cóncava), pues corresponde a un foco virtual, que está del mismo lado del objeto.

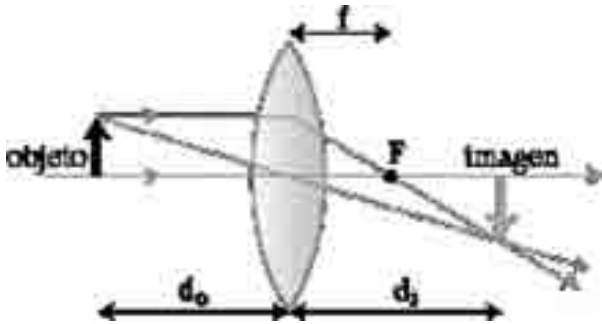


Fig.10.11.a
Imagen real

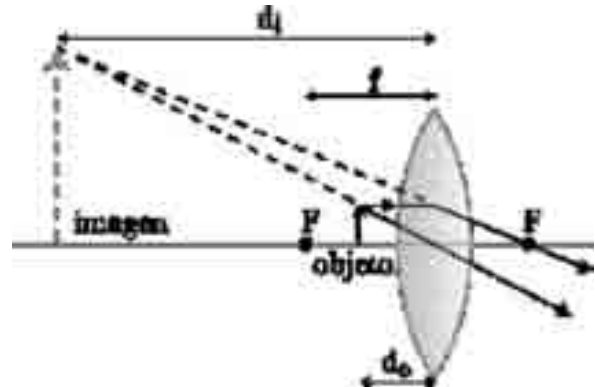


Fig.10.11.a
Lupa

EJEMPLO 10.3

Una lupa es una lente convergente que se utiliza de tal manera que el objeto se coloca entre el foco y la lente, para que produzca una imagen virtual más grande que el objeto, delante de la lente y sin cambios en la orientación, para que pueda ser examinada por el observador. Suponga que tenemos una lente de distancia focal 15 cm, la cual se ajusta para que el objeto quede a 14,5 cm de la lente. Calculemos la posición y características de la imagen.

Resolución:

$$\frac{1}{14,5 \text{ cm}} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{15 \text{ cm}}$$

Si se ejecutan los procedimientos matemáticos, para lo cual es muy útil la tecla 1/x de las calculadoras, resulta que $d_i = -435 \text{ cm}$

Esto quiere decir que la imagen es virtual (signo negativo) y que parece formarse a 435cm enfrente de la lente, es decir, del mismo lado que el objeto (signo negativo).

Se puede demostrar que el aumento lateral (A) producido por una lente es:

$$A = -\frac{d_i}{d_o}$$

Si A es un número negativo la imagen es real pero resulta invertida, pero si A es un número positivo, la imagen es virtual y no está invertida.

Para el ejemplo anterior: $A = -\frac{-435 \text{ cm}}{14,5 \text{ cm}} = 30$

Es decir, el aumento es 30 veces, especificado a veces como 30 X, lo que significa que el tamaño de la imagen es 30 veces el tamaño del objeto.

EJERCICIOS Y ACTIVIDADES DE LABORATORIO

1. Investigue sobre la trayectoria de tres rayos principales en espejos esféricos y en lentes delgadas y proceda a determinar geométricamente la posición y características de imágenes formadas por ese tipo de instrumentos.
2. Investigue cómo está hecha una lupa, cómo se usa, qué tipo de imagen produce y cuál es su aumento.
3. Un rayo luminoso que viaja en el aire llega a la superficie de un medio transparente con un ángulo de incidencia de 45° y se refracta con un ángulo de 60° . Calcule:
 - a) el ángulo de reflexión y
 - b) el índice de refracción del segundo medio.
4. La velocidad de la luz en el cuarzo es $1,95 \times 10^8$ m/s. Calcule:
 - a) el índice de refracción del cuarzo,
 - b) el ángulo límite para un rayo luminoso que viaja del cuarzo al agua.
5. Se tiene un sistema de dos espejos planos perpendiculares entre sí. Determine el ángulo con que sale del sistema un rayo luminoso que incide con un ángulo de 23° sobre el primer espejo y luego se refleja en el segundo. Haga un diagrama que ilustre la trayectoria del rayo.
6. Un rayo luminoso llega con un ángulo de 65° a una de las caras de un prisma equilátero de vidrio flint. Determine todos los parámetros del rayo hasta cuando emerge por la otra cara del prisma.

REFERENCIAS

Reflexión:

<http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/Class/refln/reflntoc.html>

Óptica:

<http://acacia.pntic.mec.es/~jrui27/contenidos.htm>

Desde lentes hasta instrumentos ópticos:

http://www.funsci.com/fun3_en/lens/lens.htm#1

Instrumentos ópticos:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/opinst.html>

Contacto con el autor:

javillalobos@racsa.co.cr

<http://www.geocities.com/astrovilla2000>

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V. y otros. **Curso de Física moderna**. Harla, México, 1985.
- Bueche, Frederick J, **Física para estudiantes de ciencias e ingeniería**. McGraw–Hill, México, 1998.
- Félix, Oyarzábal y Velosco, **Lecciones elementales de física**. C.E.C.S.A, México, 1990.
- Hecht, Eugene, **Física en perspectiva**. Addison–Wesley–Iberoamericana, México, 1987.
- Hewitt, Paul, **Conceptual Physics**. Little Brown, Boston, 2000.
- Morrison David y Tobias Owen, **The planetary System**. Addison–Ewsley Publisshing, New York, 1998.
- Orear, Jay, **Física**. LIMUSA, México, 1989.
- Pacheco, L.F, Valerio, C y Villalobos, J.A., **Ciencias 1, 2, 3, 4, 5, 6 (textos) Serie hacia el Siglo XXI**. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, 1996.
- Ramírez, R y Villegas, M, **Investiguemos Física**. Editorial Voluntad, Bogotá, 1989.
- Rosas, Lucía y Riveros, Héctor, **Iniciación al método científico experimental**. Trillas, México, 1987.
- Sears, Zemansky, Young, **Física universitaria**. Fondo educativo interamericano, México, 2000.
- Serway, R. A., **Física**. Interamericana, México, 2001.
- Tipler, Paul A., **Physics for Scientists and Engineers**. Worth Publishers, New York, 1995.
- Umaña, L, Villalobos, J. A y Aguilar, A.Y., **Ciencia activa 1, 2, 3, 4, 5, 6 (cuadernos de trabajo)**. Farben, Grupo Editorial Norma Educativa, San José, 2000.
- Villalobos, J. A. y Barrantes, U., **Ciencia Activa 1, 2, 3, 4, 5, 6 (texto)**. Farben, Grupo Editorial Norma Educativa, San José, 2002.
- Villalobos, J. A., **Ciencias 7**. Serie hacia el Siglo XXI. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, 1998.
- Villalobos, J. A., **Física 10, 11**. Farben, Grupo Editorial Norma Educativa, San José, 2000.
- Zitzewitz, Davis, Neff, Wedding, **Physics, Principles and Problems**. Glencoe/Mc–Graw–Hill, Ohio, 1995.

RESPUESTAS A LOS EJERCICIOS

CAPÍTULO 1

7. a) $7,5 \times 10^{-8}$ m, b) $4,8 \times 10^{-4}$ m, c) $3,3 \times 10^{-2}$ m, d) $7,85 \times 10^5$ m, e) $7,9 \times 10^5$ m, f) $5,03 \times 10^{11}$ m;
9. 16 cm^2 y 13 cm; 11. a) $1,7387 \times 10$ km, b) $1,2733 \times 10$ h, c) 3,475 kg, d) $1,8 \times 10^2$ km/h.

CAPÍTULO 2

3. a) 38 minutos, b) 97,5 km/h; 5. a) 32 s, b) 31 m/s; 7. a) 250 m, b) 1,75 s, c) 15 m/s; 9. a) 128 m, b) 5,1 s; 11. a) 3,96 m/s, b) 0,63 s, c) 94,5 vueltas; 13. 95 m y 10 m/s.

CAPÍTULO 3.

1. Si; 3. 7,5 N hacia el Noreste; 5. $9,8 \text{ m/s}^2$ hacia abajo; 7. a) 78 N hacia arriba y 78 N hacia abajo, b) 196 N hacia abajo y 196 N hacia arriba, c) 0 N, d) 78 N hacia abajo y 78 N hacia arriba; 9. a) 35 N, b) 35 N, c) 70 N; 11. $1,9 \times 10^{25}$ N.

CAPÍTULO 4.

3. 2 N Oeste; 5. 0,38 m/s; 7. 3 m/s en la dirección que traía la bola blanca.

CAPÍTULO 5.

1. a) $4,0 \times 10^3$ J, b) $-7,5 \times 10^2$ J; 3. a) 5,0 J, b) $5,2 \times 10^5$ J; 5. $3,3 \times 10^3$ J y 40 m/s; 7. 2,1 m/s; 9. 3,2 kW, $8,6 \times 10^6$ J, 2,4 kWh; 11. a) 4,1 m, b) 6,5 m/s, c) 3,1 m, 13. 4,8 J.

CAPÍTULO 6.

5. $2,5 \times 10^5$ Pa, $7,8 \times 10^3$ N; 7. a) 910 mm de Hg, b) $1,2 \times 10^5$ Pa, 1,2 atmósferas; 9. 10,3 m; 15. $5,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, 7,9 m/s; 17. 23 m/s.

CAPÍTULO 7.

5. 9,5 J/g °C; 7. 7,5 litros.

CAPÍTULO 8.

3. 871 km; 5. a) 343 m/s, b) 457 Hz y $2,2 \times 10^{-3}$ s; 7. a) 335 Hz; b) 356 Hz; 9. 057 m, 0,43 m; 11. 21 m/s.

CAPÍTULO 9.

3. $1,6 \times 10^{-7}$ s; 7. 4×10^3 W; 9. 1×10^9 W; 11. 4,5 V, 1,5 V, etc.; 13. Insuficiente voltaje, si se desconecta o quema uno no funcionan los demás; 15. porque la rama es un circuito en serie; 17. a) 0,68 A, 0,45 A, 0,23 A, b) 1,36 A, 150 W.

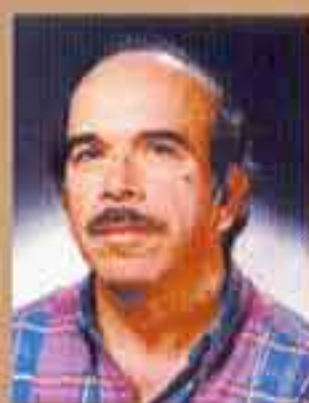
CAPÍTULO 10.

3. a) 45° , b) 0,82; 5. Ángulo de reflexión de 23° respecto al segundo espejo (sale paralelo al rayo incidente en el primer espejo).

José Alberto Villalobos Morales, realizó estudios superiores de Física y Matemática en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Texas, de donde obtiene una maestría en Física. Ha sido profesor e investigador en la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica desde 1969, donde también ha ocupado cargos administrativos. Ha impartido los cursos de Física General, Óptica, Termodinámica y Fundamentos de Astronomía. También ha sido profesor de Física en instituciones de Enseñanza Media.

Ha escrito más de veinte textos para la enseñanza de la Física y la Astronomía, incluyendo todos los niveles, desde primaria hasta la universidad. Publica frecuentemente artículos de difusión científica, en los periódicos nacionales.

En 1987 fundó la Asociación Costarricense de Astronomía.



De sus cuantiosas publicaciones para la educación secundaria y universitaria mencionamos: **Física, Conceptos Básicos**, Volúmenes I y II, Editorial Solos, 1972 y 1973; **Ciencias Naturales I, II y III** (Coautor), EUNED, 1978; **Física, Momento y Fuerzas** (Coautor), Lehman, 1980; **Descubrir 7, Texto y Guía Didáctica**, Editorial Norma-Faber, 1996; **Energía y Medio Ambiente I y II** (Coautor), Ministerio de Ambiente y Energía, 2001; **Guía Mensual de Estrellas y Constelaciones**, Fundación CIENTEC, 2003 entre otras.

"Este texto está diseñado para que los docentes de Educación Primaria adquieran los conocimientos básicos sobre Física, que necesitan para impartir con propiedad sus lecciones de Ciencias.

El capítulo uno presenta las siete cantidades básicas para el estudio de la Ciencia, el Sistema Internacional de Unidades y el concepto de medición. El movimiento y las variaciones que lo caracterizan: posición, velocidad y aceleración, se presentan en el capítulo dos, junto con un estudio algo detallado del movimiento rectilíneo con aceleración constante, la caída libre de los cuerpos y el movimiento circular. Las fuerzas que modifican el movimiento de los cuerpos y especialmente las leyes de Newton, son el objeto del capítulo tres.

En el capítulo cuatro se discute el manejo de cantidades vectoriales y como un ejemplo de manejo de vectores, se estudia la ley de conservación del impulso. El capítulo entero podría omitirse en un curso abreviado. Los conceptos de trabajo, potencia, energía (cinética y potencial) y su conservación, junto con algunas aplicaciones se discuten en el capítulo cinco, que es básico para el estudio posterior de las propiedades de los fluidos, el calor, la temperatura y los termómetros en los dos capítulos siguientes.

En el capítulo ocho se discuten las ondas mecánicas, en particular las ondas sonoras, junto con las propiedades, características y aplicaciones del sonido. El electromagnetismo se desarrolla en el capítulo nueve, con énfasis en el análisis de circuitos simples de corriente directa, sus propiedades, características y aplicaciones. En el décimo se estudia la óptica geométrica, la reflexión y refracción de la luz y la formación de imágenes." (Reseña del autor del texto)