

FÍSICA

*Apuntes para la preparación de la
Prueba de Selección Universitaria 2010*

PLAN COMÚN DE CIENCIAS

versión 2010.02.15

Verónica Saldaña Caro, Nicolás Melgarejo Sabelle
Estudiantes de Licenciatura en Ciencias Exactas
Universidad de Chile

Física, apuntes para la preparación de la Prueba de Selección Universitaria

1ª edición: Marzo 2009

2ª edición: Febrero 2010

Todos los derechos reservados

©2010 Verónica Saldaña Caro, Nicolás Melgarejo Sabelle

Registro de Propiedad intelectual

Inscripción N° 188.842



Esta obra está publicada bajo una Atribución 2.0 Chile de Creative Commons.

Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/cl/>.

Santiago, Chile

Índice general

1. Conceptos preliminares	1
1.1. Introducción	1
1.2. Magnitudes físicas	1
1.2.1. Magnitudes fundamentales	1
1.2.2. Magnitudes derivadas	2
1.2.3. Magnitudes escalares	2
1.2.4. Magnitudes vectoriales	2
1.3. Sistema de unidades	2
1.3.1. Sistema internacional o M.K.S.	2
1.3.2. Sistema cegesimal o C.G.S.	2
1.4. Conversión de unidades	2
1.4.1. Conversión para unidades fundamentales	3
1.4.2. Conversión para unidades derivadas	4
1.5. Análisis dimensional	6
1.6. Vectores	6
1.6.1. Representación vectorial	6
1.6.2. Propiedades	7
1.6.3. Adición de vectores	8
1.6.4. Multiplicación vectorial	13
1.7. Conceptos matemáticos	16
1.7.1. Proporcionalidad directa	16
1.7.2. Proporcionalidad inversa	16
1.7.3. Representación gráfica	16
1.7.4. Pendiente de una recta	17
2. Movimiento	19
2.1. Introducción	19
2.2. Descripción del movimiento	19
2.2.1. Conceptos básicos	19
2.2.2. Velocidad y rapidez	20
2.2.3. Aceleración	21
2.2.4. Tipos de movimiento	22
2.2.5. Movimiento relativo	29
2.3. Fuerza y movimiento	30
2.3.1. Leyes de Newton	31
2.3.2. Algunas fuerzas importantes	33
2.3.3. Torque	39
2.3.4. Cantidad de movimiento e impulso	40

2.3.5. Energía Mecánica	45
2.4. Mini Ensayo I	
Movimiento, fuerza y energía	52
3. Electromagnetismo	59
3.1. Introducción	59
3.2. Electricidad	59
3.2.1. Cargas eléctricas	59
3.2.2. Voltaje	62
3.2.3. Corriente eléctrica	63
3.2.4. Resistencia	64
3.2.5. Ley de Ohm	65
3.2.6. Circuitos eléctricos de corriente continua	66
3.2.7. Instrumentos eléctricos de medición	70
3.2.8. Instalación domiciliaria	70
3.3. Magnetismo	72
3.3.1. Propiedades magnéticas	72
3.3.2. Electricidad como fuente de magnetismo	73
3.3.3. Magnetismo como fuente de electricidad	74
3.4. Energía eléctrica	77
3.4.1. Potencia eléctrica	77
3.4.2. Generadores de energía eléctrica	79
3.5. Mini Ensayo II	
Electricidad y magnetismo	82
4. Calor	87
4.1. Introducción	87
4.2. Temperatura	87
4.2.1. Medición de la temperatura	87
4.2.2. Escalas de medición	88
4.2.3. Variables termométricas	90
4.2.4. Anomalía del agua	92
4.2.5. Equilibrio térmico	93
4.3. Materiales y calor	93
4.3.1. Calor	93
4.3.2. Propagación del calor	97
4.3.3. Cambios de fase	99
4.3.4. Roce y calor	101
4.4. Conservación de la energía	102
4.4.1. Energía mecánica y calor	102
4.5. Mini Ensayo III	
Calor	105
5. Ondas	109
5.1. Introducción	109
5.2. Onda	109
5.2.1. Clasificación de las ondas	109
5.2.2. Características	111
5.2.3. Fenómenos ondulatorios	113

5.3. Mini Ensayo IV	
Ondas	124
6. El Sonido	129
6.1. Introducción	129
6.2. Características del sonido	129
6.2.1. Intensidad	129
6.2.2. Tono o altura	130
6.2.3. Timbre o calidad	130
6.3. Velocidad de propagación	131
6.4. Rango de audibilidad	132
6.4.1. Aplicaciones	132
6.5. Fenómenos auditivos	132
6.5.1. Reflexión	133
6.5.2. Refracción	134
6.5.3. Difracción	134
6.5.4. Interferencia	135
6.5.5. Atenuación	135
6.5.6. Absorción	135
6.5.7. Efecto Doppler	135
6.5.8. Resonancia	136
6.6. El Oído	136
6.6.1. Oído externo	137
6.6.2. Oído medio	137
6.6.3. Oído interno	137
6.6.4. Proceso de audición	137
6.7. Mini Ensayo V	
El Sonido	138
7. La luz	143
7.1. Introducción	143
7.2. Naturaleza de la luz	143
7.3. Características de la luz	144
7.4. Reflexión	145
7.4.1. Espejo plano	145
7.4.2. Espejos esféricos	146
7.4.3. Formación de imágenes con espejos curvos	147
7.5. Refracción	150
7.5.1. Reflexión interna total	154
7.6. Absorción	155
7.7. Dispersión	156
7.8. Difracción	156
7.8.1. Principio de Huygens	157
7.9. Interferencia	158
7.10. Lentes	160
7.10.1. Lentes esféricos	160
7.11. El ojo	163
7.11.1. Formación de la imagen	163

7.11.2. Enfermedades oculares	164
7.12. Aplicaciones de las lentes	165
7.12.1. La lupa	165
7.12.2. Telescopio astronómico	165
7.12.3. Telescopio Galileano	165
7.12.4. Microscopio simple	166
7.13. Descomposición de la luz	166
7.13.1. Variación del índice de refracción	166
7.13.2. Descomposición de la luz blanca	166
7.13.3. El arco iris	167
7.14. Espectro electromagnético	167
7.14.1. Ondas de radio	167
7.14.2. Microondas	168
7.14.3. Infrarrojo	168
7.14.4. Luz visible	168
7.14.5. Rayos ultravioleta UV	168
7.14.6. Rayos X	169
7.14.7. Rayos gamma	169
7.15. Aplicaciones tecnológicas	169
7.15.1. Láser	169
7.15.2. Radar	170
7.16. Mini Ensayo VI	
La Luz	171
8. La Tierra y su entorno	177
8.1. Introducción	177
8.2. La Tierra	177
8.2.1. Origen de la Tierra	178
8.2.2. Estructura interna de la Tierra	179
8.2.3. Placas tectónicas	180
8.2.4. Actividad sísmica	181
8.2.5. Actividad volcánica	182
8.2.6. Características que permiten la vida	183
8.2.7. Contaminación	184
8.3. Sistema Solar	185
8.3.1. Desarrollo histórico del Sistema Solar	185
8.3.2. El Sol	186
8.3.3. Los planetas	187
8.3.4. Leyes de Kepler	191
8.3.5. Ley de Gravitación Universal	192
8.3.6. La Tierra y sus movimientos	194
8.3.7. Efectos de los movimientos terrestres	195
8.3.8. La Luna	196
8.4. El Universo	198
8.4.1. Estrellas	199
8.4.2. Constelaciones	200
8.4.3. Galaxias	200
8.4.4. Cometas	201

8.5. Exploración del espacio	201
8.5.1. Vuelos espaciales	202
8.5.2. Observatorios astronómicos en Chile	202
8.6. Mini Ensayo VII	
La Tierra y su entorno	204

Presentación

La Física es una de las ramas de la ciencia considerada, generalmente, como uno de los contenidos más desafiantes para los estudiantes de Educación Media. El libro que te presentamos a continuación tiene como objetivos darte la oportunidad de conocer, entender y sorprenderte con parte de la Física, sirviéndote como guía para una de las etapas que determinarán tu futuro, el ingreso a la universidad.

La Prueba de Selección Universitaria de Ciencias es la herramienta que busca determinar las capacidades de comprensión y razonamiento, de retención de información, de análisis y síntesis de contenidos, de interpretación de datos y gráficos, de interpolación y extrapolación de información, de resolución de problemas y formulación de hipótesis.

En particular este libro está dedicado a los ítems evaluados en el Módulo Común de Física, los cuales hacen referencia a contenidos correspondientes a los niveles de primero y segundo año de Educación Media, por lo tanto, las materias abarcadas en este texto son el movimiento, el electromagnetismo, el sonido, la luz, el calor y la Tierra y su entorno. Estos temas son tratados de acuerdo a los contenidos mínimos evaluados en la P.S.U. publicados por el DEMRE.

Este libro ha sido realizado completamente en el sistema de composición de textos L^AT_EX 2 ϵ , especialmente para los alumnos pertenecientes al *Preuniversitario Popular Víctor Jara*.

Los autores

“Toda la historia de la ciencia ha sido una progresiva
toma de conciencia de los acontecimientos que no suceden
de forma arbitraria, sino que reflejan un cierto orden subyacente,
que puede ser o no divinamente inspirado.”

Stephen Hawking.

Si tienes alguna sugerencia para mejorar el actual material de estudio contáctanos

✉ v.saldana.c@gmail.com

Verónica Saldaña Caro

✉ nicolas.melgarejos@gmail.com

Nicolás Melgarejo Sabelle

Capítulo 1

Conceptos preliminares

1.1. Introducción

La ciencia corresponde al conjunto de conocimientos que describen y explican las causas del orden de la naturaleza. Gracias a la ciencia se han realizado grandes progresos que han permitido la comprensión de nuestro universo a través de la observación, razonamiento, experimentación, análisis y replanteamiento de los fenómenos de la realidad. La ciencia que estudia las propiedades del espacio, el tiempo, la materia y la energía, así como sus relaciones, es la Física. Para lograr un entendimiento satisfactorio de esta ciencia, usted debe ser capaz de manejar algunos aspectos de la matemática, como dijo el famoso físico del siglo XIX, Lord Kelvin: "... cuando usted puede medir algo y expresarlo en números, quiere decir que usted conoce algo acerca de eso ...", de ahí que nuestro primer objetivo es que usted trabaje con estructuras matemáticas que lo ayudarán posteriormente en la medición de unidades, interpretación de gráficas, representación vectorial, en general, en la comprensión de las ideas expresadas en términos matemáticos.

1.2. Magnitudes físicas

Se entiende por *magnitud física* a toda cualidad de la naturaleza que pueda ser cuantificada, es decir, que se pueda contar, y por lo tanto, atribuirle a ésta un valor numérico. La cuantificación puede hacerse por medio de un patrón o parte de un patrón, por ejemplo usar un pie o un pulgar para medir distancias, del cual por consenso se desprenden las *unidades de medida* para cada magnitud física. Ejemplos de magnitudes físicas conocidas son la longitud, la masa, el tiempo, la densidad, la velocidad y la aceleración, las que se dividen en *fundamentales* y *derivadas*, y a su vez en *escalares* y *vectoriales*.

1.2.1. Magnitudes fundamentales

Son aquellas que se definen en sí mismas, es decir, no pueden expresarse a partir de otras. Estas magnitudes son la base para los distintos *sistemas de medida*. Las magnitudes fundamentales son siete y te las presentamos en la siguiente tabla con sus respectivas unidades de medida.

Magnitud	Unidad en el S.I.	Símbolo
Longitud	Metro	[<i>m</i>]
Masa	Kilogramo	[<i>Kg</i>]
Tiempo	Segundo	[<i>s</i>]
Temperatura	Kelvin	[<i>K</i>]
Intensidad luminosa	Candela	[<i>cd</i>]
Intensidad eléctrica	Ampere	[<i>A</i>]
Cantidad de sustancia	Mol	[<i>mol</i>]

1.2.2. Magnitudes derivadas

Son infinitas y provienen de la combinación de dos o más magnitudes fundamentales, por ejemplo la rapidez, aceleración y fuerza. Sus unidades de medida son, respectivamente, [$\frac{m}{s}$], [$\frac{m}{s^2}$] y [$\frac{kg \cdot m}{s^2}$]

1.2.3. Magnitudes escalares

Son las que carecen de *sentido* y *dirección* y, por lo tanto, son **siempre positivas**, como por ejemplo la masa, el tiempo, las longitudes y la cantidad de sustancia. Se debe destacar que toda magnitud fundamental, es también una magnitud escalar.

1.2.4. Magnitudes vectoriales

Corresponde a aquellas magnitudes que además de tener un valor numérico o módulo, poseen *dirección* y *sentido*, como por ejemplo la velocidad, aceleración, fuerza y desplazamiento, entre otras. Los conceptos de magnitud, dirección y sentido serán explicados en mayor profundidad más adelante.

1.3. Sistema de unidades

Es un conjunto de unidades fundamentales, las cuales se usan como base para construir las unidades de las magnitudes derivadas. Destacan el *Sistema internacional* SI y el *Sistema cegesimal*.

1.3.1. Sistema internacional o M.K.S.

Utiliza como unidades fundamentales para la longitud, la masa y el tiempo al metro, kilogramo y segundo respectivamente.

1.3.2. Sistema cegesimal o C.G.S.

Utiliza como unidades fundamentales para la longitud, la masa y el tiempo al centímetro, gramo y segundo respectivamente.

1.4. Conversión de unidades

Llamamos conversión de unidades a la **acción de transformar el valor de una magnitud (fundamental o derivada) a otra con diferente unidad de medida, esto a través de**

uno o más factores, obteniendo como resultado una medida equivalente a la inicial. Se recomienda al estudiante la utilización de sólo un sistema de unidades a la vez, ya que la mezcla de unidades de distintos sistemas puede llevar a confusiones.

1.4.1. Conversión para unidades fundamentales

A continuación, se aplica el concepto de transformación de unidades para las magnitudes fundamentales de uso frecuente.

→ Longitud

Su unidad fundamental es el **metro** $[m]$ y se define como **la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de $\frac{1}{299.792.485}$ segundos.** En la ciudad de París, en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas se encuentra la corporización más rigurosa y oficial del prototipo de un metro. El metro tiene múltiplos y submúltiplos los que presentamos en la siguiente tabla.

Múltiplo	Relación
Kilómetro	$1[Km] = 1.000[m]$
Hectómetro	$1[Hm] = 100[m]$
Decámetro	$1[Dam] = 10[m]$

Submúltiplo	Relación
Decímetro	$1[dm] = 0,1[m]$
Centímetro	$1[cm] = 0,01[m]$
Milímetro	$1[mm] = 0,001[m]$

Existen otras unidades de medida para la longitud, tal es el caso de la *yarda*, el *pie* y la *pulgada*. La longitud por ser una magnitud escalar **nunca es negativa**.

→ Masa

Su unidad fundamental es el **kilogramo** $[Kg]$ y se define como **la masa de un decímetro cúbico de agua destilada a $15^{\circ}C$.** Sus múltiplos y submúltiplos son:

Múltiplo	Relación
Tetragramo	$1[Tg] = 1.000.000.000[Kg] = 10^9[Kg]$
Gigagramo	$1[Gd] = 1.000.000[Kg] = 10^6[Kg]$
Megagramo	$1[Mg] = 1.000[Kg] = 10^3[Kg]$

Submúltiplo	Relación
Gramo	$1[g] = 0,001[Kg] = 10^{-3}[Kg]$
Milígramo	$1[mg] = 0,000001[Kg] = 10^{-6}[Kg]$
Micrógramo	$1[\mu g] = 0,00000001[Kg] = 10^{-9}[Kg]$

La masa por ser una magnitud escalar **nunca es negativa**.

→ **Tiempo**

Su unidad en el S.I. es el **segundo** $[s]$ y se define como **9.192.631.770 períodos de radiación correspondientes a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo 133 del átomo de Cesio, medidos a $0[K]$** . Sus múltiplos y submúltiplos son:

Múltiplo	Relación
Minuto	$1[min] = 60[s]$
Hora	$1[hr] = 3.600[s]$
Día	$1[dia] = 86.400[s]$

Submúltiplo	Relación
Milisegundo	$1[ms] = 10^{-3}[s]$
Microsegundo	$1[μs] = 10^{-6}[s]$
Nanosegundo	$1[ns] = 10^{-9}[s]$

El tiempo **no puede ser negativo** por ser una magnitud escalar.

En conclusión, para transformar una unidad de medida pequeña a otra “más grande” se debe dividir por algún número. Por el contrario, si queremos transformar una unidad de medida grande a otra “más pequeña” debemos multiplicar por un factor. Por ejemplo, cuando necesitamos convertir centímetros a metros debemos dividir por 100, en cambio cuando queremos pasar de kilogramos a gramos se debe multiplicar por 1.000. Cada múltiplo y submúltiplo de 10 tiene asociado un prefijo que facilita la transformación y uso de las unidades de medida.

Prefijo	Potencia de 10
Giga	10^9
Mega	10^6
Miriá	10^4
Miriá	10^4
Kilo	10^3
Hecto	10^2
Deca	10
Deci	10^{-1}
Centi	10^{-2}
Mili	10^{-3}
Micro	10^{-6}
Nano	10^{-9}

1.4.2. Conversión para unidades derivadas

Se expondrán en esta sección algunos de los casos más comunes de unidades derivadas y sus transformaciones. La definición de cada una de estas magnitudes, se deja para los capítulos que corresponden.

→ **Rapidez**

La unidad de rapidez **tiene magnitud de distancia dividida por magnitud de tiempo**, por lo que cualquier combinación de las unidades antes mencionadas nos habla dimensionalmente

de rapidez. Ahora bien, es conveniente usar las unidades adecuadas y para la P.S.U. se recomienda usar el sistema M.K.S. (a menos que la respuesta esté en C.G.S.) e ir convirtiendo, en orden y por separado, cada una de las magnitudes.

Un múltiplo de $[m/s]$:

$$1 \left[\frac{Km}{hr} \right] = \frac{1.000[m]}{3.600[s]} = \frac{1.000 [m]}{3.600 [s]} = 0,2778 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Un submúltiplo de $[m/s]$:

$$1 \left[\frac{cm}{min} \right] = \frac{0,01[m]}{60[s]} = \frac{0,01 [m]}{60 [s]} = 0,000167 \left[\frac{m}{s} \right]$$

La rapidez **no puede ser negativa** ya que es una magnitud escalar.

→ **Aceleración**

La unidad de aceleración **tiene magnitud de distancia dividida por magnitud de tiempo al cuadrado**, por lo que cualquier combinación de las unidades antes mencionadas nos habla dimensionalmente de aceleración y sólo basta que el numerador sea distancia y el denominador sea alguna unidad de tiempo al cuadrado. Es recomendable convertir todas las unidades a las del sistema M.K.S. comenzando por el numerador, luego el denominador, para luego hacer el cociente.

Un múltiplo de $[m/s^2]$:

$$1 \left[\frac{Km}{hr^2} \right] = \frac{1.000[m]}{3600^2[s^2]} = 0,00007716 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Un submúltiplo de $[m/s^2]$:

$$1 \left[\frac{cm}{ms^2} \right] = \frac{10^{-2}[m]}{(10^{-3}[s])^2} = \frac{0,01[m]}{(0,001)^2[s^2]} = 10.000 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Como es una magnitud vectorial, la aceleración puede ser negativa.

→ **Fuerza**

La unidad de fuerza **tiene magnitud de masa multiplicada por aceleración**, es decir, interactúan la masa, la longitud y el tiempo. En el SI la fuerza se mide en **Newton** que corresponde a $\left[\frac{Kg \cdot m}{s^2} \right]$.

Un múltiplo del Newton:

$$1 \left[\frac{Kg \cdot Km}{s^2} \right] = 1.000 \left[\frac{Kg \cdot m}{s^2} \right]$$

Un submúltiplo del Newton:

$$1 \left[\frac{g \cdot cm}{s^2} \right] = \frac{10^{-3}[Kg] \cdot 10^{-2}[m]}{[s^2]} = 10^{-5} \left[\frac{Kg \cdot m}{s^2} \right]$$

Como se trata de una magnitud vectorial, la fuerza puede ser negativa.

1.5. Análisis dimensional

Consiste en el estudio de magnitudes derivadas como combinación de magnitudes fundamentales, usando solamente las letras mayúsculas de cada una de ellas, esto es, para masa usaremos $[M]$, para tiempo $[T]$, para longitud $[L]$ y así con cada una de las unidades fundamentales. Veamos algunos pequeños ejemplos:

Rapidez es:

$$v = \frac{\text{longitud}}{\text{tiempo}} = \frac{[L]}{[T]}$$

Aceleración es:

$$a = \frac{\text{longitud}}{(\text{tiempo})^2} = \frac{[L]}{[T]^2}$$

Fuerza es:

$$F = \text{masa} \cdot \text{aceleración} = [M] \cdot \frac{[L]}{[T]^2} = \frac{[M][L]}{[T]^2}$$

El análisis dimensional es muy importante, ya que ayuda a encontrar errores de procedimiento.

🔗 Ejercicios

1.1

1. La velocidad de un avión es de $970[\frac{Km}{h}]$; la de otro de $300[\frac{m}{s}]$. ¿Cuál es más veloz?
2. Expresar una velocidad de $72[\frac{Km}{h}]$ en $[\frac{m}{s}]$, $[\frac{Km}{min}]$ y $[\frac{cm}{s}]$.

1.6. Vectores

Como se dijo anteriormente, existen *magnitudes escalares* donde basta con un valor numérico que indica su magnitud o módulo y una unidad física para su representación. Así también existen las magnitudes vectoriales que se caracterizan por tener: *módulo*, *dirección* y *sentido*, las que pueden ser representadas a través de flechas o vectores. En esta sección aprenderemos propiedades y operaciones básicas de los vectores como la suma, resta, multiplicación y su representación para luego aplicarlo a la física.

1.6.1. Representación vectorial

Formalmente un vector es un ente matemático, que puede ser representado por una flecha. Esta representación es aplicada en la física para describir y trabajar algebraicamente magnitudes vectoriales.

Consideremos el auto de la Figura (1.1), donde se ha dibujado una flecha que representa la velocidad del móvil, apuntando hacia el norte, con un largo de $4[cm]$. Podemos decir que esa flecha es un vector equivalente a la velocidad del móvil, ya que tiene una *magnitud* $40[Km/hr]$, donde cada centímetro representa 10 kilómetros por hora, una *dirección* dada por el segmento que va desde la punta del auto hasta la punta de la flecha, y un *sentido* dado por la punta de la flecha. Así mismo cualquier magnitud vectorial puede ser representada completamente a través de una flecha. Las propiedades fundamentales de un vector son:

- i **El módulo**, corresponde a la magnitud escalar del vector y se representa por la longitud de la flecha. En el ejemplo anterior, el módulo del vector velocidad es 40 y se representa con los 4[cm] de largo de la flecha.
- ii **La dirección**, está dada en un vector por el ángulo que forma éste con la horizontal, por lo que existen infinitas direcciones.
- iii **El sentido**, es la orientación de una dirección y se representa por la punta de la flecha, por lo que existen solamente el sentido positivo y negativo en un vector.

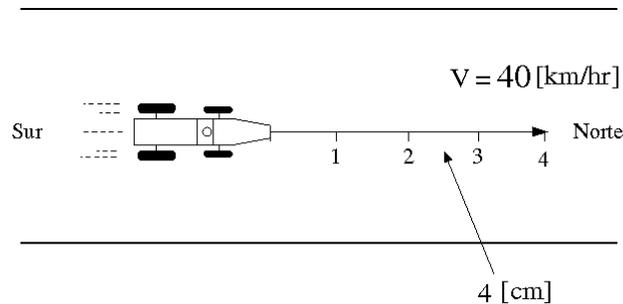


Figura 1.1: Representación de la velocidad a través de una flecha.

Ejemplo de lo anterior es la Figura (1.2) donde se tiene un vector de módulo 15, dirección 30° respecto a la horizontal y sentido como muestra la punta de la flecha. Cada vez que hablemos de un vector, lo denotaremos por una letra con una flecha sobre ella, como \vec{d} , y cuando hablemos del módulo o magnitud de un vector, lo denotaremos como $|\vec{d}|$ o simplemente d .

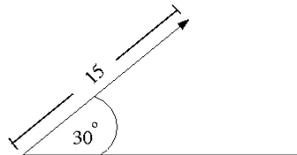


Figura 1.2: Vector con sus tres características fundamentales: módulo 15, dirección 30° respecto de la horizontal y sentido como muestra la punta de la flecha.

1.6.2. Propiedades

→ Igualdad

Diremos que dos vectores son iguales, sí y solo sí, sus tres características lo son, esto es, si tienen igual dirección, magnitud y sentido.

→ Vector opuesto

Si tenemos dos vectores \vec{A} y \vec{B} , diremos que son vectores opuestos si son iguales en magnitud (o módulo) y dirección pero opuestos en sentido, por lo que:

$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{0}$$

→ **Ponderación**

Si λ es un escalar y \vec{d} un vector cualquiera, el producto entre ellos lo llamaremos ponderación, el cual puede cambiar la magnitud de \vec{d} (amplificar o simplificar) y también su sentido, pero nunca su dirección.

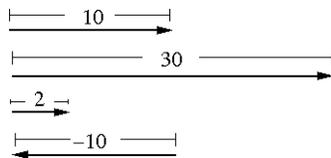


Figura 1.3: Un vector de dirección 0° respecto de la horizontal y módulo 10 se ha ponderado con 3, 0.2 y -1 respectivamente.

1.6.3. Adición de vectores

Ya debemos estar acostumbrados a trabajar la adición con cantidades escalares, sabemos que se rigen por las reglas del álgebra y para nadie sería extraño deducir que si se tiene un estanque con $3[m^3]$ de agua y se le agregan $2[m^3]$ se obtiene un estanque con $5[m^3]$, esto es:

$$3[m^3] + 2[m^3] = 5[m^3]$$

Asi también si una persona tiene un terreno de $1.000[m^2]$ y vende $600[m^2]$, entonces su terreno quedará en $400[m^2]$ ya que:

$$1.000[m^2] - 600[m^2] = 400[m^2]$$

La forma de sumar vectores es muy distinta a la adición algebraica como veremos a continuación.

→ **Resultante de un vector**

Tomemos en cuenta la Figura (1.4) donde un automóvil se desplaza de A a B y luego de B a C , representados por los vectores desplazamiento \vec{a} y \vec{b} . La resultante de estos dos desplazamientos es claramente \vec{c} que une los puntos A y C . Diremos por lo tanto que la suma o resultante de \vec{a} y \vec{b} es \vec{c} .

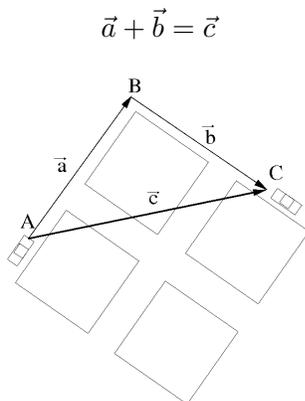


Figura 1.4: Resultante de dos desplazamientos de un automóvil.

La forma de sumar desplazamientos es válida para cualquier tipo de magnitud vectorial. Podemos decir en general que, **para encontrar la resultante \vec{c} de dos vectores, \vec{a} y \vec{b} , trazamos el vector \vec{b} desde la extremidad¹ de \vec{a} , de manera que el origen² de \vec{b} coincida con la extremidad de \vec{a} . Al unir el origen de \vec{a} con la extremidad de \vec{b} se obtiene el vector \vec{c} .**

→ **Regla de paralelogramo**

Otro método equivalente al anterior para obtener la resultante entre dos vectores se ilustra en la Figura (1.5). Los vectores \vec{a} y \vec{b} se trazan de tal manera que sus orígenes coincidan, se completa luego un paralelogramo que contenga a \vec{a} y \vec{b} dentro de sus lados. La resultante estará dada por la diagonal del paralelogramo, partiendo del origen en común de los vectores. Es importante recalcar que los dos métodos expuestos son equivalentes y producen resultados idénticos.

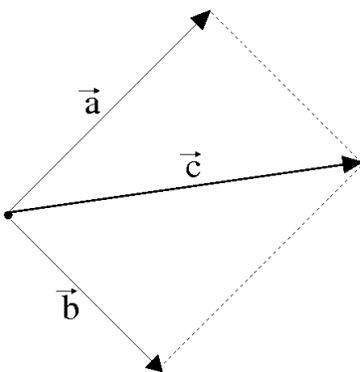
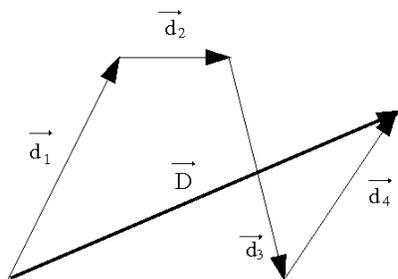


Figura 1.5: Suma de dos vectores con la Regla del paralelogramo.

→ **Resultante de varios vectores**

Para obtener la resultante de varios vectores podemos utilizar el método para dos vectores sucesivamente. Sean entonces $\vec{d}_1, \vec{d}_2, \vec{d}_3, \vec{d}_4$ desplazamientos para una partícula. Usando la escala apropiada se trazan los vectores de tal manera que la extremidad del primero coincida con el origen del siguiente, como se ilustra en la figura. Es notorio que el desplazamiento total, que es equivalente a la suma de los pequeños desplazamientos, es el que va desde el origen de \vec{d}_1 hasta la extremidad de \vec{d}_4 , luego:

$$\vec{D} = \vec{d}_1 + \vec{d}_2 + \vec{d}_3 + \vec{d}_4$$



¹Se entiende por extremidad de un vector al extremo donde se encuentra la punta de flecha.

²Se entiende por origen de un vector, al extremo que no tiene la punta de flecha.

 **Ejemplo**

Consideremos dos desplazamientos \vec{d}_1 y \vec{d}_2 de magnitudes $d_1 = 4[cm]$ y $d_2 = 3[cm]$. Determine la resultante \vec{D} de tales desplazamientos en los siguientes casos.

- a) \vec{d}_1 y \vec{d}_2 tienen la misma dirección y mismo sentido.
- b) \vec{d}_1 y \vec{d}_2 tienen la misma dirección, pero con sentidos opuestos.
- c) \vec{d}_1 es perpendicular a \vec{d}_2 .

Solución: Para cada suma de desplazamientos usaremos el método descrito anteriormente, esto es, unir extremidad del primer vector con origen del segundo y para luego trazar el vector que va desde el origen del primero de ellos hasta el extremo del segundo vector.

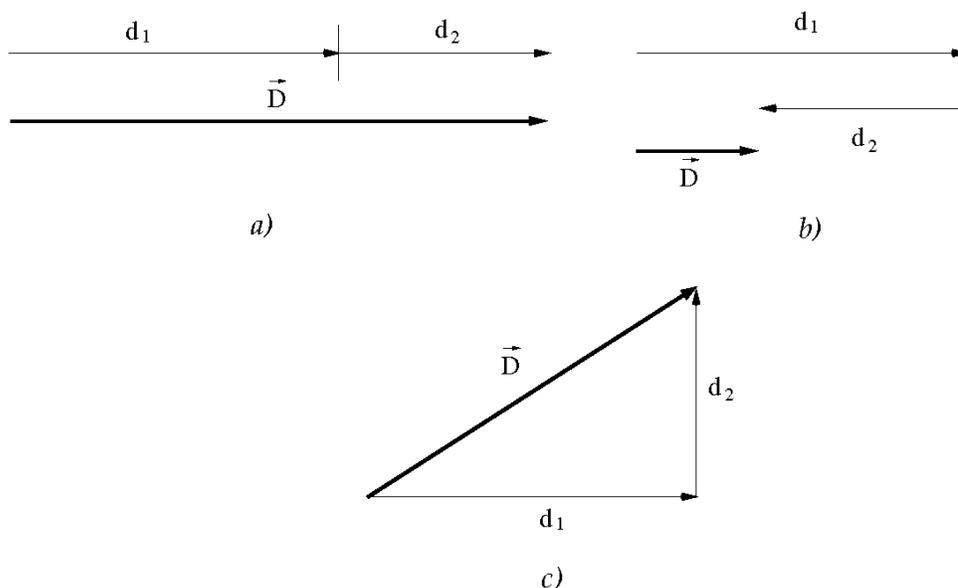
a) Para encontrar el vector resultante \vec{D} primero unimos el extremo de \vec{d}_1 con el origen de \vec{d}_2 , luego \vec{D} se obtiene al unir el origen de \vec{d}_1 con el extremo de \vec{d}_2 como se muestra en la figura a). Su magnitud es $7[cm]$ y tiene misma dirección y sentido que los vectores originales.

b) Con el mismo método anterior pero considerando a \vec{b} con sentido contrario a \vec{a} se obtiene lo mostrado en la figura b). El desplazamiento resultante \vec{D} tiene ahora magnitud de $1[cm]$, dirección igual a la de los vectores originales y sentido igual al del vector de mayor

magnitud, en este caso \vec{d}_1 .

c) Los desplazamientos al ser perpendiculares forman con \vec{D} un triángulo rectángulo con \vec{d}_1 y \vec{d}_2 como catetos y la resultante \vec{D} como hipotenusa, cumpliéndose la relación dada por el Teorema de Pitágoras.

$$\begin{aligned}
 D^2 &= d_1^2 + d_2^2 \\
 &= 4^2 + 3^2 \\
 D^2 &= 25 \\
 D &= 5
 \end{aligned}$$



→ Componentes de un vector

Si desde el origen de un vector trazamos dos ejes perpendiculares, como se ve en la Figura (1.7), y desde la extremidad del vector trazamos dos líneas ortogonales³ a los ejes, se obtienen dos vectores que están sobre ellos, denotados por \vec{V}_x y \vec{V}_y . Notar que \vec{V}_x y \vec{V}_y , forman parte de los lados de un paralelogramo con \vec{V} como diagonal, por lo tanto, por la regla del paralelogramo:

$$\vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y$$

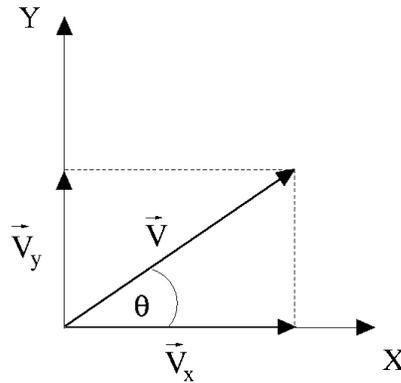


Figura 1.6: Descomposición vectorial.

Este proceso se llama descomposición vectorial y simplifica, en gran medida, el trabajo cuando hay una cantidad considerable de vectores. Notar que todo vector puede descomponerse como suma de sus proyecciones perpendiculares, de forma más general es posible decir que **la componente de un vector en una cierta dirección, es la proyección ortogonal del vector sobre la recta que define aquella dirección**. Notar además que en la Figura (1.6) se forma un triángulo rectángulo en donde el vector resultante \vec{V} es la hipotenusa de dicho triángulo y respecto del ángulo θ , el cateto adyacente es el módulo de la componente X del vector V y el cateto opuesto corresponde a la magnitud de la componente Y del vector V . De trigonometría se tiene que en un triángulo rectángulo están presentes las siguientes relaciones:

$$\sin(\theta) = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Hipotenusa}}$$

$$\cos(\theta) = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{Hipotenusa}}$$

Aplicándolo al vector descompuesto de la Figura (1.6).

$$\sin(\theta) = \frac{V_y}{V} \Rightarrow V_y = V \sin(\theta)$$

y

$$\cos(\theta) = \frac{V_x}{V} \Rightarrow V_x = V \cos(\theta)$$

No confundir esto con creer que existe la división de vectores, lo que estamos dividiendo son las magnitudes de cada vector. Si conocemos V_x y V_y , entonces aplicando el *Teorema de*

³Que forma con otra recta o curva 90° .

*Pitágoras*⁴ es posible saber el valor de V :

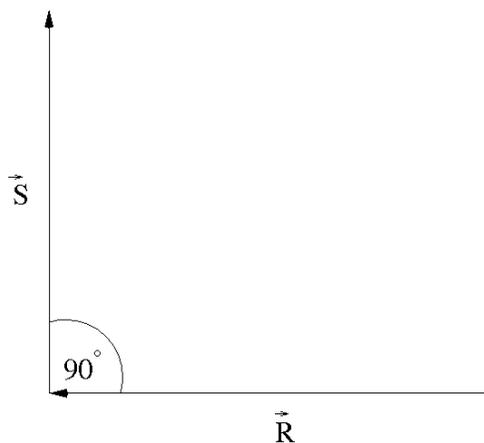
$$V^2 = V_x^2 + V_y^2$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

Ejercicios

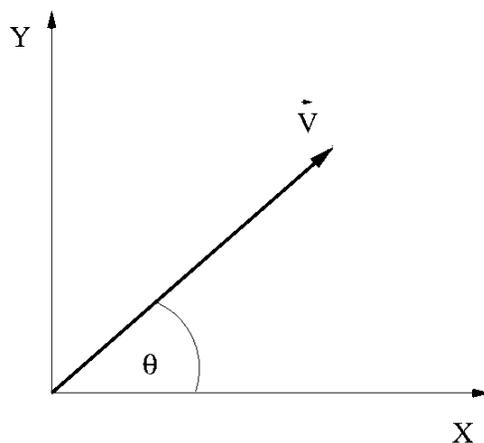
1.2

1. Dos fuerzas \vec{R} y \vec{S} , perpendiculares entre sí, tienen magnitudes $R = 8[N]$ y $S = 6[N]$.



Trace la fuerza resultante y mediante el *Teorema de Pitágoras* calcule su magnitud.

2. El vector \vec{V} respresenta un desplazamiento de magnitud $20[m]$



- a) Trace las componentes rectangulares \vec{V}_x y \vec{V}_y
 b) Si $\theta = 30^\circ$ calcule \vec{V}_x y \vec{V}_y

⁴El Teorema de Pitágoras dice que, en un triángulo rectángulo, la hipotenusa al cuadrado es igual a la suma de sus catetos al cuadrado.

Para cada eje cartesiano se define una dirección: \hat{i} en el eje X y \hat{j} para el eje Y y un sentido positivo o negativo dado por cada recta numérica, esto nos ayuda a expresar un vector de forma muy sencilla respecto de cada componente ortogonal. Por ejemplo, los vectores de la Figura (1.7) se escriben así:

$$\vec{A} = 3\hat{i} + 4\hat{j}$$

$$\vec{B} = 4\hat{i} + 2\hat{j}$$

La adición de vectores está dada por la suma algebraica de las componentes de cada vector, esto es:

$$\begin{aligned}\vec{A} + \vec{B} &= 3\hat{i} + 4\hat{j} + 4\hat{i} + 2\hat{j} \\ &= 7\hat{i} + 6\hat{j}\end{aligned}$$

Notar que el resultado del producto punto es un escalar. Además si los vectores son perpendiculares el producto escalar siempre es cero ya que formarían un ángulo de 90° y $\cos(90^\circ) = 0$.

1.6.4. Multiplicación vectorial

Así como la suma algebraica es distinta a la vectorial, también ocurre lo mismo con la multiplicación existiendo dos tipos, el *producto escalar* y el *producto vectorial*. Sean \vec{A} y \vec{B} vectores cualquiera.

→ Producto punto o escalar

Se define el *producto escalar* entre dos vectores como:

$$\vec{A} \bullet \vec{B} = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cos(\sigma)$$

donde $|\vec{A}|$ y $|\vec{B}|$ son los módulos de cada vector y σ es el ángulo formado entre ambos vectores.

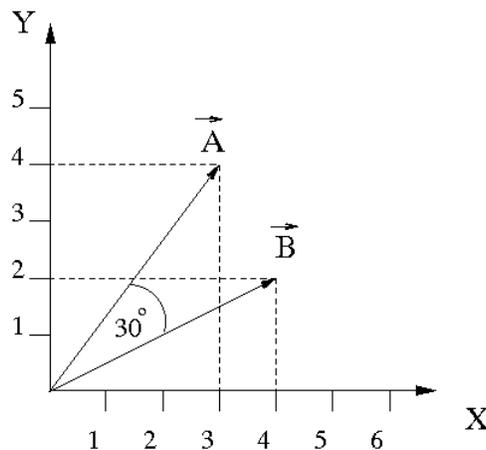


Figura 1.7: Ejemplo de producto punto.

 **Ejemplo**

Calcular el producto punto entre los vectores de la Figura (1.7).

Solución: Primero calculamos los módulos:

$$|\vec{A}| = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$$

$$|\vec{B}| = \sqrt{4^2 + 2^2} = 4,47$$

El ángulo entre los vectores es 30° , por lo que

$$\begin{aligned} \vec{A} \bullet \vec{B} &= |\vec{A}||\vec{B}| \cos(\sigma) \\ &= 5 \cdot 4,47 \cdot \cos(30^\circ) \\ &= 5 \cdot 4,47 \cdot 0,866 \\ &= 19,36 \end{aligned}$$

Notar que el producto punto entre los vectores es un escalar.

→ **Producto cruz o vectorial**

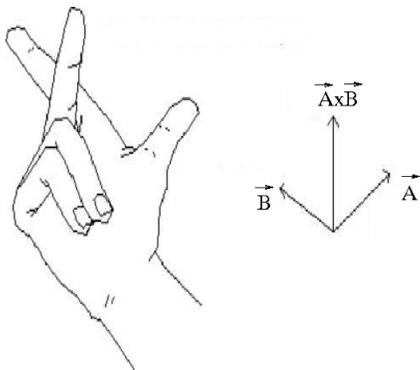
Se define el módulo del producto vectorial como:

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}| \text{sen}(\sigma)$$

donde $|\vec{A}|$ y $|\vec{B}|$ son los módulos de cada vector y σ es el ángulo formado entre ambos vectores. El producto cruz da como resultado otro vector de dirección perpendicular a los dos anteriores, y sentido según la *Regla de la mano derecha*.

→ **Regla de la mano derecha**

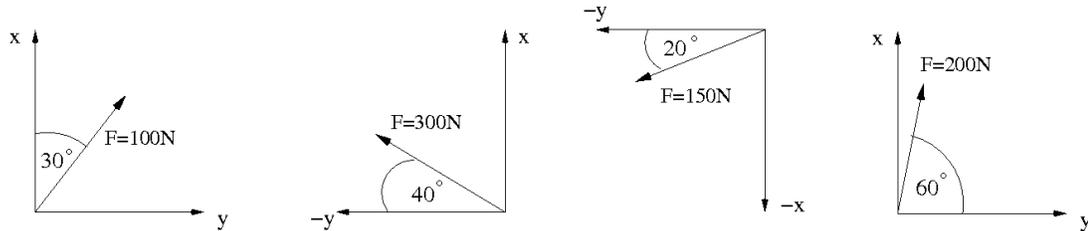
Es una técnica para encontrar el sentido de un producto vectorial usando los tres dedos consecutivos de la mano derecha, comenzando por el pulgar, luego el índice y finalmente el dedo medio. Lo primero es tener la palma de la mano derecha hacia arriba y colocar los dedos en tres direcciones perpendiculares distintas, luego con el pulgar se apunta hacia la primera dirección, con el índice se apunta hacia la dirección del segundo vector. Finalmente el dedo medio nos dará la el sentido del producto cruz.



Ejercicios

1.3

1. Basado en las siguientes figuras vectoriales encontrar las componentes en el eje de las X y en el eje de las Y .



2. Del ejercicio anterior calcule para cada par de vectores el producto vectorial y escalar.
3. Dados los vectores $\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j}$, $\vec{B} = 3\hat{i} + 2\hat{j}$, $\vec{C} = 4\hat{i} - 2\hat{j}$ calcular la resultante de las siguientes operaciones utilizando el método que estime más conveniente y además encuentre el módulo de cada uno de ellos.

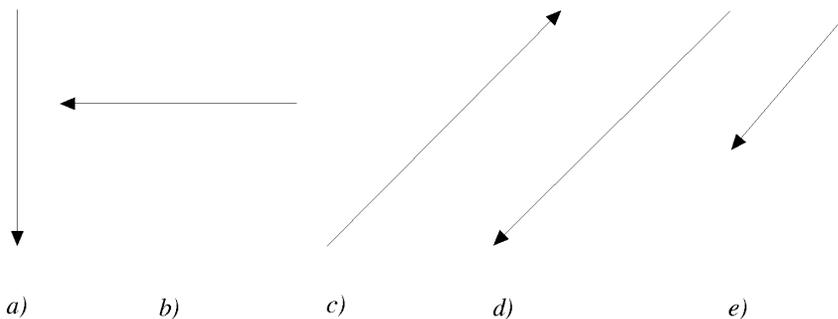
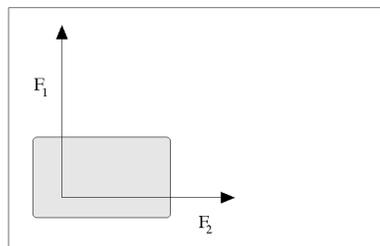
a) $\vec{A} + \vec{B}$

c) $\vec{C} - \vec{A} + \vec{B}$

b) $\vec{A} + \vec{C}$

d) $\vec{B} - \vec{A} + 2\vec{C}$

4. En la figura los vectores \vec{F}_1 y \vec{F}_2 representan, en magnitud, dirección y sentido, dos fuerzas que actúan sobre un objeto apoyado en una mesa lisa. Se desea aplicar sobre el cuerpo una fuerza \vec{F}_3 , de modo que sea nula la resultante de las tres fuerzas \vec{F}_1 , \vec{F}_2 y \vec{F}_3 . Escoja entre los vectores que se muestran a continuación, el que mejor represente a \vec{F}_3



1.7. Conceptos matemáticos

Aclaremos ahora algunos conceptos matemáticos relevantes para el desarrollo de los capítulos siguientes. No daremos una profundización acabada ya que esto se hará en el área correspondiente.

1.7.1. Proporcionalidad directa

Diremos que dos magnitudes son *directamente proporcionales* si al aumentar una de ellas N veces, entonces la otra magnitud también lo hace. De lo contrario, si una de las magnitudes disminuye N veces, entonces la otra magnitud también disminuye la misma proporción. Como ejemplo, se han medido distintos bloques de hierro y sus respectivas masas como muestra la tabla siguiente. Notar que al duplicar el volumen, la masa también lo hace y al triplicar V , M se triplica. Podemos decir entonces que la masa de un bloque de hierro es *directamente proporcional* a su volumen.

$V[cm^3]$	$M[g]$
1	8
2	16
3	24
4	32

Sea M una magnitud física cualquiera y V otra, indicaremos que existe una proporcionalidad directa por el símbolo α (que se lee “proporcional a”), esto es:

$$M \alpha V$$

Si dos magnitudes son proporcionales se cumple que:

$$\frac{M}{V} = k, \quad \text{Con } k \text{ constante.}$$

donde k se denomina *constante de proporcionalidad*. Por lo tanto la expresión $\frac{M}{V} = k$ se puede escribir como:

$$M = kV$$

1.7.2. Proporcionalidad inversa

Dos magnitudes son *inversamente proporcionales* si al aumentar una de ellas N veces, entonces la otra magnitud disminuye N veces. De otra manera, dos cantidades M y V son inversamente proporcionales si su producto es constante, esto es:

$$M \cdot V = k, \quad \text{Con } k \text{ constante}$$

1.7.3. Representación gráfica

Es posible analizar la dependencia entre dos magnitudes a través del *método gráfico*. Tomando en cuenta nuevamente el caso de los bloques de hierro esbozaremos la gráfica de M versus V . Trazamos primero dos rectas perpendiculares⁵. Luego, sobre la recta horizontal, que llamaremos *abscisa*, se sitúan los valores de la *variable independiente*, que en este caso es el volumen. En la

⁵Que forman entre ellas 90° .

recta vertical, que llamaremos *ordenada*, se sitúan los valores de la *variable dependiente*, en este caso la masa. Es necesario usar una escala apropiada, asociando a cierta longitud de recta el valor de magnitud deseada. Luego se ubican los puntos en la gráfica, donde a cada *par de datos* le corresponde un punto específico en el plano. Teniendo todos los puntos se debe trazar la mejor curva que se ajuste a los datos (ver Figura (1.8)). Es posible comprobar que para el caso que tomamos, la gráfica es una recta que pasa por el origen, lo que sucede siempre que tenemos una proporcionalidad directa entre dos magnitudes.

1.7.4. Pendiente de una recta

Tomemos dos pares de datos cualquiera de la relación M versus V , por ejemplo los puntos A y C . En el punto A el volumen es $V_A = 1[\text{cm}^3]$ y la masa es $M_A = 8[\text{g}]$. Por otro lado en el punto C , $V_C = 3[\text{cm}^3]$ y $M_C = 24[\text{g}]$. Nótese que existe una variación tanto de la masa como del volumen al pasar del punto A al C . Denotemos la variación de una magnitud o vector por la letra griega *delta* Δ , por lo tanto, $\Delta V = V_C - V_A$ y $\Delta M = M_C - M_A$.

Se define la *pendiente* o inclinación de una recta como:

$$m = \frac{\Delta M}{\Delta V}$$

Se puede comprobar que mientras mayor sea la *pendiente* m para una recta dada, mayor será el ángulo que forma la recta con la horizontal, lo que también lo podemos interpretar como una mayor rapidez en la variación de una magnitud respecto de otra. Notar también que la *pendiente* es $m = 8[\text{g}/\text{cm}^3]$ coincidiendo con el valor de la *constante de proporcionalidad*, esto siempre sucede cuando entre las magnitudes existe una proporcionalidad directa. Podemos decir que **en la gráfica de una variación proporcional directa, la constante k es la pendiente de la recta.**

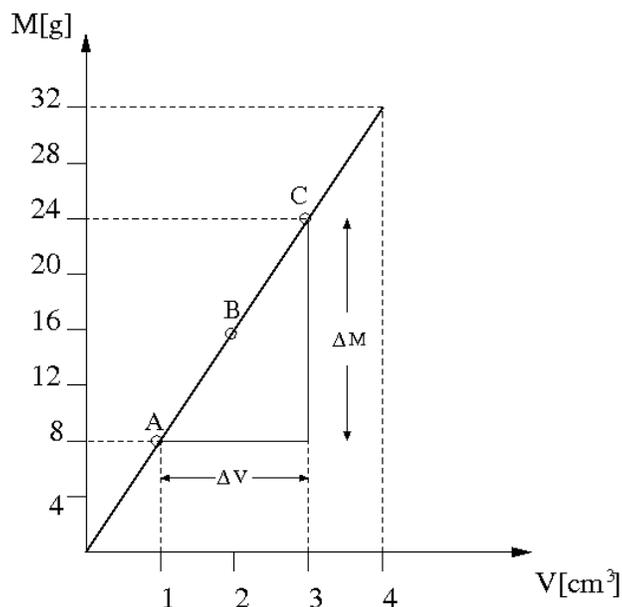


Figura 1.8: Gráfico de dos magnitudes proporcionales.

Capítulo 2

Movimiento

2.1. Introducción

Fue Aristóteles uno de los primeros científicos que se dedicó a estudiar con seriedad el movimiento, clasificándolo en movimiento “natural” y movimiento “violento”, el primero depende de la naturaleza del objeto y el segundo es impuesto. Por ejemplo, si tira una piedra hacia arriba, mientras ésta suba irá con movimiento violento porque la piedra no pertenece al cielo, pero cuando caiga su movimiento es natural debido a que sí es propia de la Tierra. Esta fue la verdad indiscutida durante 2.000 años. Para la física aristotélica era evidente que la Tierra no se movía, sino que el cosmos giraba a su alrededor; era imposible el vacío y siempre se necesitaba un “empuje” para mantener un objeto en movimiento.

Fue Galileo, durante el siglo XVII quien dió crédito a la idea de Copérnico sobre al movimiento de la Tierra; estudió la relación que existe entre la pendiente en un plano inclinado y la rapidez con que sube o baja un objeto; demostró que si no hay obstáculos, un cuerpo se puede mantener en movimiento en línea recta sin necesidad de un “empuje”, a esto lo llamó inercia. El replanteamiento del concepto inercia fue realizado por Isaac Newton, quien formula las tres leyes fundamentales del movimiento.

2.2. Descripción del movimiento

2.2.1. Conceptos básicos

Decimos que **un cuerpo está en movimiento, con respecto a un sistema de referencia, cuando cambian las coordenadas de su vector posición en el transcurso del tiempo.**

En física se utiliza como sistema de referencia el sistema de ejes coordenados, el cual ubicaremos según nos convenga. Otra manera de plantearnos el sistema de referencia es estudiar el movimiento de un cuerpo respecto de otro. Así, si el origen del sistema de referencia utilizado se encuentra en reposo el movimiento es absoluto, mientras que si el origen del sistema de referencia se encuentra en movimiento decimos que se trata de un movimiento relativo.

En 1.920 el astrónomo Edwin Hubble pudo afirmar que todas las galaxias están en movimiento, esto significa que todo el Universo se encuentra en movimiento, por lo tanto, el estado de reposo absoluto no existe y todo movimiento es relativo al sistema de referencia escogido.

Como vimos, la posición de un objeto en el sistema de referencia se representa con un vector. A medida que pasa el tiempo el cuerpo en movimiento cambia de posición, la curva que une estas sucesivas posiciones instantáneas corresponde a la trayectoria. Es decir, **la trayectoria**

es el camino recorrido por el objeto, en cambio, el desplazamiento es el vector que une el punto inicial de la trayectoria con el punto final.

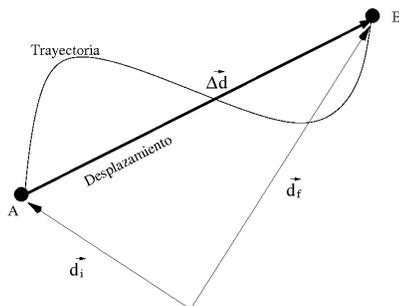


Figura 2.1: Trayectoria y desplazamiento son conceptos distintos, la primera es una magnitud escalar y la segunda es vectorial. La trayectoria en función del tiempo es denominada itinerario, el cual nos permite describir el movimiento de un objeto.

2.2.2. Velocidad y rapidez

Velocidad y rapidez son conceptos distintos, **velocidad es una magnitud vectorial**, mientras que la rapidez es el módulo de la velocidad, es decir, la **rapidez es una magnitud escalar**.

Se denomina trayectoria al conjunto de puntos en el espacio por los cuales pasa un cuerpo mientras se mueve. El camino que recorrió este cuerpo corresponde a la distancia medida a lo largo de su trayectoria.

Desafío...



Si se conocen tres puntos por donde pasó una hormiga, ¿es posible establecer su trayectoria? ¿Por qué?

La posición de un cuerpo es una magnitud vectorial que se determina respecto de cierto sistema de referencia. El itinerario del objeto en movimiento corresponde a su posición en función del tiempo. El desplazamiento es una magnitud vectorial dada por la diferencia entre la posición final de un cuerpo y su posición inicial.

La velocidad media, \vec{v}_m , relaciona la variación del vector desplazamiento, $\Delta\vec{d}$, de una partícula con el intervalo de tiempo, Δt , que empleó en realizarlo:

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{d}}{\Delta t} = \frac{\vec{d}_f - \vec{d}_i}{t_f - t_i} \quad (2.1)$$

donde \vec{d}_i es la posición inicial del cuerpo en el tiempo t_i y \vec{d}_f corresponde a la posición final en el tiempo t_f .

La rapidez media, v_m , relaciona el escalar distancia, d , que recorrió una partícula con el intervalo de tiempo, Δt , que empleó en recorrerla:

$$v_m = \frac{d}{\Delta t} = \frac{d}{t_f - t_i} \quad (2.2)$$

donde t_i es el tiempo inicial y t_f es el final.

La velocidad instantánea corresponde a la velocidad de un objeto en cualquier instante de tiempo a lo largo de su trayectoria. Del mismo modo sucede con la rapidez instantánea.

Ejercicios

2.1

1. Un avión recorre $2.940[Km]$ en 3 horas. Calcule su rapidez en $[\frac{m}{s}]$.
2. Calcule qué tiempo emplearía Kristel Köbrich en nadar $200[m]$ si pudiera conservar una rapidez de $1,71[\frac{m}{s}]$ durante todo el recorrido.
3. Un tren recorre $200[Km]$ en 3 horas 25 minutos y 15 segundos hacia el norte de Chile. ¿Cuál es su velocidad expresada en $[\frac{Km}{h}]$?
4. Un automóvil corre a $80[\frac{Km}{h}]$ durante 4 horas. Calcule la distancia recorrida.

2.2.3. Aceleración

La aceleración es una magnitud vectorial que se define como el **cambio de velocidad en el tiempo**. La aceleración media, \vec{a}_m , es el cociente entre la variación del vector velocidad, $\Delta\vec{v}$, y la variación del tiempo, Δt , que el cuerpo emplea en ello:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t_f - t_i} \quad (2.3)$$

donde \vec{v}_i es la velocidad inicial en el tiempo t_i y \vec{v}_f es la velocidad final del móvil en el tiempo t_f .

- Si $v_f > v_i$ la aceleración es positiva, así el movimiento se dice acelerado.
- Si $v_f < v_i$ la aceleración es negativa, siendo el movimiento desacelerado o retardado.

Ejemplo

Un móvil se mueve a $90[\frac{Km}{h}]$, repentinamente frena hasta detenerse. Si emplea $5[s]$ en hacerlo, ¿Cuál fue su aceleración media?

Solución: Para encontrar la aceleración media \vec{a}_m utilizamos la ecuación (2.3), pero note que es necesario hacer un cambio de unidades de medida

$$v_i = 90 \left[\frac{Km}{h} \right] = 90 \left[\frac{1.000m}{3.600s} \right] = 25 \left[\frac{m}{s} \right]$$

La velocidad inicial, \vec{v}_i , del móvil es $90[\frac{Km}{h}]$, mientras la velocidad final, \vec{v}_f , es cero ya que se detiene en un lapso de tiempo, Δt , igual a $5[s]$, luego la aceleración es

$$\vec{a}_m = \frac{0 - 25}{5} = -5 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Desafío...

Si la aceleración de un cuerpo disminuye, ¿disminuye también la velocidad y el camino recorrido?

Ejercicios**2.2**

1. Determine la aceleración media de un ciclista que parte desde el reposo, y que en 3 segundos alcanza una rapidez de $6 \left[\frac{m}{s} \right]$.
2. ¿Cuál es la aceleración de un móvil cuya velocidad aumenta en $20 \left[\frac{m}{s} \right]$ cada 5 segundos?
3. Un automóvil que marcha a $60 \left[\frac{Km}{h} \right]$ frena y se detiene en 10 segundos. Calcule su aceleración en $\left[\frac{m}{s^2} \right]$
4. ¿Qué velocidad alcanzará un móvil que parte del reposo con una aceleración de $5 \left[\frac{m}{s^2} \right]$, al cabo de 20 segundos?
5. ¿Qué velocidad inicial debería tener un móvil cuya aceleración es de $2 \left[\frac{m}{s^2} \right]$, para alcanzar una velocidad de $108 \left[\frac{Km}{h} \right]$ a los 5 segundos de su partida?
6. Un móvil es capaz de acelerar $60 \left[\frac{cm}{s^2} \right]$. ¿Cuánto tardará en alcanzar una velocidad de $100 \left[\frac{Km}{h} \right]$?

2.2.4. Tipos de movimiento

- 1) Movimiento Rectilíneo Uniforme (M.R.U.)
- 2) Movimiento Uniformemente Variado (M.U.V.)
 - a) Movimiento Uniformemente Acelerado (M.U.A.)
 - b) Movimiento Uniformemente Retardado (M.U.R.)

→ Movimiento rectilíneo uniforme

Las características de un M.R.U. son:

- Su trayectoria es una línea recta.
- La velocidad, \vec{v} , es constante.
- La aceleración es nula.
- La magnitud del desplazamiento aumenta directamente proporcional al tiempo.
- Ecuación de velocidad \vec{v} :

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t} \quad (2.4)$$

- Ecuación itinerario:

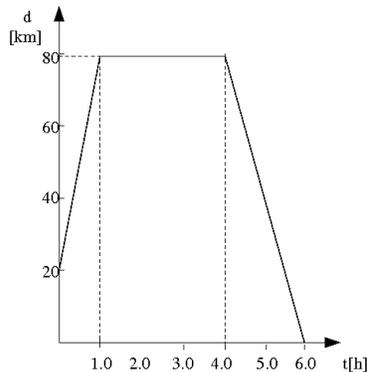
$$\vec{d}(t) = \vec{d}_i + \vec{v} \cdot t \quad (2.5)$$

donde $\vec{d}(t)$ es la posición en función del tiempo y d_i es la posición del cuerpo en $t = 0$.

Desafío...

¿Cómo podrías deducir que en un movimiento con velocidad constante la aceleración sea nula?

✓ La gráfica distancia versus tiempo para el M.R.U es una recta, o varios segmentos rectos, pero nunca es una curva. A continuación se presenta un ejemplo típico.

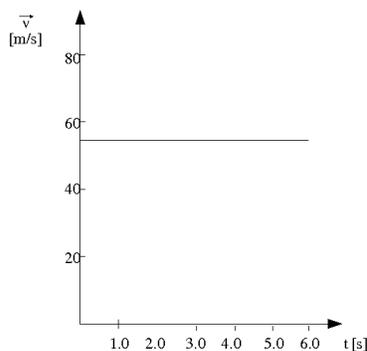


El móvil parte a $20[Km]$ del origen y avanza una hora, luego está detenido 3 horas y comienza a devolverse hasta llegar al origen, demorándose en total $6[h]$. Este M.R.U. se divide en tres tramos: primero $0 - 1,0[h]$ donde el móvil tiene una velocidad constante, luego de $1,0 - 4,0[h]$ donde el móvil tiene velocidad constante cero, y finalmente el tramo $4,0 - 6,0[h]$ donde el objeto va retrocediendo a velocidad constante.

Es importante decir que **la pendiente en un gráfico distancia versus tiempo corresponde a la rapidez del objeto**, dado que como se vió en el capítulo anterior la pendiente es el cociente entre la variación de los valores en la ordenada Y y la variación de los valores de la abscisa X , por ejemplo, en el primer tramo $0 - 1,0[h]$ la rapidez está dada por:

$$\begin{aligned} v &= \frac{80[Km] - 20[Km]}{1,0[h] - 0[h]} \\ &= 60 \left[\frac{Km}{h} \right] \end{aligned}$$

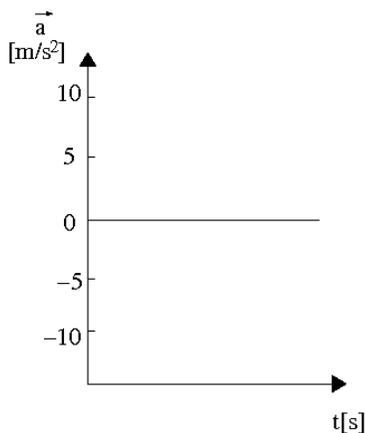
✓ Como la rapidez en un M.R.U. es constante, la gráfica rapidez versus tiempo es una recta paralela al eje X .



Un aspecto muy importante es que en un M.R.U. **en un gráfico rapidez versus tiempo, el área bajo la curva corresponde a la distancia recorrida por el objeto**. Dado que en

un M.R.U. la rapidez es constante, la gráfica siempre será una recta paralela al eje del tiempo, por lo que la superficie bajo la curva será equivalente al área A de un rectángulo, tal que $A = v \cdot t$. De la ecuación (2.2) se tiene que $d = v \cdot t$, por lo tanto, el área bajo la curva coincide con la distancia recorrida.

✓ Como la velocidad en un M.R.U. es constante, la aceleración es siempre nula, por lo tanto el gráfico de aceleración versus tiempo para un M.R.U. es el siguiente



Notar que para todo valor del tiempo en X la componente rapidez Y es cero.

Ejemplo

Un cuerpo se mueve con M.R.U. con una velocidad de $2\left[\frac{m}{s}\right]$ de magnitud durante $10[s]$. ¿Cuál es la distancia recorrida por el móvil?

Solución: Usando los módulos de los vectores desplazamiento y velocidad de la ecuación (2.4), despejamos la distancia d recorrida

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

$$d = v \cdot t$$

Reemplazando:

$$d = 2 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot 10[s] = 20[m]$$

Desafío...



Del origen de coordenadas parte un móvil siguiendo el eje Y , a una velocidad constante de $6\left[\frac{Km}{h}\right]$, y simultáneamente otro, siguiendo el eje X , a una velocidad constante de $8\left[\frac{Km}{h}\right]$. Al cabo de 10 horas, los móviles dan vuelta, y marchan al origen de las coordenadas, pero ahora la velocidad del primero es la que de ida tenía el segundo, y la del segundo, la que tenía el primero. ¿Cuántas veces, y en qué instantes de tiempo, estarán separados entre sí por $35[Km]$?

📌 Ejercicios

2.3

- Dos automóviles, A y B, que se encuentran inicialmente en el mismo punto se mueven con rapidez constante de $8\left[\frac{m}{s}\right]$ y $12\left[\frac{m}{s}\right]$, respectivamente. Determine la separación de los autos al cabo de 10 segundos en las siguientes situaciones:
 - Se mueven a lo largo de la misma línea recta y en el mismo sentido.
 - Se mueven a lo largo de la misma línea recta y en sentidos opuestos.
 - Se mueven en trayectorias rectilíneas, pero orientadas en ángulo recto.
- ¿Cuánto tardará un móvil, con movimiento uniforme, en recorrer una distancia de $300[Km]$, si su velocidad es de $30\left[\frac{m}{s}\right]$? Expresar su resultado en horas, minutos y segundos.
- Dos automóviles distan $5[Km]$ uno del otro, y marchan en sentidos contrarios, a 40 y $60\left[\frac{Km}{h}\right]$. ¿Cuánto tiempo tardarán en cruzarse?
- Represente gráficamente el movimiento de un móvil que marcha con una velocidad igual a $1\left[\frac{m}{s}\right]$, con movimiento rectilíneo uniforme.
- Un vehículo marcha a $72\left[\frac{Km}{h}\right]$, con M.R.U. ¿Cuánto recorre en 3 horas?
- Un tren, cuya longitud es de $100[m]$, y que se desplaza con una velocidad constante de $15\left[\frac{m}{s}\right]$, debe atravesar un túnel de $200[m]$ de largo. En un instante determinado, el tren está entrando en el túnel. ¿Después de cuánto tiempo habrá salido completamente?

→ Movimiento uniformemente variado

Las características de un M.U.V. son:

- La velocidad, \vec{v} , cambia de manera uniforme.
- Existe aceleración constante.
- Ecuación de velocidad \vec{v} :

$$\vec{v}(t) = \vec{a} \cdot t + \vec{v}_i \quad (2.6)$$

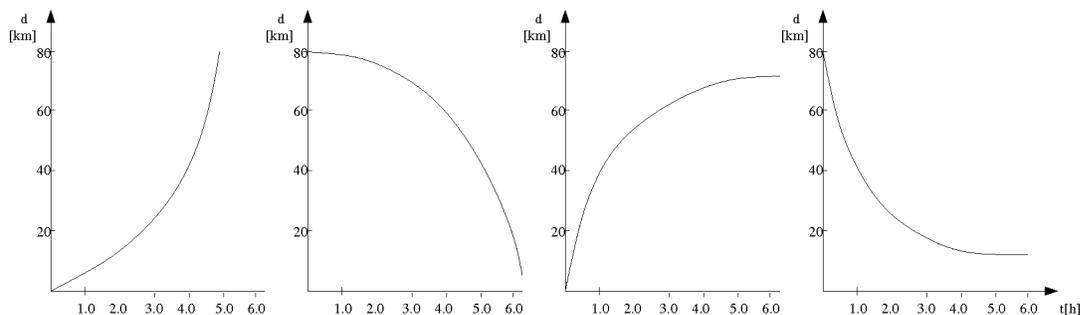
donde \vec{a} es la aceleración del objeto en movimiento y \vec{v}_i es su velocidad inicial.

- Ecuación itinerario:

$$\vec{d}(t) = \vec{d}_i + \vec{v}_i t + \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2 \quad (2.7)$$

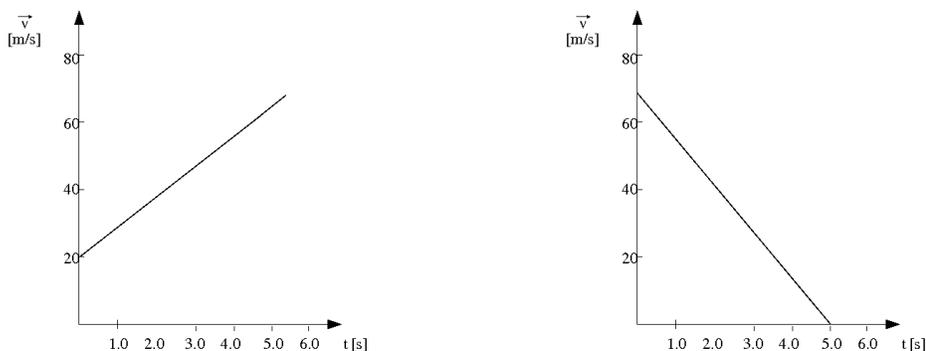
- Si la aceleración es positiva, es decir, si aumenta la velocidad de manera uniforme, entonces hablamos de un **movimiento uniformemente acelerado**.
- Si la aceleración es negativa, es decir, si disminuye la velocidad de manera uniforme, entonces hablamos de un **movimiento uniformemente retardado**.

✓ Los posibles gráficos de distancia versus tiempo para un M.U.V.



En la figura anterior de izquierda a derecha: el primer gráfico representa a un objeto que se aleja del origen y va acelerando; en el segundo un objeto que va hacia el origen y acelerando; en la tercera figura el objeto va alejándose del origen y desacelerando; en la cuarta figura el objeto va acercándose al origen y desacelerando.

✓ El gráfico rapidez versus tiempo para M.U.V.



La pendiente de un gráfico velocidad versus tiempo corresponde a la aceleración y el área bajo la curva representa la distancia recorrida por el objeto. La figura de la izquierda es un M.U.A. y el otro es un M.U.R..

Desafío...



En un M.U.V. ¿Cómo podrías deducir que la pendiente en la gráfica rapidez versus tiempo corresponde a la aceleración? ¿Cómo calcularías la distancia recorrida por un objeto a partir de esta gráfica?

Ejemplo

1. Se arroja una piedra hacia arriba, con una rapidez inicial $v_i = 8 \left[\frac{m}{s} \right]$. Calcular la máxima altura y_{max} que alcanza.

Solución: El movimiento es uniformemente retardado, de modo que la aceleración de gravedad \vec{g} es negativa. Desconocemos el tiempo t que demora en llegar a la altura máxima y_{max} , pero sabemos que cuando alcanza la altura máxima, la piedra tiene rapidez cero. Según la ecuación (2.6) al igualarla a cero se obtiene:

$$t = \frac{v_i}{g}$$

Reemplazando esta expresión en la ecuación (2.7) tenemos:

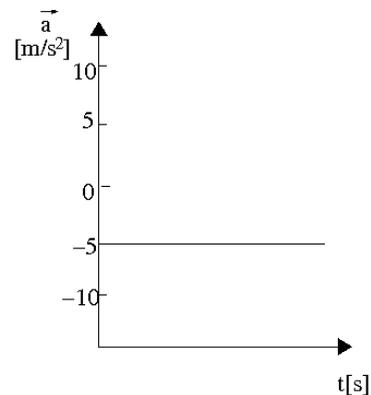
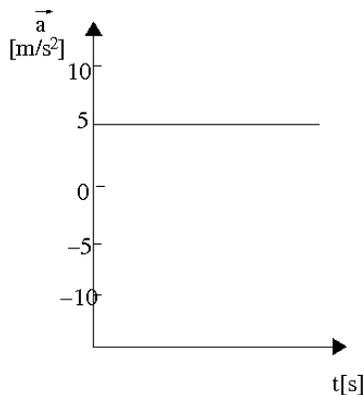
$$\begin{aligned} y_{max} &= v_i \cdot \frac{v_i}{g} - \frac{1}{2} \cdot g \cdot \left(\frac{v_i}{g}\right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{v_i^2}{g}\right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{8^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]}\right) \simeq 3,3[m] \end{aligned}$$

2. De lo alto de una torre se deja caer una piedra desde el reposo, que tarda 4[s] en llegar al suelo. Calcular la velocidad con que llega al suelo.

Solución: Se trata de un movimiento uniformemente acelerado, de modo que la aceleración de gravedad \vec{g} es positiva. Utilizando la ecuación (2.6) y dado que la velocidad inicial \vec{v}_i es cero porque parte desde el reposo, reemplazamos los datos correspondientes:

$$\vec{v} = \vec{g} \cdot t = 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right] \cdot 4[s] = 39,2 \left[\frac{m}{s}\right]$$

✓ La gráfica aceleración versus tiempo para M.U.A. y M.U.R. es siempre una recta.



Desafío...



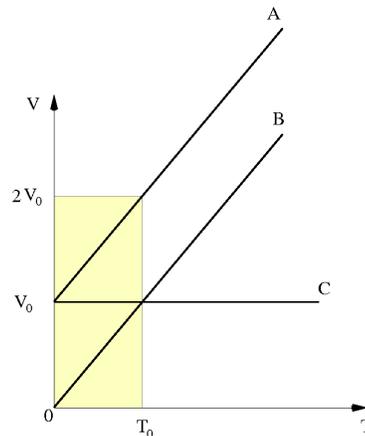
¿Es posible que un cuerpo con aceleración constante disminuya su rapidez?

Ejercicios

2.4

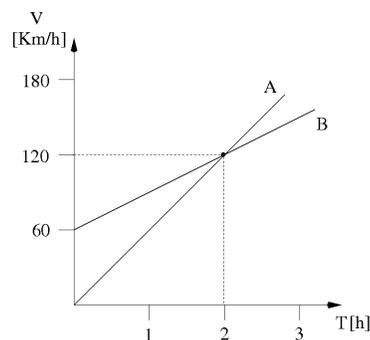
- Un móvil que marcha con movimiento uniformemente variado tiene en un punto de su trayectoria una velocidad de $100 \left[\frac{cm}{s} \right]$; $160[cm]$ más adelante, su velocidad se ha reducido a $60 \left[\frac{cm}{s} \right]$. ¿Cuál es su aceleración?
- Un móvil que partió del reposo tiene un movimiento uniformemente variado. Al cabo del primer segundo tiene una velocidad de $5 \left[\frac{m}{s} \right]$. Calcule:
 - Su velocidad a los 10 segundos de la partida.
 - La distancia recorrida en ese tiempo.
 - La distancia recorrida entre el noveno y décimo segundo.
- Un cuerpo se mueve durante 7 segundos con movimiento rectilíneo uniforme a una velocidad de $80 \left[\frac{cm}{s} \right]$; después adquiere una aceleración de $30 \left[\frac{cm}{s^2} \right]$ y se mueve con movimiento uniformemente variado durante 10 segundos. ¿Qué distancia recorre en total? ¿Cuál es su velocidad al cabo de los 17 segundos?
- En el gráfico se da la rapidez de tres cuerpos A, B y C en función del tiempo t , los cuales se mueven a lo largo de la misma línea recta.

- En el instante $t = t_0$:
 - ¿Cuál de los cuerpos ha recorrido el mayor camino?
 - ¿Cuál de los cuerpos ha recorrido el menor camino?
 - ¿Cuál de los cuerpos tiene menos aceleración?
- ¿En qué instante B y C han recorrido el mismo camino?
- ¿En qué instante el cuerpo A ha recorrido el triple de camino que B?



- Los autos A y B van por una misma carretera de acuerdo con el gráfico de la figura de este problema. En $t = 0$, ambos se encuentran en el kilómetro cero. Analice las afirmaciones siguientes relacionadas con el movimiento de tales automóviles y señale las que son correctas.

- En $t = 0$, tenemos que $V_A = 0$ y $V_B = 60 \left[\frac{Km}{h} \right]$.
- Ambos autos se desplazan con un movimiento uniformemente acelerado.
- De $t = 0$ a $t = 2$ horas, A recorrió $120[Km]$, y B, $180[Km]$.
- A y B tienen velocidades constantes, siendo $V_A = 60 \left[\frac{Km}{h} \right]$ y $V_B = 30 \left[\frac{Km}{h} \right]$.
- A alcanza a B cuando $t = 2[h]$.



6. La siguiente es una ecuación del movimiento de un cuerpo que se desplaza en línea recta:

$$d = 6t + 2,5t^2 \quad \text{donde } t \text{ está en segundos y } d \text{ en metros}$$

Con base en esta información, determine

- El tipo de movimiento del cuerpo.
- La velocidad inicial del mismo.
- La aceleración del movimiento.

Desafío...



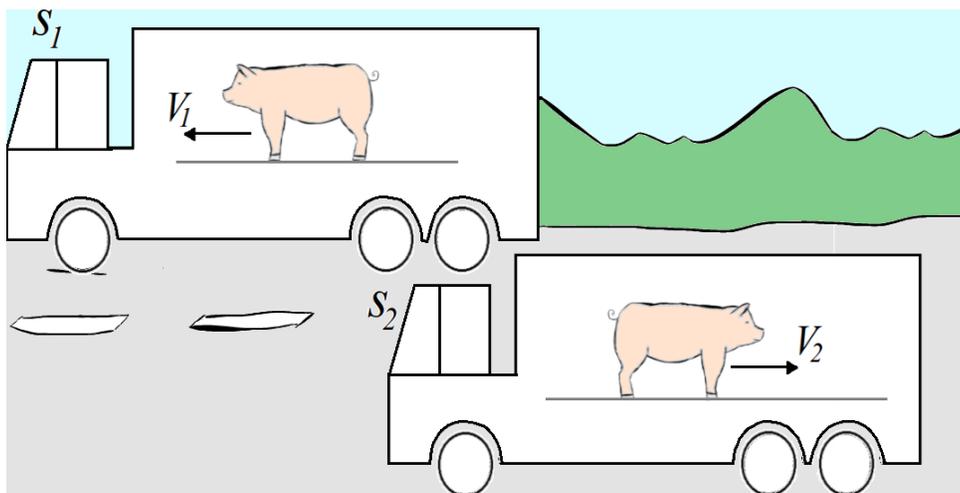
Un cuerpo cuya aceleración es nula, ¿puede estar en movimiento?

2.2.5. Movimiento relativo

Si tenemos dos observadores, O_1 y O_2 , cada uno en sistemas de referencia inerciales¹, S_1 y S_2 respectivamente, podemos relacionarlos a través de las ecuaciones de transformación de Galileo. Supongamos que el sistema S_2 se aleja con velocidad constante \vec{u} respecto del sistema S_1 en reposo. De esto se obtiene la transformación de Galileo para el caso de la velocidad, estableciendo que:

$$\vec{v}_2(t) = \vec{v}_1(t) - \vec{u} \quad (2.8)$$

donde $\vec{v}_2(t)$ es la velocidad de un objeto en el sistema S_2 , respecto de alguno de los sistemas S_1 ó S_2 y $\vec{v}_1(t)$ es la velocidad de un objeto en el sistema de referencia S_1 , respecto de S_1 ó S_2 .



¹Inercial quiere decir que cumple con la primera ley de movimiento de Newton que estudiaremos más adelante.

Ejemplo

Un tren va con una velocidad de $8 \left[\frac{Km}{h} \right]$. En su interior un pasajero camina con una velocidad de $2 \left[\frac{Km}{h} \right]$ respecto al tren en su misma dirección y sentido. Determinar:

1. La velocidad del pasajero observada por otro pasajero sentado en el vagón y por una persona situada en reposo en el andén.

Solución: Sea S_2 el vagón y S_1 el andén. El pasajero sentado en el vagón y el que camina por éste, están en el sistema de referencia S_2 , por lo tanto la velocidad observada del pasajero que camina en el andén, por el pasajero sentado es $2 \left[\frac{Km}{h} \right]$ ya que no hay relatividad entre ellos.

Para obtener la velocidad observada por la persona en el andén despejamos $\vec{v}_1(t)$ de la ecuación (2.8):

$$\vec{v}_1(t) = \vec{v}_2(t) + \vec{u}$$

Reemplazando:

$$\vec{v}_1(t) = 2,0 \left[\frac{Km}{h} \right] + 8,0 \left[\frac{Km}{h} \right] = 10,0 \left[\frac{Km}{h} \right]$$

2. Las velocidades anteriores en caso de que el pasajero camine en sentido contrario al movimiento del tren.

Solución: La persona sentada en el vagón está en el sistema de referencia S_2 , pero como el pasajero ahora camina en sentido contrario cambia el signo del vector velocidad, así $\vec{v}_2(t) = -2,0 \left[\frac{Km}{h} \right]$.

Ahora la rapidez observada por la persona que está en el andén, ocupando el mismo razonamiento anterior, es igual a $\vec{v}_1(t) = 6,0 \left[\frac{Km}{h} \right]$.

Ejercicios**2.5**

1. Un automóvil que marcha a $60 \left[\frac{Km}{h} \right]$ pasa a otro que marcha en el mismo sentido y a una velocidad de $40 \left[\frac{Km}{h} \right]$. Hallar la velocidad del primero con respecto al segundo, y del segundo con respecto al primero.
2. Hallar las velocidades relativas de uno con respecto a otro, de los automóviles del ejercicio anterior, suponiendo que ahora marchan en sentidos opuestos.

2.3. Fuerza y movimiento

Se considera la fuerza como una magnitud vectorial que ocasiona que un cuerpo se acelere. Llamamos fuerza neta sobre un cuerpo a la fuerza que resulta de la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre él. Si la fuerza neta ejercida sobre un objeto es cero, entonces su aceleración es cero y el cuerpo se encuentra en equilibrio. Un cuerpo está en equilibrio cuando está en reposo o cuando su velocidad es constante (M.R.U.).

Galileo Galilei fue el primero en plantear que la naturaleza de la materia es oponerse a los cambios en su movimiento, los cuales son provocados por fuerzas. En 1.586 Isaac Newton formaliza el enfoque de Galileo y establece las leyes que describen el movimiento a partir de las causas que lo originaron.

Ejercicios**2.6**

1. Hallar gráficamente la resultante de dos fuerzas $F_1 = 6[N]$ y $F_2 = 8[N]$, cuando forman entre sí un ángulo de 0° , 90° y 180° .
2. Se tiene en un plano una fuerza de magnitud $9[N]$, si una de sus componentes ortogonales es $5[N]$, aquí valor tiene la otra componente?
3. Se tiene en un plano una fuerza de magnitud $9[N]$, encuentre sus componentes ortogonales sabiendo que una de ellas es el doble de la otra.

2.3.1. Leyes de Newton**→ Principio de inercia**

La primera ley de Newton establece que, si sobre un cuerpo no actúan fuerzas o si de las que actúan resulta una fuerza neta nula, un cuerpo en reposo permanece en reposo o equivalentemente, un cuerpo con movimiento rectilíneo uniforme permanece con movimiento rectilíneo uniforme. Esta ley es válida en marcos de referencia inerciales, éstos son sistemas de referencia que no están acelerados.

Ejemplo

1. Cuando un automóvil frena, los pasajeros son impulsados hacia adelante, como si sus cuerpos trataran de seguir el movimiento.
2. Un patinador, después de haber adquirido cierta velocidad, puede seguir avanzando sin hacer esfuerzo alguno.
3. En las curvas, los pasajeros de un vehículo son empujados hacia afuera, pues sus cuerpos tienden a seguir la dirección que traían.



Un ciclista que frena repentinamente tiende a seguir en movimiento, debido a la primera ley de Newton.

→ **Principio de masa**

La segunda ley de Newton establece que la aceleración \vec{a} que adquiere un cuerpo por efecto de una fuerza, \vec{f} , es directamente proporcional a ésta e inversamente proporcional a su masa m :

$$\vec{f} = m \cdot \vec{a} \quad (2.9)$$

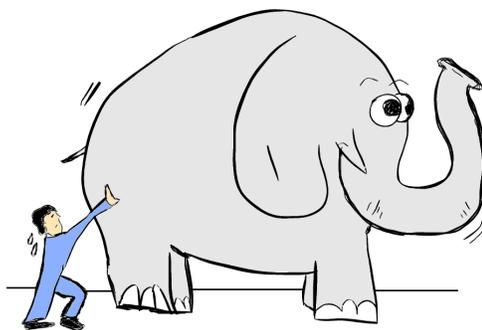
Masa: es la característica de un cuerpo que determina su inercia.

Inercia: es la tendencia de un cuerpo a permanecer en equilibrio.

Desafío...



Si tiene dos automóviles hechos del mismo material, pero uno tiene el doble de masa que el otro, ¿cuál tendrá más inercia?



A mayor masa se necesita una fuerza mayor para ejercer una misma aceleración.

→ **Principio de acción y reacción**

La tercera ley de Newton establece que si dos cuerpos interactúan, la fuerza ejercida por el cuerpo 1 sobre el cuerpo 2 es igual en magnitud y dirección, pero opuesta en sentido a la fuerza ejercida por el cuerpo 2 sobre el cuerpo 1.

 **Ejemplo**

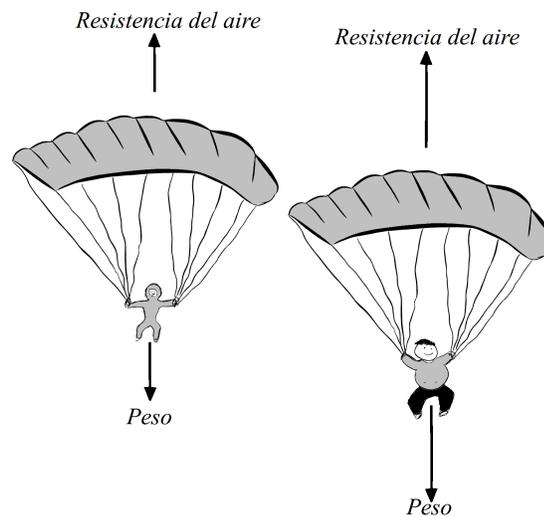
1. Cuando se dispara un arma de fuego, ésta retrocede (“culatazo”).
 2. Si un patinador hace fuerza contra una pared, retrocede como si la pared lo hubiera empujado a él.
 3. Cuando un botero quiere alejarse de la orilla, apoya el remo en ella y hace fuerza hacia adelante. El bote retrocede como si lo hubieran empujado desde la orilla.
 4. En un lanzamiento de paracaidas el cuerpo acelera hasta que el peso y la fuerza de resistencia del aire se igualan por el principio de acción y reacción.
-

Ejercicios

2.7

- ¿Cuál es el cambio de velocidad de un cuerpo de $2[Kg]$, al que se le aplicó una fuerza de $8[N]$ durante 3 segundos?
- Un niño patea una piedra, ejerciendo una fuerza de $5[N]$ sobre ella
 - ¿Cuánto vale la reacción de esta fuerza?
 - ¿Cuál cuerpo ejerce esta reacción?
 - ¿Dónde se aplica tal reacción?
- Un pequeño auto choca con un gran camión cargado. ¿Qué fuerza es mayor, la del auto sobre el camión o la del camión sobre el auto?

Cuando un paracaidista ha alcanzado la velocidad límite, su peso y la resistencia del aire son de igual magnitud y dirección pero en sentidos opuestos. En esta situación la sensación de caída libre se pierde ya que el cuerpo baja con velocidad constante.



2.3.2. Algunas fuerzas importantes

La unidad de medida de esta magnitud vectorial, según el Sistema Internacional de Medidas, es el Newton $[N]$, donde:

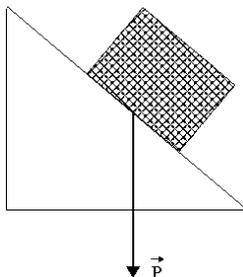
$$1[N] = 1[Kg] \cdot \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

★ Diagrama de cuerpo libre

La herramienta que utilizamos para determinar la fuerza neta que se ejerce sobre un cuerpo, es el *diagrama de cuerpo libre* o DCL, el cual se define como una representación vectorial de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, el cual se considera puntual respecto de un sistema de ejes coordenados. También nos permite descomponer vectorialmente las fuerzas en caso de ser necesario.

→ **Fuerza de gravedad**

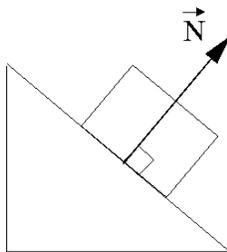
La fuerza de gravedad \vec{P} es la fuerza producida por la aceleración de gravedad de la Tierra (o del cuerpo celeste que estemos estudiando) igual a $9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ aproximadamente. El peso de un cuerpo es la magnitud de la fuerza de gravedad que actúa sobre él y el instrumento con el cual puede ser medida es el *dinamómetro*.



La fuerza de gravedad apunta siempre en dirección al centro terrestre independientemente de la superficie donde se encuentre el objeto.

→ **Fuerza normal**

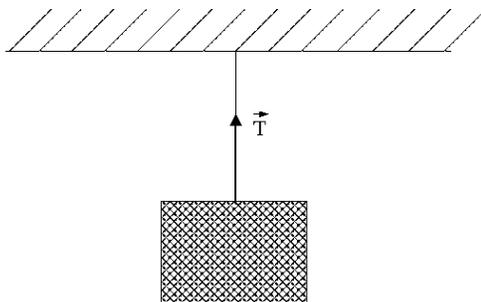
La fuerza normal \vec{N} es la fuerza de reacción que ejerce una superficie sobre un cuerpo al apoyarse sobre ésta. Se presenta perpendicularmente a la superficie.



La normal es la fuerza de reacción a la componente perpendicular del peso respecto de la superficie de contacto.

→ **Tensión**

La tensión \vec{T} es la fuerza transmitida a través de una cuerda inextensible y de masa despreciable, ejercida por un cuerpo atado a ella.



La tensión también es producto del principio de acción y reacción.

→ **Fuerza de roce o de fricción**

La fuerza de roce \vec{f}_r corresponde a la oposición que presenta un medio al desplazamiento de un cuerpo debido a las irregularidades de la superficie de contacto. Existen dos tipos de fuerza de roce, la fuerza de roce estático \vec{f}_{re} y la fuerza de roce cinético \vec{f}_{rc} .

La fuerza de roce estático actúa cuando el cuerpo no está en movimiento sobre una superficie y su magnitud está dada por:

$$f_{re} = \mu_e \cdot N \quad (2.10)$$

donde N es la magnitud de la normal y μ_e es el coeficiente de roce estático, magnitud adimensional que depende del material de la superficie. Por otro lado, la fuerza de roce cinético actúa cuando el cuerpo está moviéndose sobre una superficie, apuntando en sentido opuesto al movimiento y con magnitud dada por:

$$f_{rc} = \mu_c \cdot N \quad (2.11)$$

donde N es la magnitud de la normal y μ_c es el coeficiente de roce cinético, magnitud adimensional que depende del material de la superficie.

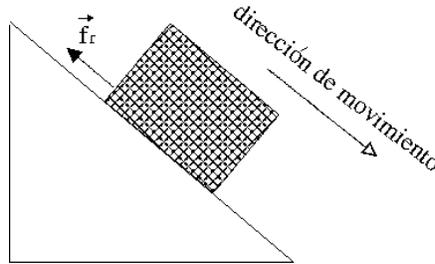


Figura 2.2: La fuerza de roce tiene siempre sentido opuesto al del movimiento.

Desafío...

Si un objeto se encuentra en reposo sobre un plano inclinado ¿Existe alguna fuerza de roce actuando?

→ **Fuerza elástica de un resorte**

La fuerza elástica de un resorte \vec{f}_e es la fuerza de reacción que presenta un resorte ante la modificación de su largo natural, es directamente proporcional al estiramiento o compresión sufrida y de signo contrario. Se puede obtener como sigue:

$$\vec{f}_e = -k \cdot \vec{x} \quad (2.12)$$

donde k es la constante de elasticidad que depende del material del que esté hecho el resorte y \vec{x} es el desplazamiento dado por el estiramiento o compresión del resorte desde su posición de equilibrio.

Desafío...

¿Qué resorte es más difícil de sacar de su punto de equilibrio, uno con coeficiente de elasticidad $k = 1$ o con coeficiente de elasticidad $k = 2$?

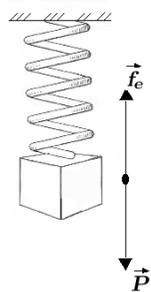
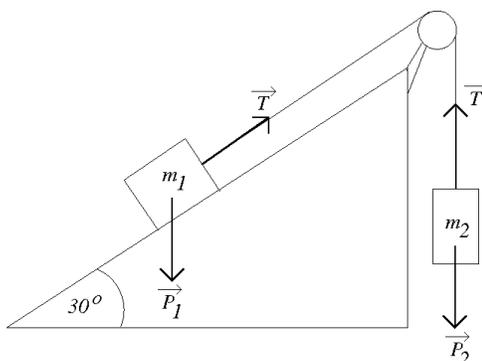


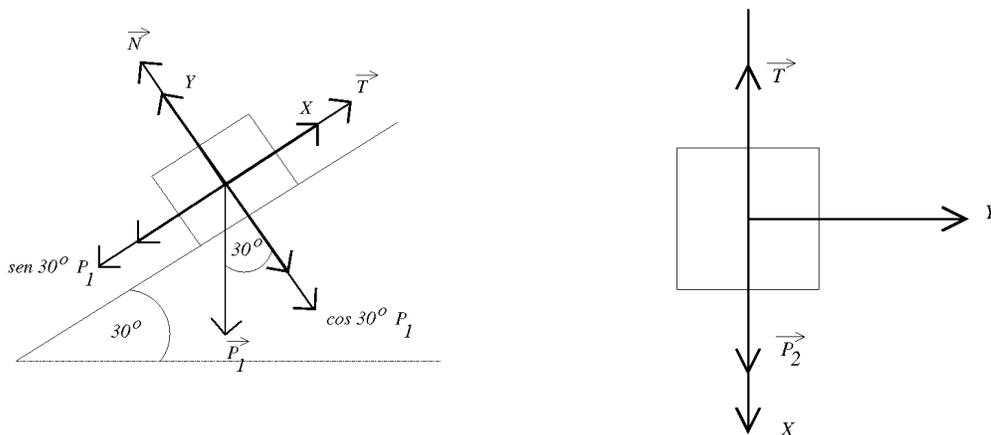
Figura 2.3: La fuerza elástica de un resorte es una fuerza de reacción al estiramiento o compresión sufrida.

Ejemplo

Una masa m_1 cuyo peso p_1 es $500[N]$, se encuentra en un plano inclinado liso que forma un ángulo de 30° con la horizontal. Una cuerda inextensible atada a la masa, pasa por una polea sin roce y se une a una segunda masa, m_2 , de peso p_2 desconocido, despreciando el peso de la cuerda. Calcule el peso de m_2 para que el sistema esté en reposo.



Solución: Dibujamos el DCL para m_1 y m_2 , donde el eje X del sistema de referencia está dado por la dirección de movimiento de cada masa.



Como el movimiento se produce en el eje X aplicamos el *Principio de superposición de fuerzas* en X , es decir, sumamos las componentes X de las fuerzas sobre las masas según nuestro sistema de referencia. Esta suma de fuerzas es:

$$-\sin(30^\circ) \cdot p_1 + T - T + p_2 = (m_1 + m_2) \cdot a_x$$

Note que la magnitud de las tensiones son idénticas ya que estamos estudiando la misma cuerda en ambos DCL, mientras que a_x es la componente en X del vector aceleración del sistema.

Como queremos que el sistema se encuentre en reposo, la aceleración debe ser igual a cero, reemplazando $a_x = 0$ en la ecuación anterior queda:

$$-\sin(30^\circ) \cdot p_1 + p_2 = 0$$

Despejamos p_2 :

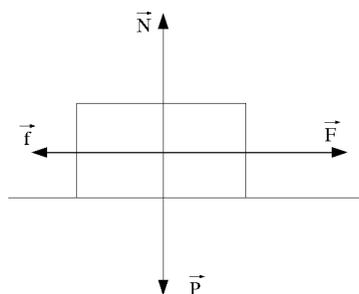
$$p_2 = \sin(30^\circ) \cdot p_1 = \frac{1}{2} \cdot p_1 = 250[N]$$

Ejercicios

2.8

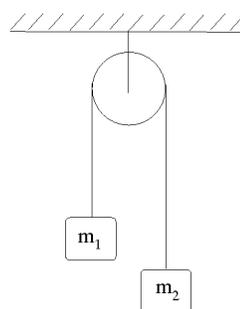
- ¿Cuál es la masa de un cuerpo al que una fuerza de $8[N]$ le imprime una aceleración de $4\left[\frac{m}{s^2}\right]$?
- ¿Cuál es la fuerza que aplicada a un cuerpo de $196[Kg]$ le imprime una aceleración de $10\left[\frac{m}{s^2}\right]$?
- Si la aceleración de gravedad de la Luna es igual a $1,67\left[\frac{m}{s^2}\right]$ calcule el peso de una masa de $70[Kg]$
- Un automóvil de $800[Kg]$ se desplaza en línea recta con una velocidad $v_1 = 10\left[\frac{m}{s}\right]$. El conductor pisa el acelerador durante un tiempo $\Delta t = 2[s]$, y la velocidad cambia entonces a $v_2 = 15\left[\frac{m}{s}\right]$
 - ¿Cuál es el valor de la aceleración que se imprime al auto?
 - Determine el valor de la fuerza neta que actúa sobre él.
- Un resorte tiene uno de sus extremos pegado al techo, mientras que del otro se cuelga una masa de $10[Kg]$. ¿Qué valor debe tener la constante de elasticidad para que el resorte se estire $5[m]$ desde su largo natural?
- Un bloque de masa $m = 2[Kg]$, es arrastrado sobre una superficie horizontal por una fuerza \vec{F} constante, de magnitud igual a $4[N]$ y dirección horizontal. Entre el cuerpo y la superficie hay una fuerza de fricción \vec{f} constante, de magnitud igual a $1[N]$

- a) ¿Cuál es la aceleración del bloque?
- b) Suponiendo que el bloque partió del reposo, ¿cuál será su velocidad y la distancia que recorre después de transcurrido un tiempo $t = 4[s]$?



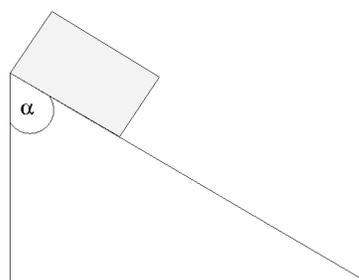
7. Dos masas unidas por una cuerda inextensible cuelgan sobre el soporte de una polea ideal. Si las masas son $m_1 = 60[Kg]$ y $m_2 = 40[kg]$, considerando $g = 10[\frac{m}{s^2}]$

- a) Calcular la aceleración del sistema.
- b) ¿Cuál es la tensión del sistema?



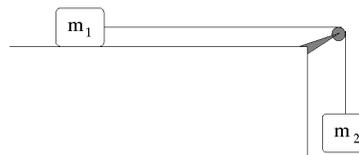
8. Un objeto cae por un plano inclinado como se muestra en la figura. Si la masa del objeto es $m = 60[Kg]$, $\alpha = 60^\circ$ y el coeficiente de roce cinético $\mu = 0,3$.

- a) Calcular el módulo de la normal.
- b) Encuentre la aceleración de caída del bloque.



9. Dos masas $m_1 = 20[Kg]$ y $m_2 = 10[Kg]$ unidas por una cuerda ideal se sueltan. El coeficiente de roce cinético entre m_1 y la superficie horizontal es $\mu = 0,5$.

- a) Calcular la aceleración de m_1 y m_2 .
- b) Encontrar la tensión de la cuerda..



2.3.3. Torque

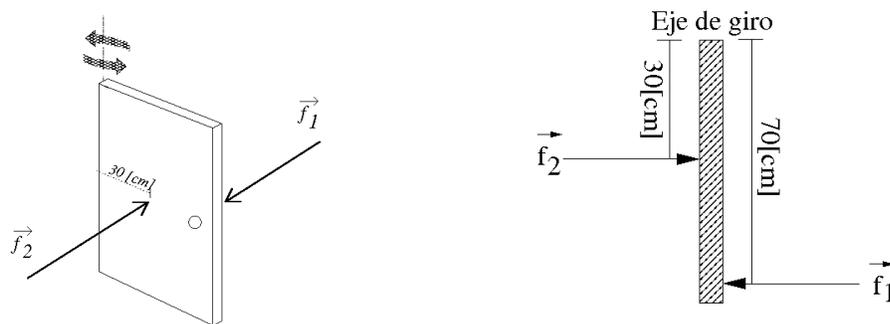
Es la medida cuantitativa de la tendencia de una fuerza para causar o alterar la rotación de un cuerpo respecto de un eje de giro. Este giro del cuerpo se facilita cuando la fuerza aplicada es grande y/o cuando aumenta la distancia del punto de aplicación de la fuerza respecto del eje de rotación. El torque es la contraparte rotacional de la fuerza. La fuerza tiende a cambiar el movimiento de las cosas, el torque tiende a torcer, o cambiar, el estado de rotación de las cosas.

El torque es una magnitud vectorial que depende de la fuerza \vec{f} aplicada, la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza y el eje de giro, denominada brazo; y del ángulo que se forma entre la fuerza aplicada y la superficie. Para efectos de P.S.U. sólo estudiaremos el caso en donde este ángulo es 90° . De lo contrario es posible obtener el torque aplicando el producto cruz entre los vectores. La magnitud del torque τ está dada por:

$$\tau = f \cdot d \quad (2.13)$$

Ejemplo

Una puerta está siendo cerrada con una fuerza \vec{f}_1 de magnitud $10[N]$ a $70[cm]$ del eje de giro, mientras que del otro lado alguien intenta abrirla aplicando una fuerza \vec{f}_2 de magnitud $20[N]$ a $30[cm]$ del eje de giro, ambas fuerzas son perpendiculares a la superficie de la puerta. ¿Cuál es el sentido de rotación que la puerta adquiere?



Solución: Según la ecuación (2.13) la magnitud del torque producido por la fuerza \vec{f}_1 es:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= 10[N] \cdot 70[cm] \\ &= 10[N] \cdot 0,7[m] \\ &= 7[N \cdot m] \end{aligned}$$

Mientras que la magnitud del torque producido por \vec{f}_2 es:

$$\begin{aligned} \tau_2 &= 20[N] \cdot 30[cm] \\ &= 20[N] \cdot 0,3[m] \\ &= 6[N \cdot m] \end{aligned}$$

Los torques están en la misma dirección pero en sentidos opuestos, por lo tanto al igual que en las fuerzas, por ser una magnitud vectorial debemos hacer la resta de los torques. Como

$\tau_1 > \tau_2$ la puerta gira en sentido de la fuerza \vec{f}_1 , es decir, la puerta se cierra gracias a un torque final $\vec{\tau}_f$ con magnitud igual a

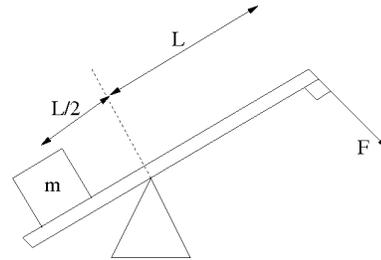
$$\begin{aligned}\tau_f &= \tau_1 - \tau_2 \\ &= 7[N \cdot m] - 6[N \cdot m] \\ &= 1[N \cdot m]\end{aligned}$$

✓ Diremos que un objeto está en *equilibrio mecánico* si la suma neta de fuerzas y de torques sobre el objeto es cero, es decir, $\sum \vec{f} = \sum \vec{\tau} = 0$.

Ejercicios

2.9

1. Si con un tubo se prolonga el mango de una llave hasta tres veces su longitud, ¿cuánto aumentará el torque con la misma fuerza aplicada?
2. En un juego de sube y baja hay dos niños A y B de masas $m_A = 25[Kg]$ y $m_B = 50[Kg]$ ubicados en los extremos de balancín. Si el niño de masa m_A se ubica a $2[m]$, ¿a qué distancia se debe ubicar el otro niño para que el balancín esté en equilibrio?
3. Se desea levantar un objeto de masa m por medio de una palanca ubicada a una distancia L de su punto de rotación, como indica la figura. ¿Cuál es la fuerza f mínima, perpendicular a la palanca, necesaria para levantar un cuerpo y mantenerlo en equilibrio en forma horizontal?



2.3.4. Cantidad de movimiento e impulso

También llamado *momentum* o *momento*, la cantidad de movimiento lineal de un cuerpo es una magnitud vectorial, \vec{p} , que corresponde a la relación entre su masa m y su velocidad \vec{v} :

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \tag{2.14}$$

De la segunda ley de Newton tenemos que

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

donde \vec{F} es la fuerza neta sobre un cuerpo y \vec{a} es la aceleración adquirida por el cuerpo. Pero como $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ la ecuación anterior puede ser escrita como:

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

de donde se deduce que

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Como $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$

$$\begin{aligned}\vec{F} \cdot \Delta t &= m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1) \\ &= m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1 \\ &= \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \\ \vec{F} \cdot \Delta t &= \Delta\vec{p}\end{aligned}$$

El producto entre la fuerza y el tiempo de aplicación de ésta, es igual a una variación del momentum del cuerpo.

Se llama *impulso* \vec{I} al vector cuya magnitud se obtiene de multiplicar una fuerza \vec{F} por el intervalo de tiempo, Δt , en el que actúa sobre un cuerpo:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t \quad (2.15)$$

También puede ser calculado con el producto de la masa m del objeto que está siendo impulsado y su variación de velocidad, lo que como vimos anteriormente es la variación de momentum:

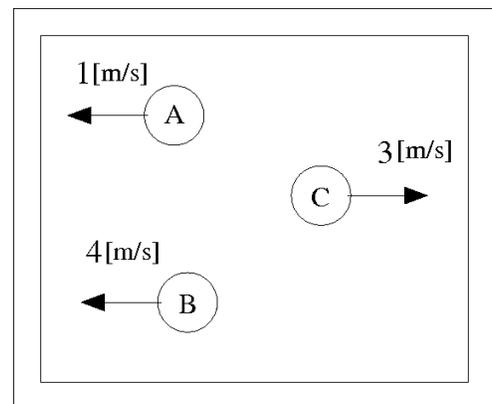
$$\vec{I} = m \cdot \Delta\vec{v} = \Delta p \quad (2.16)$$

🔗 Ejercicios

2.10

1. Sobre una mesa horizontal se encuentran tres esferas de acero. A , B y C , cuyas masas son $m_A = 2[Kg]$, $m_B = 0,5[Kg]$ y $m_C = 2[Kg]$. En un instante las esferas poseen las velocidades que se muestran en la figura. Para dicho instante:

- a) Calcule el valor de las cantidades de movimiento de cada cuerpo
- b) ¿Cuál es la magnitud, dirección y sentido del sistema formado por las esferas A y B ?
- c) Determine el módulo, dirección y sentido de la cantidad de movimiento total del sistema formado por las tres bolas.



2. Un bloque se desplaza en movimiento rectilíneo, por la acción de una fuerza resultante \vec{F} de $5[N]$. La fuerza \vec{F} actúa desde el instante $t_1 = 2[s]$ y $t_2 = 6[s]$
 - a) ¿Cuál es el valor del impulso producido por la fuerza sobre el cuerpo?
 - b) Si en el instante t_1 el valor de la cantidad de movimiento o momentum es $p_1 = 10 \left[\frac{Kg \cdot m}{s} \right]$, ¿cuál debe ser el valor de p_2 ?

3. Una partícula, de masa $m = 200[g]$ describe un trayectoria rectilínea por la acción de una fuerza única, que permanece constante. Observemos que la partícula pasa de una velocidad inicial $v_1 = 3 \left[\frac{m}{s}\right]$ a una velocidad final $v_2 = 8 \left[\frac{m}{s}\right]$ durante un intervalo de tiempo $\Delta t = 4[s]$.

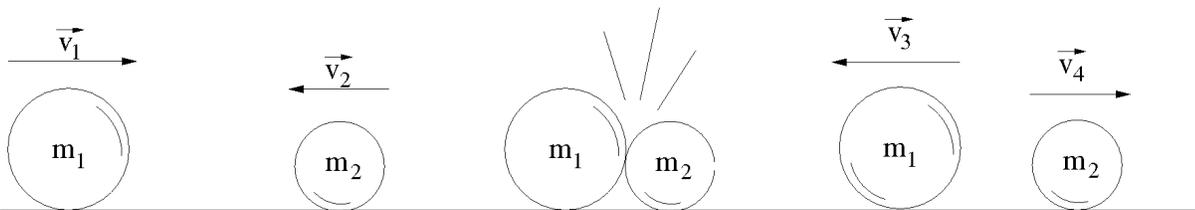
- ¿Cuáles son los valores de las cantidades de movimiento inicial p_1 y final p_2 de la partícula?
- ¿Qué valor tiene el impulso recibido por la misma?
- ¿Cuál es el valor de la fuerza que actúa sobre la partícula?

✓ El momentum total de un sistema aislado de cuerpos en movimiento es igual a la suma de cada uno de sus momentos, el cual permanece constante en todo instante. Esto último se conoce como *Principio de conservación de la cantidad de movimiento lineal*.

Un ejemplo en donde podemos estudiar el *momentum* y su conservación es un choque. Se denomina choque al evento en el cual dos o más cuerpos colisionan entre sí, distinguiéndose 3 tipos: *elástico*, *inelástico* y *plástico*. Las características de estos son:

→ **Choque elástico**

Luego de la colisión los cuerpos se separan sin sufrir deformaciones.



Antes de la colisión el momentum total del sistema es la suma de los momentum individuales de cada cuerpo, así $\vec{p}_i = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2$. Después de la colisión el momentum total del sistema, dado que los cuerpos se separan, está dado por la suma individual de los momentum de cada cuerpo, es decir $\vec{p}_f = m_1 \cdot \vec{v}_3 + m_2 \cdot \vec{v}_4$. Por conservación del momentum lineal, el momentum total del sistema antes del choque, \vec{p}_i , es igual al momentum total del sistema después de la colisión, esto es

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f$$

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_3 + m_2 \cdot \vec{v}_4$$

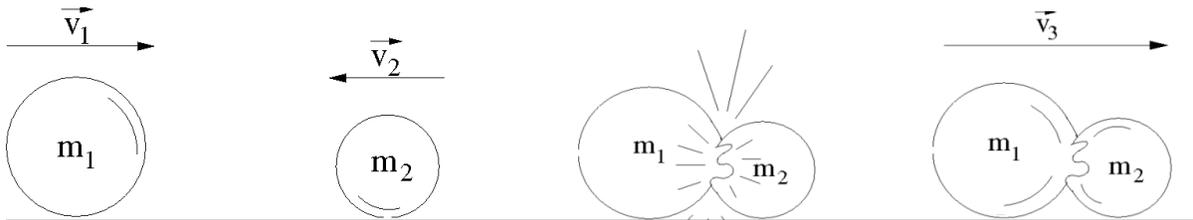
Note que las velocidades antes y después del choque no necesariamente son iguales.

→ **Choque inelástico**

Después del choque los cuerpos se separan, pero alguno de ellos queda con una deformación permanente. El análisis del momentum antes y después del choque es análogo al caso anterior, con la diferencia que la energía del sistema no se conserva.

→ Choque plástico

En el choque plástico o perfectamente inelástico, luego de la colisión los cuerpos quedan unidos, moviéndose como un solo cuerpo. El *momentum* es constante en todas las colisiones, pero la *energía cinética* es constante sólo en los choques elásticos, ya que en los choques inelástico y plástico se producen deformaciones, en las cuales se libera energía en forma de calor.



Antes de la colisión el momentum total del sistema es la suma de los momentum individuales de cada cuerpo, así $\vec{p}_i = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2$. Después de la colisión el momentum total del sistema, dado que los cuerpos quedan unidos, está dado por el momentum del nuevo objeto de masa $M = m_1 + m_2$, es decir $\vec{p}_f = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}_3$. Por conservación del momentum lineal, el momentum total del sistema antes del choque, \vec{p}_i , es igual al momentum total del sistema después de la colisión, esto es

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f$$

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}_3$$

 **Ejemplo**

Una bola de boliche de $7[Kg]$ choca frontalmente con un pino de $2[Kg]$. El pino vuela hacia adelante con rapidez de $3[\frac{m}{s}]$. Si la bola continúa hacia adelante con rapidez de $1[\frac{m}{s}]$, ¿cuál fue la rapidez inicial de la bola?

Solución: Sabemos que en todos los choques se cumple el *Principio de conservación del momentum*, es decir, el momentum antes del choque es igual al momentum después del choque. Utilizando la ecuación (2.14) la magnitud del momentum total antes de la colisión, p_i , es el de la bola de boliche:

$$p_i = 7[Kg] \cdot v_i$$

donde v_i es la rapidez inicial que estamos buscando.

La magnitud del momentum total después del choque, p_f , es el de la bola más el del pino:

$$p_f = 7[Kg] \cdot 1[\frac{m}{s}] + 2[Kg] \cdot 3[\frac{m}{s}]$$

Por *Principio de conservación del momentum* igualamos el momentum inicial p_i y el momentum final p_f para despejar la rapidez inicial v_i :

$$\begin{aligned}
 p_i &= p_f \\
 7[Kg] \cdot v_i &= 7[Kg] \cdot 1 \left[\frac{m}{s} \right] + 2[Kg] \cdot 3 \left[\frac{m}{s} \right] \\
 7[Kg] \cdot v_i &= 13 \left[Kg \cdot \frac{m}{s} \right] \\
 v_i &= \frac{13 \left[Kg \cdot \frac{m}{s} \right]}{7[Kg]} \\
 v_i &\simeq 1,9 \left[\frac{m}{s} \right]
 \end{aligned}$$

Desafío...

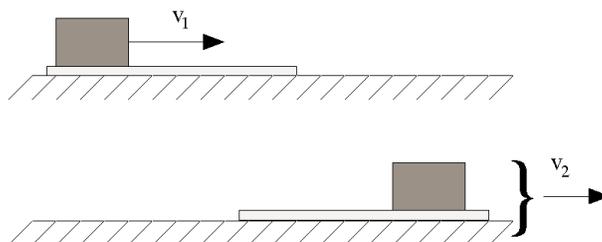


Considere un cuerpo que se desplaza con movimiento rectilíneo uniforme. ¿El momentum del cuerpo va cambiando? Explique. Tomando en cuenta la respuesta anterior ¿qué se puede concluir acerca del impulso que actúa sobre el cuerpo?

Ejercicios

2.11

- Dos vehículos de masas $100[Kg]$ y $120[Kg]$ respectivamente chocan frontalmente, antes del accidente el primero de ellos va con una rapidez de $60 \left[\frac{m}{s} \right]$ mientras que el segundo lleva una de $100 \left[\frac{m}{s} \right]$
 - Encuentre la rapidez de cada móvil si el choque es elástico
 - Calcular la rapidez después del choque si los automóviles quedan juntos
- Una placa de $10[Kg]$ de masa se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal, sin fricción. Un bloque de $5[Kg]$ de masa es arrojado horizontalmente sobre la placa, con una velocidad $v_1 = 6 \left[\frac{m}{a} \right]$. Debido a la fricción entre el bloque y la placa, ésta es arrastrada y también se pone en movimiento. Luego de cierto tiempo, el bloque y la placa alcanzan la misma velocidad final v_2 , y pasan a moverse juntos. ¿Cuál es el valor de la velocidad v_2



- Una bala de masa m y velocidad v se dispara contra un bloque de madera de masa M en reposo, incorporándose en dicho bloque. ¿Cuál es la velocidad del conjunto formado por la madera con la bala incrustada?

4. Un bloque de madera, cuya masa es de 500 gramos, se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal. Debido a la explosión de una bomba colocada en su interior, el bloque se fragmenta en 2 pedazos A y B . Se observa que el trozo A , con una masa de $200[g]$, es lanzado inmediatamente después de la explosión hacia la izquierda, con una velocidad de $15[\frac{m}{s}]$
- ¿Cuál era la cantidad de movimiento del bloque antes de la explosión?
 - ¿Cuál debe ser la cantidad de movimiento del sistema constituido por los dos fragmentos, inmediatamente después de la explosión?
 - ¿Cuál es el impulso adquirido por A y por B ?
 - Calcular la velocidad con la cual fue lanzado B inmediatamente después de la explosión.

Desafío...

Un bus del Transantiago choca a gran rapidez con una polilla. El cambio repentino de cantidad de movimiento del insecto lo estampa en el parabrisas. El cambio de cantidad de movimiento del bus ¿es mayor, menor o igual que la de la pobre polilla?

2.3.5. Energía Mecánica

Energía se define como la capacidad que tiene un objeto para realizar trabajo. Es una magnitud escalar y su unidad de medida en el Sistema Internacional de Medidas es el Joule $[J]$.

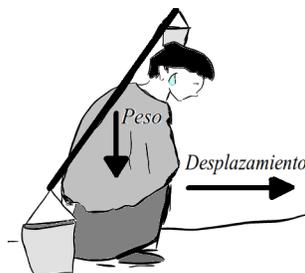
→ **Trabajo mecánico**

Cada vez que se aplica una fuerza \vec{f} constante, sobre un objeto que experimenta un desplazamiento de magnitud d en la dirección de la fuerza aplicada, se define como trabajo mecánico W a la magnitud escalar medida en Joule $[J]$ dada por:

$$W = f \cdot d \quad (2.17)$$

Si el ángulo que se forma entre el vector de la fuerza aplicada y el vector desplazamiento, σ , es distinto de cero, entonces utilizamos el *producto punto*:

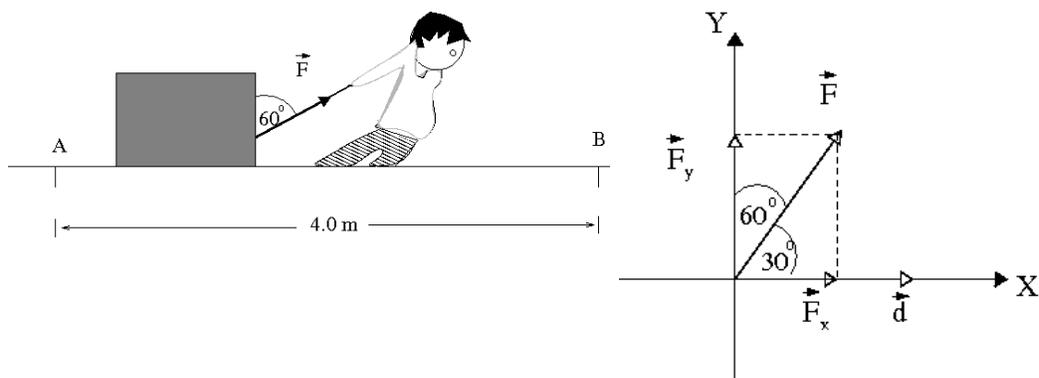
$$W = \vec{f} \cdot \vec{d} = |\vec{f}| \cdot |\vec{d}| \cos(\sigma) \quad (2.18)$$



Aunque la persona que carga el agua se canse, el trabajo hecho por la fuerza peso es cero. Trabajo mecánico y trabajo físico son conceptos distintos.

 **Ejemplo**

Una persona arrastra un bloque sobre una superficie horizontal perfectamente lisa, ejerciendo sobre él una fuerza $\vec{F} = 10[N]$ como muestra la figura. Sabiendo que el cuerpo se desplaza de A a B.



1. ¿Cuál es el ángulo entre la fuerza \vec{F} y el desplazamiento del cuerpo?
2. ¿Cuál es el trabajo realizado por la persona?

Solución: Dibujando el DCL del bloque tenemos que sólo hay desplazamiento en el eje X, de aquí que el ángulo entre la fuerza y el desplazamiento sea 30° . Por otro lado descomponemos el vector \vec{F} en sus componentes $\vec{F}_x = \vec{F} \cos(30^\circ)$ y $\vec{F}_y = \vec{F} \sin(30^\circ)$ y como sabemos que el trabajo total es igual a la suma de los trabajos de cada fuerza, aplicamos la definición (2.18) para cada eje: En el eje X la fuerza es \vec{F}_x , luego:

$$\begin{aligned} W_x &= F_x \cdot AB \cdot \cos(0^\circ) \\ &= 10 \cdot \cos(30^\circ)[N] \cdot 4,0[m] \\ &= 34,64[J] \end{aligned}$$

En el eje Y la fuerza es \vec{F}_y , luego:

$$W_y = F_y \cdot AB \cdot \cos(90^\circ)$$

Como $\cos(90^\circ) = 0$, el trabajo en el eje Y es cero, esto siempre ocurre cuando la fuerza y el vector desplazamiento son perpendiculares. Luego el trabajo total es:

$$\begin{aligned} W_T &= W_x + W_y \\ W_T &= 34,64[J] \end{aligned}$$

Desafío...



¿Cuánto trabajo efectúas sobre tu mochila, de $1[Kg]$ al cargarla horizontalmente cruzando un salón de $20[m]$ largo? ¿Cuánto trabajo realizas sobre ella al elevarla $1[m]$?

Ejercicios**2.12**

1. Calcule el trabajo desarrollado por un hombre que pesa $70[N]$ al subir un escalón de $20[cm]$
2. ¿A qué altura habrá sido levantado un cuerpo que pesa $98[N]$, si el trabajo empleado fue de $5.000[J]$?
3. Un cuerpo que pesa $1.470[N]$ se desliza por un plano inclinado de 30° de inclinación, recorriendo $200[m]$, ¿qué trabajo ha realizado?
4. Para levantar una piedra de $100[Kg]$ de masa desde el piso hasta cierta altura, se realiza un trabajo de $4.900[J]$, ¿cuál es la altura aproximada?

→ **Potencia mecánica**

La potencia P mide el trabajo realizado por unidad de tiempo, es decir, la rapidez de transferencia de energía en el tiempo. Es una magnitud escalar que tiene como unidad de medida Watt $[W]$ según el S.I.:

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.19)$$

Ejercicios**2.13**

1. ¿Cuántos watts de potencia se producen cuando una fuerza de $1[N]$ mueve $2[m]$ a un libro y se tarda $1[s]$?
2. ¿Qué requiere más trabajo, subir un saco de $100[Kg]$ una distancia de 3 metros, o subir un saco de $50[Kg]$ una distancia de $6[m]$?
3. Un calefón eléctrico tiene una potencia $P = 1,5[KW]$. Calcule cuánto cuesta calentar agua durante 2 horas y 30 minutos, sabiendo que $1[KWh]$ cuesta \$200.
4. En una construcción se sube un balde con arena de $20[N]$ a una velocidad de $4[\frac{m}{s}]$. Calcule la potencia del motor que mueve la instalación.
5. El motor de un automóvil que se desplaza por la carretera debe ejercer una fuerza de tracción de $3.000[N]$ para mantener una velocidad constante de $72[\frac{Km}{h}]$. ¿Cuál es la potencia que debe desarrollar?

→ **Energía cinética**

Se define como la energía asociada al movimiento de una partícula, siendo una magnitud escalar medida en Joule $[J]$.

La *energía cinética* K para un cuerpo de masa m y que lleva una rapidez v está dada por:

$$K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.20)$$

El trabajo total realizado por la fuerza neta constante sobre un cuerpo, es igual a la variación de la energía cinética que experimenta. Análogamente, si un cuerpo experimenta variación de la energía cinética, entonces se efectuó trabajo sobre él:

$$W = \Delta K = K_f - K_i \quad (2.21)$$

donde K_i es la energía cinética inicial del cuerpo y K_f corresponde a la final. Por lo tanto, un objeto en movimiento tiene energía cinética la que puede ocupar para transferir, es decir, para realizar trabajo.

🔗 Ejercicios

2.14

1. Calcule la energía cinética de un automóvil de $1.500[Kg]$ que viaja a $108[\frac{Km}{h}]$. Expresar su resultado en Joule.
2. Hallar la energía cinética de una bala de $200[g]$ cuya velocidad es de $300[\frac{m}{s}]$. Expresar su resultado en Joule.
3. Un cuerpo de masa $m = 2[Kg]$ se desplaza con una velocidad de $v = 5[\frac{m}{s}]$
 - a) ¿Cuál es la energía cinética del objeto?
 - b) ¿Cuántas veces menor sería el valor de la energía cinética si la masa del cuerpo hubiese sido tres veces menor?
 - c) ¿Cuántas veces mayor se volvería la energía cinética si la velocidad del cuerpo fuese duplicada?
4. Calcule la energía que se consumirá al frenar un tren de $78.400[N]$, que marcha a razón de $5[\frac{m}{s}]$
5. Un cuerpo de masa $m = 2[Kg]$, pasa por un punto A con velocidad $v_A = 3[\frac{m}{s}]$
 - a) Si la velocidad del cuerpo al pasar por otro punto, B , fuera $v_B = 4[\frac{m}{s}]$ ¿cuánto vale el trabajo total realizado sobre el cuerpo?
 - b) Si la fuerza actuara sobre el cuerpo en sentido contrario al movimiento, realizando un trabajo negativo $W_{AB} = -7[J]$ ¿cuál será la energía cinética del objeto al llegar a B ?

→ Energía potencial gravitacional

Es la energía asociada a las fuerzas de interacción gravitatoria y a la posición de los cuerpos respecto de un sistema de referencia. También se trata de una magnitud escalar medida en Joule.

La energía potencial gravitacional U de un cuerpo de masa m que está a una altura h respecto de un sistema de referencia es:

$$U = m \cdot g \cdot h \quad (2.22)$$

donde g es la magnitud de la aceleración de gravedad.

El trabajo hecho por la fuerza gravitacional sobre cualquier objeto es:

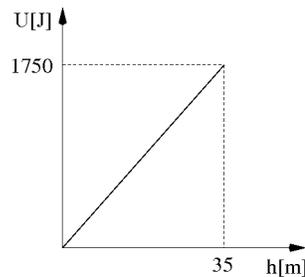
$$W = -\Delta U = U_i - U_f \quad (2.23)$$

donde U_i es la energía potencial gravitacional inicial del cuerpo y U_f corresponde a la final.

Ejercicios

2.15

- ¿Cuántos joules de energía potencial gana un libro de $1[Kg]$ cuando se eleva $4[m]$?
- En cuánto aumenta o disminuye la energía potencial gravitatoria de un cuerpo si:
 - la masa aumenta al doble
 - la altura aumenta al doble
 - la altura disminuye a la cuarta parte
 - la masa disminuye a la cuarta parte
- Una lámpara de masa $m = 2[Kg]$ se desprende del techo y cae sobre el piso de una sala, desde una altura $h_a = 3[m]$
 - ¿Cuánto valía la energía potencial gravitacional de la lámpara en relación con el suelo un momento antes de caer?
 - ¿Cuál es la energía potencial al pasar por el punto B , situado a una altura $h_B = 2[m]$?
 - ¿Qué trabajo realizó la lámpara al caer desde A hasta el piso?
 - Calcule el trabajo que realiza el peso de la lámpara en el desplazamiento de A a B
- El gráfico representa la energía potencial gravitatoria U de una partícula en función de su altura h respecto de la Tierra. ¿Cuál es la masa de la partícula?



Desafío...



Alguien te quiere vender una “superpelota” y dice que rebota a mayor altura que aquella desde la que la dejaron caer. ¿Es posible esto?

→ Principio de conservación de la energía mecánica

La *energía mecánica* total E_t de un sistema se define como la suma de la energía cinética y la energía potencial:

$$E_t = K + U \quad (2.24)$$

Si no hay fuerzas externas que realicen trabajo sobre el sistema, y tampoco fuerzas no conservativas (roce y magnetismo) actuando sobre los objetos dentro del sistema, la energía mecánica total del sistema es constante:

$$K_i + U_i = K_f + U_f \quad (2.25)$$

Lo anterior es posible verificarlo igualando las ecuaciones (2.21) y (2.23).

 **Ejemplo**

Un cuerpo de $8[Kg]$ de masa cae libremente desde el reposo a cierta altura h . Cuando se encuentra a $45[m]$ del suelo su rapidez vale $40[\frac{m}{s}]$. Si la aceleración de gravedad $g = 10[\frac{m}{s^2}]$.

1. Calcule la energía mecánica del cuerpo.
2. ¿Cuál es la altura h desde la que cayó el objeto?

Solución: Para la pregunta 1. reemplazando en la ecuación (2.24), las ecuaciones (2.20) y (2.22) se tiene:

$$E_t = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$$

Por el *Principio de conservación de la energía mecánica* podemos calcular E_t cuando el cuerpo está a $45[m]$, así reemplazando los datos:

$$E_t = \frac{1}{2} \cdot 8[Kg] \cdot 40^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2 + 8[Kg] \cdot 10 \left[\frac{m}{s^2}\right] \cdot 45[m] = 10.000[J]$$

Para la pregunta 2. como el cuerpo cae desde el reposo, cuando la altura es h la energía cinética es cero, luego sólo hay energía potencial gravitatoria. Despejamos el valor de h de la ecuación (2.22), sustituyendo los datos obtenemos:

$$h = \frac{U}{m \cdot g} = \frac{10.000[J]}{10 \left[\frac{m}{s^2}\right] \cdot 8[Kg]} = 125[m]$$

Desafío...

Supón que tú y dos de tus compañeros discuten sobre el diseño de una montaña rusa. Uno dice que cada joroba debe ser más baja que la anterior. El otro dice que eso es una tontería, porque mientras que la primera sea más alta, no importa qué altura tienen las demás. ¿Qué opinas tú?

 **Ejercicios****2.16**

1. Un balón de masa $5[Kg]$ es lanzado verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial $v_0 = \left[\frac{m}{s}\right]$. ¿Qué altura alcanzará el objeto?
2. Del ejercicio anterior. Si aumentamos al doble la masa del objeto ¿cómo varía la altura máxima?
3. Un niño se desliza idealmente (sin roce) en un tobogán. Si parte del reposo en a una altura de $18[m]$, ¿con qué velocidad llegará al punto más bajo del aparato?
4. Suponga que en el ejercicio anterior existe fricción en el movimiento del niño al bajar por el tobogán. Si sabemos que la altura del aparato es $h = 8[m]$, la masa del niño es $m = 50[Kg]$, y que llega a B con una velocidad $v = 10 \left[\frac{m}{s}\right]$.
 - a) Determine la energía mecánica total del niño en A y en B .

- b) ¿Cuál es la cantidad de calor generada por la fricción en el desplazamiento del pequeño?
5. Un cuerpo de masa $3[Kg]$ se lanza, sin rotar, desde una altura de $15[m]$ con una rapidez de $2[\frac{m}{s}]$, llegando al suelo con una rapidez de $16[\frac{m}{s}]$. Entonces, ¿cuánta energía pierde este cuerpo producto del roce con el aire?
6. Un pájaro de $2[Kg]$ vuela a $20[m]$ de altura con una rapidez de $20[\frac{m}{s}]$. Calcule:
- Su energía cinética.
 - Su energía potencial.
 - Su energía mecánica.
7. Un carro de $120[Kg]$ va a una velocidad de $9[\frac{m}{s}]$, el cual comienza a subir una cuesta sin acelerar. ¿Hasta qué altura llega?
8. Desde un avión cuya velocidad es de $270[\frac{Km}{h}]$, se deja caer un cuerpo de $10[Kg]$. Si el avión se encuentra a una altura de $1.000[m]$, calcule:
- La energía cinética inicial del cuerpo.
 - Su energía potencial inicial respecto del suelo.
 - Su energía total.
 - La energía cinética y la velocidad con que llegará al suelo.
 - La energía potencial, la energía cinética y la velocidad del cuerpo cuando se encuentra a $500[m]$ de altura.
 - La altura del cuerpo cuando su energía cinética haya aumentado en un 30% de su valor inicial.
-

2.4. Mini Ensayo I

Movimiento, fuerza y energía

1. Si inicialmente una partícula con M.U.A. tiene una velocidad $v_i = 2 \left[\frac{m}{s} \right]$, y un segundo más tarde tiene una velocidad $v_f = 5 \left[\frac{m}{s} \right]$. La aceleración y la velocidad al cabo del siguiente segundo serán respectivamente :

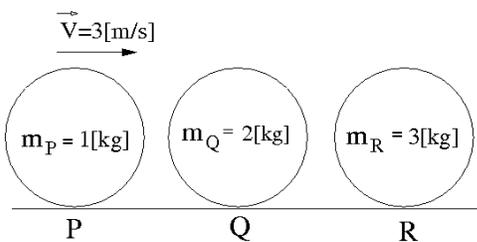
- a) $7 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ y $3 \left[\frac{m}{s} \right]$
- b) $3 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ y $8 \left[\frac{m}{s} \right]$
- c) $3 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ y $3 \left[\frac{m}{s} \right]$
- d) $7 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ y $7 \left[\frac{m}{s} \right]$
- e) $-3 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ y $5 \left[\frac{m}{s} \right]$

2. Un automóvil realiza un viaje en 2 horas llevando una rapidez media de $60 \left[\frac{Km}{h} \right]$. Si hiciese el mismo trayecto con una rapidez media de $90 \left[\frac{Km}{h} \right]$. ¿Cuánto tiempo ahorraría?

- a) 15 minutos
- b) 20 minutos
- c) 30 minutos
- d) 40 minutos
- e) 50 minutos

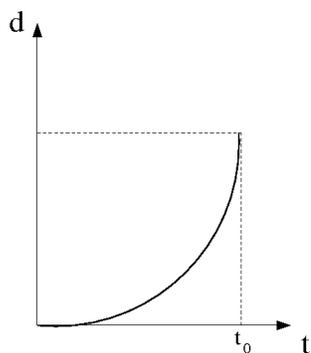
3. La figura muestra tres bolas de pool alineadas, dos de ellas inicialmente en reposo. Luego de chocar con Q, la bola P queda en reposo. Si a su vez, la bola Q también queda en reposo después de colisionar con R ¿Qué rapidez adquiere esta última?

- a) $0[m/s]$
- b) $1[m/s]$
- c) $2[m/s]$
- d) $4[m/s]$
- e) $6[m/s]$



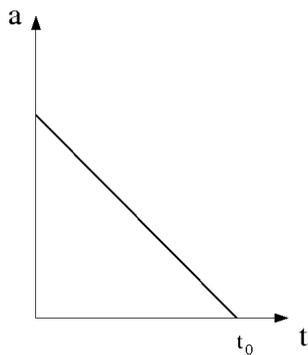
2.4. MINI ENSAYO I
MOVIMIENTO, FUERZA Y ENERGÍA

4. La parábola del gráfico representa la distancia recorrida, en función del tiempo, para un objeto que se mueve en línea recta.

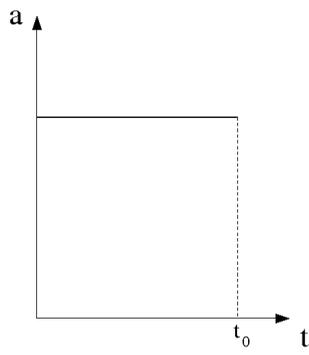


¿Cuál de los siguientes gráficos corresponde a la aceleración en función del tiempo?

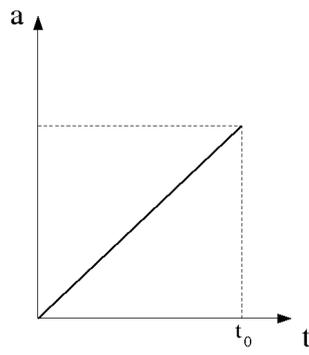
a)



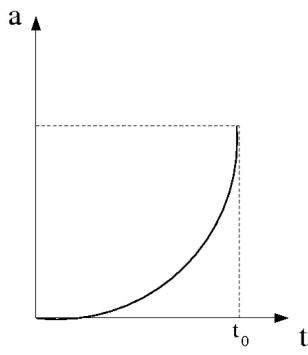
b)



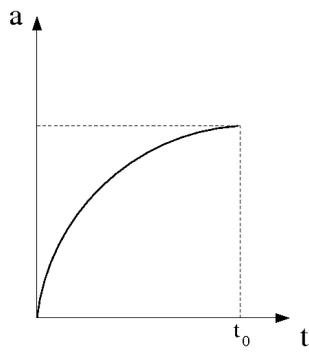
c)



d)



e)



5. Un cuerpo pesa en otro planeta $600[N]$. Si la aceleración de gravedad en dicho planeta es de $3\left[\frac{m}{s^2}\right]$, entonces el cuerpo pesa en la Tierra (considere $g = 10\left[\frac{m}{s^2}\right]$):

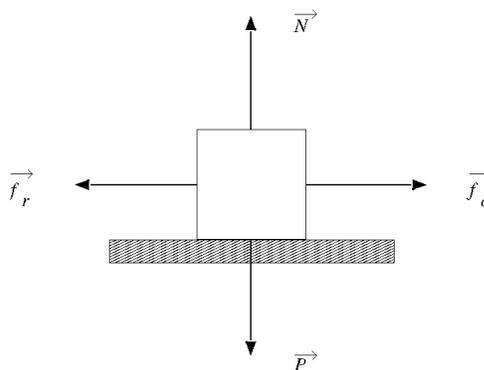
- a) $600[N]$
- b) $980[N]$
- c) $1.000[N]$
- d) $1.400[N]$
- e) $2.000[N]$

6. Un móvil se mueve con fuerza neta igual a $12[N]$, experimentando una aceleración $6\left[\frac{m}{s^2}\right]$. ¿Qué pasa con esta fuerza, si en otro instante de su recorrido el móvil desarrolla una aceleración de $3\left[\frac{m}{s^2}\right]$?

- a) Disminuye en $6[N]$
- b) Aumenta en $6[N]$
- c) Disminuye en $9[N]$
- d) Aumenta en $9[N]$
- e) Se mantiene en $12[N]$

7. Según la figura, sobre el bloque en movimiento actúan 4 fuerzas: la fuerza aplicada \vec{f}_a , la fuerza de roce \vec{f}_r , la normal \vec{N} de $120[N]$ de magnitud y la fuerza gravitacional \vec{P} . Si el coeficiente de roce estático es $\mu_s=0,6$. ¿Cuál debería ser la magnitud de \vec{f}_a para que el bloque permanezca en reposo?

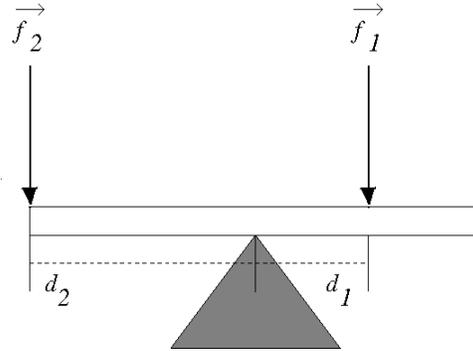
- a) $60[N]$
- b) $62[N]$
- c) $72[N]$
- d) $120[N]$
- e) $200[N]$



2.4. MINI ENSAYO I
MOVIMIENTO, FUERZA Y ENERGÍA

8. Se pide que el sistema de la figura se mantenga en equilibrio. ¿Cuánto debe valer la magnitud de \vec{f}_2 si el módulo de \vec{f}_1 es $10[N]$ y las distancias d_1 y d_2 son, respectivamente, $0,3[m]$ y $0,6[m]$?

- a) $4[N]$
- b) $5[N]$
- c) $6[N]$
- d) $7[N]$
- e) $8[N]$



9. La unidad de medida del trabajo mecánico es:

- a) Watt
- b) Newton
- c) Dina
- d) Joule
- e) $\left[\frac{Kg \cdot m}{s^2}\right]$

10. Un cuerpo de $3[Kg]$ cae libremente desde una altura de $20[m]$. Cuando ha caído $12[m]$, su energía cinética y potencial gravitacional son respectivamente (considere $g = 10 \left[\frac{m}{s^2}\right]$):

- a) $300[J]$ y $240[J]$
- b) $360[J]$ y $240[J]$
- c) $360[J]$ y $600[J]$
- d) $600[J]$ y $360[J]$
- e) $240[J]$ y $360[J]$

11. Un cuerpo se suelta desde una altura de $20[m]$ ¿Con qué rapidez llega al suelo? Prescindiendo del roce con el aire y considerando la aceleración de gravedad igual a $10 \left[\frac{m}{s^2}\right]$.

- a) $10 \left[\frac{m}{s}\right]$
- b) $20 \left[\frac{m}{s}\right]$
- c) $30 \left[\frac{m}{s}\right]$
- d) $40 \left[\frac{m}{s}\right]$
- e) $400 \left[\frac{m}{s}\right]$

12. Un estudiante sostiene en su mano, a una altura h_1 del suelo, un cuerpo de masa M . Si luego sube lentamente su mano, verticalmente hacia arriba hasta una altura h_2 , con rapidez constante, entonces el peso del cuerpo realiza un trabajo igual a:

- a) $-M \cdot g \cdot h_2$
- b) $M \cdot g \cdot h_2$
- c) $-M \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$
- d) $M \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$
- e) 0

13. Un cometa viajando pierde la mitad de su masa y aumenta su rapidez al doble; entonces su energía cinética:

- a) Aumenta al triple
- b) Aumenta al doble
- c) Disminuye a la mitad
- d) Aumenta al cuádruple
- e) Se mantiene constante

14. Un cuerpo A de masa m_a y rapidez v_a choca con otro cuerpo B , idéntico al anterior y en reposo. Con esta información se puede calcular:

- I El momentum total del sistema después del choque.
- II El momentum individual de los cuerpos después del choque.
- III La velocidad individual después del choque.

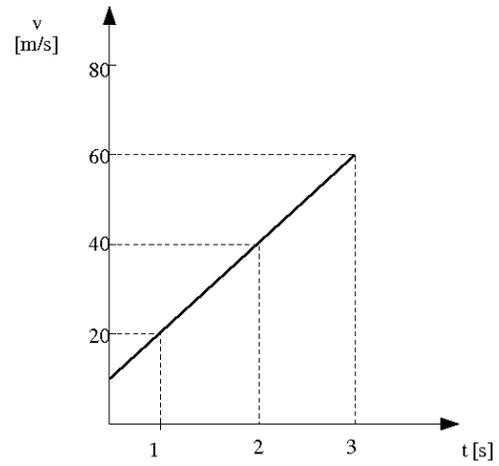
Es(son) verdadera(s):

- a) Sólo I
- b) Sólo II
- c) Sólo III
- d) I y II
- e) I, II y III

2.4. MINI ENSAYO I
MOVIMIENTO, FUERZA Y ENERGÍA

15. El gráfico representa la rapidez de un objeto de $1[Kg]$ que se mueve en línea recta; la fuerza ejercida sobre el móvil es:

- a) $1[N]$
- b) $2[N]$
- c) $4[N]$
- d) $10[N]$
- e) $20[N]$



Capítulo 3

Electromagnetismo

3.1. Introducción

La palabra electricidad deriva de elektrón que en griego significa ámbar, material que Tales de Mileto, alrededor del siglo VI a.C., estudió por su capacidad de atraer objetos al ser frotado. Por otro lado, el magnetismo se comenzó a estudiar por los griegos en el año 800 a.C. a través de la observación de ciertas piedras capaces de atraer trozos de hierro, a las cuales denominaron magnetitas. Después de mucho tiempo de experimentación y análisis, en 1820 Christian Oersted descubre que toda corriente eléctrica produce un campo magnético a su alrededor; Michael Faraday, diez años después, demuestra que cuando el campo magnético al interior de una bobina varía, entonces se induce una corriente eléctrica en ésta. De esta manera se va aclarando la relación que existe entre la electricidad y el magnetismo, hasta que James Clerk Maxwell desarrolla las ecuaciones que llevan su nombre, con éstas demuestra que la electricidad, el magnetismo y hasta la luz son manifestaciones del mismo fenómeno, el campo electromagnético.

3.2. Electricidad

3.2.1. Cargas eléctricas

Propiedades de las cargas eléctricas:

- Hay dos tipos de cargas eléctricas: la positiva (protón) y la negativa (electrón)
- Las cargas eléctricas cumplen la *Ley de los signos*: **Cargas iguales se repelen entre sí y cargas opuestas se atraen.**
- La carga eléctrica siempre se conserva.
- La unidad de medida de la carga eléctrica en el S.I. es el Coulomb $[C]$, nombre que lleva en honor a Charles Coulomb.
- La carga está cuantizada, es decir, la materia está compuesta por cargas que siempre son múltiplos enteros de $1,602 \cdot 10^{-19}[C]$
- La carga de un electrón es $-1,602 \cdot 10^{-19}[C]$ y la de un protón es $1,602 \cdot 10^{-19}[C]$
- Pueden ser conducidas o no a través de los cuerpos según la siguiente clasificación:

→ **Conductores**

Materiales en los cuales las cargas eléctricas se mueven libremente, por ejemplo el cobre y el oro.

→ **Aislantes**

Materiales en los cuales las cargas eléctricas no se mueven libremente, por ejemplo el vidrio, el caucho y la madera. Los elementos aislantes también son conocidos como dieléctricos.

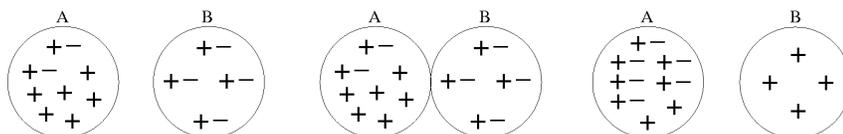
→ **Semiconductores**

Materiales cuyas propiedades eléctricas se encuentran en medio de los conductores y los aislantes, por ejemplo el silicio y el germanio.

- Un cuerpo eléctricamente neutro es aquel que posee tanta cantidad de electrones como de protones. Éste se puede cargar de tres formas distintas:

→ **Carga por contacto**

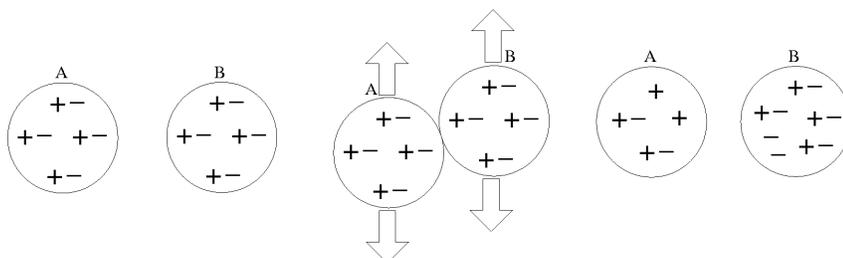
Un objeto cargado toca a uno neutro transfiriéndole algunos electrones. El objeto que se carga por contacto queda con una carga del mismo signo que el objeto de donde procede la carga.



El cuerpo *A*, cargado positivamente, se pone en contacto con el cuerpo *B*, neutro (con carga neta cero). Al quedar en contacto el cuerpo *B* cede electrones a *A*, por lo que al separarlos ambos quedan cargados positivamente.

→ **Carga por fricción**

Si dos cuerpos eléctricamente neutros se frotan entre sí, uno de ellos le transferirá electrones al otro, de modo que al separarlos uno queda con carga positiva y el otro con carga negativa. La magnitud de la carga en ambos cuerpos después de la fricción es la misma, pero de signo opuesto.



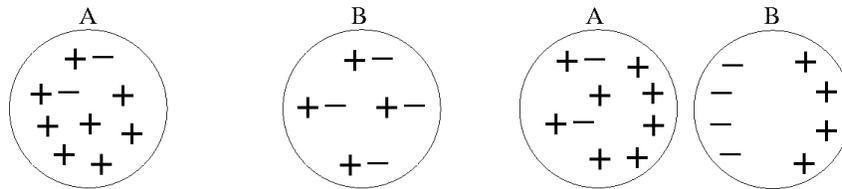
Inicialmente los cuerpos *A* y *B* están eléctricamente neutros, al frotarlos el cuerpo *A* cede electrones a *B*, quedando ambos cargados con signos contrarios.

La fricción es una manera de hacer que dos cuerpos interactúen de forma atómica. El átomo

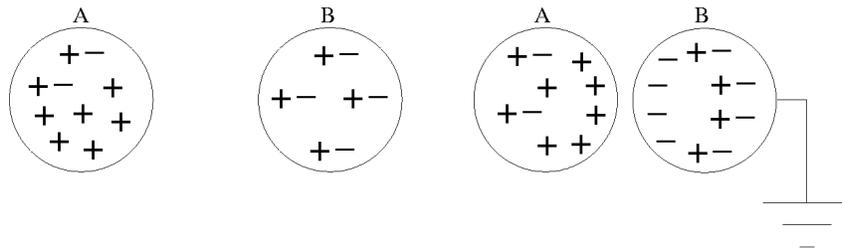
que ejerza menos fuerza sobre sus electrones tenderá a perderlos. De esta manera, un mismo cuerpo podrá electrizarse positiva o negativamente, dependiendo del cuerpo con el cual se frote. Ejemplo de esto es que al frotar seda con vidrio ésta queda con carga negativa, ya que “quita” electrones al vidrio; mientras que al frotar seda con hule, adquiere carga positiva, ya que “sede” electrones al hule. Se ha formado una serie, llamada serie triboeléctrica, de elementos ordenados de modo que cualquiera de ellas adquiere carga positiva si es frotado por cualquier elemento que la precede.

→ **Carga por inducción**

Un objeto cargado *A*, llamado inductor, se acerca a uno eléctricamente neutro *B* y, dependiendo si la carga del cuerpo inductor *A* es positiva o negativa, los electrones del cuerpo neutro *B* se acercarán o alejarán quedando polarizado.



Si el cuerpo inicialmente neutro *B* tuviera conexión a tierra quedaría con carga eléctrica de signo contrario a la del inductor *A*. Note que no existe contacto físico en este proceso.



La conexión a tierra permite que los electrones libres de la Tierra se muevan hacia el cuerpo *B*, neutralizando a las cargas positivas del objeto. Siempre debemos tener en cuenta que la Tierra se comporta como un objeto eléctricamente neutro, el cual cede o recibe tantos electrones como sea necesario.

Desafío...



Dos hojas del mismo tipo de papel son frotadas entre sí. ¿Quedarán electrizadas? ¿Y si frotamos dos barras hechas de un mismo tipo de plástico?

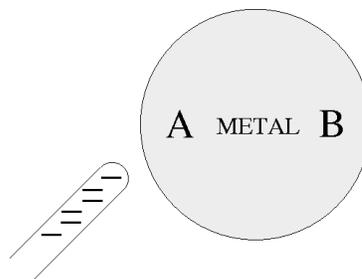
Ejercicios

3.1

1. Un autobús en movimiento adquiere carga eléctrica debido al roce con el aire
 - a) Si el ambiente del lugar es seco, ¿el autobús permanecerá electrizado?
 - b) Una persona al apoyarse en el pasamanos de metal recibe una descarga, ¿por qué?
 - c) ¿Porqué este fenómeno es poco común en climas secos?
2. Para evitar la formación de chispas eléctricas, los camiones que transportan gasolina suelen traer por el suelo una cadena metálica. ¿Por qué?

3. Una barra electrizada negativamente se coloca cerca de un cuerpo AB metálico no electrizado, como se muestra en la figura.

- a) ¿Hacia dónde se desplazarán los electrones libres de este cuerpo metálico?
- b) Entonces, ¿cuál es el signo de la carga que aparece en A ? ¿Y en B ?
- c) ¿Cómo se denomina esta separación de cargas que ocurrió en el cuerpo metálico?



4. Supongamos que el cuerpo AB del ejercicio anterior es un dieléctrico

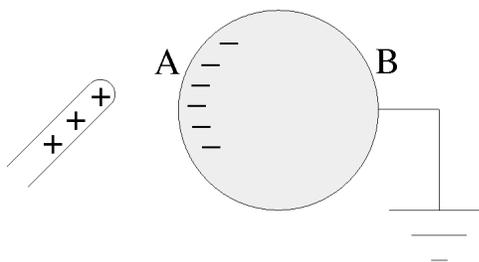
- a) ¿Habrá movimiento de electrones libres?
- b) Entonces, ¿cuál es el signo de la carga eléctrica que aparece en el extremo A del aislante? ¿Y en B ?
- c) ¿Cómo se llama el fenómeno que se produjo en el dieléctrico AB ?

5. Considere nuevamente la figura del ejercicio 3. Suponga que el extremo B del conductor se conecta a tierra mediante un hilo conductor.

- a) Describa el movimiento de cargas que se producirá debido a esta conexión.
- b) Al eliminar el contacto de AB con tierra y alejar el inductor, ¿el cuerpo metálico quedará electrizado? ¿Cuál es el signo de su carga?

6. En la figura suponga que alejamos el inductor del conductor, antes de deshacer su conexión a tierra.

- a) ¿Qué sucederá con los electrones en exceso del conductor AB ?
- b) ¿El cuerpo AB permanecerá electrizado de forma positiva o negativa, o bien quedará neutro?



3.2.2. Voltaje

El **voltaje es energía por unidad de carga**, es una magnitud escalar y también es llamada diferencia de potencial o tensión. Puede entenderse como la capacidad de una carga eléctrica para moverse en presencia de una fuerza eléctrica. El **Volt** $[V]$, denominado así en honor a Alessandro Volta inventor de la pila eléctrica, según el S.I. es la unidad de medida de la diferencia de potencial entre los polos de una fuente de energía eléctrica. Un voltaje de $1[V]$ significa que para mover una carga de $1[C]$ entre dos puntos se necesita $1[J]$ de energía y es posible medirlo con un instrumento llamado voltímetro.

3.2.3. Corriente eléctrica

Intensidad de corriente o corriente eléctrica I se define como la cantidad de cargas eléctricas Q que atraviesan una sección en un intervalo de tiempo Δt determinado, así:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \quad (3.1)$$

Ejemplo

Se tiene un conductor de cobre de sección transversal $1,5[mm^2]$ por donde circula una corriente de $0,45[A]$. ¿Cuál es la cantidad neta de electrones que cruzan esta sección transversal, cuando se mantiene encendida una ampolleta durante una hora?

Solución: Primero calculamos la cantidad de cargas que circula por el conductor en el intervalo de 1 segundo, esto a través de la ecuación (3.1):

$$Q = 0,45[A] \cdot 1[s] = 0,45[C]$$

Sabemos que 1 hora equivale a 3.600 segundos, así usando el resultado anterior podemos encontrar la cantidad de carga que circula por el conductor durante 1 hora:

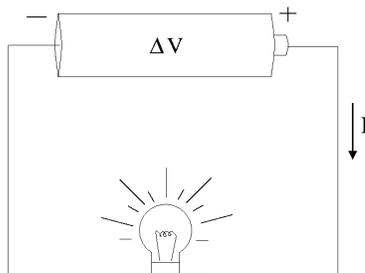
$$0,45[C] \cdot 3.600 = 1.620[C]$$

Sabemos que la carga está cuantizada, es decir, la materia está compuesta por cargas que siempre son múltiplos enteros de $1,602 \cdot 10^{-19}[C]$. En este caso los electrones poseen carga igual a $-1,602 \cdot 10^{-19}[C]$, así, tomando su valor absoluto, encontramos la cantidad de electrones contenidos en $1.620[C]$ de carga:

$$\frac{1.620[C]}{1,602 \cdot 10^{-19}[C]} = 1,01 \cdot 10^{22} \text{ electrones}$$

Algunas características de la corriente son:

- La corriente eléctrica es una magnitud escalar medida según el S.I. en **Ampere** $[A]$, denominada así en honor a André-Marie Ampère por sus importantes aportes en electromagnetismo. La corriente eléctrica puede ser medida con un instrumento llamado *amperímetro*.
- Se produce debido a una diferencia de potencial eléctrico o voltaje, el cual es proporcionado por fuentes de energía como baterías. A continuación se explica el funcionamiento de una pila, aplicable a cualquier generador de corriente:



La corriente fluye desde el polo positivo al polo negativo de la fuente. Cuando la carga positiva llega al polo negativo de la pila, ésta le entrega energía de modo que es llevada nuevamente al nivel alto de voltaje reiniciando la circulación, lo que permite el flujo de cargas en el tiempo, es decir, la corriente eléctrica.

Ejercicios

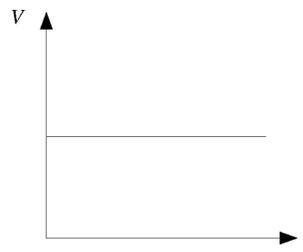
3.2

1. P , Q y R son tres partículas cargadas. Si P y R se atraen y R se repele con Q , ¿qué interacción se daría entre P y Q ?
2. ¿Cuál es la corriente eléctrica que fluye por un cable de cobre, si por él circulan $1,4[C]$ en $0,5$ segundos?
3. ¿Cuánto tiempo demorarán $20[C]$ en cruzar por un punto de un conductor en el que circulan $5[A]$?

- Por convención se dice que las cargas eléctricas se mueven desde el polo positivo de la fuente de voltaje al polo negativo.
- Existen dos tipos de corriente según su sentido de flujo:

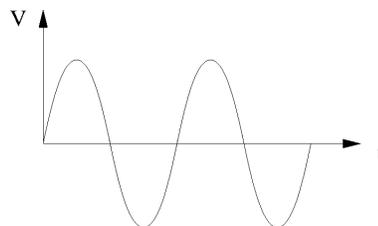
→ **Corriente continua**

Corriente que circula siempre en un mismo sentido. Esto se debe a que la fuente de voltaje produce una diferencia de potencial constante en sus polos, por ejemplo las pilas. El siguiente gráfico muestra como varía el voltaje en función del tiempo para corriente continua:



→ **Corriente alterna**

Corriente que cambia periódicamente su sentido de flujo en el tiempo, dado que los polos positivo y negativo de la fuente de voltaje se alternan. El tendido eléctrico doméstico se alimenta con este tipo de corriente. El siguiente gráfico muestra como varía el voltaje en función del tiempo para corriente alterna:



3.2.4. Resistencia

Es la medida de la oposición que un conductor presenta al paso de la corriente eléctrica. Así a mayor valor de la resistencia menor es la capacidad de conducción del material y viceversa. Es una magnitud escalar, medida según el S.I. en **Ohm** $[\Omega]$, que depende del material del conductor y es directamente proporcional a su temperatura.

Para un conductor de largo l , área transversal a y resistividad ρ se tiene que la resistencia R está dada por:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{a} \tag{3.2}$$

La resistividad es una característica intrínseca del material debido a su composición molecular.

La conductividad σ es el inverso de la resistividad:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.3)$$

🔧 Ejercicios

3.3

1. ¿Cuál es la resistencia eléctrica de un alambre de acero de $200[m]$ de largo y cuya sección transversal tiene $2[mm]$ de radio? La resistividad del acero a temperatura ambiente del acero es igual a $12,3 \cdot 10^{-8}[\Omega m]$
2. ¿Cuál debería ser el largo de un conductor cilíndrico de acero de sección transversal de radio $1[mm]$, para que tenga una resistencia eléctrica de $1[\Omega]$?
3. Si para la pregunta anterior se usara oro (su resistividad es $2,44 \cdot 10^{-8}[\Omega m]$ a temperatura ambiente) en lugar de acero, ¿cuántas veces mayor sería el conductor?
4. Determine la resistividad de un alambre de aluminio de $50[m]$ de largo, sabiendo que su área de sección transversal es $10^{-5}[m^2]$ y la resistencia es de $0,141[\Omega]$.
5. ¿Cuál debería ser el radio de la sección transversal de un alambre de cobre de largo $1.000[m]$, cuya resistencia eléctrica es de $2[\Omega]$ y su resistividad es de $1,7 \cdot 10^{-8}[\Omega m]$?

3.2.5. Ley de Ohm

Cuando se aplica un voltaje V a través de los extremos de un conductor metálico a temperatura constante, se comprueba que la corriente I en el conductor es proporcional al voltaje aplicado, donde la constante de proporcionalidad R es la resistencia del conductor, matemáticamente:

$$V = I \cdot R \quad (3.4)$$

Este enunciado se conoce como *Ley de Ohm* descubierta en 1.827 por George Simon Ohm, válida sólo para ciertos materiales, los cuales se denominan *óhmicos*. Gráficamente la curva voltaje-intensidad de un material óhmico es una recta que pasa por el origen como se muestra en la Figura (3.1)

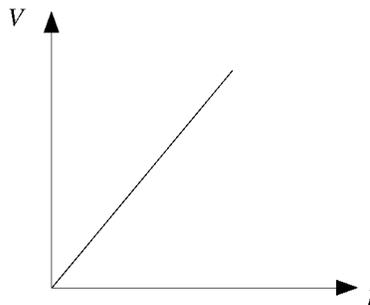


Figura 3.1: La pendiente del gráfico corresponde a la resistencia del material.

Ejemplo

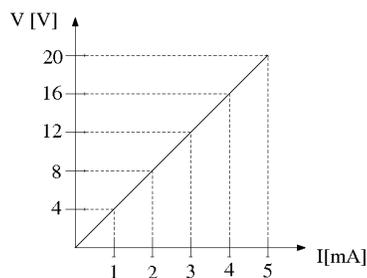
Por una resistencia circular $5[mA]$ cuando entre sus terminales se aplica un voltaje de $10[V]$. ¿Cuál es el valor de la resistencia?

Solución: Aplicando la *Ley de Ohm*, según la ecuación (3.4), podemos despejar el valor de la resistencia R , reemplazando los datos se obtiene:

$$\begin{aligned} R &= \frac{V}{I} = \frac{10[V]}{5[mA]} \\ &= \frac{10[V]}{5 \cdot 10^{-3}[A]} \\ &= 2.000[\Omega] \end{aligned}$$

Ejercicios**3.4**

- Si la diferencia de voltaje en una resistencia de $100[\Omega]$ conectada en un circuito es de $12[V]$, ¿cuál es la corriente eléctrica que circula por ella?
- Por una resistencia circular $5[mA]$ cuando entre sus terminales se aplica un voltaje de $10[V]$. ¿Cuál es el valor de la resistencia eléctrica?
- El gráfico muestra la relación entre la corriente y el voltaje en una resistencia:
 - ¿Cuál es el valor de la resistencia eléctrica?
 - Si se aplica un voltaje de $72[V]$ a la resistencia, ¿cuál es la corriente que circula por ella?
 - Si la corriente por ella es de $100[mA]$, ¿cuál es el voltaje en ella?

**3.2.6. Circuitos eléctricos de corriente continua**

Un circuito eléctrico es un sistema cerrado formado por la asociación de elementos conductores que hacen posible el flujo de corriente eléctrica.

En un circuito de corriente continua es necesaria la presencia de un generador que produzca una diferencia de potencial constante entre sus polos, también es posible encontrar otros dispositivos, entre los cuales estudiaremos las resistencias. Los generadores aportan al circuito la energía necesaria para mantener la corriente eléctrica y la resistencia disipa la energía eléctrica principalmente en forma de calor.

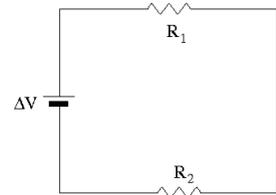
En un circuito eléctrico las resistencias pueden tener dos tipos de disposición según su conexión:

→ **Resistencias en serie**

En este tipo de conexión los elementos del circuito se conectan de modo que quede uno a continuación del otro, circulando por ellos la misma corriente eléctrica y siendo el voltaje aplicado igual a la suma algebraica de los voltajes en cada dispositivo.

$$\Delta V = V_1 + V_2$$

Es posible calcular la resistencia equivalente R_{eq} , la cual corresponde a la resistencia única por la que podría sustituirse la disposición de las resistencias sin alterar el comportamiento general del circuito, para la conexión en serie está dada por:



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (3.5)$$

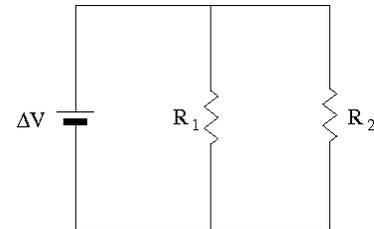
donde R_i corresponde al valor de cada resistencia del circuito.

→ **Resistencias en paralelo**

Hablamos de conexión en paralelo cuando los dispositivos de un circuito se conectan de forma que todos tengan sus extremos sometidos a la misma diferencia de potencial y la corriente total es igual a la suma algebraica de la corriente que pasa por cada dispositivo.

$$I = I_1 + I_2$$

Para las resistencias conectadas en paralelo, el recíproco de la resistencia equivalente R_{eq} es la suma de los recíprocos de las resistencias conectadas:

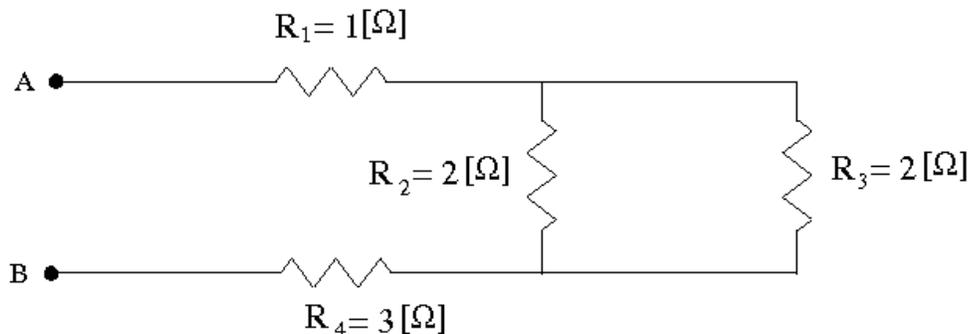


$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (3.6)$$

donde R_i corresponde al valor de cada resistencia del circuito.

Ejemplo

Determine la resistencia equivalente entre los terminales A y B del circuito de la figura



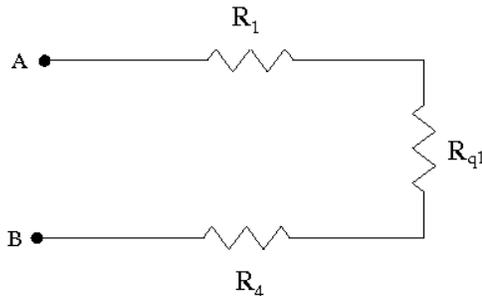
Solución: El primer paso es sacar la resistencia equivalente R_{q1} entre las resistencias R_2 y R_3 que están en paralelo. Utilizando la ecuación (3.6) se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{q1}} &= \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ &= \frac{R_3 + R_2}{R_2 \cdot R_3} \end{aligned}$$

Despejando R_{q1} y reemplazando los datos correspondientes obtenemos:

$$\begin{aligned} R_{q1} &= \frac{R_2 \cdot R_3}{R_3 + R_2} \\ &= \frac{2[\Omega] \cdot 2[\Omega]}{2[\Omega] + 2[\Omega]} \\ &= 1[\Omega] \end{aligned}$$

Así el circuito queda con la siguiente estructura:



El segundo paso es sacar la resistencia equivalente R_{q2} entre las resistencias R_1 , R_4 y R_{q1} que están en serie. Utilizando la ecuación (3.5) calculamos la resistencia equivalente total del circuito, reemplazando los datos se obtiene:

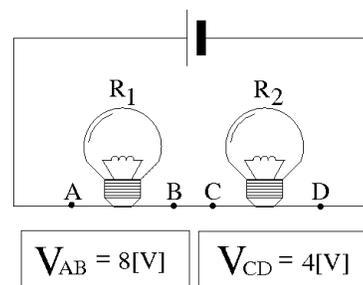
$$R_{q2} = R_1 + R_4 + R_{q1} = 1[\Omega] + 3[\Omega] + 1[\Omega] = 5[\Omega]$$

Ejercicios

3.5

1. Si se tienen dos resistencias de valor R , ¿cuál es la resistencia equivalente si se conectan en serie? ¿y en paralelo?
2. La figura del ejercicio muestra dos lámparas, cuyos filamentos son resistencias R_1 y R_2 , conectadas a los polos de una batería. Observando la figura, responda:

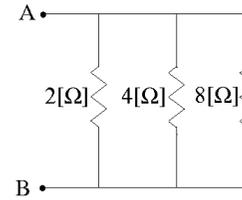
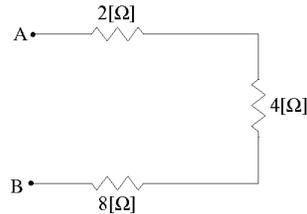
- a) La corriente que pasa por R_1 , ¿es mayor, menor o igual a la que pasa por R_2 ?
- b) El valor de la resistencia R_1 , ¿es mayor, menor o igual a la resistencia R_2 ?
- c) ¿Qué valor tiene el voltaje existente entre los polos de la batería?



3.2. ELECTRICIDAD

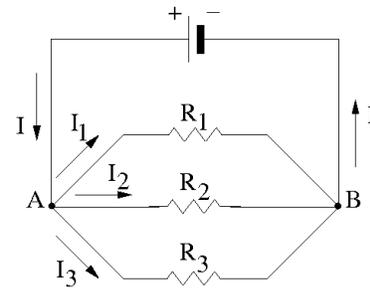
3. Determine la resistencia equivalente entre los terminales A y B de los siguientes circuitos si:

- Las resistencias están conectadas en serie.
- Las resistencias están en paralelo.

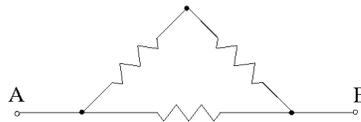


4. Supóngase que las resistencias en la figura tienen los valores siguientes: $R_1 = 40[\Omega]$, $R_2 = 60[\Omega]$ y $R_3 = 120[\Omega]$.

- ¿Cuál es el valor de la resistencia equivalente de este agrupamiento de resistencias?
- Considerando que la diferencia de potencial establecida por la batería sea $V_{AB} = 12[V]$, calcule la corriente que pasa por cada una de las resistencias.
- ¿Cuál es el valor de la corriente total I proporcionada por la batería?

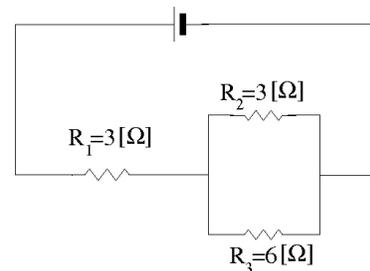


5. La resistencia equivalente entre los terminales A y B del siguiente circuito formado por tres resistencias iguales es de $6[\Omega]$. ¿Cuál es el valor de cada resistencia?



6. Considere el circuito que se muestra en la figura, sabiendo que el voltaje entregado por la pila es de $1,5[V]$ determine:

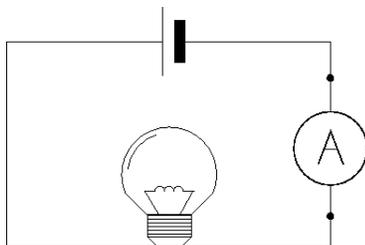
- La resistencia equivalente de la conexión de las resistencias R_1 y R_2 .
- La resistencia total equivalente del conjunto R_1 , R_2 y R_3 .
- La corriente que la pila suministra al circuito.



3.2.7. Instrumentos eléctricos de medición

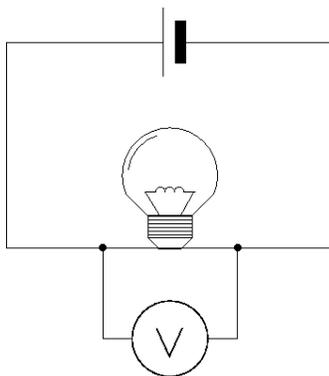
→ Amperímetro

El amperímetro es el instrumento ideado para medir la corriente que circula por un artefacto o sector de un circuito. Para realizar esta medición el flujo de corriente debe pasar por el amperímetro, es decir, es necesario colocar este instrumento en serie respecto del artefacto o circuito por donde circula la corriente eléctrica. Lo anterior debido a que por los elementos conectados en serie fluye la misma cantidad de corriente.



→ Voltímetro

El voltímetro es el instrumento ideado para medir la diferencia de potencial o voltaje entre dos puntos de un circuito. Para hacer la medición, las terminales del voltímetro deben estar conectadas en los extremos del artefacto o segmento de circuito al cual se le quiere determinar el voltaje. Por lo tanto, para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito, el voltímetro debe colocarse en paralelo respecto de esos puntos. Lo anterior debido a que los elementos conectados en paralelo están bajo la misma diferencia de potencial o voltaje.



3.2.8. Instalación domiciliaria

En general la electricidad llega a nuestras casas a través de dos alambres de entrada llamados *líneas*, suministrando un voltaje de $220[V]$. Los aparatos eléctricos se conectan en paralelo a través de estas líneas por medio de enchufes, siendo alimentados con corriente alterna. A continuación se presentan algunos conceptos importantes que debes aprender.

→ Aislantes

Material plástico que recubre los alambres permitiendo que éstos no se toquen, evitando que se produzca un corto circuito. Un corto circuito consiste en una disminución casi total de la resistencia del circuito, lo que permite la circulación de una elevada corriente, sólo limitada por

la resistencia del cable por donde circula la corriente. Recordando la ley de Ohm, si despejamos la intensidad de corriente se tiene $I = \frac{V}{R}$, si disminuimos la resistencia a un valor muy cercano a cero, la magnitud de la corriente I se incrementa considerablemente.

→ Cables

Su función es transportar la corriente eléctrica para el funcionamiento de los artefactos. Las secciones transversales de los cables típicos usados en las instalaciones domiciliarias son de 1,5 y 2[mm²]

→ Cable a tierra

Cable de seguridad (generalmente de color verde) que está conectado directamente al suelo. Si por alguna falla un cable interno toca la carcasa metálica de algún artefacto eléctrico, éste quedaría con 220[V] de voltaje y si una persona lo tomara podría morir por la descarga. Pero gracias al cable a tierra, ubicado en medio de los enchufes de 3 patas, la corriente producida en el artefacto se va a la tierra.

→ Enchufes

Entre los orificios de los extremos de un enchufe existe una diferencia de potencial efectivo de 220[V] necesarios para el funcionamiento de los artefactos que en ellos se conectan.

→ Fusibles

Dispositivos que se conectan en serie con la línea de alimentación y cuando hay un alza de voltaje los fusibles se queman evitando así la sobrecarga de corriente de un circuito.

→ Interruptor

Es un elemento que permite abrir o cerrar un circuito, cortando o permitiendo el paso de la corriente. Lo más común es que se fijen a la pared o que se intercalen en un cable.

→ Interruptor automático

Interruptor que funciona como un dispositivo de seguridad, el cual se activa cuando por él circula un determinado flujo de corriente dado por el fusible que contiene. En Chile la mayoría de las casas tienen fusibles de 10[A], es decir, cuando un flujo de corriente mayor a 10[A] pasa por el interruptor automático, éste se activa abriendo el circuito, impidiendo el paso de corriente. El tiempo de reacción frente a un alza de corriente es del orden de los milisegundos.

Desafío...



Cuando se desconecta uno de los artefactos o resistencias de un circuito en serie, se apagan todos los demás artefactos o resistencias que están conectados. Esto ocurre porque se interrumpe el circuito, lo que imposibilita la circulación de la corriente eléctrica. Si los artefactos o resistencias se conectan en paralelo, al desconectar uno o más de los elementos, ¿se altera el funcionamiento del circuito?

1. Suponga que en una casa cuya instalación eléctrica es de $120[V]$, únicamente está encendida una lámpara de resistencia igual a $240[\Omega]$.
 - a) ¿Cuál es la intensidad de la corriente que pasa por ese elemento?
 - b) Si encendemos una segunda lámpara, idéntica a la primera, ¿la resistencia eléctrica de la instalación de la casa aumentará o disminuirá?
 - c) Con ambos elementos encendidos, ¿cuánto vale la corriente que pasa por el medidor de consumo de electricidad de la casa?
 - d) Sabemos que el amperaje del interruptor automático que protege la instalación eléctrica de la casa es de $30[A]$; es decir, se abre (interrumpe el paso de corriente) cuando circula una corriente superior a $30[A]$. Entonces, ¿cuántas lámparas (idénticas a la que se cita), podrán ser encendidas simultáneamente en esta casa?

3.3. Magnetismo

3.3.1. Propiedades magnéticas

A continuación se presentan algunas características de los cuerpos magnetizados:

- Magnetismo es la propiedad de ciertos cuerpos de atraer hierro, acero y otros cuerpos que también poseen propiedades magnéticas, tales como níquel, cobalto y magnetita (óxido de hierro). Todo cuerpo magnético siempre tienen dos polos: el norte magnético y el sur magnético. Estos puntos corresponden a los lugares en donde la intensidad de atracción es mayor.
- Los materiales magnéticos tienen sus átomos ordenados de tal manera que los momentos magnéticos de cada uno de ellos se suman, dando como resultado un gran momento magnético total.
- De acuerdo al nivel de la actividad magnética frente a un imán natural, los materiales se clasifican en:
 - *Ferromagnéticos*: Atraídos fuertemente por un imán y, si permanecen durante mucho tiempo cerca de él, pueden comportarse como un nuevo imán permanentemente. Los momentos magnéticos de estas sustancias, en presencia de un campo magnético, tienden a reordenarse paralelamente. Ejemplo de materiales ferromagnéticos son el hierro, cobalto, níquel y aluminio.
 - *Paramagnéticos*: Tienen propiedades magnéticas más débiles. En ausencia de campo magnético, los momentos magnéticos de la sustancia se encuentran aleatoriamente ordenados, en presencia de un campo magnético sus momentos tienden a alinearse, pero estos deben luchar contra el movimiento térmico de las partículas, lo que vuelve a desordenar los momentos magnéticos. Es por esto que los materiales paramagnéticos pierden sus propiedades magnéticas al ser sometidos a aumentos de temperatura o al ser golpeados. Ejemplo de estos son el platino, calcio, sodio, magnesio, litio, cloro y tungsteno.

- *Diamagnéticos*: Materiales que no son atraídos por un imán, e incluso pueden ser repelidos por él. Esto se debe a que no tienen alineación magnética permanente y al someterlos a un campo magnético, un momento magnético débil es inducido en dirección opuesta. Ejemplo de esto son el mercurio, plata, oro, cobre, plomo y silicio. Existen materiales llamados superconductores los cuales a muy bajas temperaturas generan un efecto diamagnético alto, pudiendo hacer levitar imanes.
- Entre los polos se cumple la misma relación que entre las cargas eléctricas: **Polos iguales se repelen y polos opuestos se atraen.**
- Cada vez que un imán se divide, de los trozos resultantes resultan nuevos imanes, cada uno con su polo norte y su polo sur.
- Un imán no puede tener un único polo.
- Las líneas de campo magnético están presentes alrededor de un objeto magnetizado desde el polo norte al polo sur. También son llamadas líneas de fuerza ya que coinciden con la dirección de la fuerza magnética.

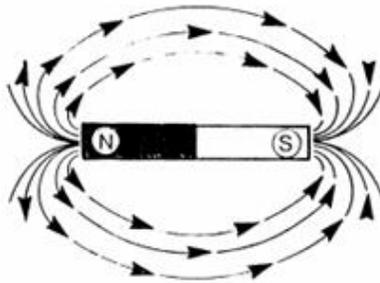


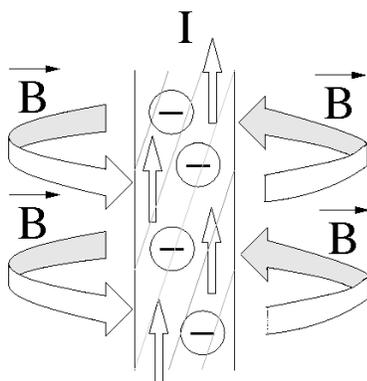
Figura 3.2: Las líneas de campo son cerradas y van desde el polo norte al polo sur.

- Todo cuerpo magnetizado genera un campo magnético a su alrededor, el cual se mide según el S.I. en **Tesla** [T], denominada así en honor a Nikola Tesla por sus aportes al electromagnetismo, entre los que se encuentran la invención y desarrollo de la corriente alterna.
- La Tierra se comporta como un gigantesco imán natural, ya que genera un campo magnético de naturaleza y origen distintos, sólo detectable por una brújula.
- Los polos magnéticos de la Tierra son opuestos a los geográficos.
- Existen dos teorías respecto del origen del magnetismo de la Tierra: Una de ellas es que tiene origen en su núcleo compuesto principalmente por níquel y hierro. La segunda teoría explica que el magnetismo es generado por la ionósfera, capa atmosférica situada entre los 100 a 200[Km] sobre la superficie.

3.3.2. Electricidad como fuente de magnetismo

En 1.820 Hans Christian Oersted descubrió accidentalmente la relación que existe entre la electricidad y el magnetismo, determinó que **toda corriente eléctrica produce un campo**

magnético a su alrededor. Este campo magnético es más intenso a medida que la corriente eléctrica que circula por el conductor es mayor.



Así en un alambre conductor de corriente eléctrica se generarán líneas de campo, las cuales serán círculos concéntricos al alambre recto cuyos planos son perpendiculares al alambre. La dirección del campo magnético es tangente a los círculos y apunta en el sentido que indica la *Regla de la mano derecha*.

→ **Regla de la mano derecha para el magnetismo**

Si “tomamos” el conductor por el cual circula corriente con la mano derecha y el dedo pulgar apuntando en el sentido de la corriente eléctrica, los otros cuatro dedos señalarán el sentido del campo magnético.

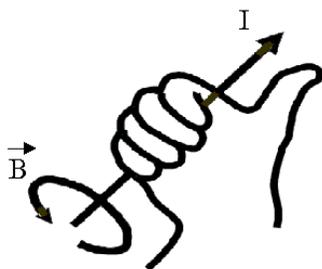


Figura 3.3: El pulgar debe ir en dirección de la corriente y los dedos restantes darán la dirección circular del campo magnético.

3.3.3. Magnetismo como fuente de electricidad

En 1.831 Michael Faraday descubrió el fenómeno inverso al anteriormente explicado conocido como la *Ley de Faraday o Principio de inducción de Faraday*, el cual enuncia que un campo magnético variable es capaz de producir una corriente eléctrica en el conductor que se encuentra inmerso en dicho campo.

Estos efectos producidos por el movimiento relativo entre una espira (una vuelta circular de alambre conductor) y un imán, y el flujo de corriente eléctrica a través de un conductor pueden ser aplicados a los siguientes instrumentos:

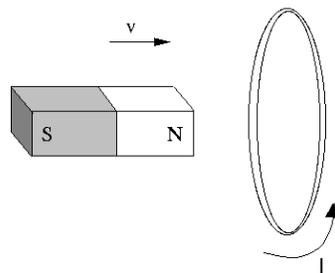
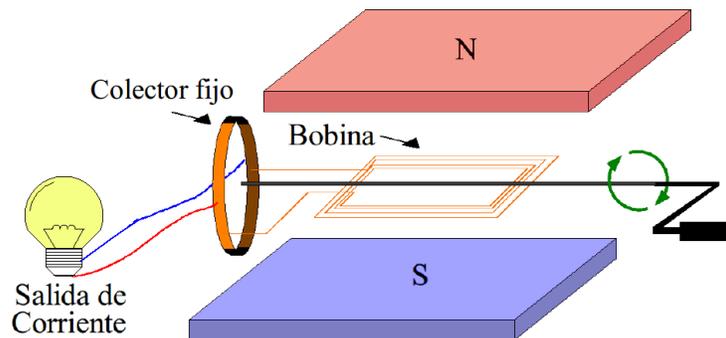


Figura 3.4: La variación del campo magnético induce una corriente sobre el conductor.

→ Generador eléctrico

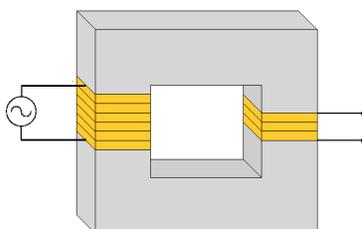
Un generador de corriente eléctrica permite **convertir energía mecánica en energía eléctrica**. Basa su funcionamiento en el *Principio de inducción de Faraday*. El modelo más simple de un generador consta de una bobina (dispositivo con más de una vuelta de alambre conductor) que se mueve dentro de un campo magnético producido por un imán, induciendo a las cargas libres del conductor a moverse, generando una corriente y por consiguiente una diferencia de potencial entre sus terminales. En general, para generar corriente se necesita un movimiento relativo entre la espira y el imán.



En la figura se muestra un modelo simple de un generador de una espira. En este caso los imanes están fijos y es la bobina la que gira gracias a alguna fuerza. Al lado izquierdo se encuentra el colector fijo formado por dos barras conductoras aisladas en donde se recibe el flujo de corriente.

→ Transformador

Es un dispositivo que permite **aumentar o disminuir el voltaje de una corriente alterna**, está formado por dos bobinas enrolladas en torno a un núcleo de hierro.



La bobina por donde circula una corriente cuyo voltaje se desea transformar es llamada bobina primaria, ésta se encuentra conectada a la fuente de voltaje alterno que genera un flujo de corriente eléctrica alterna, que a su vez, genera un campo magnético variable a su alrededor. El núcleo de hierro al cual están enrolladas las bobinas, permite que el campo magnético variable originado no se disipe y logre alcanzar a la segunda bobina llamada secundaria, en la cual se induce un nuevo voltaje alterno. Es así como el voltaje primario V_1 se transforma en uno secundario V_2 o inducido, los cuales están relacionados matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.7)$$

donde N_1 es la cantidad de vueltas de la bobina primaria alrededor del núcleo de hierro y N_2 es la cantidad de vueltas de la bobina secundaria alrededor del núcleo de hierro.

El cargador de celular es un ejemplo cotidiano de transformador, donde el voltaje primario corresponde a los 220[V] provenientes del tendido eléctrico domiciliario, el cual es transformado a un voltaje secundario mucho menor de acuerdo a las necesidades de funcionamiento de móvil.

 **Ejemplo**

Un transformador que permite el funcionamiento de un juguete se conecta a la red eléctrica. Si el voltaje de salida es de 10[V] y el número de vueltas de la bobina primaria es 1.100, ¿cuál es el número de vueltas de la bobina secundaria?

Solución: Aplicando la ecuación (3.7) se tiene:

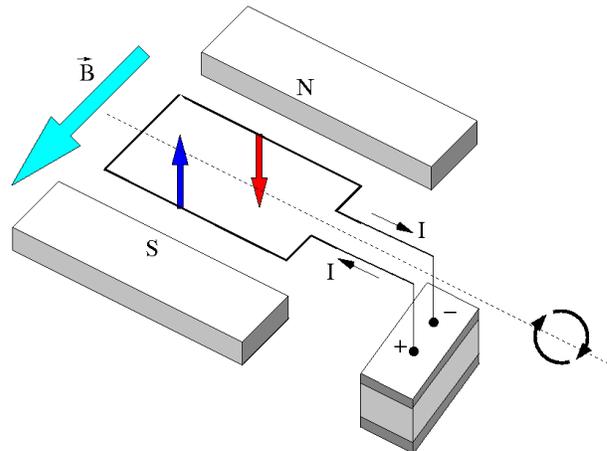
$$\frac{220[V]}{10[V]} = \frac{1.100}{N_2}$$

$$N_2 = 50$$

Por lo tanto, la bobina secundaria tiene 50 vueltas alrededor del núcleo de hierro.

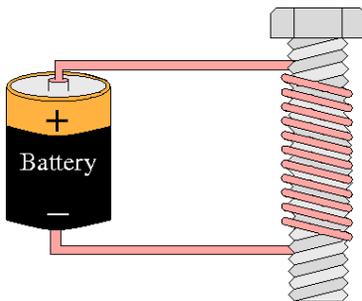
→ **Motor de corriente continua**

Permite transformar energía eléctrica en energía mecánica. Está constituido por dos partes, una parte fija que contiene un imán responsable de crear un campo magnético constante y una parte móvil rodeada por este imán que contiene una bobina por la que circula corriente eléctrica.



→ Electroimán

Es una bobina con un núcleo de hierro, de modo que al circular corriente por el conductor, magnetiza el núcleo de hierro, haciendo que éste adquiera propiedades magnéticas. De acuerdo a su tamaño pueden ser utilizados en tecnologías como televisores hasta en trenes sin ruedas que son levantados y movilizados gracias a estos dispositivos.



Posteriormente a los descubrimientos experimentales de Oersted y Faraday, se comprobó matemáticamente la relación existente entre la electricidad y el magnetismo gracias a las ecuaciones de Maxwell. Las ecuaciones de James Clerk Maxwell demostraron que la electricidad, el magnetismo y hasta la luz, son manifestaciones del mismo fenómeno: el campo electromagnético, logrando así parte de la unificación de la física.

Desafío...



Experimenta la física de forma sencilla, construye tu propio electroimán. Para ello necesitas alambre esmaltado, un tornillo y una batería o pila. Toma 60[cm] de alambre y lija las puntas para sacar de ahí el esmalte aislador, luego enrolla de forma ordenada el alambre en el tornillo. Deja unos 10[cm] de alambre de sobra en la punta y el final. Conecta cada terminal del cable a un extremo de la batería y listo. Ahora prueba tu electroimán acercándolo a algún objeto metálico y descubre cuales poseen propiedades magnéticas.

3.4. Energía eléctrica

3.4.1. Potencia eléctrica

Si por un dispositivo circula una corriente I , y entre sus extremos existe una diferencia de potencial ΔV , su potencia eléctrica o simplemente potencia P_e es:

$$P_e = \Delta V \cdot I \quad (3.8)$$

La potencia eléctrica P_e corresponde a la cantidad de energía eléctrica E_e que un objeto consume o genera en un intervalo de tiempo Δt . Es una magnitud escalar medida según el S.I. en **Watt** [W], que recibe su nombre en honor a James Watt por sus contribuciones al desarrollo de la máquina de vapor. En una resistencia la potencia corresponde a la rapidez con que la energía eléctrica se transforma en energía calórica, así:

$$E_e = P_e \cdot \Delta t \quad (3.9)$$

Ejemplo

¿Cuánta energía consume una lavadora de $1.200[W]$ en 4 semanas si funciona durante 3 horas, 2 días de la semana?

Solución: Sabemos que la energía eléctrica consumida por un artefacto eléctrico está dada por la ecuación (3.9), en donde necesitamos el tiempo. En este caso el tiempo t de funcionamiento de la lavadora son 3 horas, 2 días a la semana durante 4 semanas:

$$t = 3[h] \cdot 2 \cdot 4 = 24[h]$$

Luego la energía eléctrica E_e que se consume es:

$$E_e = 1.200[W] \cdot 24[h] = 28.800[Wh] = 28,8[KWh]$$

Es muy importante darnos cuenta que Kilowatt-hora $[KWh]$ corresponde a la unidad de medida de energía, al igual que el Joule $[J]$.

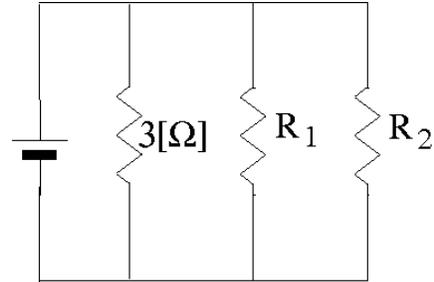
Ejercicios**3.7**

1. ¿Cuántos electrones circularían por el filamento de una ampolleta de $100[W]$ de potencia, que funciona con un voltaje de $220[V]$, al encenderla por 10 segundos?
2. Una ampolleta de $15[W]$ de potencia es utilizada como luz de freno para un automóvil. Entonces, ¿cuántos amperes circulan por ella cuando se pisa el pedal de freno? (Los automóviles funcionan con baterías de $12[V]$)
3. La central eléctrica Colbún posee dos generadores de una potencia de $200[MW]$ cada uno. Si cada generador entrega un voltaje de $13[KV]$, ¿cuántos amperes circulan por sus terminales?
4. ¿Cuál es la potencia que puede suministrar un transformador para teléfonos celulares si entrega un voltaje de $3,7[V]$ y una corriente de intensidad $0,35[A]$?
5. Si en una casa hay un televisor de $300[W]$ de potencia, cuatro ampolletas de $75[W]$ de potencia y un equipo de música de $150[W]$ de potencia, ¿cuál es el costo de mantener encendidos durante una hora y media estos artefactos simultáneamente? (Considere el costo de cada $[KWh]$ consumido igual a \$60)
6. Cuatro ampolletas de $100[W]$, $75[W]$, $60[W]$ y $40[W]$ (todas de $220[V]$) se encienden en distintos lugares de una casa.
 - a) ¿Cuál es la ampolleta que tiene una menor resistencia eléctrica?
 - b) ¿Cuál es la ampolleta por la que circula la mayor corriente?
7. Cuatro resistencias iguales se conectan en serie a una batería de $12[V]$. Si la batería entrega una potencia de $36[W]$, ¿cuál es el valor de cada resistencia?

3.4. ENERGÍA ELÉCTRICA

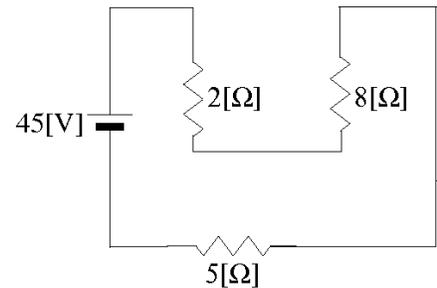
8. Para el circuito representado, la fuente entrega una corriente de $6[A]$; la resistencia de $3[\Omega]$ absorbe una potencia de $18[W]$; y $R_1 = 2R_2$. Determine:

- La potencia que entrega la fuente.
- Los valores de R_1 y R_2 .
- La potencia absorbida por R_2 .
- La energía que consume R_1 durante 90 minutos.



9. Observe el circuito representado:

- ¿Cuál es el voltaje en la resistencia de $5[\Omega]$?
- ¿Cuál es la potencia que entrega la batería?
- ¿Cuál es la potencia que absorbe la resistencia de $8[\Omega]$?
- ¿Cuál es la corriente que circula por la resistencia de $2[\Omega]$?



3.4.2. Generadores de energía eléctrica

La energía eléctrica se obtiene en centrales que utilizan distintos tipos de energía para funcionar. Las centrales eléctricas basan su funcionamiento en la transformación de algún tipo de energía en energía mecánica, que mueve las turbinas que generan electricidad a partir del movimiento relativo entre un imán y un conductor. A continuación se describen algunas formas de generar energía eléctrica:

→ Centrales hidroeléctricas

- Utilizan energía hidráulica, es decir, energía de la caída (energía potencial gravitacional) o el movimiento (energía cinética) de un curso de agua.
- La energía hidráulica hace girar una turbina que envía la energía mecánica a un generador, obteniendo energía eléctrica que es conducida a un transformador.
- Ventajas: Transformación limpia de la energía, ya que no se arrojan residuos contaminantes. A esto se le suma el bajo costo de operación.
- Desventajas: Depende de las condiciones estacionales del año y, generalmente, las centrales hidroeléctricas están alejadas del centro de consumo.

→ Centrales termoeléctricas

Se genera energía eléctrica a través de un proceso que tiene 3 etapas:

- La primera etapa consiste en la quema de un combustible, como carbón, petróleo o gas, transformando el agua en vapor.
- La segunda consiste en la utilización de ese vapor, a alta presión, para hacer girar una turbina que, a su vez, acciona el generador eléctrico.
- En la tercera etapa, el vapor es condensado, retornando el agua a la caldera, lo que completa el ciclo.
- Desventajas: Emisión de partículas contaminantes y cambios en el ecosistema debido al alza de temperatura del agua de los ríos.

→ Centrales eólicas

- Utiliza la energía cinética del viento.
- El viento hace girar las aspas de un molino, donde la hélice va conectada directamente al generador.
- Ventajas: No produce contaminación por emisión de partículas o gases.
- Desventajas: Produce contaminación acústica, los molinos deben ser ubicados en lugares apartados y ventosos. Muchas aves mueren al chocar con las hélices.

→ Centrales nucleares

- Utilizan como combustible algún elemento radiactivo que en un proceso de fisión genera calor que permite calentar agua, transformándola en vapor a gran presión, lo que permite mover una turbina conectada a un generador.
- Desventaja: Es un proceso inseguro, si no se controla adecuadamente la fisión, podría generarse una bomba atómica, además de los peligros de la radiación.

→ Centrales fotovoltaicas

- Utiliza la propiedad de ciertos materiales de generar una corriente de electrones cuando incide sobre ellos una corriente de fotones.
- Los fotones de la luz solar portan energía que arranca los electrones sobrantes de la capa de un átomo del material y los hace moverse en dirección a los lugares en donde existe déficit de electrones.
- Ventajas: No es contaminante. Este sistema es utilizado para abastecer de energía a los satélites que orbitan la Tierra.

3.4. ENERGÍA ELÉCTRICA

→ **Centrales solares**

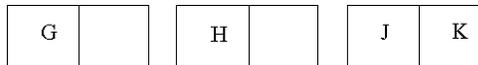
- Opera de forma similar a las centrales termoeléctricas.
- Se capta energía solar para calentar agua, evaporarla y el vapor a presión hace funcionar un generador unido a una turbina.
- Ventajas: Transformación limpia y segura de la energía.

3.5. Mini Ensayo II

Electricidad y magnetismo

1. Se dispone de tres imanes de barra, en los cuales se han marcado algunos polos con las letras G, H, J y K. Se sabe que K es un polo sur. Al acercar los imanes, se observa que J atrae a H y que H repele a G. Entonces, se puede asegurar correctamente que los polos de G, H y J son respectivamente:

- a) Sur Sur Norte
- b) Norte Norte Norte
- c) Sur Sur Sur
- d) Norte Norte Sur
- e) Norte Sur Sur



2. El electrón tiene una carga eléctrica negativa de $1,6 \cdot 10^{-19} [C]$. Entonces, si por un conductor está circulando una corriente de intensidad $3,2 [A]$, ¿cuántos electrones circulan por ese conductor en cada segundo?

- a) 3,2
- b) $3,2 \cdot 10^{19}$
- c) $2 \cdot 10^{-19}$
- d) $2 \cdot 10^{19}$
- e) $1,6 \cdot 10^{19}$

3. La situación en que dos esferas conductoras se repelen, cuando interactúan eléctricamente, puede ser explicada si:

- I Ambas tienen cargas netas positivas de la misma magnitud.
- II Ambas tienen cargas netas negativas de distinta magnitud.
- III Sólo una de ellas tiene carga.

Es(son) correcta(s):

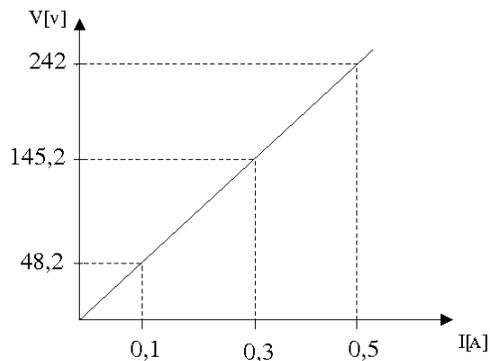
- a) Sólo I
- b) Sólo II
- c) Sólo III
- d) Sólo I y II
- e) Sólo II y III

3.5. MINI ENSAYO II
ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

4. ¿Cuál de los siguientes aparatos está diseñado para hacer variar el voltaje de una corriente alterna?
- a) Bobina
 - b) Generador
 - c) Motor
 - d) Pila
 - e) Transformador
5. Es correcto afirmar que en una central hidroeléctrica los generadores:
- a) Transfieren energía térmica desde el agua a los cables del tendido eléctrico.
 - b) Canalizan la energía química disponible en el agua por los cables del tendido eléctrico.
 - c) Crean energía eléctrica mediante la frotación que se produce con el agua.
 - d) Extraen la energía eléctrica del agua y la entregan al sistema de distribución.
 - e) Transforman energía mecánica del agua en energía eléctrica.
6. Si en un circuito compuesto por una fuente de voltaje variable y una resistencia variable, se duplica el voltaje de la fuente y se disminuye a la mitad la resistencia, entonces la intensidad de corriente:
- a) Se duplica.
 - b) Se cuadruplica.
 - c) No cambia.
 - d) Se reduce a la cuarta parte.
 - e) Se reduce a la mitad.
7. Un alambre conductor cilíndrico de radio r y largo L tiene una resistencia eléctrica R . Otro alambre conductor también cilíndrico y del mismo material que el anterior, de radio $2r$ y largo $2L$, tendrá una resistencia eléctrica de:
- a) $\frac{R}{4}$
 - b) $\frac{R}{2}$
 - c) R
 - d) $2R$
 - e) $4R$

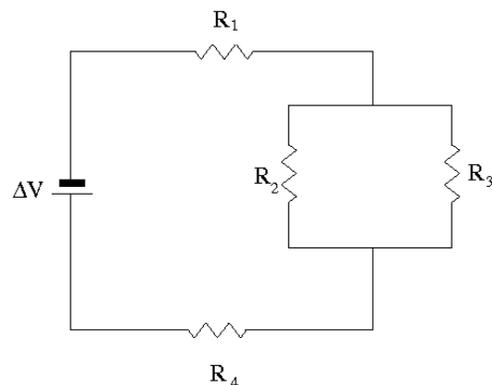
8. El siguiente gráfico muestra la relación entre el voltaje V , medido entre los terminales de una ampolla, en función de la corriente eléctrica I que circula por ella. Entonces, el valor de la resistencia eléctrica de la ampolla es:

- a) $0,0482[\Omega]$
- b) $0,482[\Omega]$
- c) $4,82[\Omega]$
- d) $48,2[\Omega]$
- e) $482[\Omega]$



9. En el circuito representado en la figura, se afirma que:

- I Por R_1 y R_4 circula la misma corriente.
- II R_1 y R_4 tienen el mismo voltaje.
- III R_2 y R_3 tienen el mismo voltaje.

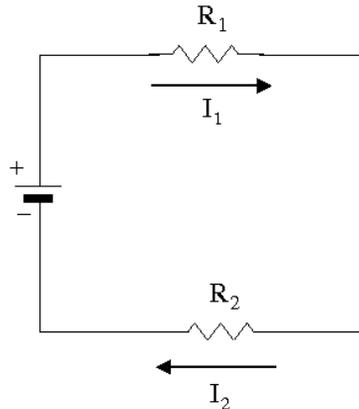


De las afirmaciones anteriores es(son) correcta(s):

- a) Sólo I
- b) Sólo II
- c) Sólo III
- d) Sólo I y III
- e) Sólo II y III

10. Para determinar el voltaje en la resistencia R_1 del circuito representado en la figura:

- a) Bastaría conocer I_1 .
- b) Bastaría conocer I_1 y V .
- c) Bastaría conocer R_2 y V .
- d) Bastaría conocer R_1 y I_2 .
- e) Ninguna de las anteriores.



11. Respecto de la corriente continua

- I Circula siempre en un mismo sentido.
- II Cambia periódicamente su sentido de flujo.
- III La fuente que la produce mantiene una diferencia de potencial constante en el tiempo.
- IV La fuente que la produce mantiene una diferencia de potencial variable en el tiempo.

Es cierto que:

- a) Sólo III
- b) Sólo I y III
- c) Sólo I y IV
- d) Sólo II y III
- e) Sólo II y IV

12. Por una ampolla que tiene una resistencia eléctrica de $5[\Omega]$ pasa una corriente de $6[A]$. En estas condiciones, la potencia eléctrica que se está entregando a la ampolla es de:

- a) $1,2[W]$
- b) $30[W]$
- c) $150[W]$
- d) $180[W]$
- e) No se puede determinar.

13. Las unidades Ampere y Ohm miden respectivamente:

- a) Voltaje y resistencia
- b) Resistencia y voltaje
- c) Intensidad y resistencia
- d) Resistencia e intensidad
- e) Voltaje e intensidad

14. Si se dispone de una resistencia eléctrica de $10[\Omega]$, entonces

I Cuando por ella circula una corriente de $5[A]$, el voltaje entre sus extremos es de $50[V]$.

II Al someterla a un voltaje de $30[V]$, circulará por ella una corriente de $3[A]$.

III Para que por ella circule una corriente de $2[A]$, hay que aplicarle un voltaje de $5[V]$.

Es(son) correcta(s):

- a) Sólo I
- b) Sólo II
- c) Sólo III
- d) Sólo I y II
- e) I, II y III

15. El enunciado de ley de Faraday dice:

- a) Polos magnéticos iguales se repelen y polos magnéticos distintos se atraen
- b) Polos eléctricos iguales se repelen y polos eléctricos distintos se atraen
- c) Una corriente eléctrica variable sobre un conductor, produce un campo magnético constante
- d) La variación de un campo magnético es capaz de producir una corriente eléctrica sobre el conductor inmerso en dicho campo
- e) La variación de un campo magnético es capaz de producir una variación en la resistencia del material del conductor inmerso en dicho campo

Capítulo 4

Calor

4.1. Introducción

Se han desarrollado diferentes teorías a través del tiempo para explicar el concepto calor y los fenómenos que origina en los cuerpos, a fines del siglo XIX se estructura una nueva rama de la física denominada *termodinámica* encargada de su estudio, gracias a la que se ha llegado a la conclusión de que el calor es una de las diversas formas en que se manifiesta la energía en el universo. Los primeros indicios de la termodinámica se atribuyen a Galileo, que en 1.602 crea el primer termómetro; durante el siglo XVII, el científico Robert Boyle constató que en los gases encerrados a temperatura ambiente el producto de la presión por el volumen permanecía constante. Dado que la temperatura en un comienzo era medida de forma tan arbitraria, en 1.717 Gabriel Fahrenheit propone una escala basada en el punto de congelación de una disolución saturada de sal común en agua y la temperatura del cuerpo humano. En 1.740, Anders Celsius presenta una nueva escala basada en los puntos de fusión y ebullición del agua al nivel del mar, pero los científicos favorecen la escala William Thomson, Lord Kelvin que se define en términos de la energía. De ahí en adelante se ha desarrollado la calorimetría, introduciendo términos como calor específico y calor latente, determinando que existen procesos reversibles e irreversibles que pueden ser aplicados, por ejemplo, en máquinas que transforman la energía térmica en mecánica.

4.2. Temperatura

La temperatura es una propiedad de los objetos, que nos permite decir, respecto de una norma, que tan frío o caliente está un cuerpo. Está directamente relacionado con la velocidad promedio de las partículas que componen el cuerpo y por lo tanto con la energía cinética. Por ejemplo, si se golpea una moneda con un martillo, se está agitando sus moléculas lo que conlleva a que la moneda se caliente, es decir, aumente su temperatura. Por otro lado, si se tienen dos vasos a la misma temperatura y se mezclan en un tercer vaso, no se calentará ni enfriará el agua, dicho de otra manera, la temperatura no depende del número de partículas que tenga. La temperatura se basa en la propiedad que se denomina *estado térmico* de los cuerpos, la cual podemos cuantificar con el uso instrumento llamado termómetro.

4.2.1. Medición de la temperatura

La temperatura de un cuerpo la medimos con un instrumento llamado *termómetro*. El cual relaciona una variación de temperatura con un cambio de alguna propiedad medible como el volumen, el color o la conductividad eléctrica. Por ejemplo, la mayoría de los materiales al

aumentar su temperatura se dilatan y al disminuir la temperatura se contraen. Así en general, los termómetros utilizan algún líquido como mercurio o alcohol teñido, para relacionar un aumento de temperatura con una dilatación. A continuación se mencionan algunos tipos de termómetros: termómetro de mercurio, de alcohol, de máxima y mínima, magnético, acústico, de resistencias eléctricas, termopar y pirómetro óptico.

→Termómetro médico

Es un tipo de termómetro¹ líquido que utiliza la dilatación y contracción que provocan las variaciones de temperatura en una columna de mercurio que se emplea como líquido termométrico, haciendo subir o bajar dicha columna. Así, a cada altura se le asigna un número que corresponderá al valor de la temperatura. El termómetro clínico de mercurio sólo puede medir temperaturas máximas, ya que posee un fino estrechamiento en la base del tubo lo que impide que el mercurio se devuelva, lo que explica por qué hay que agitarlo antes de usarlo nuevamente. Los termómetros están graduados gracias a una escala termométrica que permite asociar un valor numérico a cada estado térmico.

4.2.2. Escalas de medición

→Escala celsius

A continuación se presentan algunas de las principales características de esta escala de medición de la temperatura:

- Escala basada en las propiedades del agua.
- Propuesta en 1.742 por Anders Celsius.
- A la temperatura del punto de congelamiento del agua pura a nivel del mar, se le asigna $0^{\circ}C$.
- A la temperatura del punto de ebullición del agua se le asignan $100^{\circ}C$.
- No existe temperatura más baja que $-273,15^{\circ}C$, ésta se denomina *cero absoluto*.

→Escala kelvin

A continuación se presentan algunas de las principales características de esta escala de medición de la temperatura:

- Escala basada en el cero absoluto.
- Propuesta en 1.848 por William Thomson, Lord Kelvin.
- Su unidad de medida es el Kelvin $[K]$ y es la unidad de medida para la temperatura según el S.I.
- El $0[K]$ equivale a cero actividad o agitación molecular.
- El punto de congelamiento del agua en esta escala es $273,15[K]$ y el punto de ebullición es $373,15[K]$.

¹Se enfatiza en este tipo de termómetro dado que corresponde a un contenido específico de P.S.U..

4.2. TEMPERATURA

- El intervalo de temperatura de $1^{\circ}C$ es del mismo tamaño que el intervalo de temperatura de $1[K]$.
- La relación entre la temperatura en grados celsius T_C y la temperatura en kelvin T_K está dada por:

$$T_C + 273 = T_K \quad (4.1)$$

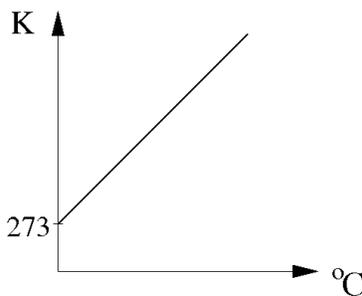
→Escala fahrenheit

A continuación se presentan algunas de las principales características de esta escala de medición de la temperatura:

- Propuesta en 1.724 por Gabriel D. Fahrenheit.
- El $0^{\circ}F$ corresponde a la temperatura de una mezcla en partes iguales de hielo machacado y cloruro de amonio.
- El punto de ebullición del agua en esta escala es $212^{\circ}F$ y el punto de congelamiento es $32^{\circ}F$.
- La relación entre temperatura en grados celsius T_C y la temperatura en grados fahrenheit T_F está dada por:

$$T_C = \frac{5}{9} \cdot (T_F - 32) \quad (4.2)$$

A continuación se muestra la representación gráfica de la relación entre las escalas de temperatura Kelvin [K] y Celsius $^{\circ}C$:



Ejercicios

4.1

1. La temperatura en la superficie de Plutón se estima en $45[K]$. ¿A cuánto equivale esta magnitud en $^{\circ}C$?
2. El récord mundial de baja temperatura es $-89^{\circ}C$ en la Antártica, ¿a cuántos Kelvin corresponde?
3. ¿Qué temperatura es mayor: $10[K]$, $10^{\circ}C$ o $10^{\circ}F$?
4. En un planeta lejano, de características similares a las de la Tierra, los extraterrestres miden la temperatura con la escala X . Se sabe que la fusión del hielo se produce a los $15^{\circ}X$ y la ebullición del agua a los $235^{\circ}X$. ¿A cuántos $^{\circ}X$ equivalen $37^{\circ}C$?

4.2.3. Variables termométricas

La transferencia de energía térmica puede producir cambios que experimentan ciertas magnitudes físicas llamadas *variables termométricas*. Algunas de éstas son cambios de estado, de color, de volumen, cambios en la conductividad eléctrica y variación de la presión, todo esto debido a la variación de la temperatura de una sustancia que implica una variación en la agitación de las moléculas que la conforman.

Como ejemplo de cambio de color tenemos el caso de la llama de la cocina, donde la llama azul es de mayor temperatura que la amarilla. Por otro lado, al aumentar la temperatura de un material aumenta su resistencia eléctrica y su presión y viceversa.

→Cambios de estado

A continuación damos a conocer algunos aspectos de esta variable termométrica, la cual volveremos a estudiar más adelante:

- Cuando una sustancia gana energía aumenta el movimiento de las moléculas que la componen, mientras que si pierde energía disminuye su movimiento.
- La variación en la energía cinética de las partículas hace variar la temperatura de un cuerpo. Si la variación de la temperatura es suficiente se produce a su vez un cambio de estado.
- Los estados de la materia son básicamente sólido, líquido y gaseoso.
- Se puede pasar de un estado a otro a través de los procesos de fusión (sólido a líquido), solidificación (líquido a sólido), vaporización (líquido a gas) y condensación (gas a líquido).

→Cambios de volumen

Esta es otra variable termométrica de la cual estudiaremos características más relevantes:

- En general, cuando una sustancia absorbe energía aumenta su temperatura, pudiendo dilatarse, es decir, aumentar su volumen. De lo contrario al liberar energía disminuye su temperatura y se contrae.
- Existen tres tipos de dilatación: *dilatación lineal*, *dilatación superficial* y *dilatación volumétrica*. a continuación estudiaremos sólo la dilatación lineal y volumétrica, ya que la dilatación superficial es análoga a ellas.
 - Dilatación lineal corresponde a la variación de longitud Δl de un cuerpo, que está relacionada con el tipo de material y es proporcional a la longitud inicial l_i y a la variación de temperatura ΔT que experimente:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_i \cdot \Delta T \quad (4.3)$$

donde α es el coeficiente de dilatación lineal para cada sustancia.

- Dilatación volumétrica corresponde a la variación del volumen Δv de un cuerpo a presión constante, ésta es proporcional al volumen inicial v_i y a la variación de la temperatura ΔT que experimente:

$$\Delta v = \beta \cdot v_i \cdot \Delta T \quad (4.4)$$

donde β es el *coeficiente de dilatación volumétrica* aproximadamente igual a 3α .

Ejemplo

Un puente de acero mide $1.000[m]$ de longitud. Durante cierto período la mayor diferencia de temperatura es de $30^{\circ}C$. ¿Cuál es el aumento de longitud del puente debida a este aumento de temperatura?

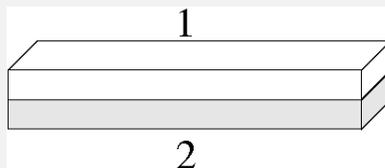
Solución: El coeficiente de dilatación del acero es $11 \cdot 10^{-6} [^{\circ}C^{-1}]$. Sabemos que la diferencia de temperatura, es decir, ΔT es igual a $30^{\circ}C$, así aplicando la ecuación (4.3):

$$\begin{aligned}\Delta l &= 11 \cdot 10^{-6} [^{\circ}C^{-1}] \cdot 1.000[m] \cdot 30^{\circ}C \\ &= 0,33[m]\end{aligned}$$

Por lo tanto, esta diferencia de temperatura genera en el puente una dilatación igual a $33[cm]$.

Desafío...

Dos barras, 1 y 2, tienen coeficientes de dilatación α_1 y α_2 , respectivamente, donde α_2 es mayor que α_1 . Si calentamos este sistema de barras unidas, ¿de qué manera se curvará?

**Ejercicios**

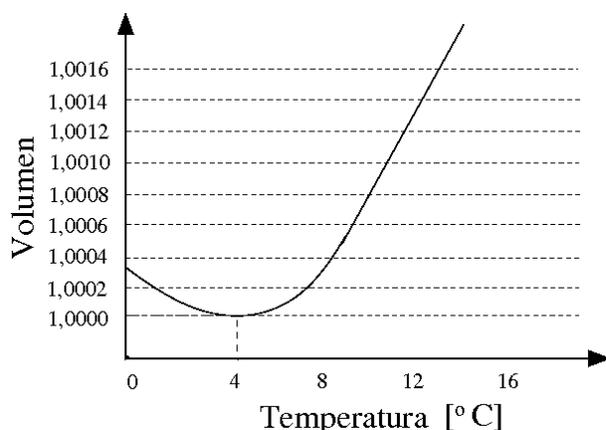
4.2

- A una barra de cobre de $1[m]$ de longitud se le varía su temperatura en $1.250^{\circ}C$. Calcule la nueva longitud de la barra si el coeficiente de dilatación del cobre es $16,6 \cdot 10^{-6} [^{\circ}C^{-1}]$
- La longitud de la columna de mercurio de un termómetro es de $0[cm]$ cuando está en contacto térmico con hielo y de $25[cm]$ cuando se pone en contacto con agua a $100^{\circ}C$. ¿Qué temperatura marca el termómetro si la longitud de la columna de mercurio es de $20[cm]$?
- Un alambre de metal mide $150[mm]$ de longitud a la temperatura de $10^{\circ}C$ y $150,1[mm]$ a $50^{\circ}C$.
 - Determine el coeficiente de dilatación del metal.
 - ¿Cuánto mediría el alambre si la temperatura aumentase hasta $100^{\circ}C$?
- Un alambre de cobre de $10[m]$ de longitud se enfría de $15^{\circ}C$ a $5^{\circ}C$. ¿Cuánto se contrae este alambre?
- Un objeto está hecho de un material cuyo coeficiente de dilatación lineal es de $4 \cdot 10^{-4} [^{\circ}C^{-1}]$ y tiene un largo de $250[m]$ a $12^{\circ}C$. Calcule a qué temperatura se debe poner este objeto para que se alargue en $3[m]$

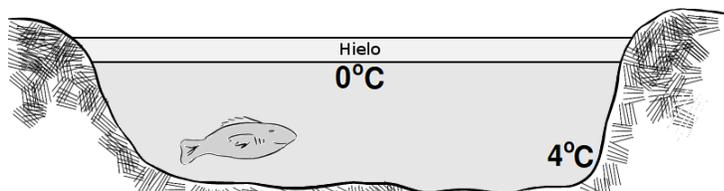
4.2.4. Anomalía del agua

El agua es una de las tres excepciones que al pasar desde el estado sólido al líquido disminuye su volumen (las otras dos son el hierro y el bismuto), las características de esta anomalía se presentan a continuación:

- Al aumentar la temperatura del agua de 0°C hasta 4°C , su volumen disminuye, lo que implica un aumento de su densidad.
- Esta anomalía del agua explica que en estado sólido (hielo) sea menos densa que el agua líquida a menos de 4°C y que, por lo tanto, flote en su líquido.
- La máxima densidad del agua se tiene cuando ésta se encuentra a una temperatura de 4°C y es igual a $1.000 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$.
- Cuando la temperatura del agua sobrepasa los 4°C su comportamiento es común, es decir, comienza a dilatarse con el aumento de la temperatura y viceversa.
- Gracias a la anomalía del agua, ríos y lagos se congelan sólo en la superficie. El hielo a 0°C flota ya que es menos denso respecto del líquido que queda al fondo que está a 4°C . Si el agua no presentara esta irregularidad ríos y lagos se congelarían por completo, lo que destruiría la flora y fauna.



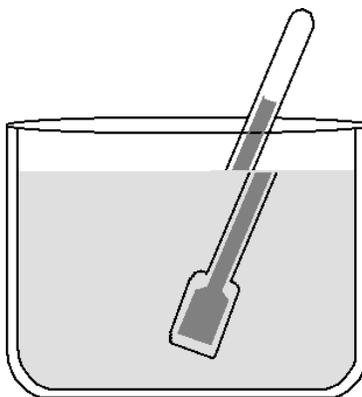
La causa de este mínimo de volumen a los 4°C es debido a que en el agua helada ocurren dos tipos de cambio de volumen. Por una parte el agua al enfriarse disminuye su volumen, debido a que los cristales de hielo tratan de usar el menor espacio posible aplastándose entre si. Por otro lado el volumen aumenta debido al mayor movimiento molecular. La suma de estos dos comportamientos de contracción y dilatación, da como resultado el comportamiento anómalo del agua.



4.2.5. Equilibrio térmico

Si se ponen en contacto dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura, el cuerpo más frío se calienta y el más caliente se enfría, disminuyendo la diferencia de temperatura entre ellos a medida que transcurre el tiempo hasta que se hace cero. Cuando la temperatura de ambos cuerpos es la misma, se dice que han llegado a un *equilibrio térmico*. Algunas características de éste son:

- El cuerpo que se calienta absorbe la energía calórica proveniente del cuerpo que se enfría (el que cede energía calórica).
- La cantidad de calor que cede el cuerpo caliente, es igual a la cantidad absorbida por el cuerpo más frío.
- Una vez logrado el equilibrio térmico, no hay flujo neto de calor de un cuerpo a otro.



Para dar la temperatura correcta un termómetro debe alcanzar el equilibrio térmico con el objeto con el que está en contacto. Así la temperatura que muestra el termómetro es su propia temperatura.

4.3. Materiales y calor

4.3.1. Calor

El *calor* es la transferencia espontánea de energía entre dos cuerpos, originada en una diferencia de temperatura entre ellos, el cual representaremos con la letra Q . La dirección de transferencia de calor es siempre del cuerpo de mayor temperatura al más frío. Esta transferencia neta de energía finaliza cuando ambos cuerpos alcanzan la misma temperatura (*equilibrio térmico*). Es importante recalcar que los cuerpos no contienen calor, el calor es *energía en tránsito* entre cuerpos con distintas temperaturas y una vez transferida, la ésta deja de calentar. Los objetos poseen un conjunto de energías internas debido a los movimientos moleculares y a las fuerzas de atracción entre los átomos. Este conjunto de energías que sí posee un cuerpo se llama *energía interna*. Podemos decir por lo tanto que:

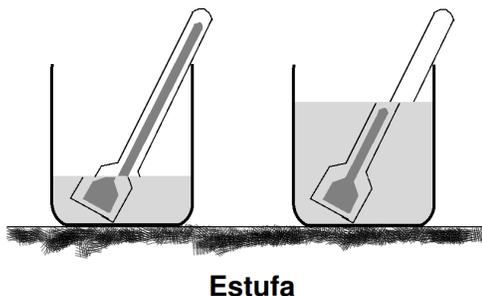
- Energía interna corresponde a la energía que contienen las moléculas que forman una sustancia.
- A medida que la temperatura de una sustancia aumenta, también aumenta la agitación de sus moléculas y viceversa. Esta agitación molecular hace crecer la velocidad promedio y también la energía potencial.

- La variación de temperatura produce una variación de la energía interna de las moléculas que forman un cuerpo. Al interactuar dos cuerpos que tienen diferentes temperaturas, éstos buscarán el equilibrio térmico a través de la transferencia de energía a la que denominamos calor.
- La unidad de medida del calor en el S.I. es el Joule $[J]$, la misma unidad con la que se mide la energía. Aunque no pertenece al S.I., se utiliza a la **caloría** $[cal]$ como unidad de calor. Su equivalencia con el joule es la siguiente:

$$1[cal] = 4,18[J]$$

Cuando un cuerpo absorbe o emite calor, aumenta o disminuye su energía interna. Pero **no necesariamente una transferencia de calor se traduce en un aumento de temperatura**, ya que la transferencia de calor a un cuerpo puede aumentar cualquier otra energía interna y no obligadamente generar un aumento de la agitación molecular. Ejemplo de esto es que al fundir hielo, el calor agregado no aumenta la temperatura sino que el calor aumenta otras formas de energía interna. En general, **mientras una sustancia sufre un cambio de fase, la temperatura no varía**.

La cantidad de calor cedido o absorbido no depende solamente de la diferencia de temperatura entre los cuerpos, sino que la cantidad de materia es también un factor. Si se colocan dos recipientes con distinto nivel de agua sobre una estufa, el recipiente con menor cantidad de agua aumentará más rápidamente su temperatura, a pesar que ambos reciben la misma cantidad de calor. Por ejemplo, un barril de agua caliente transfiere más calor a una sustancia más fría que una taza de agua a la misma temperatura. Esto se debe a que hay más energía interna al aumentar la cantidad de agua. Esta característica del calor contrasta con la temperatura, la cual no depende del número de partículas. Calor y temperatura son conceptos distintos.



Estufa

Desafío...



De un fogón se sacan un alfiler y un tornillo, ambos de acero. Cuando se dejan caer en cantidades idénticas de agua a la misma temperatura, ¿cuál genera un cambio mayor de temperatura en el agua?

→Capacidad calórica

Todos hemos notado que cuando se sirve un plato de carne con puré, la carne se enfría más rápido que el puré. De la misma manera, si tostar un pan y al mismo tiempo calientas una sopa, a los pocos minutos el pan tostado estará frío y la sopa seguirá caliente. Podemos decir entonces que no todos los materiales tienen la misma capacidad para absorber o ceder calor, lo que significa que hay algunas sustancias que se enfrían o calientan con mayor facilidad. **La capacidad para absorber o ceder calor se conoce con el nombre de capacidad**

calórica C y se expresa como la relación entre el calor absorbido o cedido Q por un cuerpo y la variación de temperatura ΔT que éste experimenta:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (4.5)$$

Desafío...



Una sustancia que se enfría con rapidez, ¿tiene una capacidad calórica alta o baja?



El relleno de una empanada puede estar muy caliente, mientras que la masa no tanto, debido a la diferencia de las capacidades caloríficas.

→Calor específico

El calor específico corresponde a la capacidad calórica por unidad de masa de una sustancia, es decir, el calor específico c representa la energía necesaria para que una unidad de masa m de una sustancia aumente su temperatura en un grado celsius (o kelvin) sin cambiar de estado. Así usando la ecuación anterior:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (4.6)$$

Se presentan a continuación los calores específicos de algunos materiales. Notar la diferencia que existe entre los líquidos y sólidos. Que los sólidos tengan un pequeño calor específico significa que se ceden y reciben calor fácilmente, por lo que al acercar nuestra mano a un metal, éste absorbe calor de nuestro cuerpo, lo que se traduce en la experiencia cotidiana de sentir los metales más fríos.

Material	Calor específico	$\frac{J}{Kg^{\circ}C}$
Oro	126	
Plata	233	
Cobre	386	
Vidrio	840	
Aluminio	900	
Hielo	2.000	
Alcohol	2.427	
Agua	4.186	

Ejemplo

¿Cuál es el calor necesario para que medio litro de agua alcance una temperatura de 100°C , desde una temperatura ambiente igual a 20°C ?

Solución: La temperatura inicial del líquido es 20°C y queremos que llegue a tener una temperatura final igual a 100°C , es decir, la variación de temperatura ΔT es 80°C . La densidad del agua es igual a $1\left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]$, entonces se concluye que medio litro de agua equivale $0,5[\text{Kg}]$. Con estos datos, y sabiendo además que el coeficiente de dilatación del agua es igual a $4.186\left[\frac{\text{J}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}\right]$, determinamos cuál es la cantidad de energía calórica Q necesaria para generar este aumento de la temperatura. Utilizando la ecuación (4.6):

$$\begin{aligned} Q &= 4.186 \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right] \cdot 0,5[\text{Kg}] \cdot 80^{\circ}\text{C} \\ &= 167.440[\text{J}] \end{aligned}$$

Desafío...

¿Qué tiene más calor específico, el agua o la arena?

Ejercicios**4.3**

1. Calcule la energía calórica que debe transferirse a $200[\text{g}]$ de agua para que su temperatura aumente desde 10°C hasta 20°C .
2. Calcule la energía cedida mediante calor por 10 litros de agua cuando se enfría desde 25°C hasta 0°C .
3. ¿Cuál es el calor específico de un cuerpo de $0,4[\text{Kg}]$ si para elevar su temperatura de 20°C a 25°C se necesitan $80[\text{cal}]$?
4. Se suministran $0,5[\text{Kcal}]$ para variar la temperatura de un bloque de oro de $30[\text{g}]$. Si el calor específico del oro es de $0,031\left[\frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}}\right]$, ¿cuál es la variación de la temperatura que experimenta?
5. ¿Qué cantidad de alcohol se requiere para que absorba $5,8[\text{Kcal}]$ y se eleve su temperatura en $4,5^{\circ}\text{F}$?

Desafío...

Una sustancia que se calienta con rapidez, ¿tiene un calor específico alto o bajo?

4.3.2. Propagación del calor

Los mecanismos de propagación del calor son la *conducción*, la *convección* y la *radiación*.

→Conducción

Es el proceso de transferencia de energía calórica a través de la agitación molecular de un material debido al aumento de la temperatura. Por ejemplo, al tomar un clavo de acero y acercarlo sólo la punta a una llama de fuego, se calentará tan rápido que no será posible sostenerlo. El calor entra por la punta que está en contacto con la llama y se transmite a través de todo el clavo. El fuego aumenta la velocidad promedio de los átomos y electrones libres de la punta del clavo, los que a su vez chocan con sus vecinos y así sucesivamente se transmite el movimiento. Este proceso de choques sucesivos continúa hasta que la agitación se ha transmitido a todos los átomos y el clavo se ha calentado. Podemos decir entonces que:

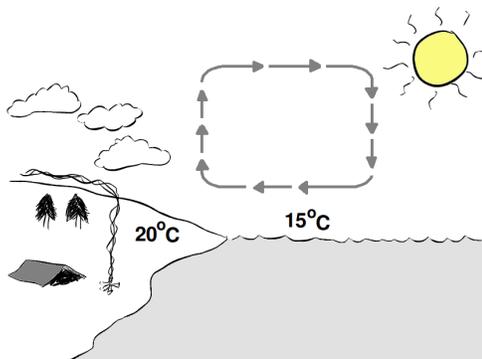
- No hay propagación de la materia, sólo de la energía.
- Dependiendo de la constitución atómica de una sustancia, la agitación térmica podrá transmitirse de uno a otro átomo con mayor o menor facilidad.
- Esta forma de propagación del calor ocurre con mayor efectividad en los sólidos, ya que sus moléculas se encuentran más cercanas.
- Para cada material existe un coeficiente de conductividad térmica y su unidad de medida según el S.I. es $\left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]$

Material	Coficiente de conductividad $\left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]$
Plata	428
Cobre	401
Aluminio	235
Acero inoxidable	14
Vidrio	1
Concreto	0,8
Agua	0,6
Madera	0,1
Aire	0,03
Lana	0,001

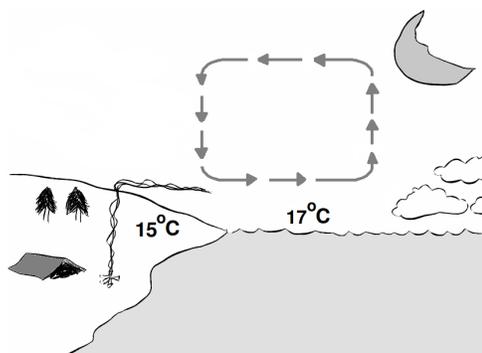
Los elementos con alto coeficiente de conductividad, como la plata, cobre y aluminio, se denominan *conductores* y los de bajo coeficiente, como lana, aire y madera se llaman *aislantes*. Podemos notar que al tocar algún material conductor lo sentimos helado, debido a que el calor de nuestra mano se transmite a él fácilmente, mientras que la sensación de palpar un material aislante es cálida. Las cortinas en las casas tienen una doble finalidad, la primera es para tener privacidad y protegernos del calor. La segunda y menos conocida es la siguiente, entre la cortina y la ventana hay una “muralla” de aire, la cual tiene la función de aislar la temperatura interior de la casa del clima exterior.

→**Convección**

Corresponde a la transmisión del calor en los líquidos y gases por el movimiento de sus moléculas, en forma de corrientes cálidas ascendentes y frías descendentes. A diferencia con la conducción que es transmisión de calor por choque y agitación de átomos, la convección implica movimiento de masa. Las corrientes de convección se generan, por ejemplo, en la atmósfera generan corrientes de viento afectando el clima. Otro ejemplo notable de corrientes por convección se ve en las costas, en donde la arena y el océano absorben distintamente el calor, esto genera corrientes de convección.



Durante el día la costa se calienta con mayor facilidad que el mar; el aire caliente de la costa es empujado hacia arriba por el aire frío, que llega desde el agua para “tomar su lugar”. Este movimiento da como resultado la brisa marina.



En la noche la situación se invierte, es decir, el aire en la costa es más frío que el aire sobre el mar, lo que produce una corriente por convección hacia el océano.

Desafío...



Si tienes una vela encendida y colocas tu mano alrededor de la llama no sientes calor, pero cuando la pones sobre la llama te quemas. ¿Por qué?

→**Radiación**

Mecanismo de transmisión de energía térmica por medio de ondas electromagnéticas que emiten todos los cuerpos a temperatura superior a 0[K]. Por ejemplo, la energía solar antes de llegar a la superficie terrestre, debe atravesar el espacio y luego pasar por la atmósfera, para que finalmente caliente la superficie. Ese calor no puede ser transmitido por conducción, ya que

el aire es mal conductor. Tampoco es posible que el calor se transmita a través del espacio por convección ni conducción. La energía entonces se transmite de otra manera, mediante *radiación*. Algunas características relevantes son las siguientes:

- La frecuencia de energía radiante es directamente proporcional a la temperatura absoluta del emisor. Un emisor muy caliente emitirá frecuencias altas, por ejemplo las estrellas más calientes son de color azul, mientras que las estrellas de baja temperatura son rojas.
- Cuando la energía radiante choca con un cuerpo, no es absorbida completamente, gran parte se refleja.
- El color afecta la capacidad de absorción de la radiación, las superficies oscuras absorben mucho más rápidamente que las de colores claros.
- Los cuerpos que absorben con facilidad, irradian con facilidad, es decir, un objeto negro que absorbe bastante energía en el día, cuando llegue la noche se enfriará con mayor rapidez.

Desafío...



Al calentar tres latones de hierro se observa que cada uno alcanza un color particular: verde, amarillo y violeta. ¿Cuál de ellos tiene mayor temperatura?

4.3.3. Cambios de fase

Los estados de la materia se presentan en cuatro fases diferentes: la fase sólida, la líquida, la gaseosa y el plasma. Por ejemplo el hielo es la fase sólida del H_2O , si aplicamos calor pasará a su estado líquido, si aplicamos más calor se evaporará pasando a su estado gaseoso. Finalmente si tenemos suficiente energía para aplicar, las moléculas se separarán y formarán iones llegando al estado plasmático. El proceso de transformación de una fase a otra se denomina *cambio de fase*. Todo cambio de fase de una sustancia requiere una transferencia de energía para poder realizarse, o también se puede obtener variando la presión, los cuales no generan, en el proceso, aumentos o disminuciones de la temperatura en la sustancia. A continuación se presenta el esquema de los diferentes estados que puede experimentar un cuerpo:

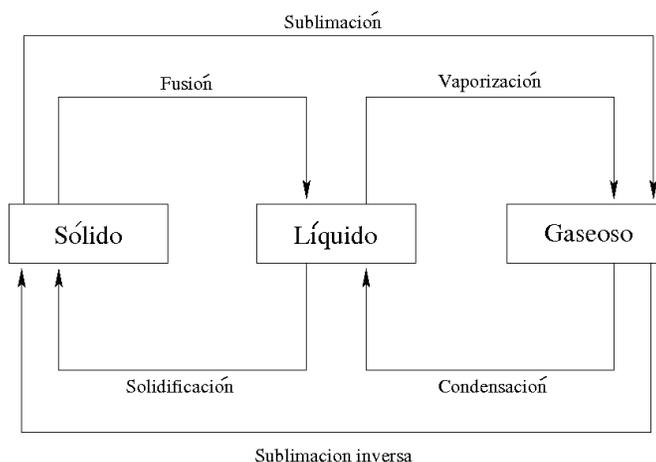


Figura 4.1: Diagrama de los cambios de fase.

- Los cambios de fase en que las sustancias requieren energía para que se produzcan son la vaporización, la fusión y la sublimación.
- Los procesos que liberan energía son la licuación o condensación, la solidificación y la sublimación inversa.
- El calor aplicado o liberado para realizar el cambio de fase no genera aumentos de temperatura.
- Durante el cambio de fase la temperatura de la muestra permanece constante, ya que la energía suministrada o liberada se utiliza en la ruptura o unión de enlaces intermoleculares.

Desafío...



Un líquido, ¿cede o absorbe energía cuando se convierte en gas? ¿Y cuando se convierte en sólido?

→ **Calor latente de cambio de fase**

Se denomina calor latente de cambio de fase L a la cantidad de calor Q por unidad de masa m que debe ceder o extraer a una sustancia en su punto crítico² para que cambie completamente de fase:

$$L = \pm \frac{Q}{m} \quad (4.7)$$

donde el signo $+$ se usa cuando ha sido necesario suministrar calor a las sustancias, de lo contrario se utiliza el signo $-$. En el S.I. su unidad de medida es $\left[\frac{J}{Kg} \right]$.

- Cada gramo de un sólido requiere de una cantidad de calor determinada para fundirse. Esta cantidad de calor se conoce como **calor de fusión**.
- El calor de fusión del hielo es igual a $3,33 \cdot 10^5 \left[\frac{J}{Kg} \right]$ y representa la energía necesaria para fundir un kilogramo de hielo.
- Cada gramo de un líquido a temperatura de ebullición, requiere de una cantidad de calor determinada para transformarse en vapor. Esta cantidad de calor se conoce como **calor de vaporización**.
- El calor de vaporización del agua es igual a $2,26 \cdot 10^6 \left[\frac{J}{Kg} \right]$ y representa la energía necesaria para evaporar un kilogramo de agua.

Desafío...



Un gas, ¿cede o absorbe energía cuando se convierte en un líquido? ¿Y cuando se convierte en un sólido?

²Punto crítico: Temperatura a la cual se produce un determinado cambio de estado.

Ejercicios

4.4

1. Determine el calor latente de fusión de una sustancia, si se requieren $307,5[KJ]$ para fusionar $1,5[Kg]$ de ella cuando se halla en su punto crítico.
2. Un artesano trabaja con $3,5[Kg]$ de plomo. Si el calor latente de fusión de este material es $22,9\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$ y considerando que se encuentra en su punto crítico:
 - a) ¿Qué cantidad de calor debe suministrar a esta cantidad de plomo para fundirla en un 40 %?
 - b) ¿Qué cantidad de calor debería suministrar a la muestra para fundirla completamente?
3. Se tiene vapor de agua a presión atmosférica y a una temperatura de $100^{\circ}C$. Si ha sido necesario extraer de dicho vapor $7.232[KJ]$ para transformarlo íntegramente en agua líquida a $100^{\circ}C$, ¿Qué masa de vapor contiene el dispositivo, si el calor latente de vaporización del agua es $2.260\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$?

→Modelo cinético-molecular en los sólidos

En el estado sólido las moléculas se encuentran muy juntas, unidas por fuerzas electromagnéticas bastante grandes que les impide desplazarse, aunque están en continua vibración, es decir, poseen energía cinética de vibración. Además el sistema de partículas se mantiene con un movimiento oscilatorio constante en torno a una posición de equilibrio, por lo que también tienen energía potencial. Debido a esta estructura, los sólidos tienen forma definida y ofrecen resistencia a las deformaciones.

→Modelo cinético-molecular en los líquidos

En el estado líquido las moléculas están más alejadas entre sí que en el sólido, la fuerza de cohesión entre ellas es más débil y el movimiento de vibración se hace con más libertad, permitiendo su traslación, siendo su energía interna igual a la energía cinética de vibración y a la energía cinética de traslación. Esto hace que puedan tomar la forma del recipiente que los contiene.

→Modelo cinético-molecular de los gases

En el estado gaseoso la separación entre las moléculas es mucho mayor que en los otros estados, siendo la fuerza de cohesión prácticamente nula. Las partículas se mueven en todas direcciones, siendo su energía interna igual a la suma de las energías cinéticas de vibración, traslación y rotación. Por este motivo no presentan una forma definida.

4.3.4. Roce y calor

Cada vez que dos cuerpos se frotran uno contra el otro se produce fricción o roce entre ellos. A medida que el roce aumenta comienza a elevarse paulatinamente la temperatura en ambas superficies en contacto. Lo anterior se debe a que como los cuerpos están compuestos por átomos, y a su vez éstos en su superficie contienen electrones, al chocar los electrones de un cuerpo con

los electrones del otro cuerpo se producen interacciones de tipo electromagnético. La energía disipada por esta interacción se manifiesta en calor.

4.4. Conservación de la energía

4.4.1. Energía mecánica y calor

La conservación de la energía implica que la energía total de un sistema se mantiene constante, aunque se transforme en otro tipo. La energía mecánica puede ser totalmente convertida en calor, pero la energía calórica sólo puede ser parcialmente transformada en energía mecánica. Por ejemplo la rueda de un auto en movimiento tiene energía mecánica que se transforma en energía térmica al frenar debido al roce con el suelo. En el siglo XIX James Joule demostró cuantitativamente que una cantidad de trabajo mecánico determinado produce siempre una misma cantidad de calor. El calor puede producir trabajo y recíprocamente el trabajo puede producir calor.

Ejercicios

4.5

1. Un automóvil de masa $700[Kg]$ que lleva una rapidez de $108[\frac{Km}{h}]$, choca con un poste de hierro de $5[ton]$ y se detiene. Si toda la energía cinética que posee el móvil se transforma en calor y es absorbido por el poste, ¿en cuánto aumenta la temperatura del poste? Considere que se requieren $0,12[cal]$ para aumentar en $1^{\circ}C$ la temperatura de $1[g]$ de hierro.

Otra consecuencia de la conservación de la energía la encontramos en la mezcla de sustancias, en donde la energía calórica cedida por un objeto es igual al calor absorbido por el otro objeto. Si sumamos a esto que cuando los cuerpos llegan al equilibrio térmico el calor neto es cero, se obtiene

$$Q_A + Q_B = 0 \quad (4.8)$$

De la definición de calor específico (4.6) podemos despejar el calor Q

$$Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i) \quad (4.9)$$

Esta relación deducida de la definición de calor específico se conoce como relación calorimétrica.

Ejemplo

Se mezclan $250[g]$ de agua a $10^{\circ}C$ con $450[g]$ de agua a $50^{\circ}C$. Calcular la temperatura final de la mezcla.

Solución: Recordar que cuando se alcance el equilibrio ambas dosis de agua tendrán la misma temperatura final. Además el calor neto en el equilibrio es cero. Sea Q_A el calor los 250 gramos de agua y Q_B el calor de los 450 gramos de agua. Usando la relación calorimétrica (4.8) y el principio de conservación de energía (4.7) se tiene que:

$$\begin{aligned}Q_A + Q_B &= 0 \\Q_A &= -Q_B \\250 \cdot c \cdot (T_f - 10) &= -450 \cdot c \cdot (T_f - 50) \\250 \cdot (T_f - 10) &= -450 \cdot (T_f - 50) \\5 \cdot (T_f - 10) &= -9 \cdot (T_f - 50) \\5T_f - 50 &= -9T_f + 450 \\14T_f &= 500 \\T_f &= 37,5^\circ C\end{aligned}$$

Ejercicios**4.6**

1. Si se mezclan 300[g] de agua a 15°C con 150[g] de agua a 95°C, ¿qué temperatura alcanza la mezcla?
2. Si se mezclan cantidades iguales de agua a 10°C y a 60°C:
 - a) ¿Cuál es la temperatura de la mezcla?
 - b) Si hubiese doble cantidad de agua a 10°C, ¿cuál será el valor de la temperatura de la mezcla?

→Máquina térmica

Una máquina térmica es un dispositivo o sistema capaz de transformar parte de la energía del calor en otro tipo de energía o en trabajo útil. La relación entre la cantidad de energía consumida E_c y la energía útil E_u que es capaz de producir una máquina térmica se llama *rendimiento* η :

$$\eta = \frac{E_u}{E_c} \quad (4.10)$$

Ejemplo de una máquina térmica es nuestro propio cuerpo. Éste recibe la energía proveniente de los alimentos que se expresa en calorías. Gracias al aporte calórico se puede producir trabajo muscular.

Ejercicios**4.7**

1. Una máquina térmica posee un rendimiento de un 25%, ¿qué significa este valor?
2. Una máquina térmica consume una cantidad de calor equivalente a 104[Kcal] produciendo una cantidad de trabajo mecánico de 2.104[J]. Determine el rendimiento de la máquina.

→Transformaciones de la energía

Todos los procesos de la naturaleza tienen asociados transformaciones energéticas. Por ejemplo, la fotosíntesis es un proceso en donde se transforma la energía lumínica proveniente del Sol en energía química; durante la combustión del carbón la energía química se transforma en energía térmica y lumínica; el motor eléctrico es capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica; etc.

Una consecuencia de la transformación de la energía es la *degradación de la energía*. Aunque tenga el mismo valor antes y después de ser transformada (*Principio de conservación de la energía*), su valor cualitativo cambia, pues se relaciona con la utilidad para el ser humano. Por ejemplo, en una ampolleta encendida, del 100 % de la energía eléctrica que se usó para encenderla sólo el 5 % se transforma en energía luminosa, el resto en calor.

→Recursos energéticos

Las fuentes de energía pueden ser **recursos renovables** como la energía solar, la energía eólica y la energía geotérmica:

- La **energía solar** constituye nuestra principal fuente de energía, tanto lumínica como térmica. Mediante celdas fotovoltaicas puede convertirse en energía eléctrica.
- La **energía eólica** es la energía asociada al viento, el cual se origina por el desigual calentamiento de la superficie de la Tierra, lo que produce corrientes de aire. La energía cinética del viento hace girar las aspas de un molino de viento, que a su vez accionan una bomba para extraer agua subterránea. Una turbina eólica convierte energía cinética de rotación en energía eléctrica.
- La **energía geotérmica** tiene su origen en el interior de la corteza terrestre, la cual está caliente en unas zonas más que en otras, provocando el calentamiento del agua subterránea. En algunas centrales geotérmicas de generación de electricidad, el vapor de agua proveniente de las zonas profundas se utiliza para activar los generadores.

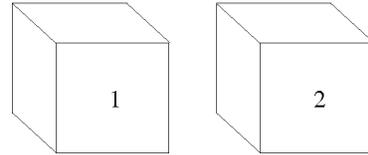
Pero también existen **recursos no renovables** como el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio:

- La mayor parte del **carbón** producido, se consume en las centrales de potencia eléctrica. La combustión del carbón genera vapor, el que a su vez activa los generadores eléctricos.
- El **petróleo** proporciona, principalmente, bencina, kerosene, cera y productos químicos derivados que se utilizan en la fabricación de fibras sintéticas.
- El **gas natural** es el combustible fósil que tiene la combustión más limpia. Se utiliza para la calefacción y la cocina; más recientemente en vehículos para reemplazar a la bencina.
- La energía nuclear del **uranio** es utilizada principalmente en Estados Unidos y Europa para producir electricidad. Cada unidad de uranio utilizada en la producción de energía eléctrica equivale a una tonelada de carbón.

4.5. Mini Ensayo III Calor

1. Dos cuerpos idénticos, 1 y 2, cuyas temperaturas son T_1 y T_2 , respectivamente, tal que T_1 es mayor que T_2 , se ponen en contacto térmico. Entonces, una vez alcanzado el equilibrio térmico

- a) Ambos tienen la misma temperatura
- b) Ambos cuerpos se han contraído
- c) El cuerpo 1 disminuyó su temperatura, bajando a la temperatura T_2
- d) El cuerpo 2 aumentó su temperatura, subiéndolo a la temperatura T_1
- e) Ambos cuerpos se han dilatado



2. ¿Para qué valores las escalas de temperatura celsius y kelvin coinciden?

- a) Sólo en el cero
- b) Sólo en 273,15
- c) Sólo en 100
- d) Sólo para valores positivos
- e) Para ningún valor

3. El punto de congelación del oxígeno es $-210^{\circ}C$. Esta temperatura expresada en kelvin, corresponde a:

- a) 53
- b) 63
- c) 110
- d) 346
- e) -483

4. Un puente de acero mide $1.000[m]$ de longitud. La mayor diferencia de temperatura es de $30^{\circ}C$, ¿cuál es el aumento de longitud del puente si el coeficiente de dilatación del acero es $11 \cdot 10^{-6}C^{-1}$?

- a) $0,033[cm]$
- b) $0,33[cm]$
- c) $3,3[cm]$
- d) $33[cm]$
- e) $330[cm]$

5. A mayor calor específico de un cuerpo se cumple que
- La rapidez de enfriamiento es mayor
 - Se enfriará más lentamente
 - Su temperatura será mayor
 - Su temperatura será menor
 - Se fundirá con mayor rapidez
6. Si el calor específico del acero es $0,11 \left[\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \right]$, ¿qué cantidad de calor se requiere para elevar la temperatura de $0,2[\text{Kg}]$ de este material desde los -10°C hasta los 50°C ?
- $0,88[\text{cal}]$
 - $8,8[\text{cal}]$
 - $880[\text{cal}]$
 - $1.320[\text{cal}]$
 - $13.200[\text{cal}]$
7. En un vaso de vidrio térmicamente aislado que contiene $\frac{1}{2}L$ de agua a 20°C se vierte $\frac{1}{2}L$ de agua a 80°C . La temperatura de esta mezcla, una vez alcanzado el equilibrio térmico, será
- 30°C
 - 40°C
 - 50°C
 - 60°C
 - 80°C
8. Un recipiente contiene $3[\text{Kg}]$ de agua a 20°C , y se vierte en él $1[\text{Kg}]$ de agua a 100°C . Entonces la temperatura final de la mezcla, si se mantiene en un ambiente aislado, es:
- 30°C
 - 40°C
 - 50°C
 - 60°C
 - 70°C

4.5. MINI ENSAYO III CALOR

9. La cantidad de calor que cede 1[g] de sustancia al pasar del estado líquido al estado sólido, a temperatura constante, se denomina
- a) Calor de condensación
 - b) Calor de sublimación
 - c) Calor de fusión
 - d) Calor de solidificación
 - e) Calor de vaporización
10. El calor de fusión del agua a $0^{\circ}C$ y a una presión de 1[atm] es $335\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$. Con este dato se infiere que a esta presión:
- a) La energía necesaria para derretir 1[Kg] de hielo a $0^{\circ}C$ es 335[KJ]
 - b) Al derretirse 1[Kg] de agua a $0^{\circ}C$ se liberan 335[KJ]
 - c) La energía de 1[Kg] de agua a $0^{\circ}C$ es 335[KJ]
 - d) Para solidificar 1[Kg] de agua a $0^{\circ}C$ se requieren 335[KJ]
 - e) La energía de 1[Kg] de hielo a $0^{\circ}C$ es 335[KJ]
11. El proceso de transferencia de calor que se efectúa a través del transporte de masa es:
- a) Dilatación
 - b) Presión
 - c) Radiación
 - d) Convección
 - e) Conducción
12. La transferencia de energía entre dos cuerpos que se hallan en contacto térmico y se encuentran a distinta temperatura, dura hasta que
- a) Ambos alcanzan la temperatura ambiente
 - b) Ambos alcanzan la misma temperatura
 - c) Ambos se enfrían
 - d) Uno de ellos alcanza la temperatura ambiente
 - e) Uno de ellos se enfría

13. Un automóvil de $800[Kg]$ de masa que viaja a $20\left[\frac{m}{s}\right]$ frena bruscamente, rozando sus ruedas contra el pavimento. ¿Qué cantidad de energía se transforma en la frenada?
- a) $1,6[KJ]$
 - b) $16[KJ]$
 - c) $160[KJ]$
 - d) $160[J]$
 - e) $800[J]$
14. A igual cantidad de masa, el mercurio (Hg), comparado con otros elementos, eleva apreciablemente su temperatura al aplicarle la misma cantidad de calor. Esto se debe principalmente a su
- a) Bajo calor específico
 - b) Alta conductividad térmica
 - c) Alto calor específico
 - d) Bajo calor latente
 - e) Alto coeficiente de dilatación térmica
15. Las masas de aire frío o caliente se producen en la atmósfera por las llamadas corrientes de:
- a) Conducción
 - b) Convección
 - c) Radiación
 - d) Dilatación
 - e) Contracción

Capítulo 5

Ondas

5.1. Introducción

Los fenómenos ondulatorios tienen su origen en una vibración. En un sentido amplio, todo lo que va y viene, de un lado a otro y regresa, entra y sale, enciende y apaga, es fuerte y débil, sube y baja, está vibrando u oscilando. Estos vaivenes pueden tener una naturaleza distinta, pero poseen algunas características y comportamientos similares.

Las ondas se pueden originar de dos maneras: a partir de la perturbación de un medio material o a través de la interacción de un campo eléctrico con un campo magnético, claramente son dos formas bastante diferentes entre sí, pero ¿qué tienen en común?. Gran parte de la información que somos capaces de emitir o recibir está “empaquetada” en ondas, el movimiento oscilatorio es una manifestación de la energía, la cual se transmite en el espacio y el tiempo comportándose de acuerdo a ciertos fenómenos transversales a todo tipo de ondas, tales como la reflexión, refracción, difracción, absorción, entre otros.

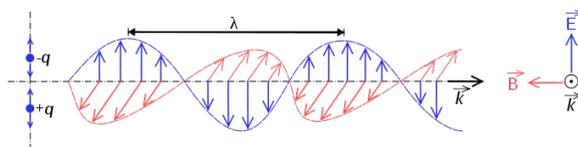
5.2. Onda

Es una perturbación que viaja a través de un medio elástico, ya sea sólido, líquido, gaseoso o en algunos casos a través del vacío. Transportan energía sin que exista desplazamiento de materia. Se Pueden clasificarse según varios criterios.

5.2.1. Clasificación de las ondas

1. Según el medio de propagación

- a) **Ondas mecánicas:** Son aquellas que necesitan de un medio elástico, material, que vibre. Se generan por perturbaciones mecánicas, como golpes. Un ejemplo son las ondas de sonido.
- b) **Ondas electromagnéticas:** Ondas que se propagan en el vacío, ya que no necesitan de un medio material para hacerlo. Son generadas por la oscilación del campo eléctrico y magnético, los que son inseparables. El campo eléctrico y magnético oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda, a su vez, los campos magnético y eléctrico son perpendiculares entre sí.



Otra característica general de las ondas electromagnéticas es la velocidad de propagación, que en el vacío alcanza un valor de $300.000 \left[\frac{Km}{s} \right]$, velocidad con la cual seríamos capaces de dar una vuelta a la Tierra en 20 milisegundos. Ejemplo de éstas son la luz y las ondas de radio.

Desafío...



Lanza al agua inmóvil una piedra y se forman círculos concéntricos. ¿Qué forma tendrán las ondas, si la piedra se lanza cuando el agua fluya uniformemente?

2. Según la periodicidad de la fuente que origina la onda

- a) **Ondas periódicas:** La perturbación que las origina se produce periódicamente, repitiéndose la misma onda en el tiempo.
- b) **Ondas no periódicas:** También llamadas pulsos, son ondas que no se repiten de la misma forma en el tiempo, debido a que la perturbación que las origina se da de forma aislada.

3. Según el sentido de propagación

- a) **Ondas estacionarias:** Se origina de la superposición de dos ondas, la incidente y la reflejada, que poseen la misma frecuencia, amplitud y dirección, pero con sentidos de propagación opuestos. Las ondas estacionarias se encuentran en medios limitados como un tubo lleno de aire, una cubeta de agua o una cuerda. En los límites del medio de propagación de la oscilación se produce la reflexión de la onda incidente, las que interfieren generando una nueva onda, la cual se denomina estacionaria debido a que posee puntos que están inmóviles o estacionarios los cuales son llamados nodos.

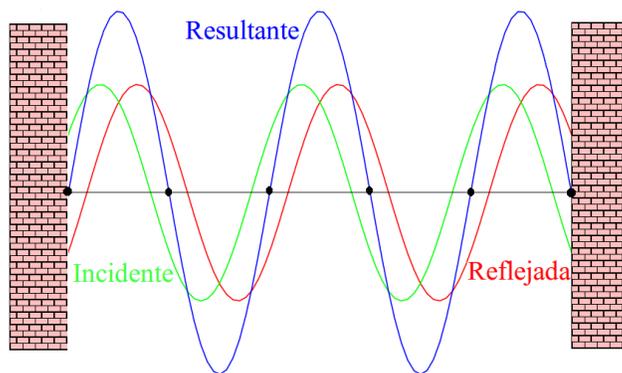


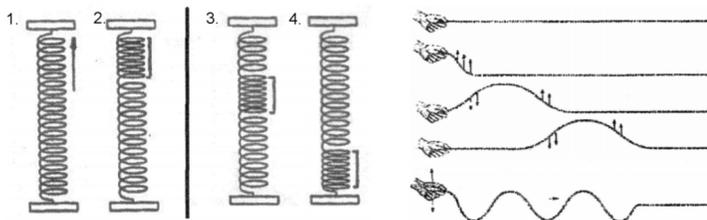
Figura 5.1: Una onda estacionaria es la resultante de la superposición de dos ondas con la misma frecuencia, amplitud y dirección, pero con sentidos de propagación opuestos.

- **Nodos:** Se llama nodo a todos los puntos de una *onda estacionaria* en donde la elongación es nula, y por lo tanto la energía es mínima. La distancia entre dos nodos consecutivos es siempre $\frac{\lambda}{2}$.

- **Antinodos:** Puntos de una onda estacionaria en donde la elongación es máxima, por lo tanto, la energía es también lo es. Están a media distancia entre dos nodos.
- b) **Ondas viajeras:** Son aquellas que se propagan desde una fuente en un sentido único, disminuyendo su amplitud a medida que pasa el tiempo.

4. Según la dirección de movimiento de las partículas

- a) **Ondas transversales:** Son aquellas en donde las partículas del medio vibran perpendicularmente al movimiento de propagación de la onda. Por ejemplo las ondas en el agua y las ondas electromagnéticas como la luz.
- b) **Ondas longitudinales:** Son aquellas en donde las partículas del medio vibran en la misma dirección de la onda, por ejemplo el sonido y las ondas sísmicas.



Desafío...



En una palabra, ¿qué es lo que se mueve de la fuente al receptor en el movimiento ondulatorio?

5. Según su número de dimensiones

- a) **Ondas unidimensionales:** Se propagan a lo largo de una sola dirección del espacio. Una cuerda vibrando es un ejemplo de esto.
- b) **Ondas bidimensionales:** Se propagan en dos direcciones, esto es sobre un plano, por lo que se les conoce también como ondas superficiales. Un ejemplo son las ondas producidas en el agua al lanzar una piedra.
- c) **Ondas tridimensionales:** Se propagan en tres direcciones, la mayoría de las veces en forma de esferas. El sonido y las ondas electromagnéticas son ejemplo de esto.

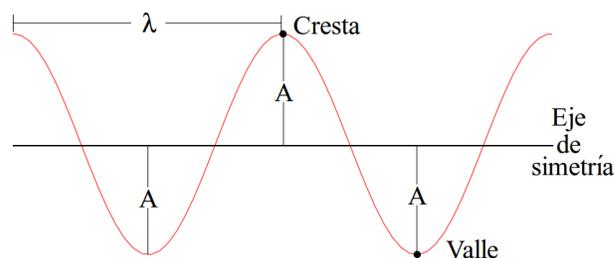
5.2.2. Características del movimiento ondulatorio

→ **Cresta**

Punto que ocupa la posición más alta en una onda.

→ **Valle**

Punto que ocupa la posición más baja en una onda.



→ Amplitud

Distancia medida desde el eje de simetría a la *cresta* o *valle*. En el caso de una onda mecánica es la elongación máxima que alcanza una partícula en medio de una vibración y es proporcional a la energía transmitida por la onda. La denotaremos con la letra A y su unidad de medida en el S.I. es el metro.

→ Período

Tiempo necesario para completar una oscilación. Lo denotaremos con la letra T y su unidad de medida en el S.I. es el segundo.

→ Frecuencia

Número de oscilaciones que realiza una onda por segundo. Su unidad de medida en el S.I. es el *Hertz* [Hz], que es equivalente a [s^{-1}]. Podemos calcular la frecuencia f como sigue:

$$f = \frac{1}{T} \quad (5.1)$$

Notar que entre más grande sea el período T , más pequeño será la frecuencia f y si el período es muy pequeño, entonces la frecuencia es muy grande. Esto quiere decir que f y T son inversamente proporcionales.

→ Longitud de onda

Distancia existente entre valle y valle o de cresta a cresta de una onda, también podemos definirla como la distancia que recorre una onda en un período. La denotaremos con la letra griega *lambda* λ y su unidad de medida en el S.I. es el metro.

→ Velocidad de propagación de una onda

Como λ , longitud de onda, es la distancia entre cresta y cresta, y T , período, es el tiempo que tarda en hacer una oscilación completa, entonces la rapidez de una onda se puede expresar de la siguiente manera:

$$v = \frac{\lambda}{T}, \quad \text{como } f = \frac{1}{T}$$

entonces

$$v = \lambda \cdot f \quad (5.2)$$

Dimensionalmente λ es [L] y f es [$1/T$], lo que implica que $v = [L/T]$, por lo tanto, v está correcto en sus unidades de medida.

🔗 Ejercicios

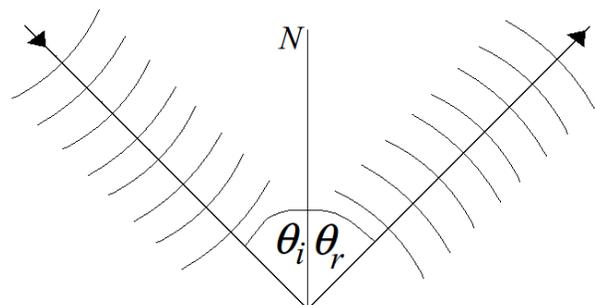
5.1

1. La frecuencia de una onda longitudinal es de $25[Hz]$, entonces ¿cuál es su período?
2. El período de una onda mecánica es de $\frac{5}{3}[s]$, entonces ¿cuál es la frecuencia de la onda?
3. ¿Cuál es la período y frecuencia del minuterero de un reloj análogo?
4. ¿Cuál es el período de un péndulo que realiza 12 oscilaciones en 4 segundos?
5. ¿Cuál es la frecuencia del aspa de una hélice si se demora 5 segundos en completar una vuelta?
6. Si un computador tiene un procesador de $1.700[Hz]$, ¿cada cuánto tiempo realiza un proceso?
7. Las ondas de radio viajan a la rapidez de la luz, a $300.000[\frac{Km}{s}]$. ¿Cuál es la longitud de las ondas de radio que se recibe de la emisora $101.3[MHz]$ en tu radio FM?
8. ¿Cuál es la velocidad de una onda que recorre $20[m]$ en $5[s]$?
9. En una cuerda se generan 120 ondas en 3 segundos, las cuales se desplazan a $14[\frac{m}{s}]$. Determine:
 - a) Período
 - b) Frecuencia
 - c) Longitud de onda
10. Un marinero en un bote observa que las crestas de las olas pasan por la cadena del ancla cada $5[s]$. Estima que la distancia entre crestas es $15[m]$. ¿Cuál es la rapidez de las olas?
11. Entre una cresta y un valle, contiguos de una onda en la superficie del mar, existe una distancia de $1,2[m]$. En un minuto pasan junto a una boya 50 crestas de estas ondas, ¿cuál es la velocidad de las olas? Si frente a ti pasa un tren de carga, y cada vagón tiene $10[m]$ de longitud. Si ves que cada segundo pasan exactamente tres de estos vagones. ¿Cuál es la rapidez del tren?

5.2.3. Fenómenos ondulatorios

→ Reflexión

En general, es el rebote de una partícula u onda que choca con la separación entre dos medios. Este fenómeno cumple con la *Ley de reflexión*.



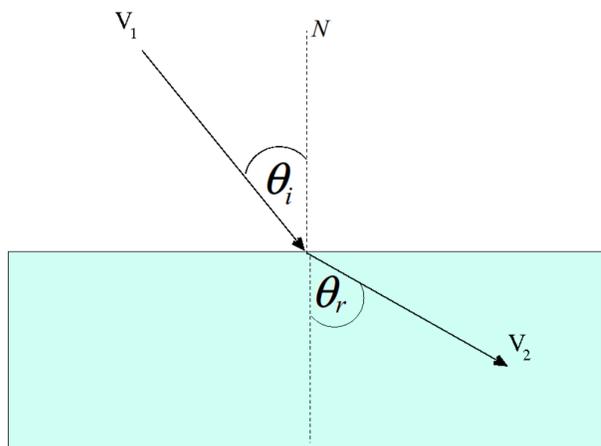
† **Ley de reflexión**

- i El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión respecto a la normal, segmento perpendicular a la superficie en el punto de reflexión.
- ii Las direcciones de incidencia, reflexión y normal están contenidas en un mismo plano.

La naturaleza tiende a realizar procesos que minimicen la energía. En el caso de la reflexión de una onda o partícula, ésta busca recorrer el camino que menos tiempo le tome.

→ **Refracción**

Fenómeno que consiste en el cambio de dirección y velocidad de una onda, cuando ésta pasa desde un medio de propagación a otro con distinta densidad o temperatura . Durante este proceso siempre la frecuencia se mantiene constante, no así la longitud de onda. La relación matemática que describe este fenómeno es conocida como *Ley de refracción*.

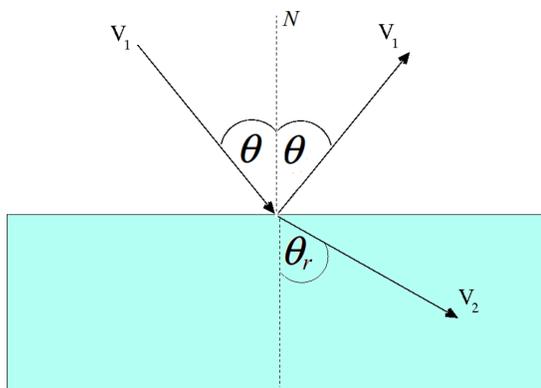


† **Ley de refracción**

La relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción, es igual a la razón entre la velocidad de la onda en el primer medio y la velocidad de la onda en el segundo medio de propagación:

$$\frac{\text{sen}(\theta_i)}{\text{sen}(\theta_r)} = \frac{V_1}{V_2} \tag{5.3}$$

En general, los fenómenos de reflexión y refracción no son excluyentes, se manifiestan simultáneamente en la naturaleza.



🔗 Ejercicios

5.2

1. Una onda de luz incide sobre un espejo con un ángulo igual a 35° respecto a la normal, ¿cuál es el ángulo de reflexión del rayo?
2. Una onda sonora viaja por el aire con una velocidad aproximada de $340 \left[\frac{m}{s} \right]$, al llegar a la superficie de una piscina parte del sonido se refracta, cambiando su velocidad a $1.500 \left[\frac{m}{s} \right]$. ¿Cuál es el ángulo de refracción de la onda, si el de incidencia fue de 10° ?
3. Una onda pasa de un medio M_1 a un medio M_2 . Se sabe que en el medio M_2 la velocidad de propagación de la onda disminuye a la mitad de la que llevaba en el medio M_1 . Si al cambiar de medio la onda se desvía 20° respecto de la normal, ¿en qué ángulo se reflejó?

→ Difracción

Es un fenómeno que afecta la propagación de la onda, haciendo que ésta al pasar por un obstáculo del orden de su longitud de onda, se curve y lo bordee. Se tiene una distorsión más notoria cuando la abertura es comparativamente más pequeña respecto de la longitud de onda.

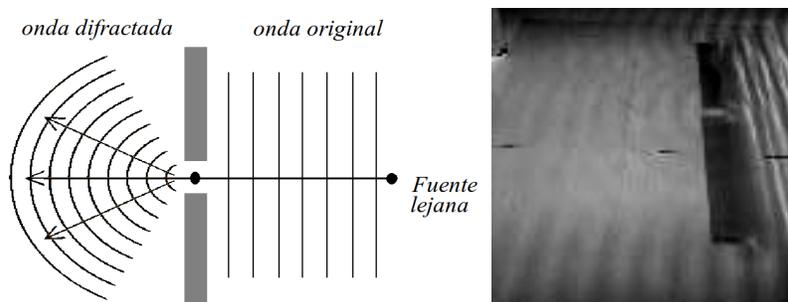


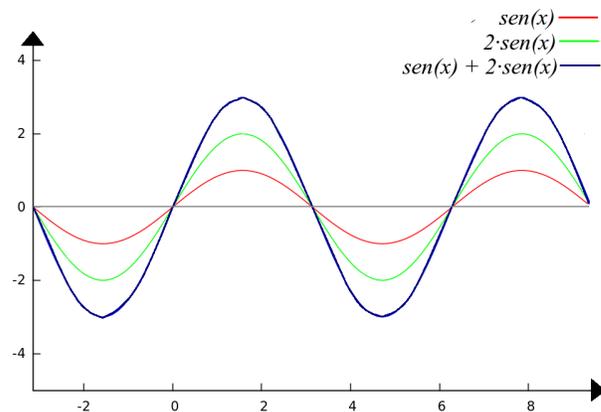
Figura 5.2: La abertura del obstáculo se convierte en una nueva fuente puntual.

→ Interferencia

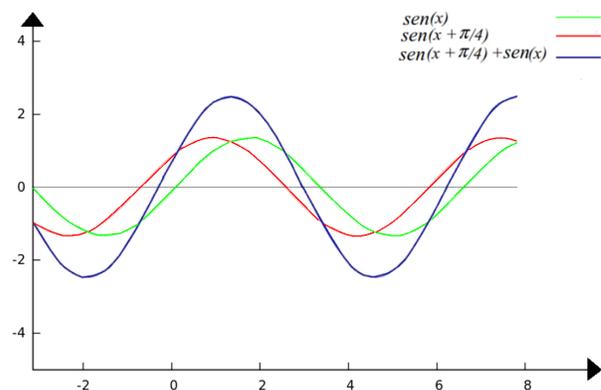
Se presenta cuando en un punto incide más de una onda, produciendo que la elongación de la onda resultante sea la suma de las elongaciones de las ondas incidentes en dicho punto. Cada onda individual después de interferir continua su propagación sin alterar sus características iniciales (amplitud, frecuencia y velocidad). Este fenómeno es exclusivamente ondulatorio, contrariamente a lo que sucede con las partículas, ya que la naturaleza corpuscular permite el intercambio de energía, la modificación de velocidades tanto en módulo como en dirección a partículas que coinciden en un mismo punto.

Para dos ondas que interfieren se pueden identificar dos situaciones generales: que estén en *fase* o en *desfase*. Dos o más ondas están en *fase* si sus crestas y valles llegan a un lugar al mismo tiempo, de manera que sus amplitudes se refuerzan en todo punto. Para esto las ondas deben tener en común la frecuencia.

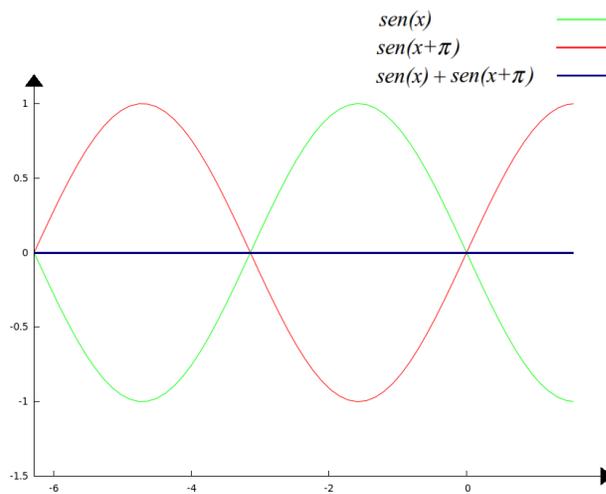
Cuando dos ondas en fase interfieren, en todos los puntos se genera un refuerzo total de las elongaciones, diremos entonces que en cada punto se produce *interferencia constructiva*. En el caso de superponer dos ondas idénticas en fase se obtendrá una onda con la misma frecuencia, pero con el doble de amplitud.



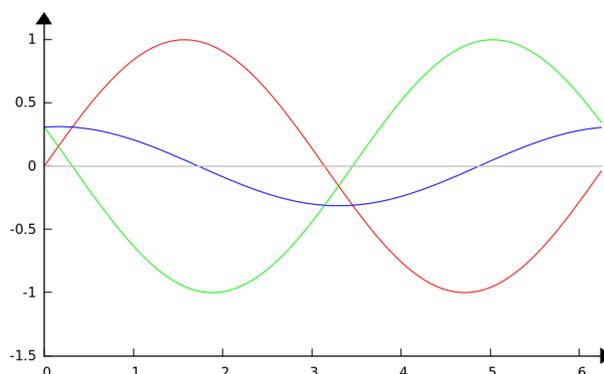
Dos o más ondas están en *desfase* si en un mismo instante sus valles y crestas no coinciden.



Si dos ondas de igual amplitud y están desfasadas exactamente en media longitud de onda, al superponerlas se anularán por completo, diremos entonces que en cada punto se produce *interferencia destructiva*.



En una interferencia distinta a los dos casos anteriores, habrán lugares de interferencia constructiva y destructiva, pero también se encontrarán lugares de anulación parcial.



Desafío...

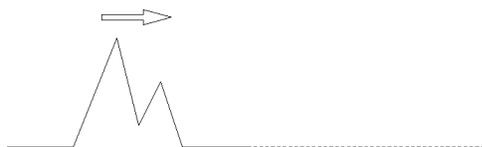


¿Es posible que una onda se anule con otra y que no quede amplitud alguna?

Ejercicios

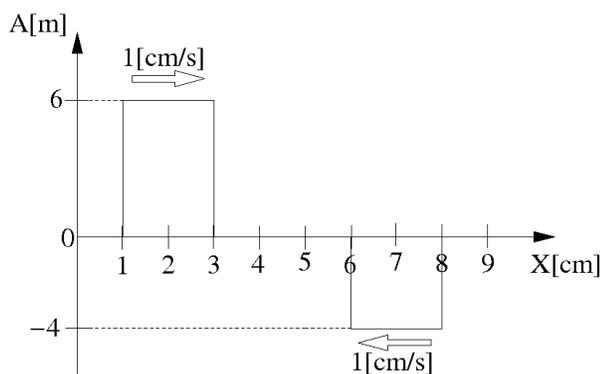
5.3

- El pulso de la figura se propaga por una cuerda elástica hacia la derecha. Dibuje en el extremo derecho de la cuerda otro pulso que viaje hacia la izquierda, de modo que éste anule al anterior al superponerse ambos.

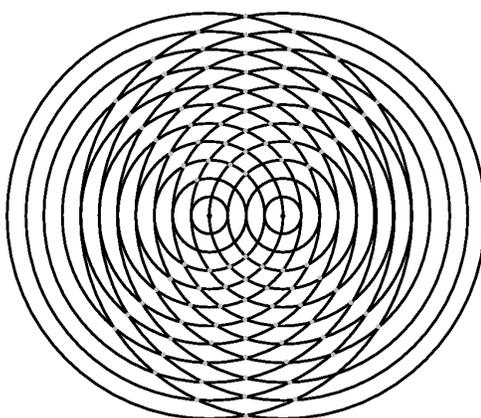


- Dos pulsos de amplitudes A y B se desplazan en sentidos opuestos por un mismo medio. ¿Cuál es la amplitud resultante cuando se superponen, en cada uno de los siguientes casos?
 - $A = 2[cm]$; $B = -4[cm]$
 - $A = -2[cm]$; $B = 4[cm]$
 - $A = 4[cm]$; $B = -2[cm]$
 - $A = -4[cm]$; $B = 2[cm]$
 - $A = -2[cm]$; $B = 2[cm]$
- En la figura, se muestran dos pulsos viajeros cuadrados que se propagan por el mismo medio, pero en sentidos contrarios. Cada pulso tiene una velocidad de propagación igual a $1 \left[\frac{cm}{s} \right]$. Determine la posición de los pulsos en los siguientes instantes de tiempo y dibuje el pulso resultante de la superposición de ambos.

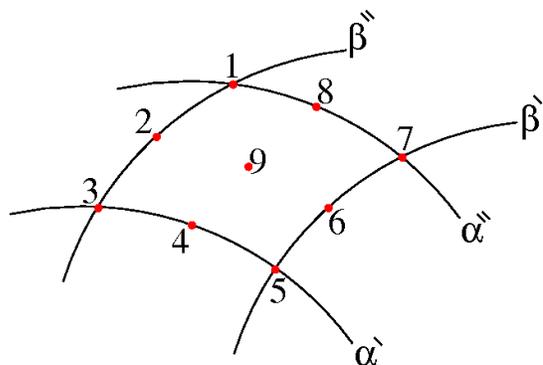
- a) 2[s]
- b) 3[s]
- c) 4[s]



A continuación estudiaremos el principio de superposición de ondas a partir de ondas circulares generadas en un fluido. Suponga que tiene en una cubeta de agua dos generadores α y β de ondas circulares periódicas, ambas con frecuencia f y amplitud A , separados por una distancia d . Las ondas circulares comienzan a propagarse por el líquido, interfiriéndose.



A través de la siguiente figura analizamos cualquier zona en donde interactúan las ondas producidas por los generadores α y β , donde α' y α'' son dos crestas consecutivas de la onda periódica generadas por α , mientras que β' y β'' son dos crestas consecutivas de la onda periódica generadas por β . Es importante recordar que entre dos crestas consecutivas siempre existe un valle, por lo que en el dibujo la zona que está entre las curvas corresponde a uno de ellos.



Por el principio de superposición de ondas se concluye que:

- Cada vez que se encuentran dos crestas, la amplitud resultante es igual a $2A$ (la suma de las amplitudes individuales de cada onda), es decir, se produce interferencia constructiva en ese punto.
- Cada vez que se encuentran dos valles, la amplitud resultante es igual a $-2A$ (la suma de las amplitudes individuales de cada onda), es decir, también corresponde a una interferencia constructiva en donde los valles se refuerzan.
- Cada vez que se encuentran una cresta con un valle, estos se anulan, generando una amplitud resultante igual a cero, es decir, produce interferencia destructiva. Este punto se denomina nodo o punto nodal. Si se unen todos los puntos nodales, en dirección a los generadores, se obtienen las líneas nodales.
- El número de líneas nodales es inversamente proporcional a la longitud de onda de las ondas circulares y directamente proporcional a la distancia d que separa a los generadores de onda.

🔗 Ejercicios

5.4

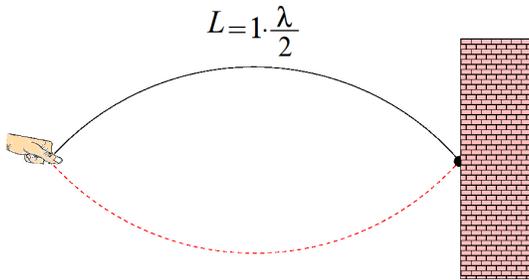
1. A partir de la figura anterior, la cual representa una zona del diagrama de interferencia entre dos ondas circulares de igual frecuencia y amplitud, complete la siguiente tabla:

Punto	Se superponen	Amplitud	Interferencia
1	2 crestas	$2A$	Constructiva
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

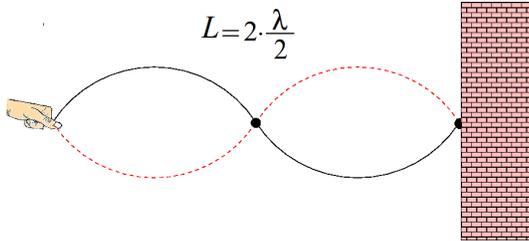
→ Cuerda vibrante

Tomemos el ejemplo de una cuerda de largo fijo L , sujeta a un muro y algún dispositivo en la otra punta que la haga vibrar. Las ondas generadas son *reflejadas* al chocar con los extremos, produciéndose *ondas estacionarias* con dos *nodos* obligados en los extremos y cualquier número de nodos entre ellos.

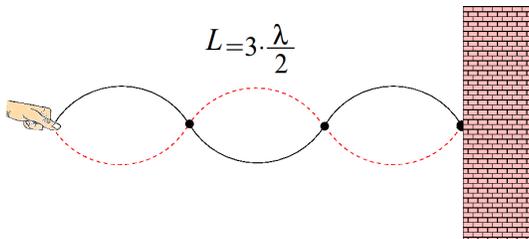
Como la distancia consecutiva entre dos nodos es $\frac{\lambda}{2}$, la longitud fija L de la cuerda puede expresarse según la cantidad de *medias longitudes de onda* ($\frac{\lambda}{2}$) que se formen entre los nodos obligatorios.



Por ejemplo, si se hace vibrar la cuerda de tal manera de formar sólo una cresta o valle entre los dos nodos obligatorios, tendremos sólo 1 media longitud de onda.



Si se aumenta la frecuencia a tal punto que se genere un nodo entre los dos obligatorios, se tendrán 2 medias longitudes de onda como se muestra en la figura.



Si se aumenta aún más la frecuencia de oscilación a tal punto que se formen dos nodos entre los dos obligatorios, se tendrán 3 medias longitudes de onda como se muestra a continuación.

El valor de la longitud de onda λ varía respecto de la cantidad de nodos que se formen y la única cantidad fija es el largo L de la cuerda en vibración.

Notar además que el número total de nodos, es siempre una unidad mayor que el número de *medias longitudes de onda* ($\frac{\lambda}{2}$) que denotaremos por n . Es decir, si se tienen en total 2 nodos entonces $L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$, si hay 3 nodos tendremos que $L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$ y si hay 4 nodos $L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$. Esta relación que existe entre el largo L , el número total de nodos y la cantidad de *medias longitudes de onda*, n , se puede generalizar en lo siguiente:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \tag{5.4}$$

Como se dijo anteriormente, el largo de la cuerda L es fijo y es el valor de la longitud de onda λ el que cambia. Despejando λ

$$\lambda = 2 \cdot \frac{L}{n} \tag{5.5}$$

como $f = \frac{v}{\lambda}$ las frecuencia de una onda cuerda vibrante pueden ser escrita como:

$$f = \frac{n}{2L} \cdot v \tag{5.6}$$

Por lo tanto la frecuencia depende del número de nodos que tenga la cuerda, a cada una de estas frecuencias se les denomina *frecuencias naturales*. Por otro lado, la velocidad de propagación está determinado por la siguiente relación:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (5.7)$$

donde T es la tensión de la cuerda¹ y μ es la densidad lineal de la cuerda, esto es la masa de la cuerda dividida por el largo. Reemplazando (5.7) en (5.6):

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (5.8)$$

Cuando $n = 1$ se tiene la frecuencia más baja, denominada *frecuencia fundamental*; para $n > 1$ las frecuencias se denominan *armónicos*, los cuales son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Cada armónico está asociado a una manera de vibración particular de la cuerda, denominada *modo*, el primero de ellos, llamado *modo fundamental de vibración*, se obtiene cuando $n = 1$, para $n = 2$ se encuentra el *segundo modo de vibración* y su frecuencia asociada se denomina *segundo armónico* y así sucesivamente.

Si se hace vibrar una cuerda con su *frecuencia fundamental*, se produce un efecto llamado *resonancia* caracterizado por el logro de amplitudes relativamente grandes.

Si se hace vibrar una cuerda con una frecuencia distinta a la de cualquier armónico, entonces se generan *ondas forzadas* con una amplitud muy pequeña.

Si se detiene la emisión de ondas en una cuerda, entonces las oscilaciones se amortiguan de forma gradual, debido a la disipación de energía en los extremos y al roce con el aire.

Ejemplo

Una cuerda de densidad lineal $\mu = 2 \cdot 10^{-3} \left[\frac{Kg}{m} \right]$ está sometida a una tensión de $45[N]$ y fija en ambos extremos. Una de las frecuencias de resonancia es $375[Hz]$ y la siguiente más alta es de $450[Hz]$. Determine cuales son esos modos de resonancia y el largo de la cuerda.

Solución: Primero determinaremos cuál es el largo de la cuerda usando la ecuación (5.8) para cada frecuencia. Notar que las frecuencias naturales que nos dan son consecutivas, esto quiere decir que los modos de vibración, n , de cada frecuencia son consecutivos. Lamemos $f_1 = 375[Hz]$ y $f_2 = 450[Hz]$

$$f_1 = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

por otro lado

$$f_2 = \frac{n+1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

la diferencia entre ellas es:

$$\begin{aligned} f_2 - f_1 &= \frac{n+1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} - \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \\ &= (n+1) \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} - n \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \\ &= \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \end{aligned}$$

¹No debe confundirse en la ecuación (5.8) la T de tensión con la T de período.

reemplazando los valores dados:

$$\begin{aligned}
 450[Hz] - 375[Hz] &= \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{45[Kg \cdot \frac{m}{s^2}]}{2 \cdot 10^{-3}[\frac{Kg}{m}]}} \\
 75[s^{-1}] &= \frac{1}{2L} \cdot 150 \left[\frac{m}{s} \right] \\
 75 &= \frac{1}{L} \cdot 75[m] \\
 1 \left[\frac{1}{m} \right] &= \frac{1}{L} \\
 L &= 1[m]
 \end{aligned}$$

Por lo tanto el largo de la cuerda es $L = 1[m]$. Los modos de vibración n los encontramos reemplazando L en la ecuación (5.8)

$$\begin{aligned}
 f_1 &= \frac{n}{2} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \\
 375 &= \frac{n}{2} 150 \\
 5 &= n
 \end{aligned}$$

Luego $f_1 = 375[Hz]$ corresponde al quinto modo de vibración. Como según el enunciado $f_2 = 450[Hz]$ es el armónico siguiente, entonces f_2 corresponde al sexto modo de vibración.

Ejercicios

5.5

- Una cuerda fija en ambos extremos se encuentra en su quinto modo de vibración con una frecuencia de $120[Hz]$.
 - ¿Cuántos nodos y antinodos se producen en la cuerda para la situación descrita?
 - ¿Cuál es la frecuencia fundamental de vibración de la cuerda?
- Una cuerda de $90[cm]$, fija en ambos extremos, se hace vibrar de modo que la onda estacionaria que se forma posee 4 nodos y una frecuencia de $300[Hz]$.
 - ¿En qué modo de vibración se encuentra la cuerda?
 - ¿Cuál es la longitud de onda correspondiente al modo de vibración descrito?
 - ¿Qué separación existe entre un nodo y un antinodo consecutivo?
- Una cuerda de $480[m]$ tiene una masa de $240[Kg]$ y una tensión de $72[N]$. Calcule:
 - La densidad lineal de la cuerda.
 - La velocidad de las ondas que viajan por la cuerda.
 - El largo de $200[Kg]$ de cuerda.
 - La masa de $2[Km]$ de cuerda.

Desafío...



Imagina que haces vibrar una cuerda con un extremo fijo a un muro, formando una onda estacionaria de tres segmentos (o medias longitudes de onda). Si entonces agitas la mano con el doble de frecuencia. ¿Qué modo fundamental obtendrás? ¿Cuántas longitudes de onda se forman en la cuerda?

→ **Absorción**

Cuando una onda choca con un objeto, sólo una parte de la energía que transporta la onda es reflejada, la otra parte es absorbida por el material. Parte del fenómeno del color tiene relación con la absorción, donde lo que vemos es la onda que se refleja en los objetos, mientras que las demás ondas son absorbidas por el material. Si se ilumina un limón con luz blanca lo veremos amarillo dado que absorbe todos los colores menos el amarillo, de lo contrario, si lo iluminamos con una luz que no contenga amarillo, veremos un limón oscuro debido a que absorbe toda la gama de colores con la que está siendo alumbrada y no refleja prácticamente nada porque la fuente no contiene amarillo.

Desafío...



Al dejar caer una piedra a una poza de agua, las ondas se difunden por la superficie plana del charco. ¿Qué sucede con la energía de las ondas cuando desaparecen?

5.3. Mini Ensayo IV Ondas

1. Una onda mecánica posee una frecuencia igual a $2[Hz]$, entonces su período es:
 - a) $0,2[s]$
 - b) $0,5[s]$
 - c) $2[s]$
 - d) $5[s]$
 - e) $20[s]$

2. Un columpio demora $6[s]$ en efectuar 3 vaivenes, entonces $2[s]$ equivale a su:
 - a) Su frecuencia
 - b) Su amplitud
 - c) La mitad de su período
 - d) Su rapidez
 - e) Su período

3. Número de oscilaciones que realiza una onda por segundo. ¿A qué corresponde esta definición?
 - a) Período
 - b) Frecuencia
 - c) Longitud de onda
 - d) Amplitud
 - e) Elongación

4. El sonido, las ondas sísmicas y las ondas que se propagan en un resorte, son ejemplos de:
 - a) Onda estacionaria
 - b) Onda electromagnética
 - c) Onda longitudinal
 - d) Onda transversal
 - e) Onda periódica

5. Una onda mecánica viaja a través de un medio elástico, y las vibraciones de las partículas individuales son paralelas a la dirección de propagación (movimiento) de la onda, esta perturbación corresponde a una onda:
- a) Longitudinal
 - b) Electromagnética
 - c) Transversal
 - d) Unidimensional
 - e) Viajera
6. Si en un sistema que vibra, la frecuencia de oscilación aumenta, entonces necesariamente en el sistema:
- a) Disminuye su amplitud
 - b) Disminuye su período
 - c) Aumenta su amplitud
 - d) Aumenta su período
 - e) Ninguna de las anteriores
7. Comparando las ondas mecánicas con las electromagnéticas se hace la siguiente afirmación:
- I En la propagación de ambas hay transmisión de energía.
 - II Las ondas mecánicas se propagan en medios materiales, las electromagnéticas sólo en el vacío.
 - III Las ondas mecánicas tienen una velocidad mayor que las electromagnéticas en el vacío.
- Es(son) correcta(s):
- a) Sólo I
 - b) Sólo II
 - c) Sólo III
 - d) Sólo I y II
 - e) Sólo I y III

8. Una cuerda de $100[cm]$ y masa $4[Kg]$ está sujeta a un muro y se hace vibrar, de tal manera que se generan en total 5 nodos y una tensión de $16[N]$ en la cuerda. Su velocidad y frecuencia son:

- a) $\frac{5}{2}[m/s]$ y $2[Hz]$
- b) $2[m/s]$ y $\frac{5}{4}[Hz]$
- c) $4[m/s]$ y $2,5[Hz]$
- d) $2[m/s]$ y $\frac{5}{2}[Hz]$
- e) $2[m/s]$ y $4[Hz]$

9. Según la ley de reflexión se cumple que:

- a) El ángulo de incidencia es la mitad del ángulo de reflexión
- b) El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión
- c) El ángulo de incidencia es igual al doble del ángulo de reflexión
- d) El ángulo de reflexión es independiente del ángulo de incidencia
- e) Las ondas sólo se reflejan en superficies lisas

10. Fenómeno que afecta a la dirección de la onda, haciendo que al pasar por un orificio de tamaño menor a su longitud de onda bordee el obstáculo, convirtiéndolo a ese obstáculo en una nueva fuente sonora. Esta definición corresponde a:

- a) Refracción
- b) Reflexión
- c) Transmisión
- d) Difracción
- e) Eco

11. Un corazón humano efectúa aproximadamente 60 latidos en un minuto, esto significa que su frecuencia en $[Hz]$ es:

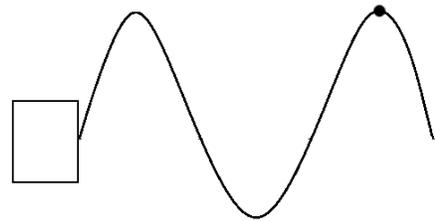
- a) 60
- b) 30
- c) 2
- d) 1
- e) $\frac{1}{2}$

12. ¿Cómo varía la velocidad de una onda transversal en una cuerda, si la tensión se cuadruplica?

- a) Se cuadruplica
- b) Disminuye a la mitad
- c) Se duplica
- d) Disminuye a un cuarto de la inicial
- e) No varía ya que no depende de la tensión

13. La figura representa una onda producida en una cuerda por un generador G que tiene una frecuencia f . Se representan también la longitud de onda λ , amplitud A y un punto B de la cuerda. De acuerdo a la información, es falso afirmar que:

- a) El punto B oscila con rapidez igual a λ
- b) La rapidez de propagación de la onda en la cuerda es $v = \lambda \cdot f$
- c) El período de la onda, corresponde al intervalo de tiempo en que B hace una oscilación completa
- d) La frecuencia de oscilación del generador es igual a la frecuencia de oscilación del punto B
- e) Al cambiar el medio de propagación de la onda, λ se modifica



14. Al comparar dos ondas, P y Q, desplazándose por el aire, se determina que la onda Q tiene mayor frecuencia que la onda P. Al respecto, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?

- a) La onda Q posee mayor longitud de onda que la onda P
- b) Ambas poseen igual longitud de onda
- c) La onda Q tiene mayor rapidez que la onda P
- d) La onda P tiene menor período que la onda Q
- e) Ambas poseen igual rapidez

15. La ventana de un salón de danza vibró sólo cuando se ejecutan ciertos pasos de baile. ¿Qué fenómeno ondulatorio explica mejor el suceso?

- a) Interferencia
- b) Absorción
- c) Reflexión
- d) Refracción
- e) Resonancia

Capítulo 6

El Sonido

6.1. Introducción

El sonido es un fenómeno físico producido por la vibración de algún cuerpo material, estas oscilaciones sólo en algunos casos pueden ser escuchadas a través de nuestros oídos. Cuando se combinan de manera coherente sonidos que somos capaces de oír se genera lo que se conoce como música, arte que ha sido practicada desde tiempos muy antiguos, pero que nunca había sido mirada desde el punto de vista científico, hasta que Pitágoras se interesó en entender por qué algunas piezas musicales le parecían más bellas que otras. Posteriormente, Aristóteles comprobó que el sonido consistía en contracciones y expansiones de aire. Durante el siglo XVI se avanza rápidamente en la comprensión del fenómeno, siendo Galileo y Mersenne los descubridores de las leyes que rigen una cuerda vibrante, mientras Newton obtiene la ecuación para determinar la velocidad del sonido en un sólido. De ahí en adelante comienzan los avances en esta rama, llegando a ser capaces de crear herramientas útiles basadas en las propiedades de estas ondas mecánicas, tales como el ultrasonido en medicina.

6.2. Características del sonido

El sonido es una onda mecánica longitudinal, producida por la vibración de un medio elástico que puede ser sólido, líquido o gaseoso, transmitiéndose por diferencias de presión en el medio de propagación.

6.2.1. Intensidad

Es la característica que permite distinguir si un sonido es fuerte o débil. Está directamente relacionado con la *amplitud*: **para sonidos fuertes, amplitudes grandes; para sonidos débiles, amplitudes pequeñas**. También es posible asociar la intensidad y amplitud de onda con la cantidad de energía que transporta: **a mayor intensidad o amplitud, mayor energía transportada**. La intensidad de sonido se mide con un instrumento llamado *sonómetro* y su unidad de medida es el decibel [*db*], nombre que se deriva del inventor Alexander Graham Bell.

Fuente sonora	[db]
Silencio absoluto	0
Hojas de árbol movidas por la brisa	20
Radio o televisión	40
Conversación común	60
Tráfico urbano intenso	70
Persona gritando	90
Obra de construcción urbana	100
Umbral de sensación dolorosa	140

La exposición prolongada a sonidos sobre los 100[db] produce daños irreversibles en el tímpano.

6.2.2. Tono o altura

Permite distinguir cuando un sonido es más agudo o grave que otro. Tiene relación directa con la *frecuencia* de la onda sonora: **para sonidos agudos, frecuencias altas; para sonidos graves, frecuencias bajas**. El tono de un sonido aumenta si su frecuencia aumenta y viceversa.

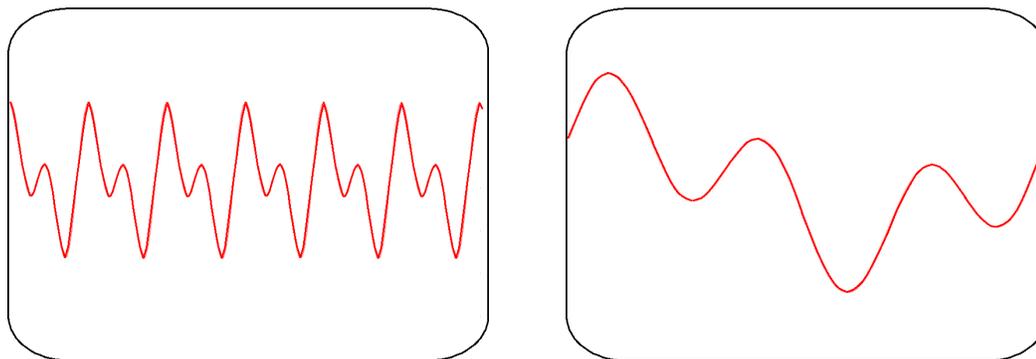
6.2.3. Timbre o calidad

Permite distinguir entre sonidos de igual intensidad y tonalidad, los que son emitidos por fuentes distintas. Así por ejemplo una nota Do tocada en una flauta dulce suena distinto si es tocada en un saxo.

Ejercicios

6.1

- Una flauta y un clarinete están emitiendo sonidos de la misma altura, siendo la amplitud del sonido del clarinete mayor que la del sonido de la flauta. Considere una persona situada a la misma distancia de ambos instrumentos.
 - ¿Qué instrumento es percibido primero, el clarinete o la flauta?
 - ¿Cuál de los sonidos podrá percibir con mayor intensidad la persona?
 - La frecuencia del sonido emitido por la flauta ¿es mayor, menor o igual a la frecuencia del sonido emitido por el clarinete?
 - ¿Ambos instrumentos emiten la misma nota musical o son notas diferentes?
 - ¿Las formas de las ondas sonoras emitidas por ambos instrumentos son iguales o diferentes?
 - ¿La persona percibirá sonidos de timbre semejante o distinto?
- ¿Cuál de las dos notas musicales que se ven en cada pantalla de osciloscopio es más alto?



3. En los osciloscopios de arriba, ¿cuál muestra el sonido más intenso?

6.3. Velocidad de propagación

Depende del medio en el cual se propaga el sonido, destacando dos factores: la *densidad* y *temperatura* del medio, por lo que cualquier variación de estos factores altera la velocidad de propagación.

A continuación se muestran algunas velocidades del sonido en distintos medios y temperaturas.

Medio	Temperatura [$^{\circ}C$]	Velocidad [m/s]
Aire	0	331
Aire	15	340
Agua	25	1.493
Madera	20	3.900
Acero	15	5.100

Desafío...



¿Cómo explicas que un sonido se transmita más rápidamente en un sólido que en un líquido o un gas?

La velocidad de propagación es independiente de la frecuencia y la amplitud, por lo tanto, en un medio homogéneo con temperatura constante la velocidad de propagación es constante. Notar además en la tabla, que la velocidad de propagación del sonido es mayor en los medios más densos como los sólidos, así es más rápida en el acero que en el aire. Podemos concluir que **a mayor densidad del medio, mayor es la velocidad de propagación del sonido en ese medio**.

A mayor temperatura del medio, mayor rapidez en la transmisión del sonido. En el caso del aire a partir de los $15^{\circ}C$, por cada grado que aumenta la temperatura, la velocidad del sonido aumenta en $0,6 \left[\frac{m}{s} \right]$, matemáticamente la relación existente entre la rapidez del sonido v y la temperatura del aire T_C en grados Celcius es:

$$v = (331 + 0,6 \cdot T_C) \left[\frac{m}{s} \right]$$

Desafío...

¿Es correcto afirmar que en todos los casos, sin excepción, una onda de radio se propaga más rápidamente que una onda sonora?

Ejercicios**6.2**

1. Un barco explora el fondo marino con sonido ultrasónico que se propaga a $1.530 \left[\frac{m}{s} \right]$ en el agua de mar. Si en determinado instante desde la emisión hasta la recepción del sonido han pasado 2 segundos, ¿qué profundidad tiene el agua?
2. A los 6 segundos de ver un relámpago se oye el trueno. Calcule a qué distancia se produjo, sabiendo que la velocidad del sonido en el aire es de aproximadamente $340 \left[\frac{m}{s} \right]$.
3. La longitud de una onda sonora en un medio A es de $2[m]$; en un medio B , el mismo sonido se propaga con una longitud de onda de $8[m]$. ¿Cuál es la relación entre la velocidad de propagación en el medio A respecto a la del medio B ?
4. ¿A qué temperatura se encuentra el aire si el sonido se transmite por él a $347,2 \left[\frac{m}{s} \right]$?
5. Un sonido se transmite en el aire de una habitación a $20^\circ C$. ¿En qué porcentaje varía su rapidez de transmisión si la temperatura del aire disminuye en un 25 %?

6.4. Rango de audibilidad

El rango de audición humano está entre $20[Hz]$ y $20.000[Hz]$. Vibraciones inferiores a $20[Hz]$, llamadas *infrasonido*, o superiores a $20.000[Hz]$, llamadas *ultrasonido*, son imperceptibles para el sistema auditivo humano.

6.4.1. Aplicaciones

→ Ultrasonido

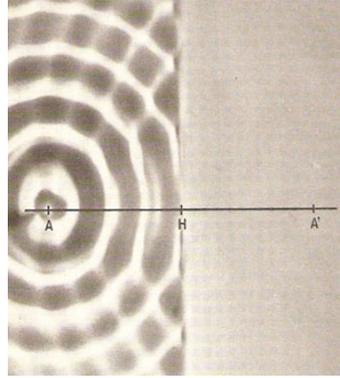
El ultrasonido es aplicado en la ingeniería para la medición de distancias, caracterización interna de materiales, etc. En medicina el ultrasonido está presente en ecografías, fisioterapia, entre otros. Las ecografías se usan para obtener imágenes bidimensionales y tridimensionales del interior del cuerpo, con la ventaja de no usar radiación, como es el caso de los *Rayos X*. Actualmente se usa para el estudio de líquidos, que en presencia de ultrasonido forman cavidades (*fusión fría*).

→ Infrasonido

La principal aplicación de las ondas de infrasonido es la detección de objetos, esto debido al bajo nivel de absorción que sufren en el medio. El inconveniente es que puede ser usada, por ejemplo, en el aire para detectar objetos de más de $20[m]$ y en el agua, objetos de más de $100[m]$.

6.5. Fenómenos auditivos

El sonido por ser una onda se puede *reflejar*, *refractar*, *difractar* y cumple con el *Principio de superposición de ondas*.

Figura 6.1: Imagen propiedad de *2mdc.com*

6.5.1. Reflexión

El sonido es una onda mecánica longitudinal esférica producida por variaciones de presión en el medio, lo que genera vibraciones en las partículas de éste. Cuando el sonido se acerca a una superficie (un muro por ejemplo), las partículas vecinas al obstáculo chocan con él, de tal manera que cada una de ellas se comporta como una fuente puntual. El resultado de esta suma de fuentes puntuales es una onda que se propaga como si fuera generada desde un punto ubicado detrás del muro a la misma distancia que la fuente original respecto del obstáculo, como se muestra en la figura:

Una aplicación de este fenómeno es el sonar de un submarino.

→ Eco

Fenómeno que se produce cuando el sonido que se emite se vuelve a oír después de cierto tiempo. Es la reflexión del sonido sobre una superficie que se encuentre al menos a 17 metros de distancia de la fuente, produciéndose así un eco monosílabo. Si el obstáculo está a una distancia un poco mayor, el sonido reflejado perturbaría al sonido emitido por la fuente, generándose un eco nocivo, pero si el sonido reflejado se sobrepone al emitido entonces el eco es útil.

Ejemplo

¿Porqué la distancia mínima a la que debe situarse una persona para percibir el eco de su voz es de 17 metros?

Solución: Sabemos que la velocidad del sonido en el aire a temperatura ambiente es aproximadamente $340 \left[\frac{m}{s} \right]$, además el oído humano es capaz de diferenciar dos sonidos cuando estos llegan desfasados por un tiempo mínimo de $0,1[s]$.

Suponga que está parado dentro de una catedral, sea x la distancia que hay entre usted y la pared principal, sea $t = 0$ el instante en que usted emite un sonido y lo percibe. Para que se produzca eco el tiempo que debe haber pasado para escuchar el sonido reflejado en la pared es $t = 0,1[s]$. La velocidad está dada por el cociente entre la distancia recorrida por la onda y el tiempo empleado en recorrerla, en este caso como la onda emitida recorre una distancia de ida igual a x y al reflejarse en la pared recorre nuevamente esa distancia hasta llegar a su oído, la

distancia total recorrida de ida y vuelta es igual a $2x$, luego:

$$340 \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{2x}{0,1[s]}$$
$$x = 17[m]$$

Se concluye que la distancia mínima a la que debe ubicarse respecto de la pared para percibir el eco de su voz es $17[m]$.

Ejercicios

6.3

1. Un barco envía un sonido para determinar la profundidad del mar a través de su sonar, recibiendo el eco $1[s]$ más tarde. Si el sonido se transmitió a $1.500 \left[\frac{m}{s} \right]$, ¿cuál es la profundidad del mar en ese lugar?
-

→ Reverberación

Se conoce como *reverberación* al fenómeno que se produce cuando un sonido es reflejado de manera reiterada, y no pueden ser distinguidos por separado, dificultando la audición. Por ejemplo el *eco* en iglesias antiguas.

6.5.2. Refracción

Cuando el sonido pasa de un medio a otro, se produce una desviación de la dirección y una variación en la velocidad de la onda sonora, cumpliéndose la *Ley de refracción*. La refracción también puede producirse dentro de un mismo medio cuando las características físicas de éste no son homogéneas. Por ejemplo, cuando de un punto a otro la temperatura de un medio varía, se produce una desviación del sonido.

Es importante recalcar que la única característica que se mantiene constante es la frecuencia de la onda, todas las demás como amplitud, longitud de onda y velocidad cambian.

Desafío...



Una niña con voz muy aguda llama a su hermano que se encuentra sumergido en el agua de una piscina. El sonido de la voz se refracta llegando a los oídos del niño, el cual escucha un sonido ¿más agudo o más grave?

6.5.3. Difracción

Cuando el sonido pasa por una abertura, la onda se desvía simétricamente hacia ambos lados de ésta, dando la impresión de que el sonido es emitido por esa separación. La abertura se convierte en un nuevo foco de emisión de ondas esféricas. Algo similar ocurre cuando el sonido se encuentra con un obstáculo, desviándose alrededor de él. Esto permite que dos personas, separadas por un muro, puedan entablar una conversación sin inconvenientes.

Ejercicios**6.4**

1. En una audición orquestal, una flauta emite un sonido muy agudo, mientras que la tuba está emitiendo un sonido grave.
 - a) ¿Cuál de estos instrumentos está produciendo el sonido de menor longitud de onda?
 - b) Entonces, ¿cuál de las dos ondas sufrirá la difracción más acentuada al encontrarse con un obstáculo?
 - c) ¿Cuál de los dos instrumentos será mejor escuchado por alguien situado atrás del obstáculo?

6.5.4. Interferencia

Es la superposición de múltiples ondas sonoras, como por ejemplo la *reverberancia*, que es apreciable por un aumento del sonido cuando la interferencia es constructiva y con zonas de silencio cuando es destructiva.

6.5.5. Atenuación

Disminución de la intensidad del sonido por la distancia, debido a la absorción de la energía que produce el medio de propagación, decreciendo la amplitud y manteniéndose constantes la frecuencia y el período.

6.5.6. Absorción

Cuando el sonido se encuentra con una superficie dura, se refleja. En cambio cuando lo hace con un material “blando”, como una cortina, se absorbe total o parcialmente. Si el sonido tiene una frecuencia alta y el material es “blando”, entonces mayor es la *absorción*.

6.5.7. Efecto Doppler

Al pasar una ambulancia cerca de una persona, el sonido de la sirena que ésta escucha, va variando a medida que la ambulancia se acerca y aleja de ella. Mientras se viene aproximando, el tono parece aumentar, es decir, su frecuencia crece volviéndose más agudo y cuando se aleja su frecuencia decrece, tornándose más grave. Este fenómeno tan cotidiano se conoce como *efecto Doppler*, en honor a Christian Doppler.

Desafío...

Cuando una fuente sonora se mueve hacia ti, ¿percibes un aumento o disminución de la rapidez de la onda?

Veámoslo en detalle: cuando la ambulancia viaja con una velocidad considerable, ésta tiende a alcanzar a las ondas de sonido que emite delante de ella y a distanciarse de las que propaga detrás. El resultado de esto es que para un receptor estático las ondas se comprimen delante y se expanden detrás. Por lo tanto, cuando la ambulancia se acerca al observador llegan más ondas por segundo a él (mayor frecuencia) y al alejarse llegan menos ondas por segundo (menos frecuencia),

lo que se traduce en una variación del tono. Sintetizando, **el efecto Doppler establece que cuando la distancia relativa entre la fuente sonora y el observador varía, la frecuencia del sonido percibida por éste cambia, es distinta de la frecuencia del sonido emitida por la fuente.**

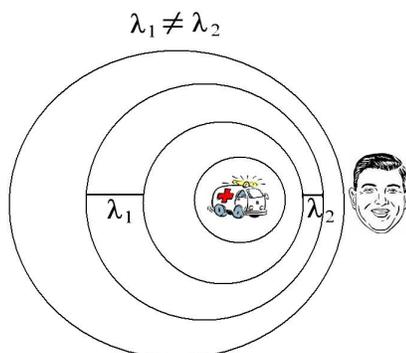


Figura 6.2: La variación de la longitud de onda se traduce en una variación del tono que percibe el observador.

Desafío...



- 1) ¿Por qué hay un efecto Doppler cuando la fuente sonora es estacionaria y el observador se acerca o aleja del emisor? ¿En qué dirección debe moverse el observador para escuchar una frecuencia mayor? ¿Para escuchar un sonido grave?
- 2) Una auto de policía toca su sirena mientras persigue a un ladrón que corre alrededor de una plaza circular. Justo en el centro de la plaza se encuentra una abuelita tomando helado. ¿En esta situación, ella percibe el efecto Doppler?

6.5.8. Resonancia

Es posible decir que cada objeto tiene una vibración particular, una *frecuencia natural*. Si un cuerpo induce una vibración cualquiera sobre otro lo denominaremos *frecuencia forzada*. Ahora bien, si aquella frecuencia forzada es igual a la *frecuencia natural*, se produce un aumento de forma progresiva de la amplitud de la vibración del objeto, lo que se denomina *resonancia*. Así es posible romper copas de cristal con sólo dar una nota apropiada continuamente o que un puente se derrumbe con una pequeña ventolera (Puente Tacoma, 1.940). Otras aplicaciones de la *resonancia* se encuentran frecuentemente en la música, como es el caso de las *cajas de resonancia* que amplifican la intensidad del sonido, sin modificar la frecuencia.

6.6. El Oído

Es un órgano que se encuentra superdesarrollado en mamíferos, como el humano, y contiene a los órganos de la audición y el equilibrio. Está constituido principalmente por el *oído externo*, el *oído medio* y el *oído interno*.

6.6.1. Oído externo

Está compuesto por el *pabellón auditivo* (oreja), el *conducto auditivo* y el *tímpano*. Su función básica es la recepción del sonido.

6.6.2. Oído medio

Es un conducto estrecho y lleno de aire que limita por un lado con el tímpano y por otro con la *ventana oval*. Dentro del oído medio se encuentran cuatro huesos pequeños: el *yunque*, el *martillo*, el *estribo* y el *lenticular*.

6.6.3. Oído interno

Es una cavidad similar a un laberinto y se encuentra dentro del *hueso temporal*, está llena de un líquido viscoso (mezcla de sangre y líquido cefalorraquídeo) y contiene a los órganos de la audición y del equilibrio. Está formado por tres cavidades : el *vestíbulo*, tres *canales semicirculares* y el *caracol*.



6.6.4. Proceso de audición

- 1 El sonido ingresa al oído por el *pabellón*, que comúnmente llamamos oreja, llegando al canal auditivo.
- 2 Luego, el sonido hace vibrar al *tímpano*, membrana elástica situada en el oído externo. Esta vibración se transmite a una cadena de tres pequeños huesos: el *yunque*, el *martillo* y el *estribo*
- 3 Mediante un mecanismo de palanca estos tres huesos amplifican casi 40 veces el sonido: un pequeño movimiento del martillo produce un gran movimiento del estribo. Este movimiento hace vibrar la *ventana oval*.
- 4 La vibración de la ventana oval es transmitida a través del fluido que está dentro del *caracol* hasta una membrana llamada *basilar*.
- 5 La vibración de la membrana basilar estimula las terminaciones nerviosas del *órgano de Corti*, lo que genera un impulso nervioso que viaja a través del nervio auditivo hasta el encéfalo. Allí el impulso nervioso se interpreta como sonido, completándose el proceso de audición.

6.7. Mini Ensayo V El Sonido

1. El sonido es:

- a) Una onda longitudinal electromagnética
- b) Una onda transversal
- c) Una onda mecánica longitudinal
- d) Una onda electromagnética
- e) Una onda mecánica transversal

2. ¿Cuál de las siguientes propiedades posee el sonido?

- I Propagarse en un medio material.
- II Propagarse en el vacío.
- III Reflejarse y refractarse.

- a) Sólo I.
- b) Sólo II.
- c) Sólo III.
- d) Sólo I y III.
- e) Sólo I, II y III.

3. Con respecto a la propagación del sonido, es correcto afirmar que éste se transmite

- a) Sólo en ambientes gaseosos
- b) Con mayor rapidez en líquidos que en sólidos
- c) Con menor rapidez en el aire que en los líquidos
- d) Con mayor frecuencia en el aire que en los líquidos
- e) Siempre con la misma longitud de onda

4. Un sonar demora 4 segundos en recibir el eco de un ultrasonido emitido hacia el fondo marino. ¿Qué profundidad hay en ese punto? (La velocidad del sonido en el agua es igual a $1.500\left[\frac{m}{s}\right]$)
- a) 375 [m]
 - b) 1.500 [m]
 - c) 2.000 [m]
 - d) 3.000 [m]
 - e) 6.000 [m]
5. El efecto *Doppler* es un fenómeno sonoro consistente en:
- a) El eco que se produce cuando el sonido “rebota” con una superficie
 - b) La desviación de la dirección de la onda sonora cuando pasa por una abertura
 - c) La desviación de la dirección de la onda sonora cuando pasa de un medio a otro.
 - d) Disminución de la intensidad del sonido por la distancia, debido a la absorción de la energía que produce el medio de propagación, decreciendo la amplitud y manteniéndose constantes la frecuencia y el período.
 - e) Variación del tono que oye un espectador, respecto al movimiento relativo de la fuente sonora, debido al cambio de la frecuencia de la onda escuchada.
6. La caja de resonancia es importante en un instrumento musical de cuerdas debido a que:
- a) Aumenta la frecuencia del sonido
 - b) Disminuye la potencia del sonido
 - c) Disminuye la frecuencia del sonido
 - d) Disminuye la intensidad del sonido
 - e) Aumenta la intensidad del sonido

7. Una bocina montada sobre un vehículo emite un sonido de cierta frecuencia. El vehículo se mueve con rapidez constante, alejándose de A y acercándose a B. Entonces es cierto que:
- a) La frecuencia que percibe A es menor a la que percibe B
 - b) La frecuencia que percibe B es menor a la que percibe A
 - c) Ambos perciben la misma frecuencia
 - d) Ambos no perciben el sonido
 - e) A medida que el vehículo se mueve, B percibe una frecuencia cada vez menor y A una cada frecuencia cada vez mayor.
8. Intensidad, tono y timbre de un sonido se relacionan directamente con características de la onda. Estas son respectivamente:
- a) Amplitud, Fuente y Frecuencia
 - b) Fuente, Amplitud y Frecuencia
 - c) Frecuencia, Amplitud y Fuente
 - d) Fuente, Amplitud y Frecuencia
 - e) Amplitud, Frecuencia y Fuente
9. Cuando una onda pasa de un medio de propagación a otro, ¿cuál es la única propiedad, de las nombradas a continuación, que no cambia?
- a) Amplitud
 - b) Elongación
 - c) Frecuencia
 - d) Longitud
 - e) Velocidad
10. Una persona, situada frente a una pared, percibe el eco de sus palabras $2[s]$ después de pronunciarlas. Determine la distancia entre la persona y la pared, considerando la velocidad del sonido igual a $340[m/s]$:
- a) $720[m]$
 - b) $340[m]$
 - c) $170[m]$
 - d) $860[m]$
 - e) $1.000[m]$

11. La característica más importante de un medio, para transportar una onda sonora es:
- a) Que el medio sea gaseoso.
 - b) Que el medio sea sólido o líquido.
 - c) Que el medio sea denso.
 - d) Que el medio sea rígido.
 - e) Que el medio sea deformable o elástico.
12. Cuando una onda sonora, que se propaga por un medio gaseoso, alcanza una región en que la temperatura del aire es diferente, cambia su:
- a) Frecuencia
 - b) Timbre
 - c) Altura
 - d) Longitud de onda
 - e) Ninguna de las anteriores
13. En relación a las ondas de sonido, la afirmación más correcta es:
- a) Cuanto más grave sea el sonido, mayor será su frecuencia
 - b) Cuanto más agudo sea el sonido, mayor será su amplitud
 - c) El timbre del sonido está relacionado con su velocidad de propagación
 - d) Podemos distinguir dos sonidos, del mismo tono y de la misma intensidad, emitidos por dos personas si ellas tienen timbres diferentes.
 - e) La intensidad de un sonido queda caracterizado por su frecuencia
14. Dos personas conversan a través de una espesa pared de 3[m] de altura y 10[m] de largo, interpuesta entre ellos. El fenómeno que mejor explica este hecho es:
- a) Difracción
 - b) Refracción
 - c) Reflexión
 - d) Absorción
 - e) Ninguna de las anteriores

15. Ciertas ondas pueden sufrir atenuación o amortiguación a medida que se propagan en un medio. Por ejemplo, cuanto más distante de la fuente sonora, más difícil se hace oír un sonido emitido. La atenuación de una onda está caracterizada por una variación de:
- a) La amplitud de la onda
 - b) La frecuencia de la onda
 - c) La velocidad de propagación de la onda
 - d) La longitud de onda
 - e) Ninguna de las anteriores

Capítulo 7

La luz

7.1. Introducción

Alrededor del 450 a.C. se consideraba que los cuerpos eran capaces de proyectar luz que el ojo captaba para luego ser interpretadas por el alma. La escuela pitagórica creía todo lo contrario, no eran los objetos quienes emitían luz, sino que los propios ojos eran capaces de determinar el color y la forma de los cuerpos a través de una fuerza misteriosa. Es Euclides quien introduce el concepto de rayo de luz proveniente de los ojos. Trece siglos más tarde se postuló que la luz era un “proyectil” que venía del Sol, rebotaba en los objetos y llegaba al ojo. Muchas ideas surgieron, pero fue Isaac Newton junto a Christiaan Huygens quienes comienzan con un desarrollo serio de la óptica, ciencia que estudia el comportamiento de la luz, sus manifestaciones y características.

Al descubrir que la luz blanca se descompone en los colores del arco iris al pasar por un prisma, Newton propone su teoría corpuscular de la luz, en contraposición al modelo ondulatorio propuesto por Huygens. El debate se extendió durante el siglo XVII, pareciendo definitivamente resuelto en el siglo XIX, cuando diversos experimentos verificaron predicciones de la teoría ondulatoria.

7.2. Naturaleza de la luz

A través de la historia son muchos los científicos que han intentado dar explicación al fenómeno cotidiano de la luz. Platón dijo que nuestros ojos emitían partículas que al llegar a los objetos los hacían visibles. Por otro lado, Aristóteles describió a la luz como un flujo inmaterial que se propaga entre el ojo y el objeto. Pero estas teorías no llegaron a explicar algunos fenómenos simples como la *reflexión* y *refracción*.

Antes del siglo XIX Newton consideró la luz como una corriente de *partículas* emitidas por la fuente de luz, las que a su vez estimulaban el ojo, esto último se conoce como la *Teoría corpuscular* con la que se pudo dar respuesta a la *reflexión* y *refracción* de forma simple.

Contemporáneo a Newton era Christian Huygens quien mostró que si se considera a la luz como una *onda* también es posible demostrar la *refracción* y *reflexión*. Esta *Teoría ondulatoria* de la luz no fue aceptada de forma inmediata por la comunidad científica, hasta que Thomas Young demostró que en ciertas condiciones la luz exhibe un comportamiento de *interferencia*, esto es, en algunos puntos de la vecindad entre dos fuentes lumínicas, las ondas de luz se combinan pudiéndose observar *interferencias destructivas* y *constructivas*, fenómeno propio de las ondas.

Maxwell en 1.873 demostró que la luz es una onda electromagnética de alta frecuencia, y

predijo que estas ondas deben tener una velocidad de $3 \cdot 10^8 [m/s]$, lo que fue confirmado experimentalmente por Hertz, quien demostró además que la luz se *refleja*, *refracta* y tiene todas las propiedades de una onda. Aunque es posible explicar gran parte de los fenómenos ópticos, la *Teoría ondulatoria* es incapaz de explicar el *fenómeno fotoeléctrico*.

El *fenómeno fotoeléctrico* corresponde a la emisión de electrones por algunos metales al ser expuestos a una fuente lumínica y fue explicado con el concepto de *cuantización* de Albert Einstein, el cual propone que la energía de una onda de luz se presenta en “paquetes” de energía llamados *fotones*, lo que da una idea de luz cuantizada. En la actualidad la luz se considera con una *naturaleza dual*, esto es, en ocasiones la luz se comporta como *onda* y en otras como *partícula*.

7.3. Características de la luz

- Es una onda electromagnética de alta frecuencia.
- Está compuesta por partículas sin masa llamadas *fotones*, las que contienen energía.
- Tiene una naturaleza dual: se comporta como onda y también como partícula.
- Es una manifestación de la energía.
- Gracias a su naturaleza electromagnética, no necesita de un medio material para propagarse, a diferencia del sonido.
- La velocidad de cualquier onda electromagnética, en particular de la luz, es finita y depende del medio. En el vacío esta velocidad es igual a $3 \cdot 10^8 [m/s]$, lo que es suficiente para dar 7,5 vueltas a la Tierra en un segundo.
- En un medio homogéneo la luz se propaga en línea recta, siendo un caso puntual del *Principio de Fermat*.
 - *Principio de Fermat*: El trayecto seguido por la luz al propagarse es tal que el tiempo empleado es mínimo.
- Es posible representar la luz por *rayos*, los que pueden ser *divergentes*, *convergentes* o *paralelos*.
- Se llama *haz de luz* a un conjunto de *rayos*.

Ejercicios

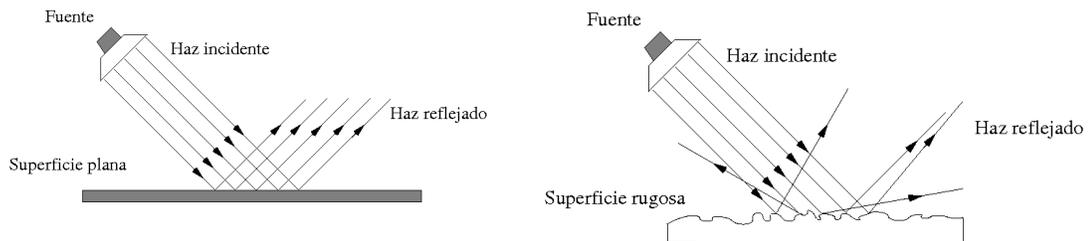
7.1

1. Si la luz del Sol se demora aproximadamente 8 minutos en llegar a la Tierra, ¿a cuántos kilómetros se encuentra el Sol de nuestro planeta?
2. Un cohete viaja a $30.000 [\frac{Km}{s}]$, ¿cuántos años tardaría una de estas naves en llegar a la estrella Próxima Centauro ubicada a unos 4,3 años luz de distancia?
3. ¿Cuánto tiempo tarda la luz en recorrer una distancia de un año luz?

7.4. Reflexión

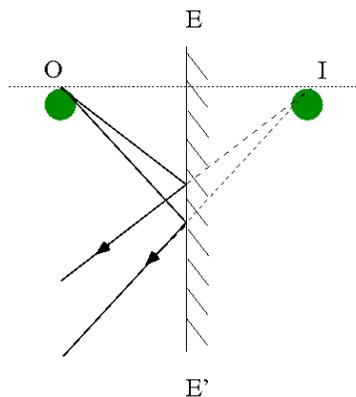
Fenómeno que sucede cuando un haz de luz choca con una superficie, y parte del haz luminoso vuelve a propagarse por el mismo medio por el que venía, pero en otra dirección. Cumple con la *ley de reflexión* descrita anteriormente, es decir, el ángulo del haz incidente es igual al ángulo del haz reflejado. Recordemos que los ángulos son medidos respecto de la *normal*, recta perpendicular a la superficie en el punto de incidencia.

Cuando la superficie es lisa, los rayos del haz luminoso, luego de ser reflejados, se mantienen paralelos, lo que llamaremos *reflexión especular*, en cambio, si la superficie es irregular, el haz reflejado no queda bien definido, a esto último lo llamaremos *reflexión difusa*.



7.4.1. Espejo plano

Se llama *espejo plano* a cualquier superficie plana que refleje *especularmente* la luz. Considérese un objeto luminoso, representado en la figura por O , que es colocado frente al espejo EE' . Se representan algunos rayos de luz y sus reflexiones según la *ley de reflexión*. Si trazamos ahora las extensiones o prolongaciones de los rayos reflejados, llamados rayos virtuales, es posible observar analíticamente que estas prolongaciones convergen en un punto I , así la luz que se refleja por el espejo plano parece ser emitida desde la intersección I de los rayos virtuales. Aquel punto se encuentra a la misma distancia que el objeto, respecto del espejo, situado imaginariamente dentro del espejo.



En un espejo plano, la imagen reflejada parece ser emitida desde un punto equidistante al objeto.

→ Imagen virtual

Se denomina *imagen virtual* a la imagen formada por la intersección de los rayos virtuales. Esta imagen no puede proyectarse en una pantalla debido a que no se emite luz desde el punto

imagen. En el caso particular de un espejo plano, la imagen formada detrás de él no existe, a pesar que para nuestro cerebro si parece estar ahí.

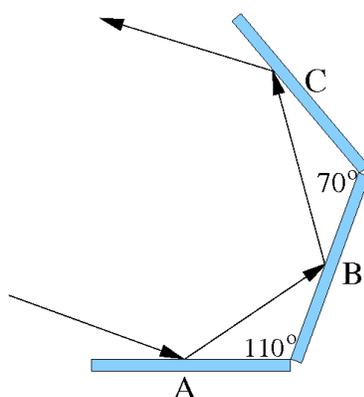
→ **Imagen Real**

Se llama *imagen real* a aquella que es formada por la intersección de rayos reales. Esta imagen si puede proyectarse en una pantalla debido a que si se emite luz desde el punto imagen.

Ejercicios

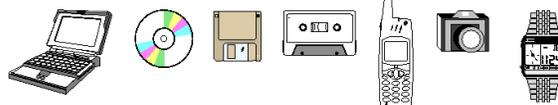
7.2

1. En la figura se muestran tres espejos en los cuales se refleja un rayo de luz. Si el ángulo de incidencia del rayo que se refleja en el espejo *A* mide 70° , entonces ¿cuál es el valor de la medida del ángulo de reflexión en el espejo *C*?



2. Un observador, representado por el ojo, se encuentra a un costado de dos espejos, *A* y *B*, planos idénticos. A través de la ley de reflexión, determine cuales son las imágenes que logra ver reflejadas en cada espejo.

Espejo A Espejo B



7.4.2. Espejos esféricos

En los espejos esféricos o curvos, los tamaños y dimensiones de la imagen virtual varían con respecto al *espejo plano*. Entre los elementos principales de un espejo curvo encontramos:

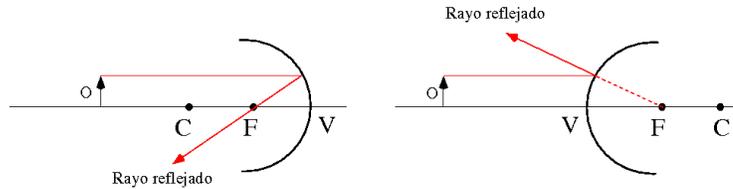
- **Vértice *V***: Punto donde el eje principal toca al espejo.

7.4. REFLEXIÓN

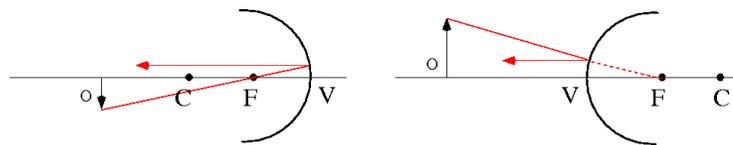
- **Centro de curvatura C :** Es el centro de la esfera que contiene al espejo. Llamaremos R a la distancia desde el centro de curvatura al vértice.
- **Foco F :** Es el lugar donde se intersectan los rayos que vienen paralelos al eje de simetría, corresponde al punto medio entre el vértice y el centro de curvatura, es decir, $F = \frac{R}{2}$.

→ Principales rayos en un espejo curvo

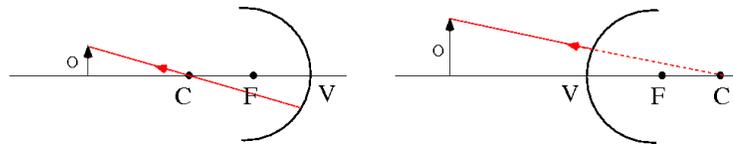
- Un rayo que incide paralelo al eje principal es reflejado teniendo como dirección de reflexión el foco



- Para un rayo que pasa por el foco, o se dirige a él, su rayo reflejado es paralelo al eje principal.



- Un rayo luminoso que pasa por el centro de curvatura, o se dirige hacia él, se refleja sobre sí mismo.

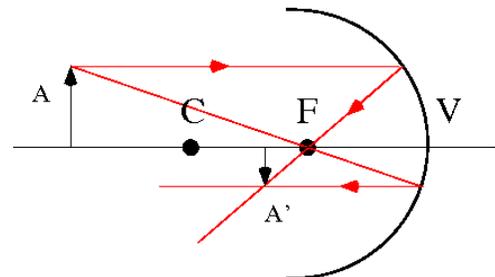


7.4.3. Formación de imágenes con espejos curvos

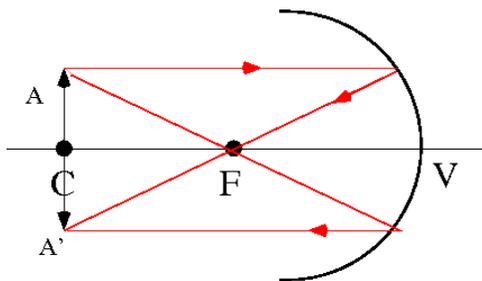
Para encontrar la imagen formada por cualquier espejo se necesita saber sólo la dirección de dos rayos reflejados y su intersección. En la intersección los rayos reflejados, o sus prolongaciones, se encontrará dicha imagen virtual o real.

→ Espejo cóncavo

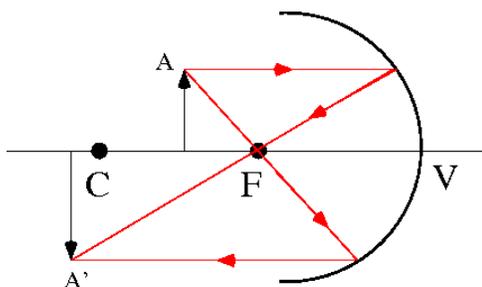
- Si el objeto se encuentra más atrás del centro de curvatura C , la imagen es: real¹, invertida y de tamaño menor al objeto.



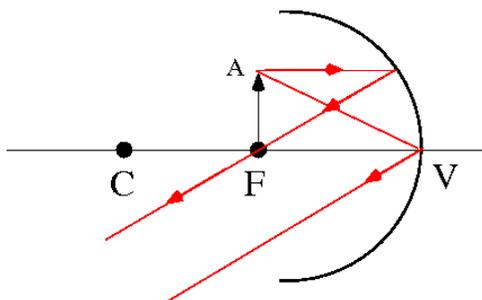
- Si el objeto se encuentra en el centro de curvatura C , la imagen es: real, invertida y de igual tamaño que la original.



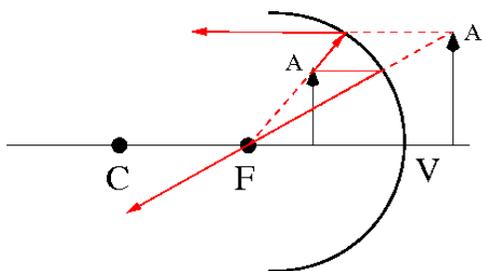
- Si se encuentra entre el centro de curvatura C y el foco F , la imagen es: real, invertida y de mayor tamaño que el objeto.



- Si se encuentra en el foco F no se genera imagen por que los rayos reflejados son paralelos.



- Si se encuentra entre el foco F y el vértice V , se genera una imagen virtual, derecha y de mayor tamaño.



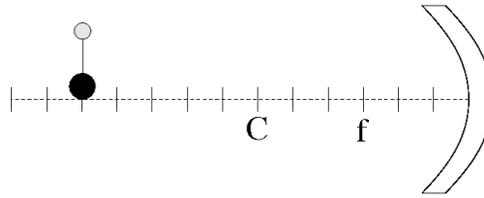
Ejercicios

7.3

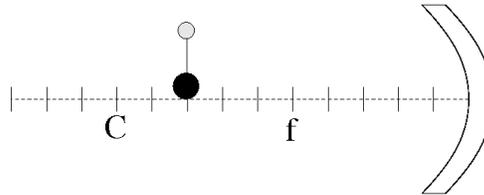
1. Determine gráficamente la imagen formada por cada espejo cóncavo. Note si estas imágenes son derechas o invertidas, más grandes o más pequeñas que el objeto y si son reales o virtuales.

7.4. REFLEXIÓN

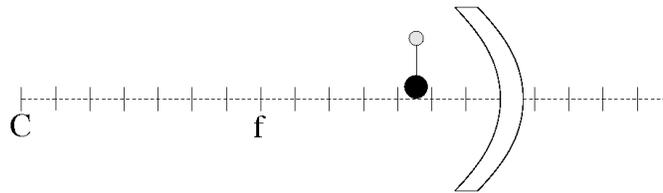
a) Espejo cóncavo de foco $f = 3[cm]$



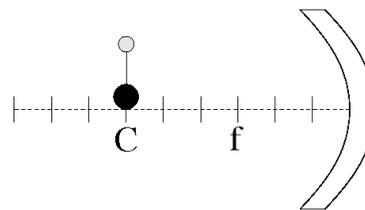
b) Espejo cóncavo de foco $f = 5[cm]$



c) Espejo cóncavo de foco $f = 7[cm]$

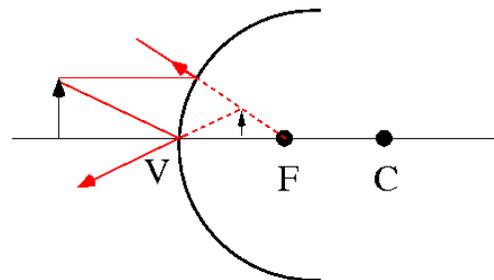


d) Espejo cóncavo de foco $f = 3[cm]$



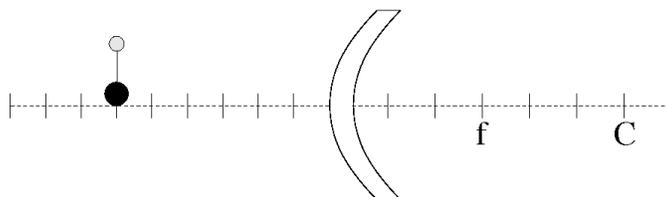
→ Espejo convexo

- Se tiene como caso general, independiente de la posición del objeto frente al espejo, que siempre la imagen será: virtual, derecha y de tamaño menor al objeto original.

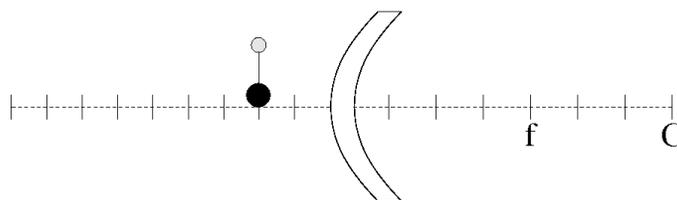


1. Determine gráficamente la imagen formada por cada espejo convexo. Note si estas imágenes son derechas o invertidas, más grandes o más pequeñas que el objeto y si son reales o virtuales.

a) Espejo convexo de foco $f = 3[cm]$



b) Espejo convexo de foco $f = 4[cm]$



7.5. Refracción

Es la desviación de la trayectoria rectilínea de la luz al pasar de un medio a otro de distinta densidad, cumpliendo la *ley de refracción*. Este fenómeno se debe al principio de Fermat y la diferencia de velocidad de propagación de la luz entre un medio y otro. Recordando la ley de refracción:

$$\frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} = \frac{V_1}{V_2}$$

donde V_1 es la velocidad de la luz en el primer medio, V_2 su velocidad en el segundo medio, así V_1/V_2 es una constante y los ángulos α y β los ángulos de incidencia y refracción respectivamente. Tomando el caso particular de la luz cuando viaja por el vacío y sufre refracción al penetrar en otro medio se tiene:

$$\frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} = \frac{c}{V}$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío y V su velocidad al penetrar en otro medio. El cociente c/V se denomina *índice de refracción* n , es decir, $n = c/V$. De esto se desprende la siguiente relación fundamental.

$$V = \frac{c}{n} \quad (7.1)$$

La velocidad de la luz en un medio será el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y el índice de refracción propio del medio. Como el límite de velocidad es c , se cumple que $n \geq 1$.

7.5. REFRACCIÓN

Para el caso del aire se considera $n = 1$ ya que la velocidad de la luz en el vacío y en el aire son prácticamente iguales. Reemplazando (7.1) en la ley de refracción se obtiene:

$$\begin{aligned}\frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} &= \frac{V_1}{V_2} \\ &= \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} \\ \frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} &= \frac{n_2}{n_1}\end{aligned}$$

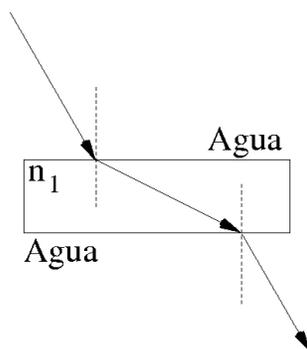
Por lo tanto

$$n_1 \text{sen}(\alpha) = n_2 \text{sen}(\beta) \quad (7.2)$$

La ecuación (7.2) es conocida como la *ley de Snell* que es otra forma de escribir la ley de refracción. Podemos decir ahora que: cuando un rayo de luz es transmitido a través de una interfase entre dos medios físicos, con distinto n , el producto entre el índice de refracción y el seno del ángulo debe ser igual en ambos lados de la interfase.

Ejemplo

Un rayo de luz viaja por el agua y atraviesa un medio transparente de índice de refracción n_1 . Según la figura, ¿el índice de refracción n_1 es mayor o menor que el índice de refracción del aire?

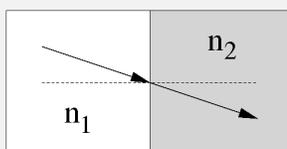


Solución: Podemos ver que cuando el rayo se refracta, pasando desde el agua a este nuevo medio transparente, su dirección cambia. La luz en el medio desconocido se aleja a la normal, es decir, el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia. Para que se mantenga la igualdad en la ecuación (7.2) debemos realizar el siguiente análisis: si el ángulo de refracción crece respecto del de incidencia, entonces el índice de refracción n_1 tiene que ser menor que el índice de refracción del agua.

Desafío...



¿Qué condición deben cumplir n_1 y n_2 para que los rayos incidente y refractado se comporten como muestra la figura?



Presentamos a continuación una tabla con valores de los índices de refracción de algunos medio físicos.

Sustancia	n
Hielo	1,31
Sal de cocina	1,54
Cuarzo	1,54
Circonio	1,92
Diamante	2,42
Rutilio	2,80
Vidrio	1,50
Alcohol etílico	1,36
Agua	1,33
Glicerina	1,47
Disulfuro de carbono	1,63

Ejemplo

¿Cuál es la velocidad de la luz en el agua?

Solución: Sabemos que el índice de refracción del agua es $n = 1,33$ y la velocidad de la luz en el vacío es $c = 3 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$. De la ecuación (7.1) despejamos el valor de la velocidad de la luz en el agua:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{c}{n} \\
 &= \frac{3 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]}{1,33} \\
 &= 2,3 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]
 \end{aligned}$$

Ejercicios

7.5

- Si la velocidad de la luz en un medio transparente es $2,45 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$, entonces ¿cuál es su índice de refracción?
- Los índices de refracción del alcohol y del diamante son 1,36 y 2,42 respectivamente. ¿En cuál de los dos medios la luz se propaga más rápidamente?

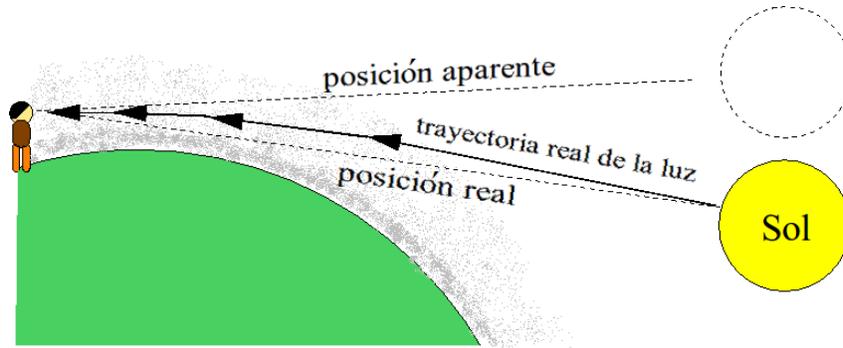
Desafío...



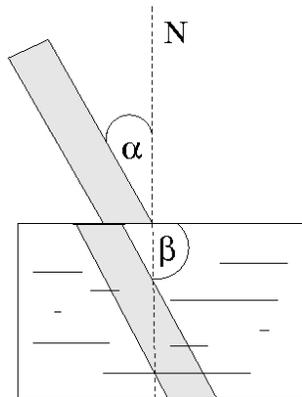
¿Podemos distinguir un objeto transparente, que posee un índice de refracción igual a 1,33, sumergido en el agua?

7.5. REFRACCIÓN

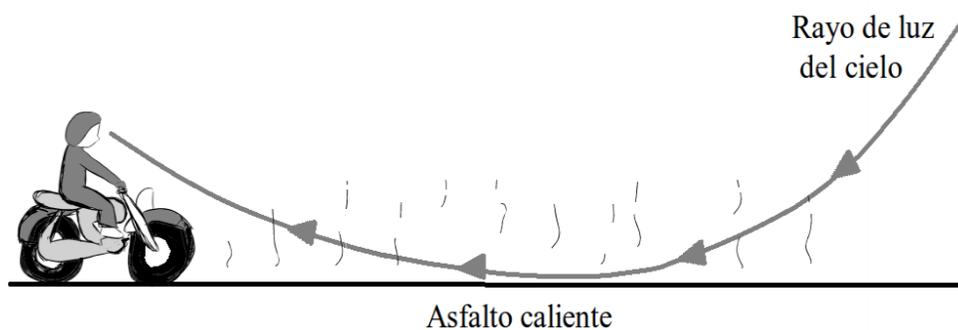
Cuando se observa el Sol en la línea del horizonte, lo que en verdad estamos viendo es una imagen virtual del Sol, debida a la refracción de la luz al atravesar la atmósfera terrestre. Este fenómeno permite contar con más minutos de luz al día.



Al introducir un objeto a un vaso de agua, se produce un efecto de “quebrado” debido a la refracción. La parte sumergida del objeto parece estar más cerca de lo que realmente está.



Como dijimos anteriormente, un mismo material con distinta temperatura constituye un medio distinto de propagación, es decir, la luz al atravesar el aire por sectores con diferentes temperaturas se refracta. Los espejismos en las carreteras son un claro ejemplo de ello. Cuando el asfalto está caliente, el aire alrededor de él se calienta y hace que los rayos que vienen desde arriba se desvíen. La luz procedente del cielo incrementa su rapidez en el aire cerca del asfalto, ya que el aire caliente es menos denso que el que está arriba. Cuando la luz roza la superficie y se desvía hacia arriba, el observador ve el espejismo.

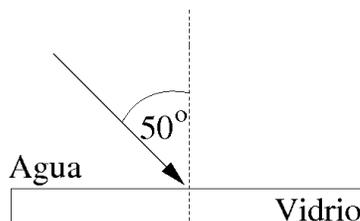


Ejercicios

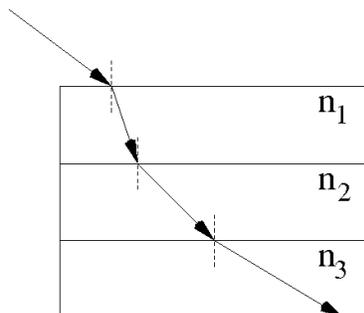
7.6

1. Un rayo de luz monocromática incide en la interfaz agua-vidrio con un ángulo de 50° , reflejándose y refractándose. El índice de refracción del agua es 1,33 y el del vidrio es 1,7.

- a) ¿Cuál es ángulo de reflexión?
- b) ¿Cuál es ángulo de refracción?
- c) El rayo de refractado, ¿se acerca o aleja de la normal?

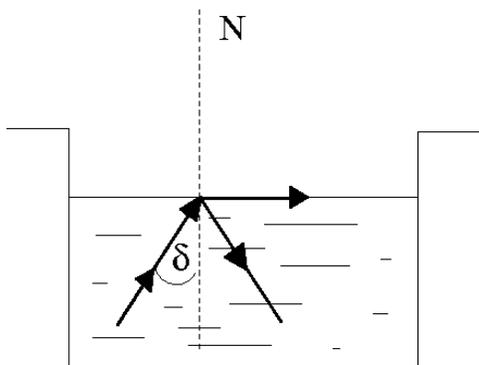


2. Un rayo de luz pasa sucesivamente por tres medios transparentes de diferentes índices de refracción. Basándose sólo en la información proporcionada por el dibujo, ¿cuál de los tres medios tiene el menor índice de refracción?

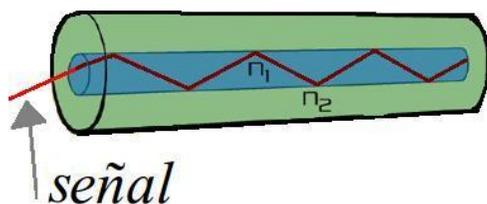


7.5.1. Reflexión interna total

Es la reflexión del 100 % de la luz (sin transmisión) al incidir en la frontera de dos medios distintos. Cuando un rayo de luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor (como del agua al aire), el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia, es decir, el rayo de luz al pasar del agua al aire se aleja de la normal. A medida que el ángulo de incidencia aumenta, el ángulo de refracción también lo hace hasta cierto ángulo límite llamado *ángulo crítico*, en el cual el rayo refractado es perpendicular a la normal, formando un ángulo de 90° . Para ángulos de incidencia superiores al *ángulo crítico*, el rayo sólo se refleja.



Este fenómeno está presente en el principio de la *fibra óptica* que consiste en hacer incidir luz en pequeños cables con dos capas de material plástico de distinto índice de refracción, de tal manera que la información enviada, a través de la onda de luz, se mantenga en el cable sin pérdidas de información debido a la ausencia de transmisión de luz al medio que rodea al cable. Esta tecnología ha contribuido a perfeccionar las redes comunicacionales a largas distancias, desplazando a los cables eléctricos.



📐 Ejercicios

7.7

1. Un rayo de luz viaja por un medio M_1 de índice de refracción $n_1 = 1,49$, luego incide sobre un nuevo medio M_2 de índice de refracción $n_2 = 1,4$. Usando la ley de Snell, determine el ángulo crítico con que debe incidir el rayo en la separación de M_1 y M_2 para que se produzca una reflexión interna total.
2. ¿Qué sucede con los rayos de luz que inciden sobre la frontera con un ángulo mayor que el ángulo crítico?
3. ¿Qué sucede con los rayos de luz que inciden sobre la frontera con un ángulo menor que el ángulo crítico?

7.6. Absorción

Es un fenómeno ligado directamente al color, se define como una disminución paulatina de la intensidad luminosa a medida que un rayo de luz avanza en un medio transparente. Parte del haz es absorbido y la otra es reflejada por el objeto, lo que depende directamente de la composición química de éste, siendo el color que percibimos la luz que refleja el objeto. Los materiales absorben la luz dependiendo de la longitud de onda del haz, por ejemplo, si alumbramos un objeto con luz blanca y se ve rojo, es porque la única luz que deja escapar es la roja. Pero si este mismo objeto lo iluminamos con luz azul se verá negro, debido a que absorbe todos los colores del espectro con el cual se le está alumbrando.

Desafío...



¿De qué color debería pintar su habitación si desea que los muros reflejen la mayor cantidad de luz posible?

Ejercicios**7.8**

1. Si la luz que emite el Sol fuera monocromática, verde por ejemplo:
 - a) ¿De qué color veríamos los objetos que a la luz blanca no son verdes?
 - b) ¿De qué color veríamos los objetos que a la luz blanca son verdes?
 - c) ¿Qué color de ropa sería más adecuado para los días cálidos?
 - d) ¿Qué color de ropa sería más adecuado para los días fríos?

Notar que la luz blanca es la suma de todos los colores y el negro es la absorción casi total de la luz. La absorción de luz está relacionada directamente con la recepción de energía.

Desafío...

Si una flor se calienta más cuando recibe luz roja, que cuando recibe luz violeta, ¿de qué color es más probable que sea ésta?

7.7. Dispersión

La rapidez de la luz en un medio transparente es menor que c , esta disminución depende de la naturaleza del medio y de la frecuencia de la luz. Esto se debe a que las frecuencias más altas tienen mayor probabilidad de interactuar atómicamente con el material, siguiendo una cadena de absorciones y reemisiones que la hace viajar más lento en los medios transparentes. Por ejemplo, la luz violeta se propaga aproximadamente un 1% más lento que la luz roja. Como consecuencia de esta variación de las velocidades, se deriva también un cambio del índice de refracción para cada color, lo que conlleva finalmente a una variación del ángulo de refracción. La dispersión en conjunto con la refracción, permiten observar a través de un prisma la composición de la luz blanca. Al ingresar la luz blanca a la atmósfera interactúa con las partículas, siendo los colores de alta frecuencia, como el azul, los que más se dispersan. Esto hace que el cielo sea azul. Y cuando el Sol está en el horizonte, la distancia de atmósfera que recorre la luz es mayor, por lo que los colores que alcanzan a llegar a la superficie con mayor intensidad son los que menos se dispersan, es decir, aquellos con más baja frecuencia como el rojo. Esto hace que los atardeceres sean de tono rojizo.

Desafío...

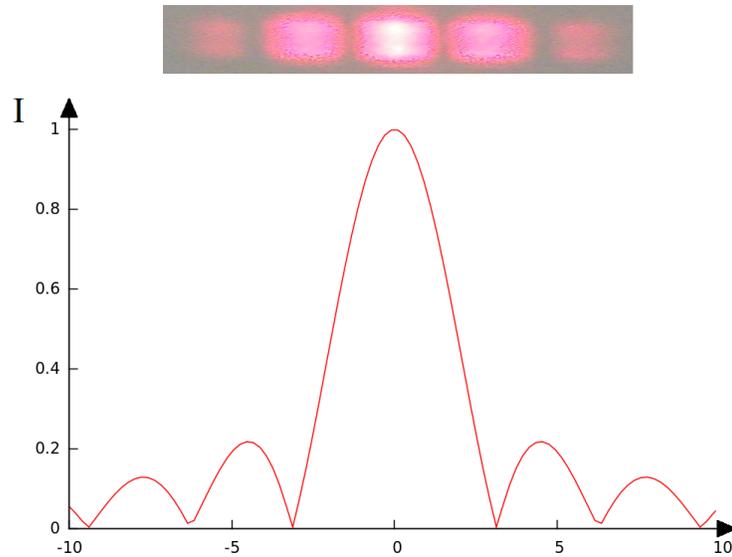
Las moléculas de la atmósfera dispersan la luz de más alta frecuencia, por lo que vemos el cielo azul. ¿De qué color veríamos el cielo si, hipotéticamente, las partículas dispersaran la luz de más baja frecuencia?

7.8. Difracción

Corresponde a la desviación o flexión de la luz en su propagación inicialmente rectilínea al pasar por un obstáculo, o a través de una rendija delgada, haciendo que ésta se disperse produciéndose franjas claras y oscuras. Cuando la luz pasa por una abertura grande, en comparación con su longitud de onda, forma una sombra con una frontera bien definida entre las zonas de luz y oscuridad. Pero si se hace incidir luz sobre una abertura muy delgada, del ancho de un pelo

7.8. DIFRACCIÓN

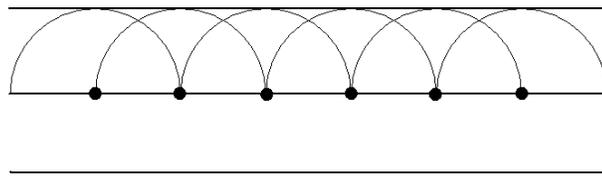
por ejemplo, se observa una franja muy brillante al centro, luego una zona oscura y nuevamente una franja brillante pero de menos intensidad. Se dice entonces que la luz se difractó. El patrón y gráfico típico para una difracción es el siguiente:



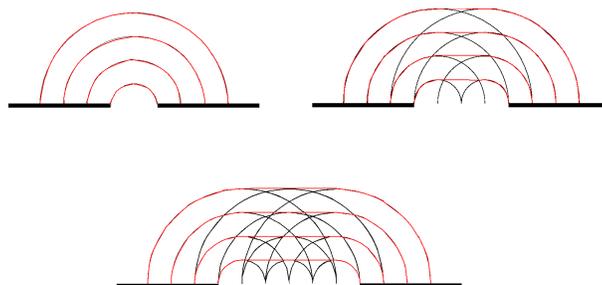
Este efecto es una característica general de los fenómenos ondulatorios, cuando una parte del frente de onda es obstruido de alguna manera. Para que se produzca difracción, el ancho de la abertura debe ser del orden de la longitud de onda. Si se aumenta el ancho de la rendija, la curvatura es mas tenue y si se disminuye el ancho la difracción es más notoria. La explicación analítica del efecto de difracción está dado por el *principio de Huygens*.

7.8.1. Principio de Huygens

EL físico Holandés Christian Huygens propuso que los frentes de las ondas luminosas que se propagan desde una fuente puntual se pueden considerar como producto de la superposición de ondas secundarias diminutas, de igual frecuencia que la primaria, de tal manera que la amplitud de la onda de luz, en cada punto, es la suma de las amplitudes de las ondas secundarias.



Al aumentar el ancho de la rendija la difracción es más tenue, de lo contrario si la rendija tiene un ancho del orden de la longitud de onda el efecto es más notorio. El fenómeno de difracción en la luz confirma su naturaleza ondulatoria.



Gracias a la difracción ha sido posible la construcción de microscópios muy potentes con los cuales se ha podido ver, de forma indirecta, objetos con tamaños del orden de los nanómetros ($1[nm] = 1 \cdot 10^{-9}[m]$) e incluso estudiar la geometría molecular.

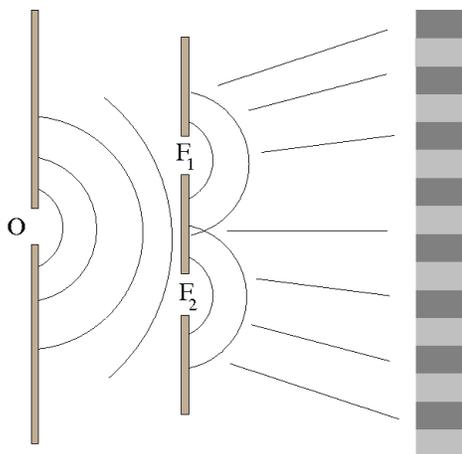
🔪 Ejercicios

7.9

1. Para impresionar a sus amigos, usted quiere mostrarles la difracción de la luz más pronunciada posible. Si tiene dos aberturas, una más grande que la otra, ¿cuál de las dos le conviene usar?
2. Para una abertura de tamaño determinado, ¿la difracción es más pronunciada para una longitud de onda mayor que para una longitud de onda menor?
3. Por una rendija muy angosta se hacen pasar dos rayos de luz monocromática, el primer haz es rojo y el segundo es azul. ¿Cuál de los dos rayos sufrirá una desviación mayor debido a la difracción?

7.9. Interferencia

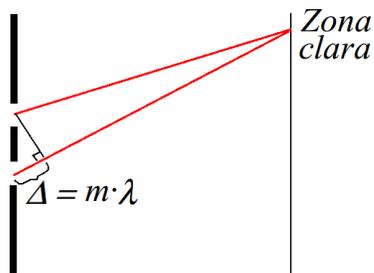
Es común ver la interferencia de las ondas en el agua, en donde algunas crestas coinciden con otras crestas y en otros puntos las crestas concurren con algún valle. Thomas Young, físico y médico inglés, pudo demostrar de forma muy sencilla y convincente la naturaleza ondulatoria de la luz. El experimento de Young, considerado uno de los más hermosos experimentos hechos a la fecha, consiste en hacer pasar luz monocromática en fase a través de dos rendijas cercanas muy delgadas. Al colocar una pantalla lejana se observa un patrón de franjas claras y oscuras, las que son el producto de la interferencia constructiva y destructiva de la luz. A diferencia de las franjas por difracción, en el patrón de interferencia todas las franjas tienen la misma longitud.



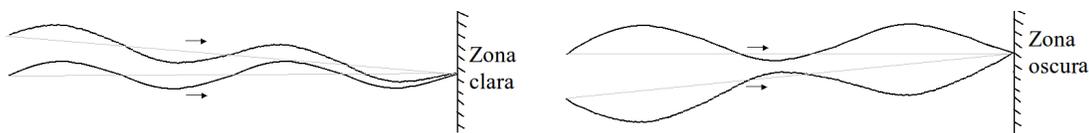
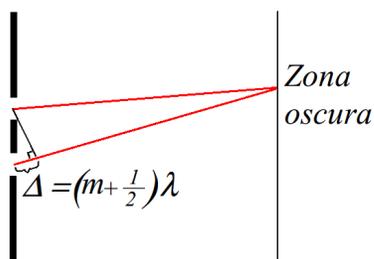
La interferencia en las ondas de luz se debe a la diferencia de caminos que recorren las ondas emitidas por cada rendija. En algunos puntos la suma es constructiva, y por lo tanto, vemos una zona de luz, En otros lugares la suma es destructiva y por consecuencia vemos una zona oscura.

7.9. INTERFERENCIA

- La condición necesaria para que haya interferencia constructiva es que la diferencia de caminos, Δ , sea un múltiplo entero de la longitud de onda, es decir $\Delta = m \cdot \lambda$



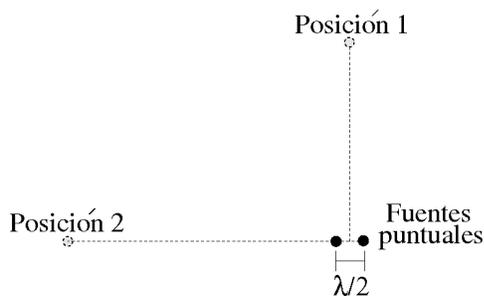
- La condición necesaria para que se produzca interferencia destructiva es que la diferencia de caminos, Δ , sea $\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$



Ejercicios

7.10

1. Dos fuentes puntuales de luz monocromática y coherente están separadas una distancia igual a media longitud de onda, como se muestra en la figura. Note que ambas poseen la misma longitud de onda.



- a) Cuando las ondas provenientes de las dos fuentes puntuales llegan a la posición 1, ubicada exactamente encima del punto medio entre ambas fuentes, ¿las ondas se encuentran en fase o desfasadas?
- b) De lo anterior, ¿qué tipo de interferencia se produce en la posición 1?

- c) Cuando las ondas provenientes de las dos fuentes puntuales llegan a la posición 2, ¿las ondas se encuentran en fase o en desfase?
- d) Respecto de la pregunta anterior, ¿qué tipo de interferencia se produce en la posición 2?

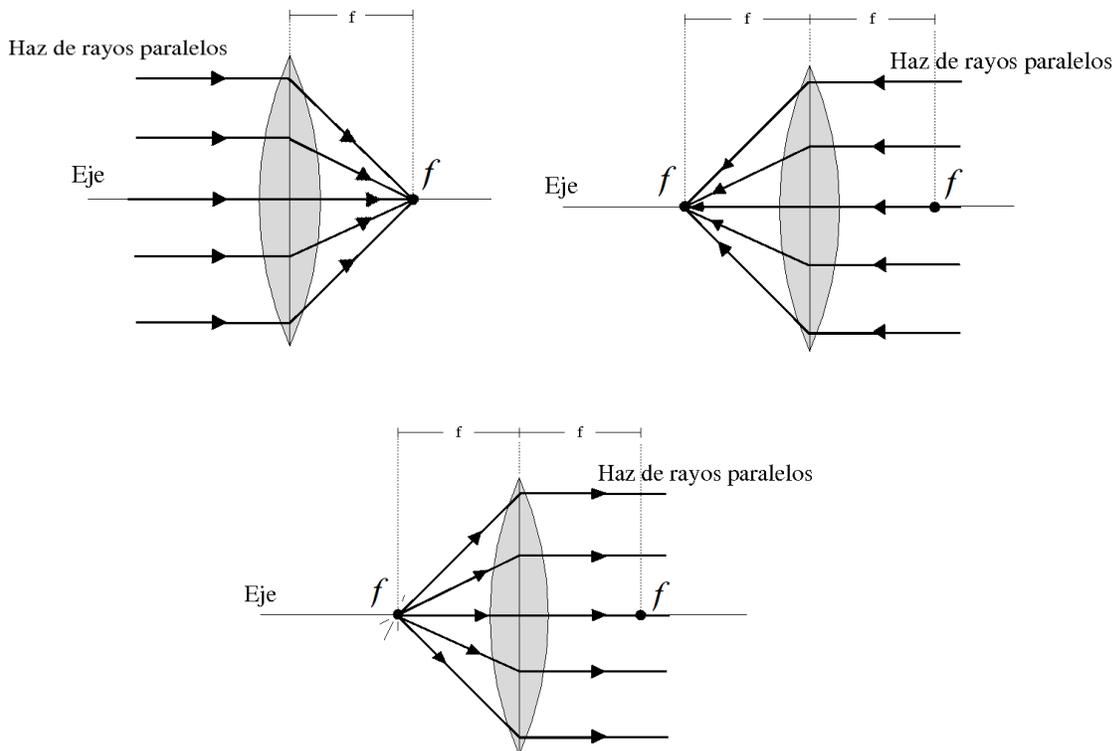
7.10. Lentes

7.10.1. Lentes esféricas

Son dispositivos ópticos usados, por ejemplo, en anteojos, cámaras fotográficas y telescopios. Están formados por un material homogéneo transparente, con una curvatura tal que hace converger o diverger los rayos de luz. Sus caras pueden ser cóncavas, convexas o planas.

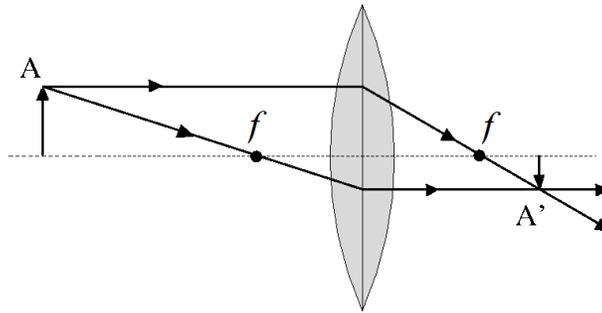
→ Lente biconvexo o convergente

Tiene ambas caras convexas. Por tener el centro más grueso que los extremos, los rayos al refractarse, tienden a converger. El punto donde convergen los rayos paralelos de luz, se denomina *foco* de la lente, f , y la distancia de f a la lente, se denomina *distancia focal*. Si se hace incidir un haz de rayos paralelos de luz, sobre la otra cara del lente biconvexo, se obtiene otro punto de convergencia de los rayos, o foco, simétrico al anterior. Cualquier rayo que se emite desde el foco y pasa a través de la lente, se vuelve paralelo al eje de simetría.

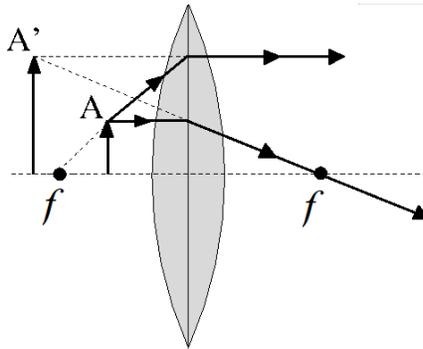


La formación de imágenes en la lente convergente, depende de la posición del objeto observado con respecto al foco, teniéndose que:

- Si la distancia del objeto al lente es mayor que f , entonces la imagen es real, invertida y menor que el objeto observado.

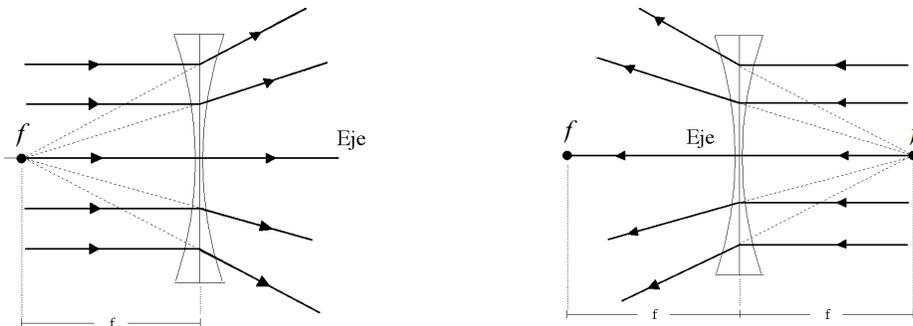


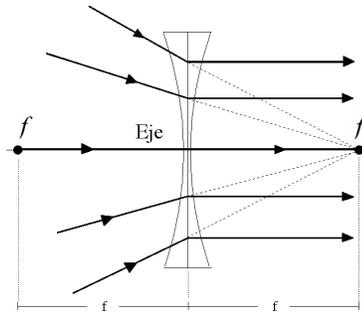
- Si el objeto se encuentra entre el foco y la lente, entonces la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño respecto a la original.



→ Lente bicóncavo o divergente

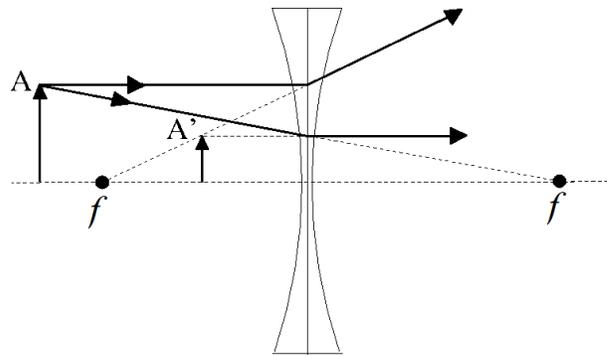
Tiene ambas caras cóncavas. Por tener el centro más delgado que los extremos, los rayos al refractar divergen de manera que las prolongaciones de estos rayos divergentes se encuentran en un punto, f . Tal punto se denomina *foco* de la lente divergente, y su distancia a ella es la distancia focal f . De la misma manera, si se hace incidir rayos paralelos por la otra cara de la lente, éstos divergen de tal manera que sus prolongaciones coinciden en un punto llamado *foco*, el cual es simétrico al otro foco. Los rayos cuyas prolongaciones pasan por un foco, después de atravesar la lente se vuelven paralelos al eje. Importante es saber que la distancia focal, depende directamente del medio en donde se encuentra la lente y lo dicho anteriormente se supone para lentes en aire.





La formación de imágenes en la lente divergente es tal que:

- La única posibilidad, en una lente divergente, es que la imagen sea virtual, derecha y de menor tamaño.

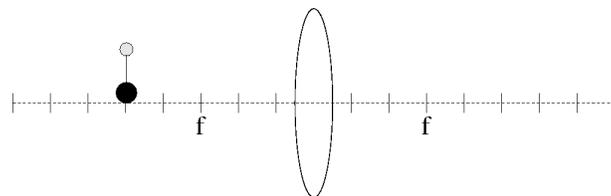


Ejercicios

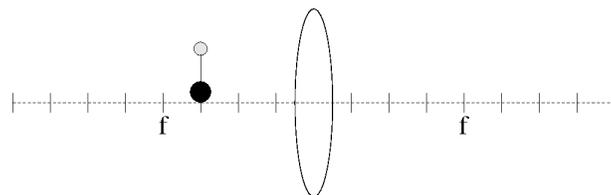
7.11

1. Determine gráficamente la imagen formada por cada lente. Note si estas imágenes son derechas o invertidas, más grandes o más pequeñas que el objeto y si son reales o virtuales.

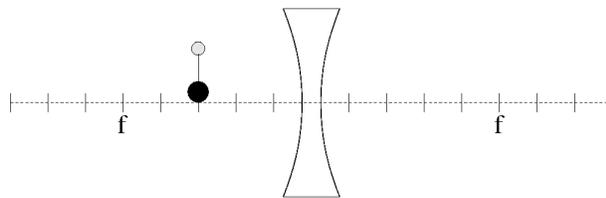
a) Lente convergente de foco $f = 3[cm]$



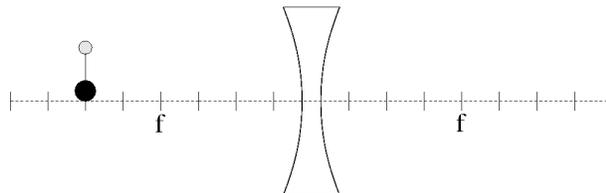
b) Lente convergente de foco $f = 4[cm]$



c) Lente divergente de foco $f = 5[cm]$

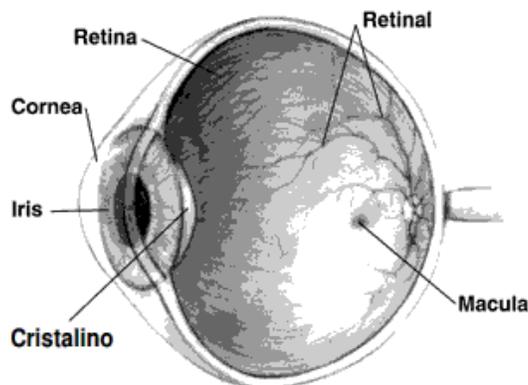


d) Lente divergente de foco $f = [cm]$



7.11. El ojo

Es un fantástico sistema óptico formado por dos lentes convergentes: la *córnea* y el *crystalino*; y una pantalla compuesta por miles de células fotosensibles, en donde se proyecta una imagen real del mundo observado. Esta pantalla es la *retina* y las células que la componen se llaman *bastones* y *conos*, las cuales envían señales eléctricas al cerebro que finalmente son interpretadas como una imagen.



7.11.1. Formación de la imagen

- 1 La luz de un objeto llega al ojo pasando primero por la *córnea*, que es una lente convergente, en donde los rayos luminosos sufren la primera refracción que ayuda a orientarlos hacia la *pupila*.
- 2 La luz atraviesa una pequeña abertura llamada *pupila*, la cual puede cambiar su tamaño, y así variar la intensidad de luz que entra. El grupo de músculos que hacen posible este movimiento se llama *iris*, que dan además el color al ojo.
- 3 Después de haber pasado por la pupila, la luz atraviesa el segundo lente convergente, el *crystalino*, el cual tiene la capacidad de variar su longitud focal a través de deformaciones. El Cristalino tiene la misión de enfocar los rayos a la retina.

- 3 En la *retina* los rayos forman una imagen real e invertida que estimula las células fotosensibles: los bastones y conos.

7.11.2. Enfermedades oculares

→ Visión normal

El órgano ocular normalmente funciona adaptando el *crystalino*², aumentando o disminuyendo su convergencia, dependiendo de la distancia entre el objeto y el observador. En una persona normal la imagen se forma en la *retina*³ del ojo.

→ Miopía

Ocurre cuando el globo ocular es más largo de lo normal, por lo que la imagen se forma antes de llegar a la *retina*. Una persona miope ve mejor los objetos cercanos, mientras que los que están lejanos lo ve borrosos. La corrección se logra anteponiendo un lente *divergente*.

→ Hipermetropía

Sucede cuando el globo ocular es más corto de lo normal, por lo que la imagen se forma detrás de la *retina*. Una persona con hipermetropía puede ver bien los objetos lejanos, no así los que se encuentran cerca de él. La corrección se logra anteponiendo un lente *convergente*.

→ Presbicia

Es el endurecimiento del *crystalino*, lo que produce la pérdida de la capacidad de acomodación visual o enfoque. Es conocida también como vista cansada.

→ Astigmatismo

Es un estado ocular producido, generalmente, por un problema en la curvatura de la córnea⁴, impidiendo el enfoque claro de objetos lejanos y cercanos. Una persona con astigmatismo ve los objetos borrosos y deformes. Se soluciona con lentes cilíndricos.

→ Estrabismo

Es la incapacidad de dirigir ambos ojos a un mismo punto. Se debe a una rigidez de la musculatura encargada del movimiento ocular. Se soluciona con lentes prismáticos.

Ejercicios

7.12

1. ¿Qué tipo de lente es el cristalino?
2. ¿De qué manera el cristalino enfoca tanto objetos lejanos como cercanos a nuestros ojos?
3. Una persona corta de vista enfoca los objetos distantes delante de su retina, viéndolos borrosos. Pueden ver claro sólo los objetos que están cerca de sus ojos. Con esta información, ¿qué lente le proporcionará la máxima corrección a una persona corta de vista?

²*Cristalino*: Componente del ojo con forma de lente biconvexo. Permite enfocar objetos a distintas distancias, mediante cambios de curvatura y espesor.

³*Retina*: Corresponde a la capa más interna del globo ocular y está formada por tejido fotorreceptor.

⁴*Córnea*: Estructura transparente localizada al frente del órgano ocular. Su función principal es permitir el paso de luz al interior del ojo, protegiendo al iris y cristalino.

4. Una persona se dice de visión lejana cuando los objetos cercanos se enfocan detrás de su retina, viéndolos borrosos. Pueden ver claro sólo los objetos lejanos. De acuerdo a esta información, ¿cuál lente produce la corrección más grande en una persona de visión lejana?

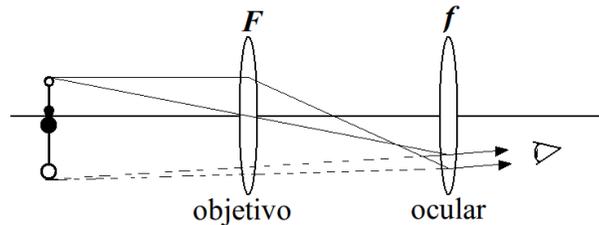
7.12. Aplicaciones de las lentes

7.12.1. La lupa

Es una lente de aumento convergente que forma una *imagen virtual* ampliada del objeto observado. Pueden encontrarse lupas con distinto grado de magnificación, dependiendo casi siempre de las dimensiones de ella.

7.12.2. Telescopio astronómico

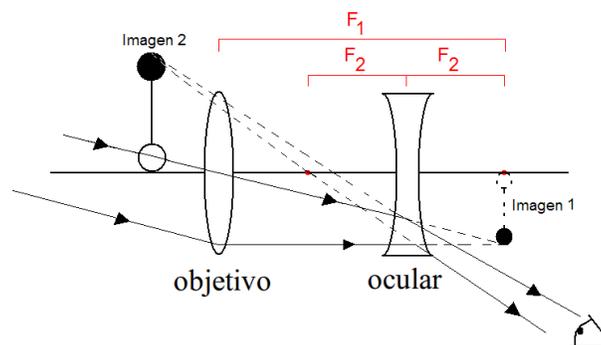
Sistema óptico que permite aumentar el tamaño de objetos muy lejanos. Consiste básicamente en dos lentes convergentes con distinta distancia focal. La lente con menor distancia focal, f , se denomina *lente ocular* y es por donde se observa. La otra lente, de mayor distancia focal, F , se llama *lente objetivo*. Los lentes convergentes están dispuestos de tal manera que la imagen real formada por la lente objetivo se encuentra entre el foco y vértice de la lente ocular.



Las imágenes obtenidas con este sistema son siempre virtuales, invertidas y más grandes.

7.12.3. Telescopio Galileano

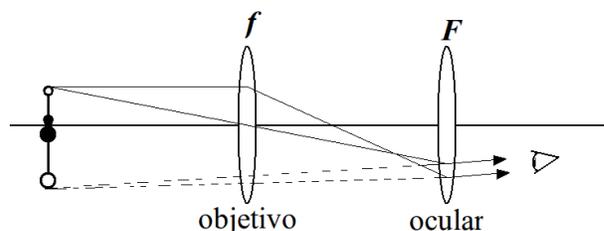
Es un sistema óptico compuesto por una lente convergente como *lente objetivo*, y una lente divergente como *ocular*. La lente ocular está dispuesta entre el foco y vértice de la lente objetivo como se muestra en la figura



Las imágenes obtenidas en este sistema son virtuales, derechas y más grandes.

7.12.4. Microscopio simple

Instrumento de observación inventado por Galileo Galilei en 1.610. Es más potente que una lupa convencional y permite ver objetos o detalles imperceptibles a simple vista. Se compone básicamente de dos lentes convergentes ubicados en los extremos de un tubo. La lente que está ubicada en el extremo de observación tiene una distancia focal, F , mayor que la ocular f . Notar que el montaje es idéntico que para el telescopio astronómico, con la única diferencia que las lentes están en posiciones invertidas.



La imagen obtenida con este sistema óptico es siempre virtual, invertida y de mayor tamaño.

7.13. Descomposición de la luz

7.13.1. Variación del índice de refracción

Se ha comprobado, experimentalmente, que al hacer incidir con el mismo ángulo rayos de luz de distintos colores en un mismo medio, el ángulo de refracción varía de forma inversamente proporcional a la frecuencia de cada onda. Por ejemplo, si en un mismo vidrio hacemos incidir, con el mismo ángulo, luz roja y azul, se observará que el ángulo de refracción es mayor para la luz roja que para la azul, esto debido a que el rojo tiene una frecuencia menor al azul.

Índice de refracción del vidrio	
Color	n
Rojo	1,513
Amarillo	1,517
Verde	1,519
Azul	1,528
Violeta	1,532

7.13.2. Descomposición de la luz blanca

Consideremos un estrecho haz de luz blanca, la que se hace incidir en un vidrio con forma de prisma⁵. Al penetrar la luz blanca en el prisma, se refracta, dando lugar a un haz multicolor donde es posible percibir el rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta. Luego de esto el haz descompuesto sufre una nueva refracción al salir del prisma, acentuándose la dispersión de colores. El rojo es el que sufre menor desviación, y el violeta es el que más se desvía, todo esto es conforme a lo descrito en la *variación del índice de refracción* para cada color, lo que muestra que la luz blanca está constituida por la superposición de todos estos colores.

⁵En óptica es un medio transparente limitado por caras planas no paralelas

7.13.3. El arco iris

El fenómeno del *arco iris* es una hermosa consecuencia de la descomposición de la luz blanca. Como ya es sabido, se genera cuando los rayos de luz solar inciden en las millones y millones de gotitas de agua suspendidas en la atmósfera durante o después de la lluvia. Cuando un rayo de luz incide en una gota, se *refracta* y descompone dentro de ella para luego *reflejarse* sobre la superficie interna de la gota, como se muestra en la Figura (7.1). Al salir de la gota el haz de luz vuelve a *refractarse*, produciéndose una separación mayor del haz multicolor. Este proceso ocurre con todas las millones de gotas que reciben rayos de luz solar. Un observador situado en la superficie terrestre no percibe todos los colores que provienen de una sola gota, ya que tales colores al llegar al suelo se encuentran muy separados entre sí.

Lo que ocurre en realidad es que recibimos la luz roja de las gotas más altas, y la luz violeta de las gotas más cercanas al observador. Obviamente los demás colores provienen de gotas que se encuentran entre estos extremos.

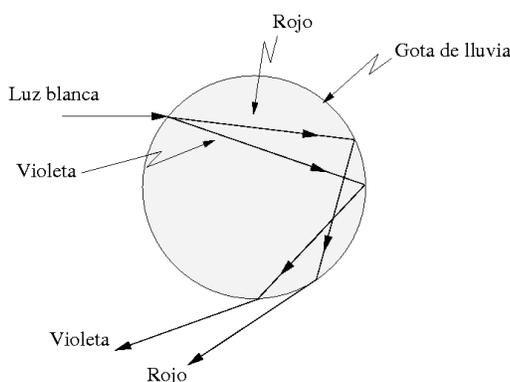


Figura 7.1: Reflexión y refracción de la luz en una gota de agua.

7.14. Espectro electromagnético

Es el conjunto de *ondas electromagnéticas* distribuidas según longitud de onda y energía, partiendo desde las *ondas de radio* hasta las ondas de menor longitud como los *rayos gamma*.

A continuación daremos una visión más ampliada de algunas ondas electromagnéticas relevantes.

7.14.1. Ondas de radio

Son conocidas también como *ondas hertzianas*, tienen la frecuencia más baja del *espectro electromagnético* y por lo tanto la mayor longitud de onda. Se pueden producir alimentando una antena con *corriente alterna*. La primera aplicación fue realizada por Gugliermo Marconi quien en 1.901 inventó el *telégrafo sin hilos*. Otras aplicaciones de las ondas de radio se encuentran en la medicina y en aparatos receptores como los equipos de música.

Desafío...



Del espectro electromagnético, la onda de radio puede ser considerada como una onda luminosa de baja frecuencia. ¿Es también la onda de radio una onda sonora?

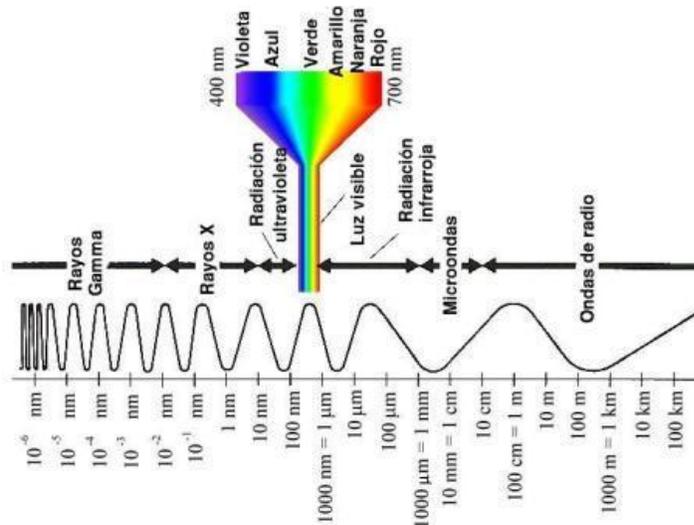


Figura 7.2: Espectro electromagnético.

7.14.2. Microondas

Están determinadas entre los 300[MHz] y los 300[GHz] de frecuencia, las que se pueden producir a través de dispositivos de estado sólido y dispositivos basados en tubos de vacío. Determinan ciertas bandas de frecuencia que se utilizan para la emisión de señales televisivas como UHF, SHF, EHF y el calentamiento de objetos, generalmente alimentos, gracias al horno microondas. Otras aplicaciones cotidianas son el *Bluetooth*, *Wi-Fi* y la televisión por cable.

7.14.3. Infrarrojo

Es un tipo de onda electromagnética de frecuencia mayor a la *luz visible*, es conocida también con el nombre de *radiación térmica*, ya que cualquier cuerpo con una temperatura superior a 0[K] emite esta radiación.

7.14.4. Luz visible

Se denomina a la región del *espectro electromagnético* que es percibido por el ojo humano. Aunque no existe un límite exacto podemos decir que un ser humano normal puede percibir ondas de luz en el rango de 450 a 750 [teraHertz] y van desde el color violeta al rojo.

7.14.5. Rayos ultravioleta UV

Radiación electromagnética cuya longitud de onda se encuentra entre los 15[nm] y 400[nm], y su nombre se debe a que su rango comienza desde las longitudes más bajas que percibe el ojo humano, identificadas por el color violeta. Se aplica generalmente en la esterilización debido a que pueden eliminar gran número de virus y bacterias, también son usadas en el control de plagas. El Sol es nuestra principal fuente de energía, el cual emite todo tipo de ondas electromagnéticas y entre ellas la *ultravioleta*. La atmósfera absorbe gran parte de las ondas más dañinas, aún así la exposición constante a la luz solar produce, a largo y mediano plazo, enfermedades degenerativas como el cáncer de piel.

7.14.6. Rayos X

Onda electromagnética con frecuencia entre 30 a 3.000[PHz] capaz de atravesar objetos opacos e impresionar películas fotográficas. Fueron descubiertos por Wilhelm Conrad Röntgen en 1.895, utilizando un aparato llamado *tubo de Crookers*. La aplicación más común de los *rayos X* está en la radiología, especialidad médica que usa radiografías. También son usados para el estudio de estructuras cristalinas, defectos de tuberías, motores, paredes, vigas, etc. La exposición prolongada a *rayos X* es perjudicial para la salud, por lo que es aconsejable no exponerse más de lo debido a estas radiaciones.

7.14.7. Rayos gamma

Son la radiación electromagnética de mayor frecuencia, superior a 10^{19} [Hz], y por lo tanto, de mayor energía, la cual es producida principalmente por elementos radioactivos naturales o artificiales como los *rayos cósmicos*. Debido a su gran energía son capaces de atravesar profundamente la materia, generando daño en el núcleo celular, por lo que son utilizados para la esterilización de instrumentos médicos, matar bacterias e insectos presentes en productos alimenticios como carnes, huevos y vegetales.

7.15. Aplicaciones tecnológicas de las ondas electromagnéticas

7.15.1. Láser

Es un tipo especial de onda electromagnética, la cual utiliza la mecánica cuántica y la emisión inducida para generar un haz de luz *coherente*. El término *láser* es una sigla en inglés “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*” que en español significa “*Ampliación de Luz por Emisión Simulada de Radiación*”. Para generar un *láser* son necesarios cuatro procesos: bombeo, emisión espontánea de radiación, emisión estimulada de radiación y la absorción.

El *láser* consta de un tubo que en su interior contiene una sustancia química (algún cristal como rubí, materiales gaseosos como helio-neón, argón o líquido) cuyos átomos son estimulados por una fuente de corriente eléctrica que hace emitir *fonones*, los que se reflejan sucesivamente en los espejos del tubo produciendo ondas de igual frecuencia.

→ Propiedades del láser

- El rayo láser se refleja, refracta, difracta y existe la interferencia al igual que en la luz.
- Su intensidad es muy alta, lo que se traduce en emisión de grandes porciones de energía en áreas pequeñas.
- Es monocromático y su frecuencia depende de la sustancia utilizada, por ejemplo, para el neón se obtiene luz roja y usando criptón la luz es verde.
- Es *coherente*, es decir, los montes y valles están alineados, a diferencia de lo que ocurre con la luz común, la cual es *incoherente*.

→ Aplicaciones del láser

- Lectura de códigos de barra.
- Telecomunicaciones: fibra óptica.

- Soldadura y corte de metales duros.
- Medir con precisión distancias grandes (Tierra-Luna).
- Perforar orificios en materiales duros.
- Lectura de CD, DVD.
- Generación de hologramas.
- Cirugías
- Luces para fiestas.

7.15.2. Radar

“*Radio Detection and Ranging*” que en español significa “*Detección y medición de distancias por radio*”. Es un sistema que utiliza ondas electromagnéticas para la medición de alturas, distancias y velocidades de objetos como aviones, barcos y automóviles. El principio es el mismo que usan animales como el murciélago, el “eco”, enviando *pulsos* de ondas de radio que se reflejan en objetos, recibiendo la señal reflejada en la misma posición del emisor. Otras aplicaciones se encuentran en meteorología, control aéreo y en fines militares.

7.16. Mini Ensayo VI La Luz

1. Las teorías fundamentales sobre la naturaleza de la luz (corpúscular y ondulatoria) son:
 - a) Opuestas
 - b) Incompatibles
 - c) Complementarias
 - d) Mutuamente excluyentes
 - e) No se tiene información para poder decidir sobre ellas

2. Si la luz no fuese una onda, entonces no podríamos dar una explicación satisfactoria al fenómeno de la:
 - a) Interferencia
 - b) Propagación en el vacío
 - c) Reflexión regular
 - d) Reflexión difusa
 - e) Refracción

3. La diferencia fundamental entre un sonido de alta frecuencia y una onda de radio (de baja frecuencia) es:
 - a) La frecuencia
 - b) La longitud de onda
 - c) La energía
 - d) El medio en que se propaga
 - e) El modo en que se generan

4. Cuando se ilumina un objeto rojo con luz azul se verá de color:
 - a) Rojo
 - b) Azul
 - c) Violeta
 - d) Naranja
 - e) Negro

5. Un niño introduce un lápiz en un vaso lleno de agua. Respecto a la imagen “quebrada” del lápiz en el vaso de agua, ¿cuál de las siguientes opciones describe el fenómeno observado por el niño?

- a) Absorción
- b) Reflexión
- c) Refracción
- d) Interferencia
- e) Transmisión

6. El Principio de Fermat establece que:

- a) La luz se refleja siempre completamente
- b) La luz se propaga en línea recta
- c) La luz se curva al pasar cerca de un objeto altamente absorbente
- d) El trayecto seguido por la luz al propagarse es tal, que el tiempo empleado es mínimo
- e) De todos los caminos posibles entre dos puntos que puede seguir un “rayo” de luz, éste “escoge” el más largo

7. Respecto a las ondas electromagnéticas

I Las ondas electromagnéticas tienen su mayor rapidez en el aire.

II El horno microondas doméstico funciona emitiendo ondas electromagnéticas.

III Los rayos X son ondas electromagnéticas.

¿Cuáles de las afirmaciones es (son) correcta(s)?

- a) Sólo I.
- b) Sólo III.
- c) Sólo I y III.
- d) Sólo II y III.
- e) I, II, III.

8. Dos colores distintos percibidos por el ojo humano, en su naturaleza común de ondas electromagnéticas, se diferencian en:

- a) La frecuencia
- b) La velocidad de propagación
- c) El sentido de desplazamiento
- d) La fuente emisora de luz
- e) La potencia luminosa con que llega al ojo

9. El color de los objetos se debe al color de la luz:

- a) Incidente
- b) Absorbida
- c) Refractada
- d) Reflejada
- e) Natural

10. Sobre una superficie de agua incide un rayo de luz, con un ángulo de incidencia agudo. Dentro del agua, la magnitud que cambia es:

- I La longitud de onda.
- II La frecuencia.
- III La velocidad de propagación.
- IV La dirección de propagación.

De las afirmaciones anteriores, se cumple(n):

- a) Sólo I y II.
- b) Sólo II, III y IV.
- c) Sólo I, III y IV.
- d) Sólo III y IV.
- e) Todas

11. El reflejo de un objeto, producido por colocar este objeto delante de un espejo plano:

I Es virtual.

II Es real.

III Con respecto al espejo, se encuentra a la misma distancia que el objeto al espejo.

IV Con respecto al espejo, se encuentra a una distancia igual al doble de la distancia entre el objeto y el espejo.

Es(son) cierta(s):

a) Sólo I

b) Sólo I y III

c) Sólo I y IV

d) Sólo II y IV

e) Sólo II y III

12. La descomposición de la luz blanca a través de un prisma se debe principalmente a:

a) La refracción

b) La geometría del prisma

c) Su naturaleza ondulatoria

d) La variación del índice de refracción

e) La composición química especial del vidrio

13. Enfermedad ocular debida a que el globo ocular es más corto de lo normal, por lo que la imagen observada se forma detrás de la retina. Esta definición corresponde a:

a) Hipermetropía

b) Astigmatismo

c) Miopía

d) Presbicia

e) Estrabismo

14. Se requiere obtener una imagen invertida y de igual tamaño con un espejo cóncavo. El objeto debe ubicarse

- a) En el vértice
- b) En el foco
- c) En el centro de curvatura
- d) En cualquier punto
- e) No es posible obtener esa imagen

15. Dentro de las características principales del rayo láser:

- I Se refleja, refracta y difracta, al igual que la luz.
- II Es monocromático y su frecuencia depende de la energía aplicada por el proceso de bombeo.
- III Su intensidad es muy alta, lo que se traduce en emisión de grandes porciones de energía en áreas pequeñas.

Es(son) falsa(s):

- a) Sólo I
- b) Sólo II
- c) Sólo III
- d) Sólo I y II
- e) Ninguna

Capítulo 8

La Tierra y su entorno

8.1. Introducción

La Tierra es un planeta de naturaleza rocosa, poseedor de agua en abundancia en sus tres estados, dueña de una atmósfera donde operan procesos químicos que le permite albergar diversas formas de vida, llevando a cabo procesos biológicos que explican la existencia abundante de oxígeno. Éste es un planeta dinámico, objeto de estudio de las más variadas ciencias tales como geofísica, geología, meteorología, geografía, ecología, etcétera, ciencias que han dejado al descubierto los irreversibles daños que está generando la actividad del hombre, como por ejemplo el calentamiento global que ya se está manifestando en los cambios climáticos.

Los primeros modelos cosmológicos griegos del siglo VI a.C. suponían una Tierra plana, dos siglos después se comenzó a pensar en una Tierra esférica, siendo Pitágoras el primer personaje al cual se le atribuye haber enseñado por primera vez la esfericidad terrestre. Ya durante el siglo II se creía que la Tierra era el centro del Universo, todo el cosmos giraba a su alrededor mientras ésta estaba inmóvil, recién en el siglo XVI surge la alternativa de pensar en el Sol como centro de giro de los planetas, incluyendo a la Tierra. Formado hace 4.600 millones de años, ya se sabe que el “planeta azul” pertenece a la distribución de cuerpos celestes que giran alrededor del Sol, el Sistema Solar, que a su vez forma parte de la Vía Láctea, galaxia espiral de unos 13 mil millones de años que es parte de un gran Universo.

8.2. La Tierra

Comparado con el resto de los planetas del Sistema Solar, la Tierra debe ser el más interesante y dinámico. Desde el espacio se logra observar su atmósfera parcialmente cubierta de nubes, las cuales se mantienen en constante movimiento, dejando de manifiesto las significativas variaciones estacionales. Cuantitativamente, la composición química de la atmósfera de nuestro planeta difiere drásticamente de la de Marte y Venus, predominando el oxígeno y el nitrógeno. Casi las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra está cubierta de agua, el resto de la corteza corresponde a rocas, siendo la densidad media del planeta igual a $5,5 \left[\frac{gr}{cm^3} \right]$. El centro de la Tierra corresponde a la zona más densa, tratándose de un núcleo de hierro al igual como el que poseen Venus y Mercurio.

Dentro de las características relevantes de la Tierra se destacan:

- La Tierra es un *geoide*¹ en rotación con radio ecuatorial de $6.379 [Km]$ y un radio polar de

¹ *Geoide*: Cuerpo de forma casi esférica con un ligero achatamiento en los polos.

6.357[*Km*].

- Su masa es $5,98 \cdot 10^{24}$ [*Kg*] y su volumen es $1,08 \cdot 10^{18}$ [*m*³].
- Tiene propiedades magnéticas, comportándose como un gran imán que posee un polo magnético positivo y un polo magnético negativo, opuestos a los polos geográficos. Este campo magnético global es de origen desconocido, se cree que se debe a las corrientes eléctricas que se generan en el núcleo de la Tierra. Este campo es fundamental para la generación de la Magnetósfera, región que protege la vida del planeta de partículas y rayos de origen cósmico, provenientes principalmente del viento solar.
- En cuanto a la estructura terrestre se distinguen tres capas en su composición: Geósfera (tierra), Hidrósfera (agua) y Atmósfera (gases).
- La Geósfera representa el 99,9 % de la masa del planeta, en cambio, la Hidrósfera representa el 0,029 % y la Atmósfera sólo el 0,008 %.

8.2.1. Origen de la Tierra

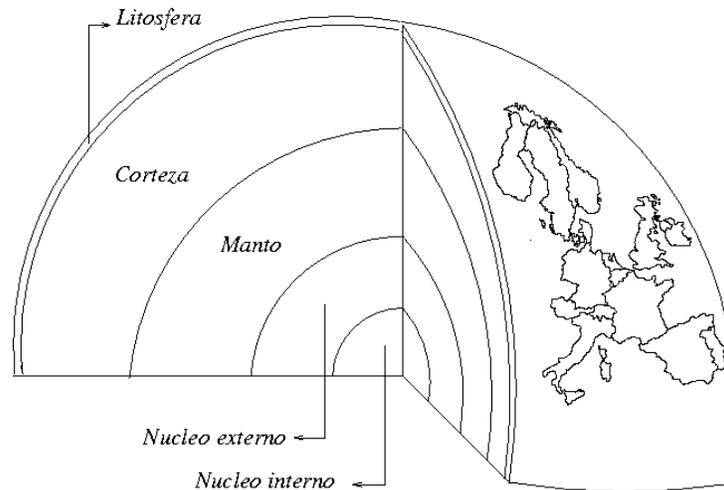
El origen de la Tierra se estima que fue hace 4.600 millones de años, se cree que su formación se debe a una *nebulosa*² de la cual se originaron el Sol y los planetas a partir de los siguientes sucesos:

- Condensación de las partículas de polvo cósmico (fragmentos rocosos de hierro, carbono, entre otros) originando un protoplaneta rodeado de gases nobles e hidrógeno.
- Se acumula en el centro gran cantidad de materia y aumenta la temperatura, así comienza la formación del Sol. Luego la nebulosa se aplana a su alrededor, quedando como un disco en rotación.
- El polvo y gas condensado se unen en pequeños bloques de materia, los que aumentan de tamaño a medida que atraen y concentran mayor cantidad de elementos, formándose los planetas.
- El calentamiento de las concentraciones de materia debido a impactos con otros cuerpos, la presión ejercida por la gravedad y la radiactividad de elementos como uranio, torio y potasio, provocaron una gran fusión. En particular en la Tierra los materiales más densos se separaron y se hundieron, y los menos densos se distribuyeron hacia la superficie. Su atmósfera estaba compuesta por agua, metano, amoníaco, ácidos como el clorhídrico y el fluorhídrico y sustancias tóxicas como el monóxido de carbono.
- Hace 4.000 millones de años la Tierra comenzó a enfriarse; el vapor de agua se condensó, formó nubes que luego provocaron lluvias, las que dieron origen a los océanos. Comienzan los procesos de erosión, transporte y sedimentación de materiales al reaccionar el agua de la lluvia con las rocas. Surgen los primeros continentes y la actividad volcánica es muy intensa.
- Hace 2.200 millones de años ya había continentes, océanos y se generaban los procesos geodinámicos (movimiento de placas y erosión) semejantes a los actuales.

²*Nebulosa*: Nube gigantesca compuesta por gases y polvo interestelar.

8.2.2. Estructura interna de la Tierra

El interior de la Tierra es un lugar absolutamente inaccesible para el hombre, los movimientos sísmicos son los únicos fenómenos físicos que proporcionan información acerca de la naturaleza del interior terrestre. De los análisis de las ondas sísmicas se ha podido determinar a lo menos tres zonas bien diferenciadas en que se puede dividir el interior de la Tierra, ellas son la corteza, el manto y el núcleo.



→ Núcleo

Región más interna de la Tierra, la cual posee un radio de $3.480[Km]$. En el núcleo se distinguen dos zonas bien diferenciadas: el núcleo interno sólido y el núcleo externo líquido, ambas zonas están compuestas de hierro y una pequeña cantidad de níquel. El núcleo líquido se caracteriza por la formación de corrientes eléctricas en él, lo que genera el campo magnético de la Tierra, el cual se extiende por miles de kilómetros alrededor de la Tierra. En el centro de la Tierra la temperatura es de $6.000^{\circ}C$.

→ Manto

Gruesa capa de rocas volcánicas que llega a una profundidad de $2.900[Km]$. Es una región en donde las temperaturas oscilan entre 1.200 y $2.800^{\circ}C$, compuesta principalmente por silicatos de hierro y magnesio. Se distinguen dos partes: el manto superior que sirve de apoyo a las placas tectónicas y el manto inferior en donde se generan corrientes de convección debido a la diferencia de temperatura y densidad del material, determinando el movimiento de las placas tectónicas.

→ Corteza

Corresponde a la región más superficial de la Tierra, zona en la cual habitamos. Es una delgada capa que tiene un espesor que varía entre los $5[Km]$ en las profundidades oceánicas y los $70[Km]$ en la base de las montañas de gran envergadura. Proporcionalmente, si la Tierra fuera una manzana, la corteza sería su cáscara. Esta zona está compuesta por rocas en fase sólida ricas en silicio y aluminio, distinguiéndose la corteza oceánica y la corteza continental, siendo la primera más delgada, pero más densa.

8.2.3. Placas tectónicas

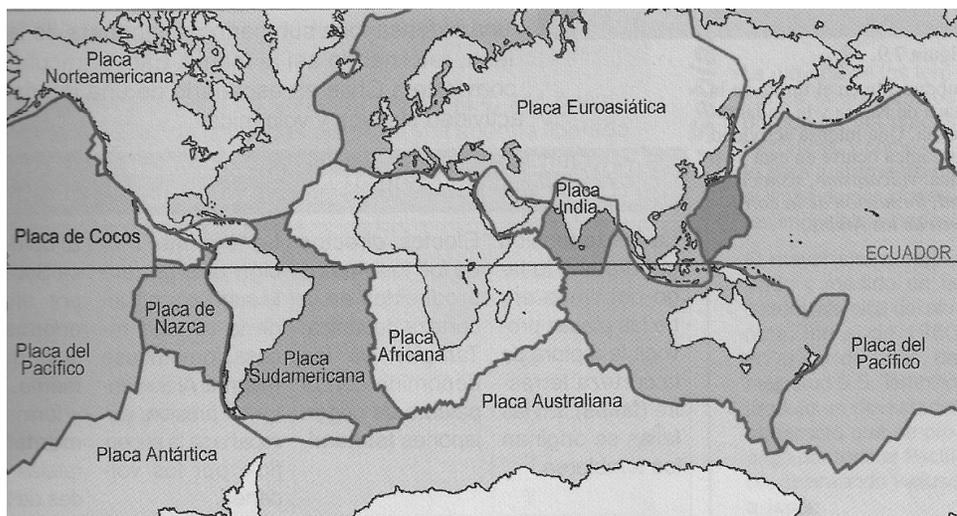
La parte sólida y rocosa del exterior de la Tierra se denomina **Litosfera** que incluye a la corteza y la parte externa del manto. Aquí es en donde se encuentran las placas tectónicas en las que está fracturada la corteza terrestre, las cuales navegan sobre la **Astenosfera**, que es la capa sobre la que descansa la Litósfera y en la cual se produce el flujo de líquido espeso por convección.

La teoría de las placas tectónicas, propuesta en 1.910 por el geofísico Alfred Wegener, explica la estructura y dinámica de la Tierra. La distribución actual de los continentes tiene una historia: hace 200 millones de años existió un supercontinente, formado por la unión de todos los continentes actuales, llamado Pangea el cual comenzó a fracturarse debido al movimiento de las placas tectónicas. Pangea se dividió formando dos continentes nuevos: Gondwana y Laurasia, los cuales con el correr de los años se volvieron a fragmentar por efecto del movimiento de las placas tectónicas, generándose finalmente la distribución que conocemos actualmente.

La inspiración de esta teoría confirmada es simplemente ver cuan bien “encajan” en el mapa las formas de América con las de Europa y África. Actualmente se sabe que las placas tectónicas se mueven con una velocidad que oscila entre 1 y 10 centímetros por año, lo que puede parecer poca cosa, pero en tiempo de millones de años se logran acumular movimientos significativos.

Dependiendo del sentido del movimiento de las placas, se distinguen tres tipos de interacción:

- **Bordes divergentes:** Las placas se separan y una nueva Litósfera emerge a la superficie.
- **Bordes convergentes:** Las placas se presionan entre sí y la más densa puede hundirse bajo la otra.
- **Bordes de transformación:** Las placas se deslizan entre sí, paralelamente, en sentidos contrarios.



→ Chile y las placas tectónicas

Chile se encuentra a lo largo del borde de dos placas tectónicas, estas son **la de Nazca y la Sudamericana**, esta ubicación determina que nuestro país sea un escenario de intensa actividad sísmica y volcánica.

La placa de Nazca penetra por debajo de la placa Sudamericana, fenómeno llamado **subducción**, en donde la Litósfera oceánica es consumida por una fosa submarina, retornando así al manto. Las consecuencias de la interacción de estas placas son:

- **Actividad sísmica:** La fuerte tensión generada a lo largo del límite entre las placas provoca la ruptura de la corteza terrestre (fallas). En las fallas se originan los temblores.
- **Maremotos:** También llamados tsunami, son efecto directo de los terremotos producidos en la corteza oceánica.
- **Actividad volcánica:** La enorme fricción que genera la subducción funde la corteza rocosa, formándose *magma*³. Al aumentar su presión el magma escapa hacia la superficie a través de los volcanes.
- **Formación de montañas:** El borde de la placa Sudamericana, por efecto de la enorme compresión que experimenta, se levanta y forma cadenas montañosas paralelas a los bordes de las placas.

8.2.4. Actividad sísmica

Los sismos son fenómenos naturales que liberan energía, se producen con frecuencia en los bordes de las placas tectónicas, en donde la tensión entre éstas provoca el quiebre de la corteza terrestre, a lo que se denomina falla. En menor frecuencia se producen como consecuencia de una erupción volcánica.

Un sismo tiene un foco y un epicentro. **Foco o hipocentro es el lugar subterráneo en donde se produce la sacudida** expresado en $[Km]$ de profundidad. En cambio, el **epicentro es el lugar geográfico de la superficie de la Tierra, directamente sobre el foco.**

Existen dos escalas de uso universal para medir la magnitud e intensidad de un sismo, respectivamente:

→Escala de Richter

Se basa en la máxima amplitud de las ondas sísmicas registradas en el sismograma de un temblor. En esta escala, una diferencia de magnitud igual a 1 entre dos sismos, equivale a un incremento de diez veces en la amplitud de la onda sísmica. Respecto de la energía liberada en un terremoto, cada aumento en una unidad de magnitud Richter equivale a una liberación de energía 30 veces mayor aproximadamente.

→Escala de Mercalli

No se basa en los registros sismográficos, sino en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente. Esto último se mide según la intensidad del sismo asignándole una medida desde el nivel I (muy débil) al XII (destrucción total).

La intensidad asociada se relaciona con la magnitud Richter, la distancia al epicentro, la resistencia de las construcciones, la estructura del suelo y la percepción de la población.

Intensidad	Efecto observado
I	No sentido, excepto por pocos.
II	Sentido sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores.
III	Sentido claramente en interiores, especialmente en los pisos superiores, pero muchas personas no lo reconocen como temblor.

³*Magma:* Roca fundida en la Litósfera, incluyendo gases disueltos y cristales.

IV	En el día es sentido en los interiores por muchas personas; en exteriores, por pocas.
V	Sentido por la mayoría; muchos se despiertan. Se advierte a veces movimiento de árboles, postes y otros objetos altos.
VI	Sentido por todos; muchos se asustan y corren al exterior. Algunos muebles pesados se mueven.
VII	Todos escapan al exterior. Daño mínimo en edificios bien diseñados y construidos; daño considerable en estructuras mal diseñadas o mal construidas.
VIII	Daño considerable en edificios ordinarios. Caída de chimeneas, columnas, monumentos, muros.
IX	Los edificios se desplazan de sus cimientos. Grietas visibles en el suelo.
X	La mayoría de las estructuras se destruyen. Suelo muy fracturado.
XI	Pocas estructuras, o ninguna, permanecen en pie. Los puentes se destruyen. Largas y profundas grietas en el terreno.
XII	Daño total. Ondas visibles en el terreno. Los objetos son lanzados al aire.

El mayor sismo registrado y medido en la historia sísmica mundial fue el sucedido en Valdivia, Chile en 1.960 que tuvo una magnitud de 9,5 y produjo un maremoto que se propagó por todo el Pacífico, alcanzando incluso a Japón. También destacan los terremotos que se produjeron en: Alaska, 1.964 de magnitud 9,2; Sumatra (Indonesia), 2.004 de magnitud 9,1; Kamchatka (Siberia), 1.952 de magnitud 9; entre otros. En Chile otros terremotos de gran magnitud durante los 90's fueron los de Valparaíso, 1.906 de magnitud 8.39 y de Chillán, 1.939 de magnitud 7,8.

8.2.5. Actividad volcánica

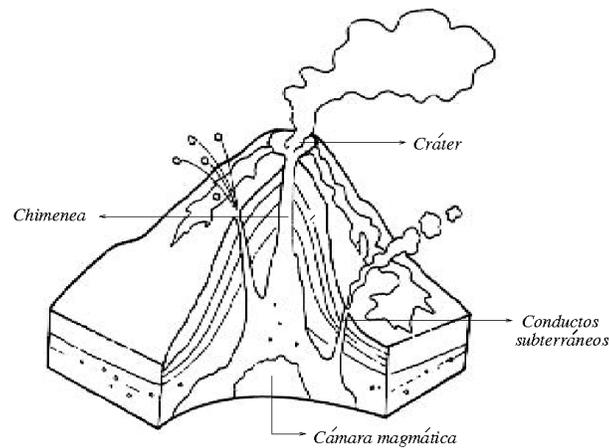
Un volcán consiste esencialmente en una *cámara magmática*⁴, un sistema de *conductos subterráneos* por el que el magma sube a la superficie, destacándose la *chimenea principal* y el *cráter*⁵ por donde emerge la *lava*⁶.

Más de 100 volcanes, potencialmente activos, se encuentran a lo largo de Chile en la Cordillera de Los Andes, los cuales se originaron por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, lo que provoca el calentamiento y fusión de la roca subterránea. El magma se acumula, su presión aumenta y se abre paso hacia la superficie, así se inicia una erupción volcánica.

⁴ *Cámara magmática*: Depósito de roca fundida que está a unos cuantos kilómetros de profundidad.

⁵ *Cráter*: Se encuentra en la cima del volcán.

⁶ *Lava*: Magma que sale al exterior.



8.2.6. Características que permiten la vida

→Atmósfera

- Contiene el oxígeno que necesita el reino animal y el dióxido de carbono para el reino vegetal.
- Nos protege del Sol filtrando la radiación nociva para la vida, tales como los rayos gamma, los rayos X y los ultravioleta. Pero no todas las ondas electromagnéticas son filtradas por la Atmósfera, ya que algunas son indispensables para el proceso de fotosíntesis, además existen otras como un espectro de las infrarrojas, que están asociadas a la radiación calórica, que también atraviesan esta capa.
- Regula la temperatura terrestre: equilibra la del día con la de la noche (momento en que no llegan los rayos solares que dan luz y calor), y transporta el calor de las zonas más cálidas a las más frías del planeta.
- Se compone de un 78 % de nitrógeno, un 21 % de oxígeno y un 1 % de otros gases como argón, dióxido de carbono y vapor de agua.
- El **nitrógeno es el gas más abundante de la Atmósfera**, liberado hacia ella por las erupciones volcánicas.
- El **oxígeno es el segundo gas más abundante de la Atmósfera**, producido principalmente por las plantas.
- Se distinguen cinco capas principales de la Atmósfera:
 - **Troposfera:** Es la capa más próxima a la superficie terrestre, la que absorbe la energía térmica del Sol y en ella se producen los fenómenos meteorológicos.
 - **Estratosfera:** En ella se encuentra la capa de ozono que filtra la radiación ultravioleta.
 - **Mesosfera:** Es la capa en donde se registra la temperatura más baja de la Atmósfera y es importante por la ionización y las reacciones químicas que ocurren en ella.
 - **Termosfera:** Absorbe la radiación ultravioleta, los rayos gamma y los rayos X. Una parte de la termosfera es la **ionosfera** que permite la propagación de las señales de radio. Además en esta capa se producen las auroras boreales y australes.

- **Exosfera:** Esta es el área donde los átomos se escapan hacia el espacio.

→Hidrosfera

- La Tierra contiene alrededor de $1,63 \cdot 10^{15}$ [L] de agua, ya sea en sus estado sólido, líquido o gaseoso.
- El 96,5 % del total se encuentra en los océanos. Aproximadamente un 1,7 % se acumula en los casquetes polares, glaciares y en las nieves eternas de las montañas. Otro 1,7 % se acumula en ríos, lagos, esteros, suelos y napas subterráneas, mientras que un 0,001 % se encuentra como vapor de agua en la Atmósfera.
- La cantidad de agua sobre la Tierra se considera constante y en perpetua circulación por los diversos estados físicos, en el proceso denominado Ciclo del Agua.

8.2.7. Contaminación

La contaminación es la alteración nociva de las condiciones normales de cualquier medio por la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos, ajenos al mismo. Actualmente la contaminación del aire, el agua y los suelos, producto de las actividades humanas, afectan a todo el planeta y determinan fenómenos como los que a continuación se presentan:

→ Lluvia ácida

Fenómeno que se produce por la combinación de los óxidos de nitrógeno y azufre provenientes de las actividades humanas, con el vapor de agua presente en la Atmósfera, los cuales se precipitan posteriormente a la Tierra acidificando los suelos, lo que produce la contaminación y destrucción de estos.

→ Adelgazamiento de la capa de ozono

El ozono forma una capa en la Atmósfera que filtra la radiación ultravioleta procedente del Sol que es nociva para los seres vivos. El adelgazamiento de la capa de ozono es producido por el uso durante años de los CFC (clorofluorocarbonos) en el sistema de refrigeración y aerosoles, sumándole la emisión de metilcloro por incendios forestales y algunas otras causas naturales como el cloro proveniente de las erupciones volcánicas.

→ Efecto invernadero

Fenómeno que evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, ya que determinados gases como óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono la retienen, produciendo el calentamiento progresivo del planeta o calentamiento global. La deforestación, ha limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero. Las consecuencias de este fenómeno son la destrucción del ecosistema, el derretimiento de los glaciares, inundaciones, sequías y desertización.

La atmósfera de Venus es una advertencia de lo que podría pasar en la Tierra si por los reiterados trastornos ecológicos continuara aumentando la temperatura global. El derretimiento y evaporación de las aguas produciría un efecto invernadero mayor, por la mayor cantidad de vapor en la atmósfera, originando sequías y temperaturas en alza. Si por el contrario, un exceso

de precipitaciones limpiara la atmósfera del vapor de agua, se produciría un descenso global de las temperaturas, originando una nueva edad glacial.

8.3. Sistema Solar

Desde 1.543 sabemos que el Sol es el centro de lo que denominamos Sistema Solar, el cual contiene el 99,87% de toda la materia de éste. Dentro de los miembros destacados que acompañan al Sol están los ocho planetas que orbitan a su alrededor, los satélites de estos planetas, los planetas enanos, los *asteroides*⁷ que se mueven en órbitas intermedias entre las de Marte y Júpiter, los cometas, los *meteoritos*⁸, el polvo interplanetario y el viento solar.

La Unión Astronómica Internacional durante el año 2.006, decidió cambiar la definición de un planeta, con lo cual Plutón pasó a ser considerado un planeta enano, quitándole protagonismo dentro del Sistema Solar. Es así como son sólo ocho los considerados planetas, estos son: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. A los seis primeros se les conoce desde tiempos prehistóricos, mientras que Urano fue descubierto en 1.781 y Neptuno en 1.846. Si se examinan los tamaños, las masas y las densidades de los planetas del Sistema Solar se pueden distinguir dos grupos: los planetas terrestres (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) y los planetas gigantes o jovianos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno). Los planetas terrestres se caracterizan por ser pequeños, de baja masa, alta densidad y cercanos al Sol. Los planetas jovianos son de mayor tamaño y masa, de menor densidad y más lejanos al Sol.

8.3.1. Desarrollo histórico del Sistema Solar

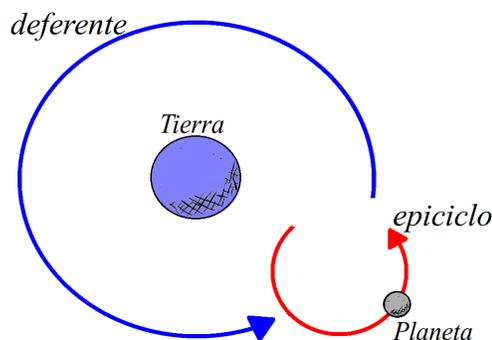
Los filósofos griegos durante 2.000 años mantuvieron la creencia de que la Tierra era un cuerpo inmóvil alrededor del cual giraban los *cuerpos celestes*⁹, esta teoría es conocida como **sistema geocéntrico** y se basaba en las siguientes hipótesis: los planetas, el Sol, la Luna y las estrellas se mueven en órbitas circulares perfectas; la velocidad de giro de todos estos es constante y la Tierra se encuentra en el centro exacto del movimiento de los cuerpos celestes. Bajo estos principios los griegos Eudoxo, Platón y Aristóteles concibieron el Universo como un conjunto de más de 27 esferas concéntricas que rodean la Tierra.

Aristarco de Samos, en la primera mitad del siglo III a.C., planteó un modelo heliocéntrico, pero nunca elaboró un modelo matemático que avalara su postura. Posteriormente, Hiparco de Nicea desarrolló una teoría matemática que describía un sistema geocéntrico, en donde los planetas se mueven en un pequeño círculo llamado epiciclo, cuyo centro se mueve alrededor de la Tierra sobre un círculo llamado deferente. Tres siglos más tarde esta misma teoría es reutilizada por Claudio Ptolomeo, convirtiéndose en la verdad absoluta durante 15 siglos.

⁷ *Asteroide*: Cuerpo rocoso, carbonáceo o metálico más pequeño que un planeta y que orbita alrededor del Sol.

⁸ *Meteorito*: Pequeño cuerpo rocoso o metálico que alcanza la superficie de la Tierra debido a que no se desintegró por completo en la atmósfera.

⁹ *Cuerpo celeste*: Se denomina cuerpo celeste a aquellos cuerpos que no son capaces de emitir luz.



Durante el Renacimiento, en 1.543, Nicolás Copérnico demostró que los movimientos planetarios se pueden explicar mejor si se le atribuía la posición central al Sol, esta teoría es conocida como **sistema heliocéntrico**. La propuesta de Copérnico no difiere mucho de lo planteado por Aristarco de Samos 1.800 años antes, pero no sólo enuncia la idea, sino que elaboró un modelo matemático para describir los movimientos planetarios basado en un sistema heliocéntrico. A pesar de esto, este modelo no tuvo mayor impacto en la sociedad de la época debido a que iba en contra de las Sagradas Escrituras, si se las tomaba literalmente, y en contra a la física aristotélica que aún imperaba en esos tiempos.

Durante el siglo XVI, el astrónomo danés Tycho Brahe se dió cuenta que era necesario disponer de las más precisas observaciones astronómicas si se pretendía hacer un modelo matemático que permitiera predecir dónde estarán los planetas en el futuro, es así como empezó a elaborar un catálogo con las posiciones exactas de 777 estrellas, además de realizar observaciones del comportamiento del Sol, la Luna y los planetas. Uno de los ayudantes de Tycho Brahe fue Johannes Kepler, uno de los más grandes matemáticos de todos los tiempos, quien utilizando las observaciones del planeta Marte realizadas por Brahe, logró arrebatarse a la naturaleza el secreto de los movimientos planetarios.

Contemporáneo a Kepler fue Galileo Galilei, astrónomo y matemático italiano, quien a comienzos del siglo XVII logró el establecimiento definitivo del sistema heliocéntrico, es decir, el que sostiene que el Sol está al centro de los cuerpos celestes. A Galileo Galilei se le atribuyen valiosos aportes a la ciencia tales como el estudio de los cuerpos en caída libre, la ley de la inercia, la construcción del primer telescopio (1.609) con el cual hizo gran cantidad de descubrimientos astronómicos como los anillos de Saturno, cuatro satélites de Júpiter, las fases de Venus, las manchas solares, los cráteres y montañas lunares, etcétera. Galileo defendió la teoría heliocéntrica con gran vehemencia lo que le costó una condena a prisión perpetua. Ya en 1.687 es Isaac Newton quien logra unificar la mecánica terrestre con la mecánica celeste, no quedando ninguna duda de que los planetas, incluida la Tierra, giran alrededor del Sol y los satélites alrededor de los planetas.

8.3.2. El Sol

El Sol es el astro dominante del Sistema Solar, es la estrella más cercana a la Tierra, encontrándose a sólo ocho minutos luz y está en la mitad de su ciclo de vida. La masa del Sol es 330.000 veces mayor a la de la Tierra. Si se suma la masa de los ocho planetas, ésta sólo alcanza a ser 1,34 milésimas de la masa solar. Así, entre el Sol y un planeta hay una relación de masas semejante a la que existe entre un caballo y una mosca. Otro dato interesante es el valor de la aceleración de gravedad en la “superficie” del Sol, la cual es 28 veces mayor a la aceleración de gravedad de la Tierra, es decir, un objeto que en nuestro planeta posee un peso de $1[N]$ en el Sol pesaría $28[N]$. La cantidad de energía emitida por el Sol en cada segundo de tiempo, llamada

también luminosidad solar, es igual a $9 \cdot 10^{25} \left[\frac{\text{cal}}{\text{s}} \right]$.

El Sol es una estrella típica, como las hay más grandes o pequeñas, más frías o calientes, en general podríamos decir que el Sol es una estrella de clase media que tiene una edad aproximada de 4.600 millones de años. Esta esfera gaseosa presenta diversas capas: el núcleo, la zona de radiación, la zona de convección, la fotosfera (en donde se encuentran las manchas solares, erupciones y protuberancias) y la capa más externa es la corona (de donde escapan vientos solares, siendo visible durante un eclipse). Las características y propiedades principales del Sol son las siguientes:

Diámetro	1.391.980 [Km]
Masa	$2 \cdot 10^{30}$ [Kg]
Luminosidad	$3,9 \cdot 10^{26}$ [W]
Temperaturas medias	Superficie: 5.800 [K]; Centro: $1,55 \cdot 10^7$ [K]
Densidad media	1.410 $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$
Composición	74 % hidrógeno; 25 % helio; 1 % otros elementos.

8.3.3. Los planetas

Los planetas se formaron hace unos 4.600 millones de años, al mismo tiempo que el Sol. A pesar de que podemos ver algunos de ellos brillar a simple vista desde la Tierra, estos no tienen luz propia, sino que reflejan la luz solar. Desde tiempos prehistóricos que se les ve errantes en el firmamento, de ahí su nombre planeta que significa vagabundo. Los principales movimientos de los planetas son la rotación y la traslación. **Rotación** es el giro del planeta en torno a sí mismo respecto de un eje, generalmente este movimiento determina la duración del día y la noche. **Traslación** es el giro en torno al Sol que se realiza describiendo una órbita elíptica, el tiempo que demore el planeta en dar una revolución es considerado como el año de éste.

→ Mercurio

- Es el planeta más cercano al Sol y el segundo más pequeño del Sistema Solar.
- Tiene un diámetro igual a 4.878 [Km] y una alta densidad media igual a $5,43 \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$.
- En su superficie se ha detectado actividad volcánica, grandes acantilados de una altura típica de 1 o 2 kilómetros, cráteres y grietas.
- Posee una muy tenue atmósfera, la cual se pierde y repone permanentemente. Es por esta razón que no se contradice con la aseveración de que Mercurio no tiene atmósfera.
- En el hemisferio cubierto por el Sol se han medido temperaturas de 427°C , en contraste con el hemisferio en oscuridad que posee una temperatura de -173°C .
- Rota sobre su eje con un periodo de 59 días y se traslada alrededor del Sol en un tiempo aproximado de 88,5 días.
- Posee un campo magnético débil a su alrededor, lo que supone que tiene un núcleo de hierro de aproximadamente el tamaño de la Luna.

→ Venus

- Es el segundo planeta del Sistema Solar, el tercer objeto más brillante en el cielo, después del Sol y la Luna, y es el más semejante a la Tierra.
- No tiene océanos y su superficie está cubierta por algunas cadenas montañosas y gran cantidad de volcanes, en su mayoría inactivos.
- Tiene una gruesa y densa atmósfera con alto contenido de dióxido de carbono CO_2 (96 %), el cual produce el efecto invernadero que determina que la temperatura en la superficie de este planeta sea aproximadamente igual a $475^{\circ}C$.
- Le toma 243 días en rotar sobre su eje, rotación que tiene sentido opuesto respecto del giro de la Tierra y el resto de los planetas, así las estrellas en Venus “salen” por el oeste y se esconden por el este, aunque si se pudiera estar en su superficie no veríamos las estrellas ya que Venus siempre está nublado.
- Un día venusiano son casi 4 meses nuestros. Venus demora 225 días en dar una vuelta completa al Sol, es decir, que en un año venusiano hay aproximadamente 2 días.
- La presión atmosférica en su superficie es 90 veces mayor que la presión atmosférica en la Tierra.

→ Tierra

- Es el tercer planeta y el único habitado. Las condiciones favorables para la vida están determinadas en gran medida por su atmósfera rica en nitrógeno y oxígeno, además de un pequeño porcentaje de dióxido de carbono necesario para el reino vegetal. A su atmósfera debemos también la regulación de la temperatura global, la protección de la radiación solar nociva, como los rayos gamma, X y ultravioleta.
- Otro aspecto que determina la existencia de vida en la Tierra es la presencia de agua en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso.
- Posee un campo magnético global que se extiende por varios kilómetros, el cual también favorece la existencia de vida en el planeta, ya que nos protege de las partículas cargadas provenientes del viento solar.
- La traslación de la Tierra alrededor del Sol tiene una duración aproximada de 365 días y 6 horas, mientras que la rotación sobre su propio eje dura aproximadamente 24 horas.
- El ecuador de la Tierra está inclinado $23,5^{\circ}C$ respecto del plano de su órbita, lo que determina el fenómeno de las estaciones.
- Posee un único satélite natural llamado Luna.

→ Marte

- Es el cuarto planeta, conocido como “planeta rojo”. Debido a que su ecuador está inclinado 25° respecto del plano de su órbita, Marte presenta estaciones como las de la Tierra.
- Posee una delgada atmósfera compuesta principalmente por dióxido de carbono CO_2 .

- Su temperatura máxima es de 10°C y en las regiones polares, en invierno, se genera una temperatura de unos -120°C . A esta temperatura el CO_2 se congela y precipita en forma de nieve.
- Su superficie está cubierta de cráteres, algunas zonas montañosas y llanuras. Es un lugar muy árido en donde de vez en cuando se producen grandes tormentas de arena. Hay signos claros del flujo de ríos y erosión producida por agua, pero la muy baja presión atmosférica de Marte no permite la mantención de agua líquida en su superficie, pues ésta se evapora a temperatura ambiente. En los polos, la temperatura permite la existencia de hielo de agua bajo el hielo de CO_2 .
- Contiene un 0,03 % de agua.
- Posee dos satélites naturales: Fobos y Deimos. Se trata de dos asteroides capturados por Marte.
- Marte rota sobre su propio eje en 24 horas y media, mientras que demora 687 días en trasladarse alrededor del Sol.
- Su densidad media es $3,94 \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]$, equivalente a la de la Luna.

→ Júpiter

- Es el planeta más grande, su tamaño es más de 11 veces el de la Tierra y su masa supera a nuestro planeta en un factor de 318.
- Posee 4 grandes satélites descubiertos por Galileo hace cuatro siglos: Io, Europa, Ganímedes y Calisto, los cuales se acompañan de otros satélites menores, que a la fecha totalizan 62 objetos conocidos. Tiene un tenue sistema de anillos, formado por partículas de polvo lanzadas al espacio cuando los meteoritos chocan con sus satélites.
- Su densidad es de $1,3 \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]$, esto es apenas superior a la del agua que es igual a $1 \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]$. Su composición química contiene un 82 % de hidrógeno, un 17 % de helio y un 1 % del resto de los elementos químicos.
- Su rotación es la más rápida del Sistema Solar, posee un periodo de 9 horas y 55 minutos. El ecuador gira más rápido que los polos y la zona intermedia, esto debido a que Júpiter no es un cuerpo rígido, sino un planeta líquido y gaseoso.
- Se sabe de la existencia de violentas descargas eléctricas en su atmósfera. Se cree que tiene un pequeño núcleo sólido de hierro y silicatos, lo que junto al hidrógeno metálico como conductor de corriente eléctrica, explicaría la presencia de un enorme campo magnético a su alrededor.

→ Saturno

- Es el segundo planeta más grande, con una masa igual a 95 masas terrestres y con un tamaño determinado por un radio 9,4 veces el de la Tierra.
- En 1.610 Galileo lo describió como “el planeta con orejas”, ya en 1.655 el astrónomo holandés Christiaan Huygens descubre el misterio de Saturno, sus anillos, los cuales son visibles desde la Tierra.

- Dos de sus anillos son brillantes, mientras que los otros 5 son opacos. La composición de estos anillos es de fragmentos de piedras y rocas, las cuales pueden estar recubiertas de hielo seco que les da tonalidad blanca y propiedades reflectantes. El anillo de Saturno está inclinado 27° con respecto a su órbita.
- Titán es el mayor de los satélites de Saturno, el único que posee una atmósfera comparada a la terrestre. Posee 32 satélites más, entre los cuales destacan Rea, Jápeto, Dione, Tetis, Mimas, Febe, Encélado, Hiperión, Pandora, Atlas, Pan, Prometeo, Jano, Calipso, Telesto, y Helena.
- Es el planeta menos denso del Sistema Solar, tiene sólo un 70 % de la densidad del agua, es decir, que un trozo de Saturno flotaría en su piscina.
- Al igual que Júpiter, Saturno posee una atmósfera formada principalmente por hidrógeno y helio.
- Un día saturnino tiene una duración de 10 horas y 40 minutos.

→ **Urano**

- Es el séptimo planeta y el tercero más grande. A través de un telescopio se observa de un color azul-verdoso. Su tamaño es 4 veces mayor al de la Tierra y su masa supera a nuestro planeta en un factor de 14.
- Su atmósfera, al igual que Júpiter y Saturno, está compuesta principalmente por hidrógeno y helio, abundando también los hielos de metano, dióxido de carbono, amoníaco, etcétera.
- Estudios demuestran que Urano es un planeta gélido, alcanzando una temperatura de $-215^\circ C$.
- Se encuentra inclinado en 98° respecto del plano de su órbita, es decir, uno de sus polos se encuentra de cara al Sol, generándose estaciones muy distintas a las vivenciadas en la Tierra. La otra cara de este planeta permanece durante medio año uraniano en oscuridad, posterior a este tiempo se intercambian los papeles, y tendremos noche continua en el polo antes iluminado y un eterno mediodía en el otro polo.
- Posee un periodo de traslación igual a 84 años terrestres, es decir, el año uraniano tiene esa duración. El periodo de rotación aún es un misterio.
- Se encontró un campo magnético bastante intenso a su alrededor.
- Urano posee 10 anillos, los cuales son delgados y oscuros. Además tiene 15 satélites naturales entre los cuales destacan Oberón, Titania, Umbriel, Ariel y Miranda.

→ **Neptuno**

- Urbain Jean Joseph Le Verrier, sólo a través cálculos matemáticos, utilizando la mecánica newtoniana, descubrió con su lápiz el planeta incógnito que desviaba la órbita de Urano. Este planeta desconocido y descubierto a través de ecuaciones sin nunca antes ser visto es Neptuno.
- Es un planeta muy similar a Urano en radio, masa y densidad.

- Posee una atmósfera de un tinte azulino, donde ocurren grandes tormentas, con los vientos más fuertes del Sistema Solar.
- Tiene 4 anillos, dos delgados y dos gruesos, muy tenues. Neptuno tiene 8 satélites principales y algunas lunas muy pequeñas y lejanas. Tritón es la más grande y tiene la peculiaridad de girar en sentido contrario al resto de los otros satélites. El resto de los destacados son Nereida, Proteo, Larisa, Galatea, Despina, Thalassa y Náyade.
- Su temperatura media es de -220°C .

A continuación se presenta la siguiente tabla comparativa entre masa, diámetro y órbitas de los planetas del Sistema Solar:

Planeta	Masa [Kg]	Diámetro [Km]	Radio órbita [Km]
Mercurio	$3,3 \cdot 10^{23}$	4.870	$58 \cdot 10^6$
Venus	$4,87 \cdot 10^{24}$	12.100	$108 \cdot 10^6$
Tierra	$5,98 \cdot 10^{24}$	12.756	$154 \cdot 10^6$
Marte	$6,24 \cdot 10^{24}$	6.670	$228 \cdot 10^6$
Júpiter	$1,9 \cdot 10^{27}$	143.760	$778 \cdot 10^6$
Saturno	$5,68 \cdot 10^{26}$	120.240	$1.427 \cdot 10^6$
Urano	$8,7 \cdot 10^{25}$	51.300	$2.870 \cdot 10^6$
Neptuno	$1,0 \cdot 10^{26}$	40.500	$4.500 \cdot 10^6$

8.3.4. Leyes de Kepler

Los resultados de las investigaciones de Johannes Kepler pueden resumirse en tres leyes, donde las conclusiones básicas de su análisis son aún válidas y se emplean para hacer buenas predicciones de las posiciones planetarias:

→ Primera ley: “Ley de las órbitas”

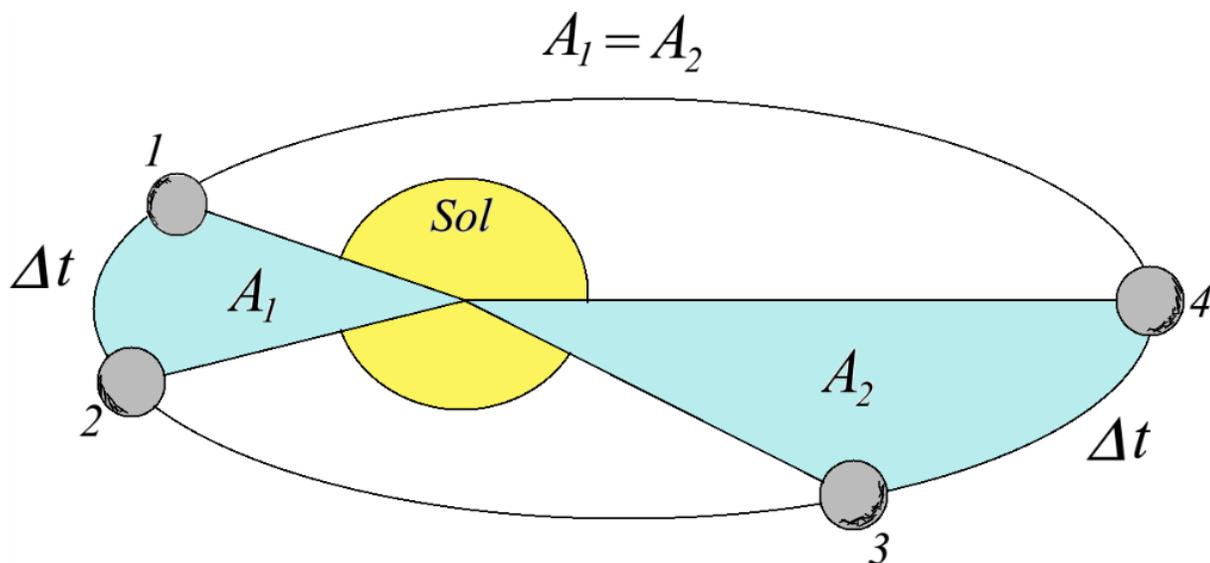
Las órbitas de los planetas son planas, el Sol se encuentra en este plano de la órbita. El movimiento de todo planeta alrededor del Sol describe una órbita elíptica respecto de él, situándolo en uno de los *focos*¹⁰.

En la órbita de cualquier planeta se reconocen dos puntos: el más distante al Sol, llamado *afelio*, y el más cercano, llamado *perihelio*. Cuando el planeta se encuentra en el perihelio se mueve con mayor rapidez que cuando está en el afelio. A mayor achatamiento de la órbita, mayor es la diferencia de rapidez entre el perihelio y el afelio.

→ Segunda ley: “Ley de las áreas”

La línea recta que une el planeta con el centro del Sol, barre áreas iguales en intervalos de tiempo iguales a medida que se produce la traslación.

¹⁰ *Foco*: Es uno de los dos puntos que determinan una elipse.



→ Tercera ley: “Ley de los períodos”

El cuadrado del período de revolución¹¹ T de un planeta en torno al Sol es directamente proporcional al cubo del semi eje mayor¹² R de la órbita:

$$T^2 = k \cdot R^3 \quad (8.1)$$

Donde $k = 2,97 \cdot 10^{-19} \left[\frac{m^3}{s^2} \right]$ es la constante de proporcionalidad .

8.3.5. Ley de Gravitación Universal

Esta ley fue formulada por Isaac Newton y publicada en 1.687, plantea que existe una fuerza de atracción entre dos cuerpos o partículas de materia y se ejerce en la dirección de la recta que los une, a esta fuerza se le denomina **fuerza de atracción gravitacional**.

La magnitud de la fuerza de atracción gravitacional, F_{12} , es directamente proporcional al producto de las masas, m_1 y m_2 , de los cuerpos interactuantes e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia d que los separa:

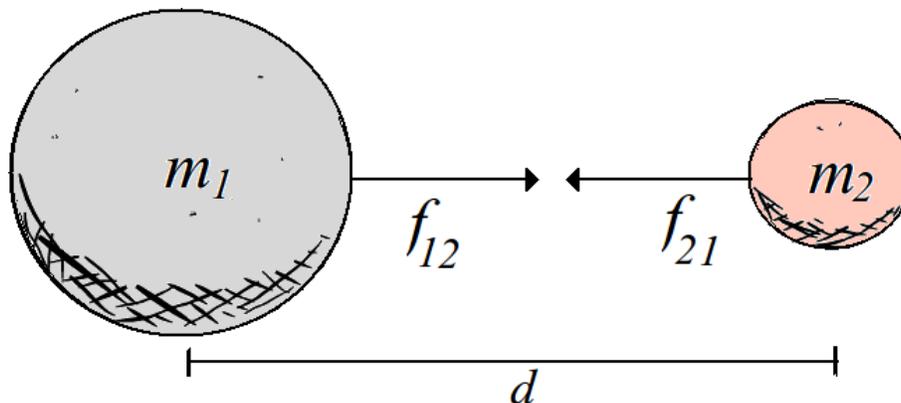
$$F_{12} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \quad (8.2)$$

Donde G es la constante de gravitación universal igual a $6,67 \cdot 10^{-11} \left[\frac{N \cdot m^2}{Kg^2} \right]$.

Notar que entre los cuerpos interactuantes se cumple además el principio de acción y reacción, así existe la fuerza de atracción gravitacional producida por m_1 respecto de m_2 y la fuerza de atracción gravitacional generada por m_2 respecto de m_1 . Ambas de igual magnitud y dirección, pero con sentido opuesto.

¹¹Se llama período de revolución al tiempo empleado por un cuerpo celeste en efectuar una vuelta completa de su órbita.

¹²El semi eje mayor de una elipse es la mitad de la longitud de su eje mayor, el cual contiene a los focos.



Ejemplo

Dos planetas de masa m_1 y m_2 se atraen con una fuerza de magnitud f_{12} cuando se encuentran separados por una distancia r . Si los planetas se separan al doble de su distancia, ¿cuál sería la nueva fuerza de atracción f_{21} entre ellos?

Solución: Según la ecuación (8.2) y los datos proporcionados en el enunciado se tiene que la fuerza de atracción f_{12} entre los planetas que se encuentran separados por una distancia r es:

$$f_{12} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Luego si la distancia aumenta al doble, es decir, aumenta a $2r$, se tiene que la nueva fuerza gravitacional f_{21} entre ellos será:

$$\begin{aligned} f_{21} &= G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{(2r)^2} \\ &= G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{4r^2} \\ &= \frac{1}{4} \cdot f_{12} \end{aligned}$$

Así se cumple que la nueva fuerza de atracción f_{21} entre ellos es igual a la cuarta parte de f_{12} .

Ejercicios

8.1

1. ¿A qué distancia debiera estar un cuerpo de la superficie terrestre para que su peso se anulara?
2. Calcular la intensidad de la fuerza gravitatoria a $63[km]$ de la superficie terrestre.
3. A cierta altura sobre la Tierra se encuentra un satélite de $500[kg]$ sobre el cual el campo gravitatorio terrestre actúa con la fuerza de $400[N]$. ¿Cuál es la intensidad del campo gravitacional y la aceleración de gravedad a esa distancia?
4. La masa de la Tierra es, aproximadamente, $6 \cdot 10^{24}[kg]$, su radio es, aproximadamente, $6.370[km]$. La masa de la Luna es $\frac{1}{81}$ veces la masa de la Tierra, su radio es, aproximadamente, $1740[km]$ y la distancia que hay entre la Tierra y la Luna es de, aproximadamente, 60 radios terrestres. Determine la intensidad de la fuerza gravitatoria en la superficie lunar.

5. Determine la magnitud de la fuerza gravitacional entre dos bolas de billar de masa $0,16[kg]$ cuando la distancia entre ellas es de $450[mm]$.
 6. Supongamos que la Tierra tiene dos lunas cuyos períodos son $T_1 = 28$ días y $T_2 = 84$ días:
 - a) ¿Cuál de las dos está más cerca de la Tierra?
 - b) ¿Cuál viaja a mayor velocidad?
 - c) ¿Cuánto vale la masa de la segunda luna si la primera tiene una masa m ?
 - d) ¿Cada cuánto tiempo se eclipsarán la una a la otra?
 7. Deducir la distancia del Sol a Neptuno si sabemos que demora $367,5$ días en dar una vuelta completa alrededor del Sol.
 8. Comprobar el período de la Tierra, sabiendo que la distancia al Sol es $1.496 \cdot 10^{11}[m]$.
-

8.3.6. La Tierra y sus movimientos

→ Rotación

- Giro que realiza la Tierra sobre su propio eje en un tiempo de 23 horas, 56 minutos y 4 segundos, es decir, aproximadamente 24 horas. Su eje de rotación se mantiene siempre en la misma dirección, apuntando aproximadamente hacia la estrella Polar durante todo el año. El eje de rotación está inclinado $23,5^\circ$ con respecto a la perpendicular al plano de la eclíptica¹³.
- La rapidez de giro en el ecuador respecto al eje de rotación es igual a $1.674[\frac{Km}{h}]$

→ Traslación

- Giro que realiza la Tierra alrededor del Sol, impulsada por la gravitación, a través de una órbita elíptica. Esta órbita es casi circular, posee un pequeño achatamiento que genera que la Tierra se encuentre a distintas distancias del Sol a medida que se traslada. La máxima proximidad al Sol se denomina perihelio y su máxima lejanía afelio.
- En este movimiento, la Tierra emplea un tiempo de 365 días, 5 horas, 48 minutos y 45 segundos.
- La Tierra se traslada con una rapidez de $107.224[\frac{Km}{h}]$, la cual no es constante.

→ Precesión

- Movimiento provocado por la forma irregular de la Tierra, su inclinación y la atracción gravitacional del Sol y la Luna. Se trata de un lento balanceo durante su movimiento de traslación llamado “precesión de equinoccios”, que se efectúa en sentido inverso al de rotación.

¹³ Trayectoria aparente que describe el Sol, apareciendo por el este y ocultándose por el oeste.

- El efecto de precesión que el Sol y la Luna introducen sobre la Tierra es semejante al movimiento de un trompo. Si el eje de un trompo en rápido giro se inclina respecto de la vertical, el peso del trompo tratará de volcarlo. La experiencia nos muestra que mientras el trompo siga girando, su eje de rotación en lugar de tumbarse violentamente describirá el manto de un cono centrado en torno a la vertical; es decir, el trompo precesará. La Tierra precesa con una extraordinaria lentitud, demora 26 mil años en completar una revolución.

→ Nutación

- Movimiento que se superpone con la precesión, provocado por la atracción de la Luna sobre el abultamiento ecuatorial de la Tierra. Si la atracción gravitacional de la Luna y el Sol sobre la Tierra fueran idénticas el movimiento de precesión haría describir al eje de rotación exclusivamente un cono, pero el plano de la Luna está inclinado 5° respecto de la eclíptica, situándose a veces más cerca y en ocasiones más lejos del ecuador. Es por estos cambios de posición de la Luna respecto del abultamiento ecuatorial que se produce una pequeña oscilación mientras la Tierra precesa, este movimiento es llamado nutación.
- Nutación es una especie de movimiento de vaivén del eje terrestre que posee un periodo aproximado de 18 años. Cabe destacar que también el Sol genera efectos de nutación en nuestro planeta, pero es despreciable.

8.3.7. Efectos de los movimientos terrestres

- La rotación de la Tierra hace que ésta sea achatada en los polos y determina la sucesión de días y noches.
- La sucesión de las estaciones se debe a la inclinación del eje terrestre respecto a la eclíptica. Cuando es verano en el hemisferio sur, es invierno en el norte y viceversa. Por lo tanto, no pueden ser las variaciones de la distancia entre la Tierra y el Sol las que producen las estaciones, pues en ese caso debería ser verano o invierno en todo el planeta al mismo tiempo.
- Debido a la inclinación del eje de rotación terrestre, la luz del Sol no se distribuye de manera uniforme sobre el hemisferio norte y sur en un día cualquiera del año. Por más que la Tierra gire sobre su eje, en ambos polos se va alternando un “día” que dura 6 meses, un atardecer que dura 1 mes, casi 3 meses de noche y luego un largo amanecer.
- El hemisferio cuyo polo está iluminado por el Sol recibirá mucho más luz y tendrá días de mayor duración que las noches: será verano. En el otro hemisferio, las noches serán más largas y recibirá menos energía solar, lo cual hará que la temperatura sea más baja: será invierno.
- En la traslación de la Tierra hay cuatro puntos en la órbita en que se producen los fenómenos conocidos como los equinoccios y solsticios.
- **Equinoccio** significa noches iguales en todos los puntos del planeta, además en este instante las noches son iguales a los días. El equinoccio se produce dos veces al año, el 20 o 21 de marzo marcando el comienzo del otoño y el 20 o 21 de septiembre dando comienzo a la primavera en el hemisferio austral. Durante estas fechas el día y la noche en ambos hemisferios tienen la misma duración, ya que el Sol se encuentra directamente sobre el ecuador.

- El **solsticio** ocurre cuando el Sol se encuentra en su posición más alejada de la línea ecuatorial, visto desde la Tierra. Esto sucede dos veces al año, uno alrededor del 21 de junio dando comienzo al invierno, produciéndose el día más corto, y por ende, la noche más larga. El otro solsticio ocurre alrededor del 21 de diciembre cuando empieza el verano (invierno en el hemisferio norte), donde se produce el día más largo del año, y por consiguiente, la noche más corta.
- La ligera elipticidad de la órbita terrestre se traduce, de acuerdo a la segunda ley de Kepler, en que las estaciones tienen distinta duración, pues la Tierra demora menos en recorrer su órbita entre el equinoccio de primavera y el de otoño (del hemisferio sur).
- La longitud aproximada de las estaciones es: primavera 89,6 días, verano 89 días, otoño 92,9 días e invierno 93,7 días. En general, la primavera empieza el 23 de septiembre, el verano el 22 de diciembre, el otoño el 20 o 21 de marzo y el invierno el 21 o 22 de junio.
- La distancia al Sol tiene una pequeña influencia en las temperaturas, por ejemplo, en el mes de enero el verano se hace más caluroso en el hemisferio sur por su mayor proximidad al Sol.
- La nutación produce una cíclica variación de la inclinación del propio eje terrestre, la cual es bastante ligera.

8.3.8. La Luna

La Luna es un cuerpo que brilla por luz solar reflejada, como se dijo anteriormente, la Luna gira en torno a la Tierra en una órbita elíptica que está contenida en un plano inclinado 5° con respecto a la eclíptica, plano de la órbita terrestre. La Luna es un mundo estéril, abrasador bajo el Sol y muy frío durante su larga noche. Su superficie está cubierta de cráteres, montañas y zonas oscuras que fueron llamadas mares, pensando erróneamente que había agua en ellas. La cara que nunca vemos de la Luna presenta mayor cantidad de cráteres producidos por el impacto de meteoroides.

La formación de la Luna tiene varias teorías, entre ellas destaca la que sugiere que la Tierra fue impactada por un planetesimal muy grande, de una masa como Marte, que arrancó violentamente material gaseoso, líquido y sólido de nuestro planeta, lo que formó un anillo a su alrededor del cual se condensó la Luna.

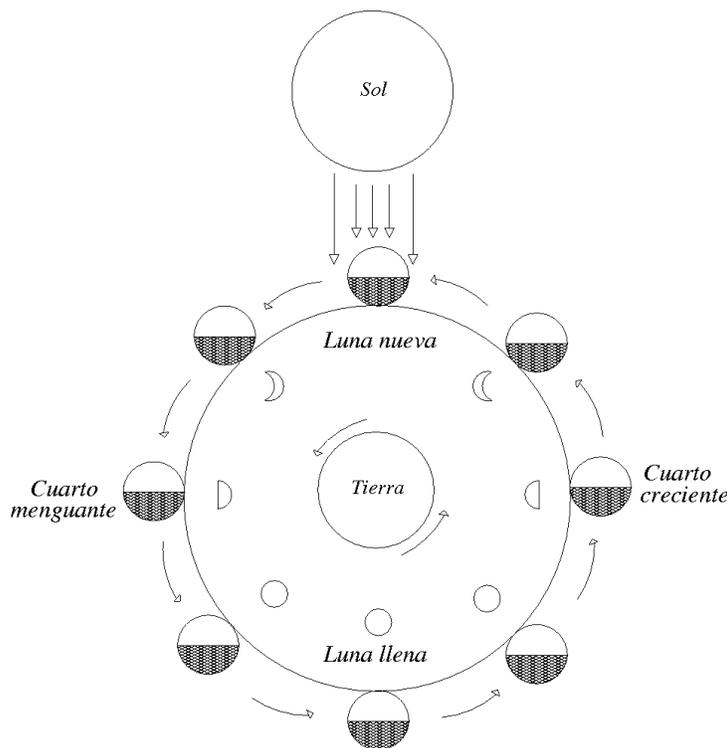
Dentro de las características relevantes de la Luna se encuentran:

- Su masa es igual a $7,35 \cdot 10^{22} [Kg]$.
- Su diámetro es igual a $3.476 [Km]$ y su distancia media a la Tierra es $384.403 [Km]$.
- La gravedad en su superficie es $1,6 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ aproximadamente.
- Se traslada en torno a la Tierra en 27,3 días, gira en torno a su eje demorando 27,3 días en completar una revolución. Este satélite natural demora tiempos iguales en rotar y trasladarse alrededor de nuestro planeta, lo que se traduce en que la Luna presenta siempre “la misma cara” a la Tierra.
- No posee atmósfera y por ello tampoco tiene agua líquida.

→ Fases de la Luna

En su curso alrededor de la Tierra vemos la Luna iluminada desde distintos ángulos, lo que produce una sucesión de las fases lunares:

- Cuando la Luna se sitúa entre el Sol y la Tierra, no podemos verla ya que su cara iluminada está “de espaldas” a nosotros. A esta fase se le llama **Luna nueva**, la cual sale con el Sol.
- Siete días después de la Luna nueva, ésta se ubica en el meridiano al ponerse el Sol y veremos la mitad de ella iluminada; estaremos en **cuarto creciente**. La Luna cuarto creciente sale a mediodía.
- Algo más de catorce días después de la Luna nueva, la Tierra queda ubicada entre la Luna y el Sol, así podemos ver la totalidad de la cara de nuestro satélite. Esta fase es llamada **Luna llena**, la cual sale al ponerse el Sol.
- En los días siguientes, la Luna irá saliendo cada vez más tarde en la noche hasta llegar a salir en la medianoche, en cuyo momento veremos media cara iluminada; será el cuarto menguante.
- Finalmente, la Luna irá saliendo sólo unas pocas horas antes que el Sol hasta llegar a salir junto con él, con lo que se repetirá la Luna nueva.



→ Eclipses

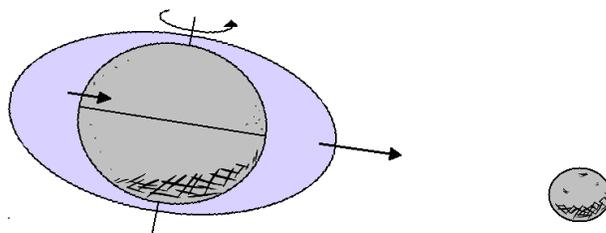
Cuando la Luna se interpone entre la Tierra y el Sol, se produce un eclipse de Sol y cuando la Tierra queda situada entre el Sol y la Luna tiene lugar un eclipse de Luna. La inclinación de la órbita lunar es pequeña, pero suficiente para que no se produzca un eclipse de Sol en cada Luna nueva y uno de Luna en cada Luna llena.

Es una gran coincidencia que la Luna y el Sol desde la Tierra parecieran ser del mismo tamaño, pese a que en realidad tienen una gran diferencia de dimensiones. Esto ocurre porque la Luna está 390 veces más cerca del Sol. En otras palabras:

- Si la Luna tapa al Sol en un momento de su trayectoria, ubicándose exactamente entre el Sol y la Tierra, tenemos un **eclipse de Sol**.
- Cuando la Luna penetra en la sombra que proyecta la Tierra, tenemos un **eclipse lunar**.

→ **Mareas**

La Luna ejerce un efecto notable sobre los océanos terrestres. La Luna atrae a la Tierra igual que ésta a aquélla. Como la atracción gravitacional se debilita con la distancia, la Luna atrae con mayor intensidad a la cara de la Tierra que la enfrenta que a la que la opone. La diferencia, aunque pequeña, es suficiente para causar una deformación del océano, que se “levantará” hacia la Luna, originando una protuberancia hacia nuestro satélite. Unos 60[cm] se levanta en mar abierto el agua en dirección a la Luna, mientras que el mar del lado opuesto a donde está la Luna es dejado “atrás”.



El Sol atrae a la Tierra con una fuerza 180 veces mayor que la ejerce la Luna, pero el efecto de marea no depende de la fuerza neta, sino de la diferencia de atracción entre una cara y otra. Como el Sol está 400 veces más lejos que la Luna, su acción sobre los océanos es menor. Según la posición del Sol éste puede reforzar o debilitar la marea lunar: cuando el Sol y la Luna están alineados frente a la Tierra, ejercen sus fuerzas de atracción en la misma dirección sobre nuestro planeta, produciéndose las **mareas altas**. En cambio cuando la Luna y el Sol atraen a la Tierra en sentidos distintos, se producen las **mareas bajas**. Note también que la Luna produce el mismo fenómeno sobre las rocas, pero por la falta de fluidez de éstas no somos capaces de percibir los centímetros que se elevan.

8.4. El Universo

El origen del Universo se atribuye, según la teoría del **Big Bang**, a una gran explosión de donde emergió toda la materia que se concentraba en un punto sin volumen y de densidad infinita, en física a esto se llama singularidad, dentro de ella ni el espacio ni el tiempo pueden existir. De este modo pierde sentido la pregunta ¿qué había o pasaba antes del Big Bang? o ¿qué causó el Big Bang? ya que no existe nada antes del Big Bang, pues no existía el tiempo, una causa implica un orden temporal que no existía sino hasta el momento de la expansión.

Luego del estallido comienza la inflación del Universo, la cual crea la materia que comenzó a alejarse muy rápidamente, nacen el espacio y el tiempo. Al terminar la inflación el Universo era tremendamente caliente, el cual comienza a enfriarse, a estas temperaturas no pueden haber existido átomos ni moléculas como las conocemos, los protones y neutrones convivían en equilibrio con los electrones, muones, neutrinos y rayos gamma que poseían mucha energía. Al bajar

la temperatura muchas de estas partículas comenzaron a desaparecer, quedando sólo protones, neutrones y electrones. Dos protones y dos neutrones se unieron para formar un 25 % de helio, el 75 % restante queda como hidrógeno. El Universo sigue su expansión, 380 mil años después de la explosión la temperatura es apta para que protones y electrones se combinen para formar átomos neutros, los cuales recombinándose dieron origen a lo que hoy conocemos como Universo.

El Universo continúa expansión y enfriándose, actualmente su temperatura es de -270°C , por lo que morirá congelado en un futuro infinito. La expansión del Universo se está acelerando, a gran escala el Universo es plano y vale en él la geometría euclídeana.

8.4.1. Estrellas

Las estrellas son enormes esferas de gas, principalmente hidrógeno y helio, que están a muy alta temperatura. Poseen una fuente interna de energía que se transporta por radiación, convección y conducción. Siempre están sometidas a su atracción gravitatoria y a la fuerza que proporciona la presión interna del gas.

A continuación se nombran algunas características de su evolución:

- Se originan a partir de grandes nubes (nebulosas) que contienen mucho gas y polvo a bajas temperaturas, cuyas partículas comienzan a contraerse debido a la atracción gravitacional, aumentando la presión en el centro, lo que genera el incremento de la temperatura hasta producirse la fusión nuclear. Durante este proceso se juntan núcleos de hidrógeno formando núcleos de helio, liberándose energía desde el interior de la nebulosa, naciendo así una estrella.
- Cuanto mayor sea la masa de una estrella menos tiempo tiene de vida y viceversa.
- Una estrella vive mientras dure la transformación del hidrógeno en helio, hasta que el hidrógeno finalmente se agota y la estrella muere, pero esto puede tardar millones o miles de millones de años.
- Cuando el hidrógeno se consume, el núcleo, que ahora es de helio, se contrae produciendo un aumento de la temperatura hasta que el helio se fusiona, liberando oxígeno y carbono, la estrella comienza a expandirse, aumenta su brillo, disminuye la temperatura en su superficie, adopta un tono rojizo convirtiéndose en una **gigante roja**.
- La muerte de una gigante roja se produce contrayéndose el núcleo y arrojando al espacio sus capas externas. Así queda convertida en una **enana blanca**, tipo de estrella con el tamaño de la Tierra, pero con la masa del Sol. Nuestro Sol terminará como una enana blanca.
- La muerte de una estrella super gigante se produce contrayéndose hasta quedar con un núcleo de hierro. La contracción gravitacional es tan intensa que desencadena una explosión conocida como **supernova**, liberando gran cantidad de energía y residuos al espacio.
- Los restos de una supernova, según la masa de los residuos, pueden generar una **estrella de neutrones** o un **agujero negro**. Se produce un agujero negro cuando la masa residual es superior a tres veces la masa del Sol, originándose un colapso gravitacional.

Las estrellas se pueden clasificar según sus características espectrales y su luminosidad, entre otros tipos de catalogaciones. Los colores de las estrellas están relacionados con la temperatura

de su superficie visible y su masa, es así como las estrellas rojas son las que poseen la menor temperatura, luego le siguen las anaranjadas, las amarillas, las blancas hasta llegar a las azules que son las más calientes.

8.4.2. Constelaciones

Las constelaciones son agrupaciones de estrellas, que miradas desde la Tierra parecen estar cercanas y contenidas en una especie de esfera denominada **esfera celeste o bóveda celeste**, la que parece girar en dirección este-oeste. Sin embargo, esta esfera es imaginaria, pues las estrellas se encuentran distantes entre sí.

Las configuraciones estelares pueden asociarse con objetos o personajes, dependiendo de la imaginación de quien observe el firmamento. Actualmente, la esfera celeste se divide en 88 constelaciones, muchas de las cuales tienen nombres que provienen de los griegos, como por ejemplo, Andrómeda, Perseo, Orión, Casiopea, etcétera. Las constelaciones más familiares son las del zodiaco. El zodiaco es una secuencia de 12 constelaciones que rodean la eclíptica, es decir, por donde pasa el Sol en su curso anual y por donde también pasan la Luna y los planetas. Las constelaciones zodiacales son: Aries, Tauro, Gemini, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpión, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis. La constelación más conocida en nuestro hemisferio es la de Orión, especialmente por la presencia de las “Tres Marías”.

8.4.3. Galaxias

Las galaxias deben haberse formado entre un millón y 500 millones después del momento del Big Bang a partir de fluctuaciones (incremento local de densidad) en el Universo primitivo, las cuales deben haber crecido en tamaño hasta llegar al punto donde la fuerza de gravedad dentro de la fluctuación empezó a superar la expansión y adquirió identidad propia. Una vez que la fluctuación comienza a contraerse empiezan a aparecer pequeñas inhomogeneidades que aumentan y colapsan gravitacionalmente, formando las galaxias. El cúmulo inicial se divide en miles de fragmentos menores, que constituirán las galaxias individuales. Algunos darán origen a galaxias elípticas, otros a espirales los menores a irregulares. Es posible que se formen de manera inversa: primero las estrellas, luego las galaxias y finalmente los cúmulos de galaxias.

Una galaxia es un sistema tridimensional de estrellas, gases y polvos interestelares, generalmente no se encuentran solas, sino que forman parte de grupos llamados **cúmulos de galaxias**. A comienzos del siglo XX, Edwin Hubble descubrió que todas las galaxias se están alejando entre sí, fenómeno que tiene relación con la expansión del Universo.

Como se dijo anteriormente, las galaxias se presentan en tres variedades principales: la de apariencia elíptica, las de aspecto espiral y las de forma irregular.

→ Galaxias elípticas

- Aglomeración elipsoidal o circular que posee una estructura muy regular.
- Contiene una gran población de estrellas viejas y poca cantidad de gases y polvo interestelar. La edad promedio es de trece mil millones de años, las hay de diversos tamaños: desde las enanas que contienen a penas un millón de estrellas, hasta galaxias masivas que contienen más de un billón de estrellas.

→ Galaxias espirales

- Su forma corresponde a un disco achatado con prolongaciones luminosas más conocidas como brazos que se encuentran en rotación.
- Contienen una gran población de estrellas azules jóvenes, algunas estrellas viejas y bastante gas y polvo interestelar. En el centro de la galaxia hay una gran densidad estelar y en algunos casos un hoyo negro.

→ Galaxias irregulares

- De tamaño mucho menor a las anteriores y de estructura no definida. No poseen núcleo, son poco luminosas y la formación de estrellas en su interior ocurre de forma caótica.
- Poseen gran cantidad de gases, polvo interestelar; estrellas viejas, jóvenes y en formación.

Nuestro Sistema Solar está ubicado en uno de los brazos espirales, llamado Brazo de Orión, de la **Vía Láctea**. La Vía Láctea es una gigantesca galaxia espiral, tiene unos 100 mil años luz de diámetro. Se originó hace unos 10.000 millones de años, posee un movimiento de rotación en torno a su centro de unos $250 \left[\frac{Km}{s} \right]$, contiene alrededor de 200 mil millones de estrellas.

8.4.4. Cometas

Se trata de estructuras ligadas gravitacionalmente al Sol, los cuales residen en una nube esférica alrededor de esta estrella. Actualmente se cree que los cometas se condensaron a partir de la nebulosa solar en el momento de formación del Sol y los planetas.

Los cometas son cuerpos celestes que siguen órbitas muy elípticas, se caracterizan por el cambio de estado que sufren los materiales sólidos que lo conforman, los cuales se convierten en gas a medida que el cometa se acerca al Sol. Poseen un núcleo constituido por hielos de agua, dióxido de carbono, metano y partículas de polvo. Alrededor del núcleo se encuentra la coma, envoltura que libera gases como monóxido de carbono y vapor de agua. Los cometas están envueltos en una nube de hidrógeno y tienen una cola que puede ser de dos tipos: una de polvo que es amarillenta y una de plasma que es de color azul.

8.5. Exploración del espacio

Las primeras observaciones del espacio se realizaron mirando a simple vista el firmamento. Con el transcurso del tiempo los exploradores del espacio comenzaron a ayudarse con distintos instrumentos como telescopios, radiotelescopios, satélites, sondas espaciales, etc.

→ Telescopios ópticos

Instrumentos capaces de producir una imagen aumentada de los objetos, utilizando la luz que proviene de ellos.

En 1.609 Galileo Galilei presentó uno de los primeros telescopios. Dentro de los telescopios más destacados se encuentran el telescopio espacial Hubble que se encuentra en órbita fuera de la atmósfera terrestre y los telescopios de Paranal.

→ Radiotelescopio

Instrumento utilizado para estudiar las ondas de radio que llegan desde el espacio, generalmente a través de una antena parabólica.

→ Satélites

Un satélite es cualquier objeto que orbita alrededor de otro. Los satélites artificiales son naves espaciales fabricadas en la Tierra y enviadas en un vehículo de lanzamiento con fines militares, astronómicos, comunicacionales, meteorológicos, energéticos, etc.

La exploración del espacio con satélites se inició en 1.957 con la puesta en órbita del Sputnik, de la Unión Soviética. El Sputnik 2 logró colocar en órbita al primer animal en la historia.

En 1.960 se lanzó el primer satélite de comunicaciones, el Echo I. En 1.961 se puso al primer humano, Yuri Gagarin, a orbitar la Tierra, volviendo a ella sin problemas. En 1.962 se lanzó el primer satélite de comunicaciones activo, el Telstar I, creando el primer enlace televisivo internacional. Desde 1.957 la red de vigilancia espacial ha registrado más de 26.000 objetos orbitando sobre la Tierra, donde 8.000 son de fabricación humana.

→ Sondas espaciales

Una sonda espacial es un objeto que recoge información y la envía a la Tierra, viajando hasta los extremos del Sistema Solar e incluso saliendo de él. Las sondas espaciales Voyager I y II, y Galileo, proporcionaron interesante información sobre los planetas del Sistema Solar.

En 1.997 una nave espacial no tripulada se posó sobre Marte para recoger información. También lo hizo la primera sonda robótica, Pathfinder, en una serie de misiones programadas.

8.5.1. Vuelos espaciales

La ciencia que estudia los vuelos espaciales y la tecnología relacionada con ellos se denomina astronáutica. La tecnología necesaria para la exploración espacial estuvo disponible con la construcción de los primeros cohetes, las personas que manejan o son pasajeros de estas naves se llaman astronautas.

Pedro Paulet diseñó y construyó el primer motor cohete en 1.897, en 1.902 Konstantin Tsiolkovsky diseñó una nave a retropropulsión para viajes interplanetarios, en 1.926 Robert Hutchings Goddard realizó el primer vuelo de cohete impulsado por combustible líquido.

Históricamente, la exploración espacial comenzó con el lanzamiento del satélite artificial Sputnik en 1.957 y la perra Laica en ese mismo año. En 1.961 se lanzó al primer hombre al espacio, Yuri Gagarin, y en 1.963 a la primera mujer, Valentina Tereshkova.

En 1.968 se realizó la primera circunnavegación a la Luna, en 1.969 la misión Apolo XI llegó a la superficie de la Luna con una tripulación de tres astronautas. Luego Estados Unidos construyó transbordadores espaciales, estas naves llamadas Columbia, Challenger, Discovery, Atlantis y Endeavour se utilizaron para diversas misiones.

8.5.2. Observatorios astronómicos en Chile

Los cielos del norte de Chile poseen una atmósfera muy transparente, limpia y el desierto que caracteriza la zona pone una frontera natural a la contaminación luminosa producida por el asentamiento humano, estas cualidades favorecen las condiciones de la observación astronómica.

A continuación se presenta una lista de algunos de los observatorios que se encuentran en nuestro país:

- Región de Antofagasta:
 - Observatorio Very Large Telescope de Cerro Paranal (ESO-EUROPA).
- Región de Atacama:
 - Observatorio Las Campanas (Carnegie USA).
- Región de Coquimbo:
 - Observatorio Interamericano de Cerro Tololo (AURA-USA).
 - Observatorio Gémini (Consortio Internacional), Cerro Pachón.
 - Telescopio SOAR (Southern Observatory for Astrophysical Research), Cerro Pachón.
 - Observatorio La Silla (ESO-EUROPA).
 - Observatorio Astronómico Comunal Cerro Mamalluca, Vicuña.
- Región de Valparaíso:
 - Observatorio El Roble (U. de Chile, CHILE)

8.6. Mini Ensayo VII

La Tierra y su entorno

1. La capa de la Atmósfera en donde ocurren los fenómenos meteorológicos es:
 - a) Troposfera
 - b) Mesosfera
 - c) Exosfera
 - d) Ionosfera
 - e) Estratosfera

2. Parte sólida y rocosa del exterior de la Tierra que incluye a la corteza y la parte externa del manto, ¿a qué corresponde esta definición?
 - a) Astenosfera
 - b) Biosfera
 - c) Litosfera
 - d) Troposfera
 - e) Exosfera

3. De las siguientes opciones, ¿cuál representa aproximadamente el porcentaje, en volumen, de oxígeno (O_2) y de nitrógeno (N_2) en el aire que respiramos?
 - a) 78 % O_2 y 21 % N_2
 - b) 21 % O_2 y 78 % N_2
 - c) 41 % O_2 y 58 % N_2
 - d) 58 % O_2 y 41 % N_2
 - e) 91 % O_2 y 8 % N_2

4. Respecto de las radiaciones electromagnéticas que llegan a la Tierra, es correcto afirmar que:
- I Las ultravioletas pueden ser dañinas para los seres vivos.
 - II Las infrarrojas se asocian a la radiación calórica.
 - III Algunas visibles son indispensables para el proceso de fotosíntesis.
- a) Sólo I
b) Sólo II
c) Sólo III
d) Sólo I y III
e) I, II y III
5. ¿Qué suceso determina que Chile sea un país con gran actividad sísmica y volcánica?
- a) El ciclo geológico de la Cordillera de Los Andes
 - b) Chile se encuentra sobre una cuenca oceánica
 - c) Las corrientes marinas producidas en el océano Pacífico
 - d) Chile se encuentra a lo largo del borde de dos placas tectónicas, de Nazca y Sudamericana
 - e) Chile se encuentra a lo largo del borde de dos placas tectónicas, de Nazca y del Pacífico
6. Durante un sismo, las escalas de Richter y de Mercalli sirven para medir respectivamente:
- a) Magnitud e intensidad del sismo
 - b) Intensidad y magnitud del sismo
 - c) Ambas miden magnitud e intensidad del sismo
 - d) Amplitud y velocidad de propagación de la onda sísmica
 - e) Velocidad de propagación y amplitud de la onda sísmica
7. ¿Cuál es el par de planetas que tienen órbitas vecinas más cercanas a la Tierra?
- a) El Sol y la Luna
 - b) Júpiter y Saturno
 - c) Marte y Venus
 - d) Mercurio y Venus
 - e) La Luna y Marte

8. La teoría heliocéntrica fue planteada por:

- a) Claudio Ptolomeo
- b) Nicolás Copérnico
- c) Galileo Galilei
- d) Johannes Kepler
- e) Albert Einstein

9. Según las leyes de Kepler, se cumple:

- I Un planeta se mueve con mayor rapidez cuando se encuentra en el afelio.
- II El cuadrado del tiempo que demora un planeta en completar una revolución en torno al Sol es proporcional al cubo del semi eje mayor de la órbita.
- III La órbita de los planetas es elíptica, con el Sol en uno de sus focos.

- a) Sólo I
- b) Sólo II
- c) Sólo III
- d) Sólo I y II
- e) Sólo II y III

10. Considere que la masa de la Tierra es ochenta veces la masa de la Luna y que el radio de la Tierra es cuatro veces el radio de la Luna. Si F es la magnitud de la fuerza que la Tierra ejerce sobre la Luna, la magnitud de la fuerza que la Luna ejerce sobre la Tierra es:

- a) $\frac{F}{80}$
- b) F
- c) $\frac{F}{4}$
- d) $\frac{F}{20}$
- e) cero

11. Según la Ley de Gravitación Universal, dos cuerpos ejercerán una mayor fuerza de atracción entre ellos si:
- I Ambos aumentan el valor de su masa.
 - II Aumenta la distancia entre ellos.
 - III Disminuye la distancia entre ellos.
- a) Sólo I
b) Sólo II
c) Sólo III
d) Sólo I y II
e) Sólo I y III
12. Si la Luna tapa al Sol en un momento de su trayectoria, ubicándose exactamente entre el Sol y la Tierra, ¿cuál es el fenómeno que se produce?
- a) Equinoccio
b) Solsticio
c) Eclipse solar
d) Eclipse lunar
e) Luna llena
13. Movimiento de la Tierra que determina la sucesión de días y noches:
- a) Nutación
b) Precesión
c) Rotación
d) Traslación
e) Precesión de equinoccios
14. Los colores de las estrellas están relacionados con la temperatura de su superficie visible y su masa. De acuerdo a esto, ¿de qué color son las estrellas de mayor temperatura?
- a) Rojas
b) Naranjas
c) Amarillas
d) Blancas
e) Azules

15. ¿Cuál es el nombre de la galaxia en donde se encuentra ubicada Tierra?

- a) Sistema Solar
- b) Orión
- c) Vía Láctea
- d) Andrómeda
- e) Heliocéntrica

16. Misión que en 1.969 llevó por primera vez al hombre a la Luna:

- a) Sputnik
- b) Apolo XI
- c) Columbia
- d) Viyager I
- e) Hubble

Respuestas

★ Mini Ensayo I, Movimiento, fuerza y energía

1. *b*) 2. *d*) 3. *b*) 4. *b*) 5. *e*) 6. *a*) 7. *c*) 8. *b*)
9. *d*) 10. *b*) 11. *b*) 12. *c*) 13. *b*) 14. *a*) 15. *e*)

★ Mini Ensayo II, Electromagnetismo

1. *a*) 2. *d*) 3. *d*) 4. *e*) 5. *e*) 6. *b*) 7. *b*) 8. *e*)
9. *d*) 10. *d*) 11. *b*) 12. *d*) 13. *c*) 14. *d*) 15. *d*)

★ Mini Ensayo III, Calor

1. *a*) 2. *e*) 3. *b*) 4. *d*) 5. *b*) 6. *d*) 7. *c*) 8. *b*)
9. *d*) 10. *a*) 11. *d*) 12. *b*) 13. *c*) 14. *c*) 15. *b*)

★ Mini Ensayo IV, Ondas

1. *b*) 2. *e*) 3. *b*) 4. *c*) 5. *a*) 6. *b*) 7. *a*) 8. *e*)
9. *b*) 10. *d*) 11. *d*) 12. *c*) 13. *a*) 14. *e*) 15. *e*)

★ Mini Ensayo V, El Sonido

1. *c*) 2. *d*) 3. *c*) 4. *e*) 5. *e*) 6. *e*) 7. *a*) 8. *e*)
9. *c*) 10. *b*) 11. *e*) 12. *d*) 13. *d*) 14. *a*) 15. *a*)

★ Mini Ensayo VI, La Luz

1. *c*) 2. *a*) 3. *d*) 4. *e*) 5. *c*) 6. *d*) 7. *d*) 8. *a*)
9. *d*) 10. *c*) 11. *b*) 12. *d*) 13. *a*) 14. *c*) 15. *e*)

★ Mini Ensayo VII, La Tierra y su entorno

1. *a*) 2. *c*) 3. *b*) 4. *e*) 5. *d*) 6. *a*) 7. *c*) 8. *b*)
9. *e*) 10. *b*) 11. *e*) 12. *c*) 13. *c*) 14. *e*) 15. *c*) 16. *b*)

Bibliografía

- [1] FÍSICA 1° EDUCACIÓN MEDIA, *Cuarta edición*, Santillana (2009)
Mario Toro Frederick, Rodrigo Marchant Ramirez, Mauricio Aguilar Baeza.
- [2] FÍSICA TOMOS I Y II, *Tercera edición*, Mc Graw-Hill. México (1992)
Raymond A. Serway.
- [3] CIENCIAS PLAN COMÚN, FÍSICA, Chile (2007)
Dirección académica CEPECH.
- [4] FÍSICA GENERAL, Tercera edición, Harla. México (1981)
Beatriz Alvarenga, Antônio Máximo.
- [5] FÍSICA CONCEPTUAL, *Novena edición*, Pearson Educación. México (2004)
Paul Hewitt.
- [6] ASTRONOMÍA CONTEMPORÁNEA, *Primera edición*, Ediciones B, Chile (2009)
José Maza.
- [7] MANUAL DE ENTRENAMIENTO ACTIVE LEARNING IN OPTICS AND PHOTONICS, (2006)
UNESCO.
- [8] INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA, *Séptima edición*, Editorial Kapelusz, Argentina (1958)
Alberto Maiztegui, Jorge Sabato.

Índice alfabético

- Índice de refracción, 150
- Absorción, 123, 135, 155
- Aceleración, 5, 21
 - media, 21
- Afelio, 191
- Aislante, 60, 70
- Altura, 130
- Amplitud, 112
- Análisis dimensional, 6
- Anomalía del agua, 92
- Antinodo, 111
- Arco iris, 167
- Armónicos, 121
- Astenosfera, 180
- Asteroide, 185
- Astigmatismo, 164
- Atenuación, 135
- Atmósfera, 178, 183

- C.G.S., 2
- Cable, 71
 - a tierra, 71
- Calor, 93
 - de fusión, 100
 - de vaporización, 100
 - específico, 95
 - latente, 100
- Cambio
 - de estado, 90
 - de fase, 99
- Campo magnético, 73
- Cantidad de movimiento, 40
- Capa de ozono, 184
- Capacidad calórica, 94
- Carga
 - eléctrica, 59
 - por contacto, 60
 - por fricción, 60
 - por inducción, 61

- Central
 - eólica, 80
 - fotovoltaica, 80
 - hidroeléctrica, 79
 - nuclear, 80
 - solar, 81
 - termoeléctrica, 80
- Choque
 - elástico, 42
 - inelástico, 42
 - plástico, 43
- Circuito eléctrico, 66
- Cometa, 201
- Conducción, 97
- Conductividad, 65
- Conductor, 60
- Conservación
 - de energía, 102
 - de la energía mecánica, 49
 - de momentum, 42
- Constelación, 200
- Contaminación, 184
- Convección, 98
- Corriente
 - alterna, 64
 - continua, 64
 - eléctrica, 63
- Corteza terrestre, 179
- Cresta, 111
- Cuerda vibrante, 119
- Cuerpo celeste, 185

- Descomposición de la luz, 166
- Desplazamiento, 20
- Diagrama de cuerpo libre, 33
- Diferencia de potencial, 62
- Difracción, 115, 134, 156
- Dilatación
 - lineal, 90
 - volumétrica, 90

- Dirección, 7
- Dispersión, 156
- Eclíptica, 194
- Eclipse, 197
- Eco, 133
- Ecuaciones de Maxwell, 77
- Efecto
 - Doppler, 135
 - invernadero, 184
- Electroimán, 77
- Enana blanca, 199
- Enchufe, 71
- Energía, 45
 - cinética, 47
 - eólica, 104
 - geotérmica, 104
 - potencial gravitacional, 48
 - solar, 104
- Enfermedades oculares, 164
- Epicentro, 181
- Equilibrio
 - térmico, 93
- Equinoccio, 195
- Escala
 - celsius, 88
 - de Mercalli, 181
 - de Richter, 181
 - fahrenheit, 89
 - kevin, 88
- Espectro electromagnético, 167
- Espejo
 - cóncavo, 147
 - convexo, 149
 - curvo, 146
 - esférico, 146
 - plano, 145
- Estrabismo, 164
- Estratosfera, 183
- Estrella, 199
- Exosfera, 184
- Fases de la Luna, 197
- Foco sísmico, 181
- Fotón, 144
- Frecuencia, 112
 - fundamental, 121
- Frecuencias
 - naturales, 120
- Fuerza, 5, 30
 - de fricción, 35
 - de gravedad, 34
 - de roce, 35
 - de roce cinético, 35
 - de roce estático, 35
 - elástica, 35
 - neta, 30
 - normal, 34
- Fusible, 71
- Galaxia, 200
 - elíptica, 200
 - espiral, 201
 - irregular, 201
- Geósfera, 178
- Generador, 66, 75
 - de energía eléctrica, 79
- Hidrosfera, 178, 184
- Hipermetropía, 164
- Imagen
 - Real, 146
 - real, 147
 - virtual, 145
- Impulso, 41
- Inercia, 32
- Infrarrojo, 168
- Infrasonido, 132
- Intensidad
 - de corriente, 63
 - de sonido, 129
- Interferencia, 115, 135, 158
 - constructiva, 115
 - destruktiva, 116
- Interruptor, 71
 - automático, 71
- Ionosfera, 183
- Júpiter, 189
- Láser, 169
- Lente
 - biconvexo, 160
 - convergente, 160
 - esférico, 160
- Ley
 - de Faraday, 74
 - de gravitación universal, 192

- de Kepler, 191
- de las áreas, 191
- de las órbitas, 191
- de los períodos, 192
- de Ohm, 65
- de reflexión, 114
- de refracción, 114
- Leyes de Newton, 31
- Litosfera, 180
- Lluvia ácida, 184
- Longitud, 3
- Longitud de onda, 112
- Luna, 196
- Lupa, 165
- Luz, 143

- M.K.S., 2
- Máquina térmica, 103
- Módulo, 7
- Magnetósfera, 178
- Magnetismo, 72
- Magnitud
 - derivada, 2
 - escalar, 2
 - física, 1
 - fundamental, 1
 - vectorial, 2
- Manto terrestre, 179
- Marea, 198
- Marte, 188
- Masa, 3, 32
- Medición
 - de corriente, 70
 - de voltaje, 70
- Mercurio, 187
- Mesosfera, 183
- Meteorito, 185
- Microondas, 168
- Microscopio, 166
- Miopía, 164
- Modelo cinético molecular
 - de los gases, 101
 - de los líquidos, 101
 - de los sólidos, 101
- Momentum lineal, 40
- Motor de corriente continua, 76
- Movimiento, 19
 - rectilíneo uniforme, 22
 - relativo, 29
 - uniformemente acelerado, 25
 - uniformemente retardado, 25
 - uniformemente variado, 25

- Núcleo terrestre, 179
- Nebulosa, 178
- Neptuno, 190
- Nodo, 110
- Normal, 34
- Nutación, 195

- Oído, 136
 - externo, 137
 - interno, 137
 - medio, 137
- Ojo, 163
- Onda, 109
 - electromagnética, 109
 - estacionaria, 110
 - longitudinal, 111
 - mecánica, 109
 - no periódica, 110
 - periódica, 110
 - transversal, 111
 - viajera, 111
- Ondas
 - en desfase, 116
 - en fase, 115
- Ondas de radio, 167

- Pendiente, 17
- Período, 112
 - de revolución, 192
- Perihelio, 191
- Peso, 34
- Placa tectónica, 180
- Planeta, 187
- Potencia
 - eléctrica, 77
- Potencia mecánica, 47
- Precesión, 194
- Presbicia, 164
- Principio
 - de acción y reacción, 32
 - de inercia, 31
 - de masa, 32
- Principio de Fermat, 144
- Producto

- cruz, 14
- escalar, 13
- punto, 13
- vectorial, 14
- Proporción
 - directa, 16
 - inversa, 16
- Radar, 170
- Radiación, 98
- Radiotelescopio, 202
- Rapidez, 4, 20
 - media, 20
- Rayos
 - gamma, 169
 - ultravioleta, 168
 - UV, 168
 - X, 169
- Recursos
 - no renovables, 104
 - renovables, 104
- Reflexión, 113, 133, 145
 - difusa, 145
 - especular, 145
 - interna total, 154
- Refracción, 114, 134, 150
- Regla de la mano derecha, 14
 - para el magnetismo, 74
- Regla del paralelogramo, 9
- Rendimiento, 103
- Resistencia
 - equivalente, 67
- Resistencia, 64
 - en paralelo, 67
 - en serie, 67
- Resistividad, 65
- Resonancia, 121, 136
- Reverberación, 134
- Rotación, 187, 194
- Satélite, 202
- Saturno, 189
- Semiconductor, 60
- Sentido, 7
- Sismo, 181
- Sistema
 - Cegesimal, 2
 - de medidas, 1
 - de unidades, 2
- geocéntrico, 185
- heliocéntrico, 186
- internacional, 2
- solar, 185
- Sol, 186
- Solsticio, 196
- Sonda espacial, 202
- Sonido, 129
- Supernova, 199
- Telescopio, 201
 - astronómico, 165
 - galileano, 165
- Temperatura, 87
- Tensión, 34
- Teoría
 - corpúscular, 143
 - ondulatoria, 143
- Termómetro, 87
 - médico, 88
- Termosfera, 183
- Tiempo, 4
- Tierra, 177, 188
- Timbre, 130
- Tono, 130
- Torque, 39
- Trabajo
 - mecánico, 45, 102
- Transformador, 75
- Traslación, 187, 194
- Trayectoria, 19
- Troposfera, 183
- Ultrasonido, 132
- Universo, 198
- Urano, 190
- Vía Láctea, 201
- Valle, 111
- Variables
 - termométricas, 90
- Vector, 6, adición
 - componentes, 11
 - igualdad, 7
 - opuesto, 7
 - ponderación, 8
 - resultante, 8
- Velocidad, 20
 - del sonido, 131

ÍNDICE ALFABÉTICO

instantánea, 21
media, 20
Velocidad de una onda, 112
Venus, 188
Volcán, 182
Voltaje, 62