El αΩ de la Física

Luis Álvarez Garay

Guía de estudio de los contenidos de Física para Educación Diversificada

El $\alpha\Omega$ de la

Física

Luis Álvarez Garay

Guía de estudio de los contenidos de Física para Educación Diversificada

530.071.2
A445a Álvarez Garay, Luis.
El αΩ de la física : guía de estudio de los contenidos de física para educación diversificada / Luis Álvarez Garay. -- San José, Costa Rica : Vicerrectoría de Acción Social, Universidad de Costa Rica, 2023.
1 recurso en línea (112 páginas) : ilustraciones (algunas a color), archivo de texto, PDF, 6.7 MB.

ISBN 978-9930-568-66-8

1. FÍSICA – ENSEÑANZA SECUNDARIA. 2. FÍSICA -- PROBLEMAS, EJERCICIOS, ETC. I. Título. II. Título: El [alfa omega] de la física.

CIP/3921
CC.SIBDI.UCR

Autor

Luis Álvarez Garay

Asesoría Académica

María Marta Camacho Álvarez UCR

Diego Armando Retana Alvarado UCR

Diseño gráfico y diseño de portada

Hazel Aguilar Barquero

Roberto Ramírez Quirós

Ilustraciones

Yohaneth Juárez Villalobos

Revisión filológica

Laura Picado Mora

Editor

Vicerrectoría de Acción Social, Universidad de Costa Rica

San José, Costa Rica. 2023

Agradecimiento

Primero, agradezco Dios que habita en los cielos y en cada partícula que compone la materia existente en el universo, por darme salud, familia, vida, inteligencia, sabiduría, paciencia, paz, fuerza, seguridad, persistencia, trabajo, disciplina, amor, fe y por guiarme en una visión firme hacia la meta.

Segundo, agradezco incansablemente a toda mi familia por ser un apoyo en cada uno de mis planes y por recordarme lo hermosa que es la vida y que permitieron alivianar las cargas del trabajo, hogar y estudio durante muchos años.

Tercero, a la profesora María Marta Camacho Álvarez por guiarme en el desarrollo de este proyecto que espero sea de gran ayuda a las personas que estudian individualmente y desean superarse para obtener mejores oportunidades en la vida.

Finalmente, a todos los que hicieron posible que este proyecto se llevara a cabo.

Dedicatoria

A las personas que más amo, admiro y respeto en la vida,
mi padre Ignacio y mi madre Luz Marina
que son los dos pilares que me sostienen permitiéndome ver más lejos
el universo de posibilidades que ofrece la vida.

Asimismo, a todas las personas que desean aprender, desaprender y volver aprender,
las que no pierden esa admiración por la ciencia.

Índice

1. Introducción

A continuación se ofrece una guía de estudio con los principales contenidos de Física basado en el Programa de Estudio vigente para Educación Diversificada del Ministerio de Educación Pública. Esta guía contempla conceptos, resumen de contenidos, esquemas, gráficas y ejemplos de problemas resueltos paso a paso. Además de las definiciones importantes se proporciona los principales despejes de fórmulas guiadas para una mejor comprensión de cada tema específico.

Aunque el programa de estudio no ofrece títulos para cada tema, en esta ocasión se asigna un título para una mejor identificación de los contenidos que involucra. Los primeros nueve temas corresponden al nivel de décimo año: física teórica y experimental, magnitudes escalares y vectoriales, movimiento relativo unidimensional, movimiento rectilíneo de los cuerpos, gráficas, leyes de la mecánica de Newton, ley de gravitación universal, órbita de los cuerpos en sistema planetario y energía.

Los últimos nueve temas corresponden al nivel de undécimo año: hidrostática, ley de Boyle, ley de Coulomb, campo eléctrico, corriente eléctrica, campo magnético, ondas, efecto invernadero y teoría de la relatividad especial. Al finalizar el desarrollo de los temas, se ofrece una lista de fórmulas básicas y constantes necesarias agrupadas en grandes subtemas para resolver los problemas que surjan de la teoría. No se deben memorizar las fórmulas ni constantes, pero la persona estudiante debe identificar cada una de las fórmulas según el problema que esté resolviendo y con el estudio apropiado las asimilará.

Naturalmente, cada uno de los dieciocho temas puede ser ampliado para profundizar el contenido, por lo que se insta al estudiante a investigar cada tema para prepararse mejor y desarrollar las habilidades básicas que le ayudarán a resolver una gran variedad de ejercicios de Física en cada prueba. A la hora de estudiar para realizar una prueba de Física se recomienda a los estudiantes lo siguiente: primero, leer la información que contiene definiciones, aclaraciones, diagramas, figuras, gráficas, fórmulas y sus despejes; segundo, identifique cada variable o constante de las fórmulas; tercero, estudie cada ejemplo desarrollado donde se resuelve un problema básico del tema específico; cuarto, proceda a plantearse nuevos problemas similares a los proporcionados siguiendo los pasos descritos y haciendo uso de lo calculado según sea el caso, luego podrá crear nuevos problemas más complejos y al investigar los resolverá en caso de que no cuente con un tutor.

El propósito de los ejemplos que resuelven problemas paso a paso es que se familiarice con el lenguaje de esta disciplina y así desarrollar confianza al resolver los problemas planteados. Recuerde que tiene la opción de consultar a otros compañeros de estudio, libros de física universitaria, video tutoriales, simulaciones de experimentos y el internet para obtener la solución de problemas complejos. La disciplina, repasar los conceptos matemáticos necesarios y el estudio constante son la clave para obtener resultados favorables en esta asignatura.

Finalmente, este documento esta dirigido a la población estudiantil que estudia de forma individual y presenta exámenes de décimo y undécimo para obtener el bachillerato, por lo tanto, le deseo éxito en este nuevo proyecto que está por iniciar y que la presente guía le sea de utilidad para el estudio individual.

2. Física teórica y experimental

La Física es una ciencia básica fundamental que tiene un gran recorrido desde la filosofía natural a la actual física moderna, ha pasado por varios periodos: antígua, clásica y contemporánea. En el siglo XX tuvo un gran auge, desarrollando nuevas teorías físicas y corroboradas experimentalmente en la mayoría de los casos, aquí no se entrará en detalles, pero se invita al lector a investigar el tema de su elección.

2.1 Física teórica

La Física teórica estudia los fenómenos naturales mediante el uso de modelos y simulaciones matemáticas, esto para comprender, explicar y predecir dichos fenómenos. Entre los principales físicos teóricos se encuentran:

- Isaac Newton, según Asimov y la mayoría de los historiadores de la ciencia, Newton es el más grande talento científico que ha vivido, puesto que fundó las matemáticas superiores con el desarrollo del cálculo, la óptica moderna al descomponer la luz blanca en los colores del especto visible, la física moderna al establecer las bases de la mecánica celeste mediante las tres leyes del movimiento de los cuerpos y finalmente con la astronomía moderna al enunciar la Ley de Gravitación Universal.
- James Maxwell, formuló la teoría electromagnética en la que unifica la electricidad y el magnetismo.
- Max Planck, es el fundador de la teoría cuántica que revolucionó la física del siglo XX, recibió el Premio Nobel de Física en 1918.
- Albert Einstein, formuló la teoría de la relatividad especial y la teoría de la relatividad general, es el físico más famoso del siglo XX, recibió el Premio Nobel de Física en 1921 por el efecto fotoeléctrico.
- Werner Heisenberg, formuló el principio de incertidumbre y es el creador de la mecánica cuántica por el que recibió el Premio Nobel de Física en 1932.
- Richard Feymann, contribuyó al desarrollo de la electrodinámica cuántica recibiendo el Premio Nobel de Física en 1965.

2.2 Física experimental

Utiliza experimentos controlados en laboratorio para la obtención, análisis e interpretación de datos que permiten comprender el fenómeno físico en estudio. Entre los principales físicos experimentales se encuentran:

- Michael Faraday, se dedicó al estudio de la electricidad y magnetismo, descubrió la inducción electromagnética.

- Marie Curie, por el descubrimiento de la radiactividad recibió el Premio Nobel de Física en 1903. Además, descubrió los elementos químicos polonio y radio. Se convierte en la primera persona en recibir dos premios Nobel, ya que recibió el Premio Nobel de Química en 1911 por el aislamiento del radio metálico puro.
- Joseph Thomson, es el descubridor del electrón. Por sus investigaciones sobre el paso de la electricidad a través de los gases recibió el Premio Nobel de Física en 1906.
- Albert Michelson, por sus experimentos sobre la velocidad de la luz, la creación de instrumentos ópticos de precisión y las investigaciones espectroscópicas recibió el Premio Nobel de Física en 1907.
- Robert Millikan, midió la carga del electrón mediante el experimento de la gota de aceite con el que recibió el Premio Nobel de Física en 1923.
- Ernest Rutherford, es considerado el padre de la física nuclear dado que propuso un modelo atómico con un núcleo atómico positivo. Fue un gran físico experimental, sin embargo, en 1908 se le concede el Premio Nobel de Química por sus investigaciones sobre la desintegración de los elementos.

3. Magnitudes escalares y vectoriales

3.1 Escalar

Se entiende por escalar a las magnitudes físicas que tienen un número y una unidad. Por ejemplo: distancia
(d = 10 m), masa (m = 75 kg), rapidez (v = 20 m/s), volumen (V = 5 m^3), tiempo
(t = 60 s), área (A = 2 m^2), trabajo (W = 100 J), densidad ($\rho = 1030\ kg/m^3$).

Las magnitudes como masa, volumen y densidad son importantes en hidrostática, y recuerde que no llevan una flecha arriba de la letra.

Dado que la distancia es un escalar, para calcular la distancia total recorrida se debe sumar siempre las distancias.

Ejemplo: Si A = 4 m y B = 4 m, entonces, la distancia total recorrida es d = 9 m.

3.2 Vector

Se entiende por vector a las magnitudes físicas que incluyen una magnitud (número y unidad) y una dirección en el espacio.

Por ejemplo: desplazamiento ($\vec{d} = 4\ m$, norte), velocidad ($\vec{v} = 25\ m/s$, sur), aceleración ($\vec{a} = 1,5\ m/s^2$ hacia el este), fuerza ($\vec{F} = 100$ N, E 45° S).

Importante: como se observa en estos ejemplos los vectores se representan siempre con una pequeña flecha arriba de la letra. Además, la dirección suele darse usando los puntos cardinales (este, norte, oeste, sur) dibujados en el plano cartesiano, sin embargo, se puede usar ángulos específicos como E 30° N, esto quiere decir del este 30° hacia el norte; otra forma es 60° con respecto a la horizontal (eje x positivo).

Los vectores pueden ser paralelos y se pueden representar así, por ejemplo $\vec{A} = 1\ m$ hacia el este y $\vec{B} = 1\ m$ hacia el este).

Los vectores opuestos se pueden representan de la siguiente forma, por ejemplo $\vec{A} = 1\ m$ hacia el este y $\vec{B} = 1\ m$ hacia el oeste.

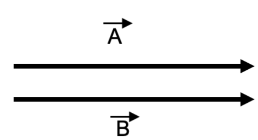

Figura 1: Vectores paralelos.

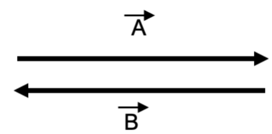

Figura 2: Vectores opuestos.

Los vectores consecutivos se pueden representar de la siguiente forma, por ejemplo $\vec{A} = 1$ m hacia el este, $\vec{B} = 1$ m E 45° S y $\vec{A} = 1$ m E 45° N.

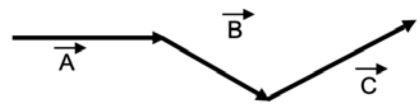

Figura 3: Vectores consecutivos.

3.3 Cálculo de vector resultante

El vector resultante se calcula siempre trazando un vector $\vec{R}$ desde el punto de partida del primer vector hasta el punto de llegada del siguiente vector, como se puede observar en la siguiente figura 4. Para este caso en particular el vector resultante corresponde al desplazamiento

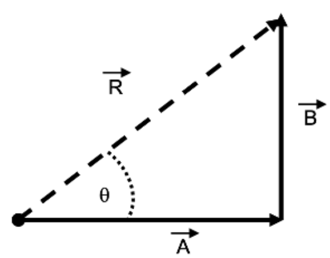

Figura 4: Vector resultante R.

$\vec{R} = \vec{d}$, para el cual debemos calcular la magnitud y la dirección. En el caso donde $\vec{A} = 5$ m y $\vec{B} = 4$ m. La magnitud del vector (distancia) se calcula de la siguiente manera:
$\left|\vec{d}\right| = d = \sqrt{(5m)^2 + (4m)^2} = \sqrt{(25m^2) + (16m^2)} = \sqrt{41m^2} = 6,40\ m$

La dirección se calcula con $tan\theta = \left(\frac{B}{A}\right) \Rightarrow tan\theta = \left(\frac{4}{5}\right) \Rightarrow \theta = tan^{-1}\left(\frac{4}{5}\right) = 38,66 \approx 39° \Rightarrow \theta = 39°$. El ángulo θ se forma es desde el este 39° hacia el norte.

Por lo tanto, el vector resultante es: $\vec{R} = 6{,}40\ m$, E 39° N.

4. Movimiento relativo unidimensional

En este caso solo se analizará el movimiento relativo de los cuerpos en una dimensión. Para ello es necesario saber que un marco de referencia es aquel que tiene un sistema de coordenadas y una escala de tiempo.

4.1 Definición

Es la velocidad que se mide respecto a un observador determinado, es decir, otro observador puede medir una velocidad diferente. Por lo tanto, la velocidad siempre va a depender del observador que hace la medición.

4.2 Fórmula y despeje

Considere dos observadores A y B que se mueven entre sí y un tercer objeto P en movimiento. Por lo tanto, la velocidad relativa de P respecto de A es igual a la velocidad relativa de P respecto de B más la velocidad relativa de B respecto de A, que se expresa en la siguiente fórmula:

$$\mathrm{V_{P/A} = V_{P/B} + V_{B/A}} \tag{1}$$

Donde:

$\mathrm{V_{P/A}}$ = velocidad relativa de P respecto de A.

$\mathrm{V_{P/B}}$ = velocidad relativa de P respecto de B.

$\mathrm{V_{B/A}}$ = velocidad relativa de B respecto de A.

Ahora, si se desea calcular la velocidad relativa de P respecto de B, se despeja así:

$\mathrm{V_{P/A} = V_{P/B} + V_{B/A} \Rightarrow V_{P/B} = V_{P/A} - V_{B/A}}$

Pero si se desea calcular la velocidad relativa de B respecto de A, se despeja así:

$\mathrm{V_{P/A} = V_{P/B} + V_{B/A} \Rightarrow V_{B/A} = V_{P/A} - V_{P/B}}$

4.3 Ejemplo

Un automóvil viaja a 90 km/h hacia el este por una carretera rectilínea mientras que en dirección contraria (en otro carril) viaja una motocicleta a 70 km/h hacia el oeste.

a) ¿Cuál es la velocidad relativa de la moto respecto del automóvil?

b) ¿Cuál es la velocidad relativa del automóvil respecto de la carretera?

c) ¿Cuál es la velocidad relativa de la moto respecto de la carretera?

d) ¿Cuál es la velocidad relativa del automóvil respecto de la moto?

Solución:

Sea P = moto , A = es el sistema de coordenadas de un observador en carretera y con respecto de este se han medido las velocidades de la moto y el automóvil, B = automóvil.

a) $V_{P/B} = V_{P/A} - V_{B/A}$ = -70 km/h - 90 km/h = -160 km/h

Este resultado quiere decir que la moto se mueve respecto del automóvil con una velocidad de 160 km/h hacia el oeste.

b) $V_{B/A} = V_{P/A} - V_{P/B}$ = -70 km/h - (-160km/h) = +90 km/h

Este resultado quiere decir que el automóvil se mueve respecto de la carretera con una velocidad de 90 km/h hacia el este.

c) $V_{P/A} = V_{P/B} + V_{B/A}$ = -160 km/h + 90 km/h = - 70 km/h

Este resultado quiere decir que la moto se mueve respecto de la carretera con una velocidad de 70 km/h hacia el oeste.

d) $V_{B/P} = V_{A/P} - V_{A/B}$ = 70 km/h - (-90 km/h) = +160 km/h

Este resultado quiere decir que el automóvil se mueve respecto de la moto con una velocidad de 160 km/h hacia el este.

5. Movimiento rectilíneo de los cuerpos

En este apartado veremos la cinemática que es la parte de la mecánica que describe el movimiento, y el tipo de movimiento más sencillo es el movimiento rectilíneo (el movimiento que describe un cuerpo que viaja en línea recta).

5.1 Movimiento rectilíneo uniforme horizontal (MRU)

El movimiento rectilíneo uniforme horizontal del cuerpo es el que se describe en el eje x sin aceleración, es decir, que la variación de su velocidad es cero.

5.2 Fórmulas y despeje para MRU

Ahora veremos las principales fórmulas y sus despejes para la comprensión de este tema. La rapidez es la distancia recorrida por el cuerpo entre el tiempo empleado. Pero podemos despejar esta ecuación de rapidez para calcular la distancia recorrida y el tiempo, a continuación se muestra las siguientes fórmulas despejadas. La fórmula para calcular la rapidez es:

$$\mathrm{v} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{t}} \tag{2}$$

- Distancia: $\mathrm{d} = \mathrm{v} * \mathrm{t}$
- Tiempo: $\mathrm{t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{v}}$

  La rapidez media es la distancia total recorrida entre el tiempo empleado. Aplican los mismos despejes anteriores para la rapidez.

- Rapidez media: $\mathrm{v_m} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{t}}$

  La velocidad es el desplazamiento recorrido por el cuerpo entre el tiempo empleado.

$$\vec{\mathrm{v}} = \frac{\vec{\mathrm{d}}}{\mathrm{t}} \tag{3}$$

- Desplazamiento: $\vec{\mathrm{d}} = \vec{\mathrm{v}} * \mathrm{t}$
- Tiempo: $\mathrm{t} = \frac{\vec{\mathrm{d}}}{\vec{\mathrm{v}}}$

  La velocidad media es el desplazamiento resultante entre el tiempo empleado. Aplican los mismos despejes anteriores para la velocidad.

- Velocidad media: $\vec{\mathrm{v}}_\mathrm{m} = \frac{\vec{\mathrm{d}}}{\mathrm{t}}$

5.3 Ejemplos

1) Un atleta olímpico recorre los 100 m hacia el este en un tiempo igual a 9,8 s.

a) ¿Cuál es la rapidez del atleta?

Respuesta: $\mathrm{v} = \frac{100\mathrm{m}}{9{,}8\mathrm{s}} = 10{,}20\ m/s$

b) ¿Cuál es la velocidad del atleta?

Respuesta: $\vec{\mathrm{v}} = \frac{100m{,}este}{9{,}8\mathrm{s}} = 10{,}20\ m/s$ hacia el este.

2) Durante un entrenamiento de fútbol Carlos recorre 70 m hacia el este y luego recorre otros 50 m hacia el oeste, y se detiene, todo el recorrido lo hizo en un tiempo igual a 60 s.

a) ¿Cuál es la rapidez media de Carlos?

Respuesta: $\mathrm{v_m} = \frac{70\mathrm{m}+50\mathrm{m}}{60\mathrm{s}} = 2{,}0\ m/s.$

b) ¿Cuál es la velocidad media de Carlos?

Respuesta: $\vec{\mathrm{v}}_\mathrm{m} = \frac{70\mathrm{m}-50\mathrm{m}}{60\mathrm{s}} = 0{,}33\ m/s$ hacia el este.

5.4 Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado horizontal (MRUA)

El movimiento rectilíneo uniformemente acelerado horizontal de un cuerpo es el que se describe en el eje x con aceleración, es decir, hay una variación de su velocidad. Ahora en presencia de una aceleración el cálculo de la distancia recorrida por el cuerpo, la velocidad inicial, la velocidad final y el tiempo se calcula con otras fórmulas que a continuación se despejan.

5.5 Fórmulas y despeje para MRUA

La magnitud de la aceleración es el cambio en la velocidad (velocidad final menos la velocidad inicial) entre el tiempo transcurrido. Para simplificar los datos usaremos la magnitud de la aceleración y de la velocidad dado que es un movimiento rectilíneo y lo único que varía de la velocidad es su magnitud. La fórmula para calcular la magnitud de la aceleración es:

$$\mathrm{a} = \frac{\mathrm{v} - \mathrm{v_0}}{\mathrm{t}} \tag{4}$$

- Tiempo: $\mathrm{t} = \frac{\mathrm{v}-\mathrm{v_0}}{\mathrm{a}}$

- Velocidad inicial: $\mathrm{v_0} = \mathrm{v} - \mathrm{a} * \mathrm{t}$

- Velocidad final: $\mathrm{v} = \mathrm{a} * \mathrm{t} + \mathrm{v_0}$

Ahora vamos a despejar la ecuación de la distancia que está en función de la velocidad inicial, el tiempo y la aceleración.

$$\mathrm{d} = \mathrm{v_0 t} + \frac{\mathrm{at^2}}{2} \tag{5}$$

- Partiendo de la fórmula 5 obtenemos la velocidad inicial:

  $\mathrm{d} = \mathrm{v_0 t} + \frac{\mathrm{at^2}}{2} \Rightarrow \mathrm{d} - \frac{\mathrm{at^2}}{2} = \mathrm{v_0}t \Rightarrow \frac{\mathrm{2d-at^2}}{2} = \mathrm{v_0}t \Rightarrow \mathrm{v_0} = \frac{\mathrm{2d-at^2}}{2t}$

- Partiendo de la fórmula 5 obtenemos la aceleración:

  $\mathrm{d} = \mathrm{v_0 t} + \frac{\mathrm{at^2}}{2} \Rightarrow \mathrm{d} - \mathrm{v_0 t} = \frac{\mathrm{at^2}}{2} \Rightarrow 2\left(\mathrm{d} - \mathrm{v_0 t}\right) = \mathrm{at^2} \Rightarrow \mathrm{a} = \frac{2(\mathrm{d-v_0 t})}{\mathrm{t^2}}$

- Partiendo de la fórmula 5 obtenemos el tiempo, pero como es una ecuación cuadrática, entonces elegimos solo el valor positivo:

  $\mathrm{d} = \mathrm{v_0 t} + \frac{\mathrm{at^2}}{2} \Rightarrow \frac{\mathrm{at^2}}{2} + \mathrm{v_0 t} - \mathrm{d} = 0 \Rightarrow \mathrm{t} = \frac{-\mathrm{v_0}+\sqrt{\mathrm{v_0^2+2ad}}}{\mathrm{a}}$

  Luego para la otra ecuación de la distancia en función de la velocidad inicial, velocidad final y el tiempo, tenemos los siguientes despejes.

$$\mathrm{d} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} \tag{6}$$

- Partiendo de la fórmula 6 obtenemos la velocidad inicial:

  $\mathrm{d} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} \Rightarrow \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{t}} = \frac{\mathrm{v_0+v}}{2} \Rightarrow \mathrm{v_0} = \frac{\mathrm{2ad}}{\mathrm{t}} - \mathrm{v}$

- Partiendo de la fórmula 6 obtenemos la velocidad final:

  $\mathrm{d} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} \Rightarrow \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{t}} = \frac{\mathrm{v_0+v}}{2} \Rightarrow \frac{\mathrm{2d}}{\mathrm{t}} = \mathrm{v_0+v} \Rightarrow \mathrm{v} = \frac{\mathrm{2d}}{\mathrm{t}} - \mathrm{v_0}$

- Partiendo de la fórmula 6 obtenemos el tiempo:

  $\mathrm{d} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} \Rightarrow \mathrm{t} = \frac{\mathrm{2d}}{\mathrm{v_0+v}}$

  Finalmente procedemos a despejar la última ecuación de distancia en función de la velocidad inicial, velocidad final y la aceleración.

$$\mathrm{d} = \frac{\mathrm{v^2 - v_0^2}}{\mathrm{2a}} \tag{7}$$

- Partiendo de la fórmula 7 obtenemos la aceleración:

  $d = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{v^2 - v_0^2}{2d}$

- Partiendo de la fórmula 7 obtenemos la velocidad inicial:

  $d = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \Rightarrow 2ad = v^2 - v_0^2 \Rightarrow v_0^2 = v^2 - 2ad \Rightarrow v_0 = \sqrt{v^2 - 2ad}$

- Partiendo de la fórmula 7 obtenemos la velocidad final:

  $d = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \Rightarrow 2ad = v^2 - v_0^2 \Rightarrow v^2 = v_0^2 + 2ad \Rightarrow v = \sqrt{v_0^2 + 2ad}$

5.6 Ejemplo

Un autobús escolar viaja a 17 m/s por una carretera rectilínea y a lo lejos el conductor observa un semáforo que se pone en rojo, por lo que el conductor aplica los frenos que le imprimen una aceleración de -5 m/s^2 y el autobús se detiene.

a) ¿Cuánto tiempo tarda en detenerse el autobús?

Respuesta: Primero debe identificar los datos en el problema. La velocidad inicial es (v_0= 17 m/s), la velocidad final es (v = 0 m/s), y la aceleración es (a= -5 m/s^2).
Luego usando la ecuación de la aceleración ($a = \frac{v - v_0}{t}$), la despejamos para hallar el tiempo ($t = \frac{v - v_0}{a}$). Luego se sustituye los datos dados en el problema: $t = \frac{0m/s - 17m/s}{-5m/s^2} = 3{,}4\ s$.

b) ¿Cuál es la distancia que recorrió el autobús hasta detenerse?

Respuesta: Considerando el tiempo calculado anteriormente y los datos en el problema, se puede calcular la distancia usando las tres fórmulas dadas.

$$d = v_0 t + \frac{at^2}{2} = (17m/s)(3,4s) + \frac{\left(-5m/s^2\right)(3,4s)^2}{2} = 57,8m - 28,9m = 28,9m$$

Una segunda forma de calcular la distancia es: $d = \left(\frac{v_0 + v}{2}\right) t = \left(\frac{17m/s + 0m/s}{2}\right)(3,4s) = 28,9m$

Una tercera forma de calcular la distancia es: $d = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(0m/s)^2 - (17m/s)^2}{2(-5m/s^2)} = 28,9m$

5.7 Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado vertical: Caída libre (MRUA)

El movimiento rectilíneo uniformemente acelerado vertical del cuerpo es el que se describe en el eje y con aceleración constante ($g = 9,8\ m/s^2$), es decir, los objetos en caída libre, donde vamos a considerar que la resistencia del aire es despreciable. En esta parte, son válidas las ecuaciones anteriores, solo que vamos a cambiar la distancia (d) por la altura (h), y la aceleración (a) por la aceleración de la gravedad (g). Tenga en cuenta que si el movimiento del cuerpo es de forma vertical hacia arriba la aceleración de la gravedad es negativa (-9,8 m/s^2), pero si el movimiento del cuerpo es vertical hacia abajo la aceleración de la gravedad es positiva (9,8 m/s^2), ver figura 5.

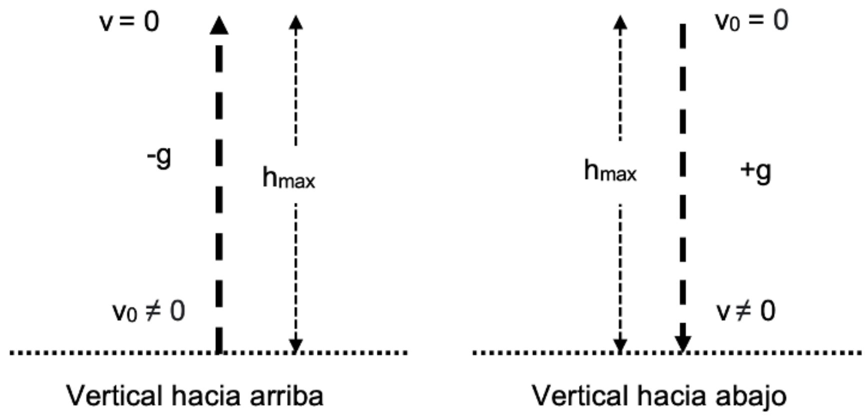

Figura 5: Caída libre de un cuerpo.

5.8 Fórmulas y despeje para caída libre

La magnitud de la aceleración de la gravedad es el cambio en la velocidad (velocidad final menos la velocidad inicial) entre el tiempo transcurrido. Para simplificar los datos usaremos la magnitud de la aceleración de la gravedad y de la velocidad dado que es un movimiento rectilíneo y lo único que varía de la velocidad es su magnitud. La fórmula para calcular la magnitud de la aceleración de la gravedad es:

$$\mathrm{g} = \frac{\mathrm{v} - \mathrm{v}_0}{\mathrm{t}} \tag{8}$$

- Tiempo: $\mathrm{t} = \frac{\mathrm{v}-\mathrm{v}_0}{\mathrm{g}}$
- Velocidad inicial: $\mathrm{v}_0 = \mathrm{v} - \mathrm{g} * \mathrm{t}$
- Velocidad final: $\mathrm{v} = \mathrm{g} * \mathrm{t} + \mathrm{v}_0$

Ahora, vamos a despejar la ecuación de la altura que está en función de la velocidad inicial, el tiempo y la aceleración de la gravedad.

$$\mathrm{h} = \mathrm{v_0 t} + \frac{\mathrm{gt^2}}{2} \tag{9}$$

- Partiendo de la fórmula 9 obtenemos la velocidad inicial:

  $\mathrm{h} = \mathrm{v_0t} + \frac{\mathrm{gt^2}}{2} \Rightarrow \mathrm{h} - \frac{\mathrm{gt^2}}{2} = \mathrm{v_0}t \Rightarrow \frac{\mathrm{2h-gt^2}}{2} = \mathrm{v_0}t \Rightarrow \mathrm{v_0} = \frac{\mathrm{2h-gt^2}}{2t}$

- Partiendo de la fórmula 9 obtenemos la aceleración de la gravedad:

  $\mathrm{h} = \mathrm{v_0t} + \frac{\mathrm{gt^2}}{2} \Rightarrow \mathrm{h} - \mathrm{v_0t} = \frac{\mathrm{gt^2}}{2} \Rightarrow 2\left(\mathrm{h} - \mathrm{v_0t}\right) = \mathrm{gt^2} \Rightarrow \mathrm{g} = \frac{2(\mathrm{h-v_0t})}{\mathrm{t^2}}$

- Partiendo de la fórmula 9 obtenemos el tiempo, pero como es una ecuación cuadrática, entonces elegimos solo el valor positivo:

  $\mathrm{h} = \mathrm{v_0t} + \frac{\mathrm{gt^2}}{2} \Rightarrow \frac{\mathrm{gt^2}}{2} + \mathrm{v_0t} - \mathrm{h} = 0 \Rightarrow \mathrm{t} = \frac{-\mathrm{v_0}+\sqrt{\mathrm{v_0^2+2gh}}}{\mathrm{g}}$

Luego, para la otra ecuación de la altura en función de la velocidad inicial, velocidad final y el tiempo, tenemos los siguientes despejes.

$$\mathrm{h} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} \tag{10}$$

- Partiendo de la fórmula 10 obtenemos la velocidad inicial:

  $\mathrm{h} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} \Rightarrow \frac{\mathrm{h}}{\mathrm{t}} = \frac{\mathrm{v_0+v}}{2} \Rightarrow \mathrm{v_0} = \frac{\mathrm{2h}}{\mathrm{t}} - \mathrm{v}$

- Partiendo de la fórmula 10 obtenemos la velocidad final:

  $\mathrm{h} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} \Rightarrow \frac{\mathrm{h}}{\mathrm{t}} = \frac{\mathrm{v_0+v}}{2} \Rightarrow \frac{\mathrm{2h}}{\mathrm{t}} = \mathrm{v_0} + \mathrm{v} \Rightarrow \mathrm{v} = \frac{\mathrm{2h}}{\mathrm{t}} - \mathrm{v_0}$

- Partiendo de la fórmula 10 obtenemos el tiempo:

  $\mathrm{h} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} \Rightarrow \mathrm{t} = \frac{\mathrm{2h}}{\mathrm{v_0+v}}$

Finalmente, procedemos a despejar la última ecuación de distancia en función de la velocidad inicial, velocidad final y la aceleración de la gravedad.

$$\mathrm{h} = \frac{\mathrm{v}^2 - \mathrm{v}_0^2}{2\mathrm{g}} \tag{11}$$

- Partiendo de la fórmula 11 obtenemos la magnitud de la aceleración de la gravedad:

  $\mathrm{h} = \frac{\mathrm{v}^2-\mathrm{v}_0^2}{2\mathrm{g}} \Rightarrow \mathrm{g} = \frac{\mathrm{v}^2-\mathrm{v}_0^2}{2\mathrm{h}}$

- Partiendo de la fórmula 11 obtenemos la velocidad inicial:

  $\mathrm{h} = \frac{\mathrm{v}^2-\mathrm{v}_0^2}{2\mathrm{g}} \Rightarrow 2\mathrm{gh} = \mathrm{v}^2 - \mathrm{v}_0^2 \Rightarrow \mathrm{v}_0^2 = \mathrm{v}^2 - 2\mathrm{gh} \Rightarrow \mathrm{v}_0 = \sqrt{\mathrm{v}^2 - 2\mathrm{gh}}$

- Partiendo de la fórmula 11 obtenemos la velocidad final:

  $\mathrm{h} = \frac{\mathrm{v}^2-\mathrm{v}_0^2}{2\mathrm{g}} \Rightarrow 2\mathrm{gh} = \mathrm{v}^2 - \mathrm{v}_0^2 \Rightarrow \mathrm{v}^2 = \mathrm{v}_0^2 + 2\mathrm{gh} \Rightarrow \mathrm{v} = \sqrt{\mathrm{v}_0^2 + 2\mathrm{gh}}$

5.9 Ejemplo

Desde el nivel de suelo se lanza un balín verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de 35 m/s.

Datos: Los datos que se pueden extraer del problema son: Velocidad inicial v_0= $35m/s$, velocidad final v= 0 m/s (esto es en el punto más alto), la gravedad g = -9,8 m/s^2 (cuando el balín va hacia arriba).

a) ¿Cuál es el tiempo de subida del balín?

Respuesta: Usando la ecuación de la aceleración gravitacional ($\mathrm{g} = \frac{\mathrm{v}-\mathrm{v}_0}{\mathrm{t}}$), la despejamos para calcular el tiempo de subida del balín $\mathrm{t} = \frac{\mathrm{v}-\mathrm{v}_0}{\mathrm{g}} = \frac{(0m/s)-(35m/s)}{-9{,}8m/s^2} = 3,57s$

b) ¿Cuál es el tiempo de vuelo del balín?

Respuesta: El tiempo de vuelo es el tiempo que tarda en subir y bajar el balín, es decir, es dos veces el tiempo que tarda en subir el balín, por lo tanto, $t_{vuelo} = t_v = 2t_{subida} = 2t_s \Rightarrow t_v = 2\,(3,57s) = 7,14s$

c) ¿Cuál es la altura máxima que alcanza el balín?

Respuesta: Aquí podemos usar cualquiera de las tres fórmulas para calcular la altura, por lo tanto, si elegimos la caída del balín dado que tarda lo mismo en subir que en bajar, entonces la altura es:

$\mathrm{h} = \mathrm{v}_0\mathrm{t} + \frac{\mathrm{gt}^2}{2} = (0m/s)\,(3,57s) + \frac{\left(9{,}8m/s^2\right)(3{,}57s)^2}{2} = 0m + 62,45m = 62,45m$

Pero si elegimos la segunda fórmula donde no hay aceleración de la gravedad, entonces la altura es:

$\mathrm{h} = \left(\frac{\mathrm{v_0+v}}{2}\right)\mathrm{t} = \left(\frac{35m/s+0m/s}{2}\right)(3,57s) = 62,48m$

Y si elegimos la tercera fórmula, entonces la altura es:

$\mathrm{h} = \frac{\mathrm{v^2-v_0^2}}{\mathrm{2g}} = \frac{(0m/s)^2-(35m/s)^2}{2(-9,8m/s^2)} = 62,5m$

d) ¿Con qué velocidad impacta el balín al suelo en su descenso?

Respuesta: Dado que la velocidad de salida del balín es la misma con la que regresa al suelo, entonces se toma la caída del balín donde la velocidad inicial es cero y la velocidad final es:

$v_{inicial-arriba} = v_{final-abajo} \Rightarrow v = at+v_0 = (9,8m/s)(3,57s)+0m/s = 34,986m/s \approx 35m/s$

e) ¿Qué altura tiene el balín a los 6 s?

Respuesta: Dado que el balín tarda en subir al punto más alto 3,57 s, esto quiere decir que el balín a los 6 s está en descenso cerca del suelo, así la altura con respecto al suelo se calcula tomando la velocidad inicial como cero y el tiempo es la resta de los 6 s menos los 3,57 s que tarda en subir:

$\mathrm{h} = \mathrm{v_0t} + \frac{\mathrm{gt^2}}{2} = (0m/s)(6s-3,57s) + \frac{\left(9,8m/s^2\right)(6s-3,57s)^2}{2} = 0m/s + \left(\frac{\left(9,8m/s^2\right)(2,43s)^2}{2}\right)$
$\Rightarrow h = 28,9m$

Otra forma de resolver el problema es considerando el tiempo dado (es decir, 6 s), pero al resultado de la altura máxima calculada en la parte c se le debe restar esta nueva altura para obtener la altura real h_{real} del balín con respecto al suelo.

$\mathrm{h} = \mathrm{v_0t} + \frac{\mathrm{gt^2}}{2} = (35m/s)(6s) + \frac{\left(-9,8m/s^2\right)(6s)^2}{2} = 210m - 176,4m = 33,6m$

$\Rightarrow h_{real} = h_{max} - h = 62,5m - 33,6m = 28,9m$

5.10 Movimiento parabólico

El movimiento parabólico es el movimiento que se da en el plano xy donde se estudia simultáneamemte el movimiento horizontal y vertical del objeto, este movimiento corresponde a una trayectoria parabólica. La componente horizontal del movimiento parabólico es por inercia, rectilíneo uniforme, mientras que la componente vertical del movimiento parabólico es caída libre. En la figura 6: podemos notar que la componente horizontal de la velocidad (v_x) es constante, y la componente vertical (v_y) es cero en el punto más alto (h_{max}). Además, el alcance máximo del proyectil es R.

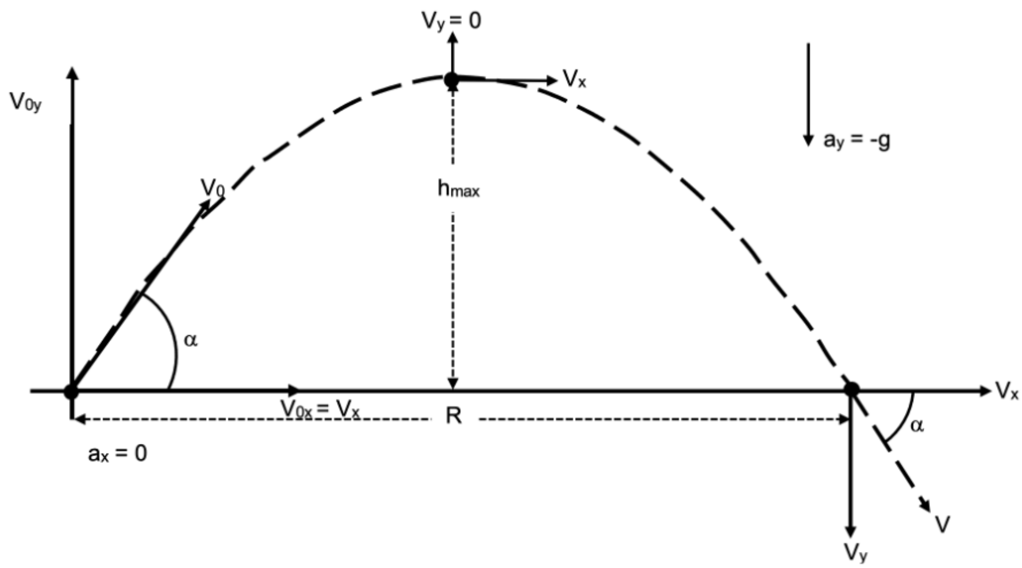

Figura 6: Movimiento parabólico en el plano xy.

6. Representaciones gráficas para objetos o cuerpos en movimiento

A continuación veremos los diferentes tipos de gráficas de las cuales podremos extraer información física importante del movimiento de un objeto o cuerpo, ya que en Física es necesario explicar el comportamiento de los objetos. En cinemática las gráficas se refieren a una representación del tiempo (eje x) y el espacio (eje y) del movimiento de los objetos, y se hace en el plano cartesiano (x, y). Las gráficas permiten establecer la relación entre dos cantidades medidas, es decir, nos permite anticipar lo que ocurrirá con una cantidad cuando la otra varía de una forma específica. Por lo tanto, las gráficas muestran la relación entre los datos de la posición, la velocidad y aceleración del objeto. Recuerde siempre observar muy bien los ejes, las variables y las unidades que se están utilizando en cada gráfica.

6.1 Gráfica distancia - tiempo

En este tipo de gráfica la distancia (d) es recorrida por el objeto en el eje y (vertical) contra el tiempo (t) registrado en el eje x (horizontal). La pendiente en cualquier punto representa la rapidez del objeto en ese instante específico. Recuerde si la gráfica d-t es una línea recta, quiere decir que el objeto se mueve a rapidez constante. Observe la siguiente gráfica d-t donde la distancia está en metros (m) y el tiempo en segundos (s), ver figura 7.

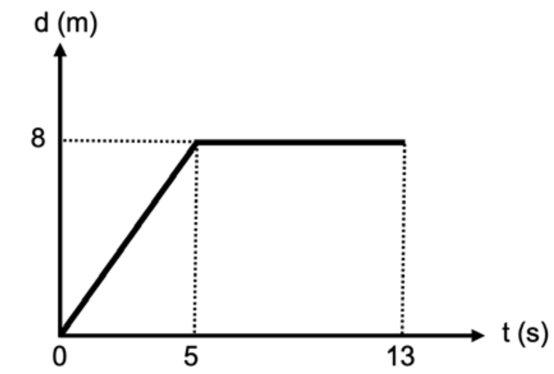

Figura 7: Gráfica d-t.

De esta gráfica se extrae lo siguiente:

- La distancia total recorrida por el objeto es de 8 m. Donde la posición inicial está en el origen (0).
- El tiempo total es 13 s, pero el objeto tardó solo 5 s en recorrer los 8 m y luego se mantiene en reposo, esto quiere decir que en los últimos 8 s el objeto no se movió.

- Con los datos que ofrece esta gráfica se puede calcular la rapidez del objeto que corresponde a la pendiente m, es decir:

$$m = \mathrm{v} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{t}} = \frac{\mathrm{d}_2 - \mathrm{d}_1}{t_2 - t_1} \tag{12}$$

Donde:
d_2 = posición final
d_1 = posición inicial
t_2 = tiempo final
t_1 = tiempo inicial

Veamos entonces el cálculo de la rapidez en los primeros 5 s del movimiento.
$\mathrm{v} = \frac{8m-0m}{5s-0s} = \frac{8m}{5s} = 1,6\ m/s$.

Ahora calculemos la rapidez en los últimos 8 s del movimiento.
$\mathrm{v} = \frac{8m-8m}{13s-5s} = \frac{0m}{8s} = 0\ m/s$.

6.2 Gráfica desplazamiento - tiempo

Dado que el desplazamiento es un vector, entonces vamos a considerar la dirección en la que se mueve el objeto. En este tipo de gráfica el desplazamiento ($\vec{\mathrm{d}}$) es recorrido por el objeto en el eje y (vertical) contra el tiempo (t) registrado en el eje x (horizontal). La pendiente en cualquier punto representa la velocidad del objeto en ese instante específico. Recuerde si la gráfica $\vec{\mathrm{d}}$-t es una línea recta, quiere decir que el objeto se mueve a velocidad constante. Observe la siguiente gráfica $\vec{\mathrm{d}}$-t donde el desplazamiento está en metros (m) y el tiempo en segundos (s).

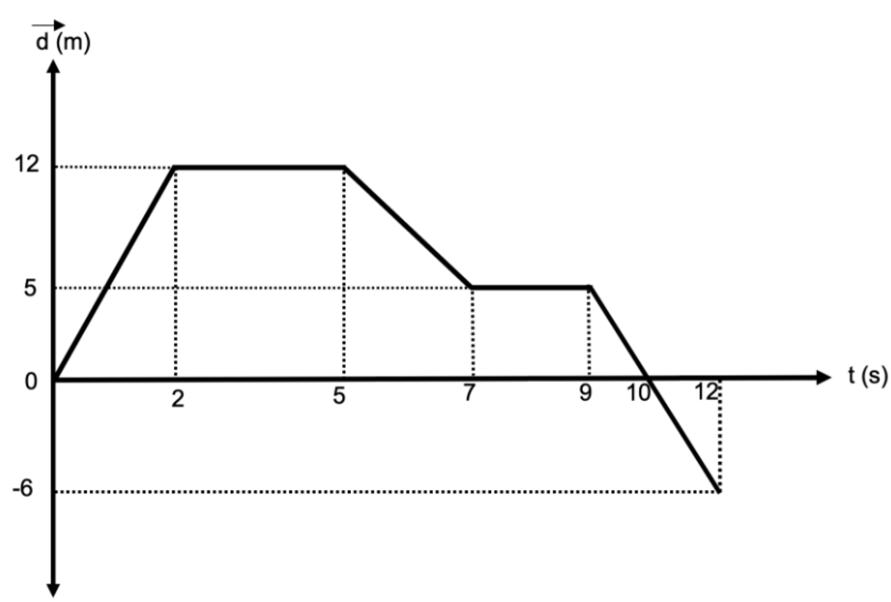

Figura 8: Gráfica $\vec{\mathrm{d}}$-t.

De esta gráfica se extrae lo siguiente:

- El desplazamiento total recorrido por el objeto es: $(12m + 0m - 7m + 0m - 5m - 6m) = -6m = 6m$ hacia el oeste. Donde la posición inicial está en el origen (0).
- El tiempo total es 12 s, pero el objeto tardó solo 2 s en recorrer los 12 m y luego se mantiene en reposo por 3 s, luego retrocede 7 m, se mantiene en reposo 2 s, finalmente retrocede 11 m.
- Con los datos que ofrece esta gráfica se puede calcular la velocidad del objeto que corresponde a la pendiente m, es decir:

$$m = \vec{\mathrm{v}} = \frac{\vec{\mathrm{d}}}{\mathrm{t}} = \frac{\vec{\mathrm{d}}_2 - \vec{\mathrm{d}}_1}{t_2 - t_1} \tag{13}$$

Donde:
$\vec{\mathrm{d}}_2$ = desplazamiento final
$\vec{\mathrm{d}}_1$ = desplazamiento inicial
t_2 = tiempo final
t_1 = tiempo inicial

Veamos entonces el cálculo de la velocidad en los primeros 2 s del movimiento.
$\vec{\mathrm{v}} = \frac{12m-0m}{2s-0s} = \frac{12m}{2s} = 6\ m/s$, la dirección positiva puede indicar en este caso el este.

Ahora calculemos la velocidad en los últimos 2 s del movimiento.
$\vec{\mathrm{v}} = \frac{-6m-0m}{12s-10s} = \frac{-6m}{2s} = -3\ m/s$, la dirección negativa puede indicar en este caso el oeste.

6.3 Gráfica rapidez - tiempo

En esta gráfica se obtiene la distancia recorrida por el móvil y corresponde al área bajo la curva. Para obtener la distancia se calcula el área bajo la curva, es decir, hay que observar las diferentes figuras geométricas que se forman debajo de la curva, en este caso se observa un rectángulo.

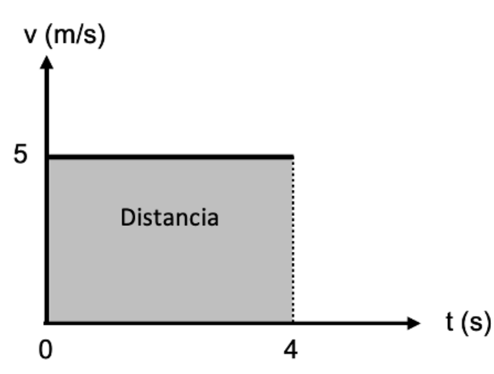

Figura 9: Gráfica v $- t$.

De esta gráfica se extrae lo siguiente:

- El distancia total recorrida por el objeto es la suma de las áreas debajo de la curva. Donde la posición inicial está en el origen (0).
- El tiempo total es 4 s. El objeto posee rapidez constante durante los 4 s.
- Con los datos que ofrece esta gráfica se puede calcular la distancia del objeto, es decir:

$$\mathrm{A} = \mathrm{d} = \mathrm{v} * \mathrm{t} \tag{14}$$

Donde:
d = distancia
v = rapidez
t = tiempo

Ahora el cálculo de la distancia entre 0 s y 4 s del movimiento: d = $(5m/s)(4s) = 20m$.

6.4 Gráfica velocidad - tiempo

Esta gráfica proporciona suficiente información para obtener la aceleración, la distancia, el desplazamiento, la velocidad en cada instante, rapidez media y velocidad media. Para obtener el desplazamiento o la distancia se calcula el área bajo la curva, es decir, hay que observar las diferentes figuras geométricas que se forman debajo de la curva, en este caso se observa un rectángulo, triángulo y cuadrado.

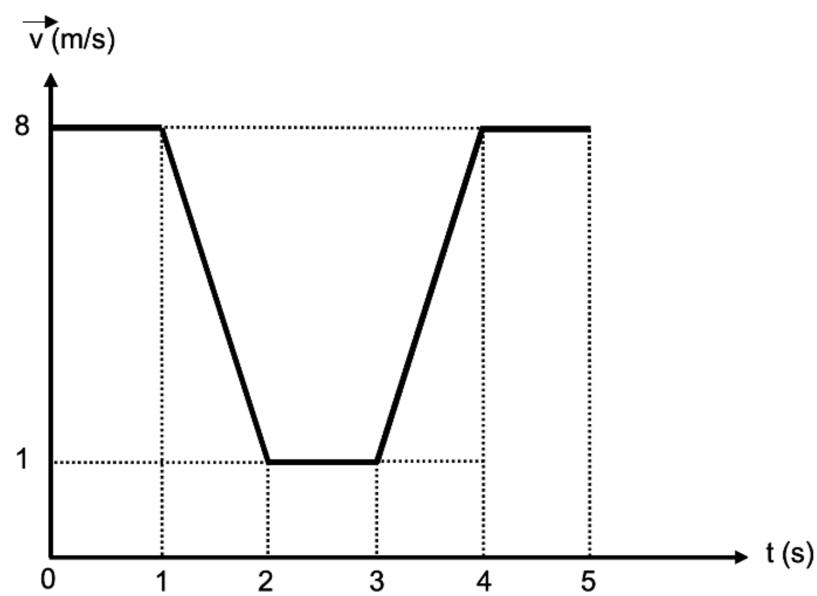

Figura 10: Gráfica $\vec{\mathrm{v}} - \mathrm{t}$.

De esta gráfica se extrae lo siguiente:

- El desplazamiento total recorrido por el objeto es la suma de las áreas debajo de la curva. Donde la posición inicial está en el origen (0).
- El tiempo total es 5 s. El objeto posee velocidad constante de 8 m/s durante 1 s, luego el objeto reduce su velocidad durante 1 s, luego se mantiene su velocidad a 1 m/s durante 1 s, luego vuelve acelerar durante 1 s y finalmente se mantiene a velocidad constante de 8 m/s durante 1 s.
- Con los datos que ofrece esta gráfica se puede calcular la aceleración del objeto que corresponde a la pendiente m, es decir:

$$m = \vec{\mathrm{a}} = \frac{\vec{\mathrm{v}}}{\mathrm{t}} = \frac{\vec{\mathrm{v}}_2 - \vec{\mathrm{v}}}{t_2 - t_1} \tag{15}$$

Donde:
$\vec{\mathrm{v}}_2$ = velocidad final
$\vec{\mathrm{v}}_1$ = velocidad inicial
t_2 = tiempo final
t_1 = tiempo inicial

Ahora el cálculo de la aceleración entre 0 s y 1 s del movimiento.

$\vec{\mathrm{a}} = \frac{8m/s - 8m/s}{2s - 1s} = \frac{0m/s}{1s} = 0\ m/s^2$.

Veamos luego el cálculo de la aceleración entre 1 s y 2 s del movimiento.

$\vec{\mathrm{a}} = \frac{1m/s - 8m/s}{2s - 1s} = \frac{-7m/s}{1s} = -7\ m/s^2$, la dirección negativa indica en este caso que el objeto desacelera.

Ahora calculemos la aceleración entre 3 s y 4 s del movimiento.

$\vec{\mathrm{a}} = \frac{8m/s - 1m/s}{4s - 3s} = \frac{7m/s}{1s} = 7\ m/s^2$, la dirección positiva indica en este caso que el objeto aumenta de velocidad.

Para calcular la distancia total recorrida por el objeto, note que se resaltan las figuras geométricas con colores para visualizar mejor las diferentes áreas bajo la curva.

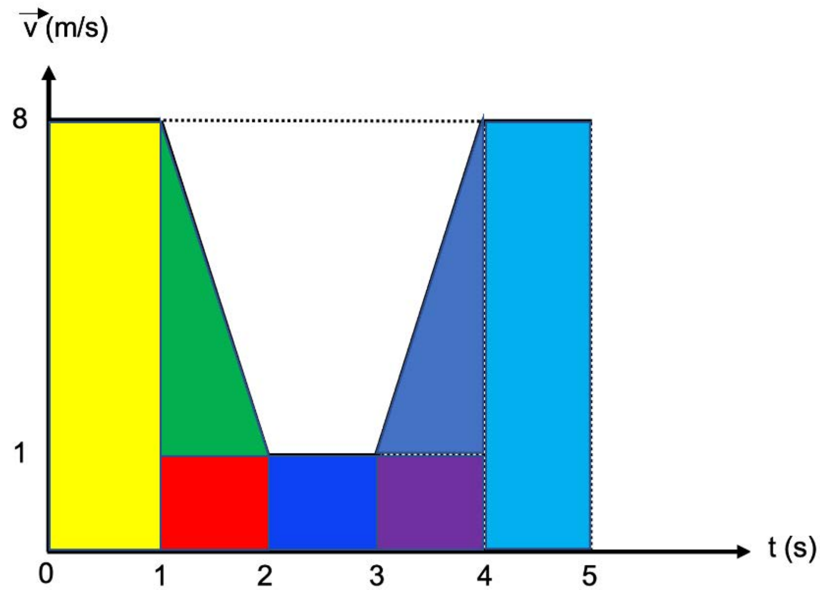

Figura 11: Gráfica $\vec{v}$-t.

El área bajo la curva es la distancia recorrida en cada tramo:

- Entre los 0 s y 1 s se observa un rectángulo, por lo que el área es:
  $A_1 = \text{d} = \text{v} * \text{t} = (8m/s)(1s) = 8m$

- Entre los 1 s y 2 s se tiene dos figuras geométricas (un cuadrado rojo y un triángulo verde), se calcula las áreas de ambas figuras:
  Para el triángulo se tiene: $A_2 = \text{d} = \frac{1s*7m/s}{2} = \frac{7}{2}m.$
  Luego para el cuadrado se tiene: $A_3 = \text{d} = (1s)(1m/s) = 1m$

- Entre los 2 s y 3 s se observa un cuadrado: $A_4 = \text{d} = \text{v} * \text{t} = (1m/s)(1s) = 1m$

- Entre los 3 s y 4 s se observa nuevamente un triángulo y un cuadrado:
  Para el triángulo se tiene:
  $A_5 = \text{d} = \frac{1s*7m/s}{2} = \frac{7}{2}m.$
  Luego para el cuadrado se tiene: $A_6 = \text{d} = (1s)(1m/s) = 1m$

- Entre 4 s y 5 s se observa nuevamente otro rectángulo: $A_7 = \text{d} = \text{v}*\text{t} = (8m/s)(1s) = 8m$

- La distancia total recorrida es:
  $d_{Total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 +_6 +A_7 = 8m + \frac{7}{2}m + 1m + 1m + \frac{7}{2}m + 1m + 8m = 26m$

- El desplazamiento total es:
  $\vec{d}_{Total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 +_6 +A_7 = 8m - \frac{7}{2}m + 1m + 1m + \frac{7}{2}m + 1m + 8m = 19m$
  hacia el este.

7. Leyes de la mecánica clásica de Newton

Las leyes de la dinámica son tres principios que permiten describir el movimiento de los cuerpos, para ello se usa solo las fuerzas reales que ejercen entre sí las partículas del sistema, es decir, en un sistema de referencia inercial (donde las partículas se mueven a velocidad constante). Estas leyes fueron enunciadas por el célebre físico inglés Sir Isaac Newton en 1687, y nos permiten explicar el movimiento de los astros y en general el movimiento mecánico de cualquier objeto. Debe de entenderse que una fuerza es una interacción entre dos cuerpos o entre un cuerpo y su entorno.

7.1 Primera ley de Newton: Inercia

La ley de inercia aplica para un cuerpo que permane en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme donde la velocidad es constante, siempre y cuando no actúe una fuerza externa sobre el cuerpo. Por lo tanto, inercia es la resistencia que oponen los cuerpos al modificar su estado de reposo o de movimiento en el que se encuentran. Un cuerpo está en equilibrio cuando está en reposo o se mueve a velocidad constante, es decir, cuando no actúa ninguna fuerza sobre el cuerpo o cuando la fuerza neta (sumatoria de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo) es cero. Expresada en la fórmula:

$$\sum \vec{F} = 0 \tag{16}$$

7.2 Segunda ley de Newton: Ley fundamental de la dinámica

La Ley Fundamental de la dinámica nos dice que un cuerpo se acelera si se le aplica una fuerza externa. En este apartado reconoceremos cuatro tipos de fuerzas: normal ($\vec{\mathrm{n}}$), fricción ($\vec{\mathrm{f}}$), tensión($\vec{\mathrm{T}}$), peso($\vec{\mathrm{w}}$). Ahora veremos la fórmula de la fuerza:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \tag{17}$$

Esta fórmula se interpreta como el vector de fuerza neta es igual a la masa del cuerpo multiplicada por su aceleración. La unidad de la fuerza es el Newton ($N = kgm/s^2$).

Donde:
$\vec{\mathrm{F}}$ = Fuerza (N)
$\vec{\mathrm{a}}$ = aceleración (m/s^2)
m = masa (kg)

Si deseamos despejar la aceleración en función de la fuerza neta y la masa, entonces tenemos: $\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$. Esta fórmula se interpreta como que la aceleración es igual a la fuerza neta dividida entre la masa del cuerpo.

Ahora, si deseamos despejar la masa en función de la fuerza neta y la aceleración, entonces tenemos: $m = \frac{\sum \vec{F}}{\vec{a}}$. Esta fórmula se interpreta que la masa es igual a la fuerza neta dividida entre la aceleración que experimenta el cuerpo.

En la resolución de problemas se debe hacer un diagrama de cuerpo libre donde se representa todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. Por lo general se identifican la fuerza aplicada (pueden ser más de una fuerza), la fuerza de fricción, la fuerza normal y el peso de la siguiente manera, ver figura 12:

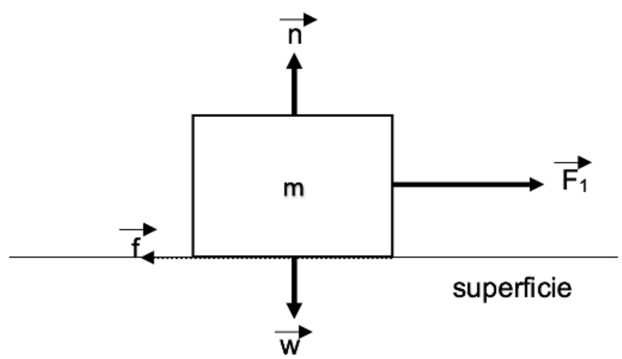

Figura 12: Diagrama de cuerpo libre de un bloque de masa m.

Ahora veamos un ejemplo donde actúan varias fuerzas sobre un bloque de 200 kg.

Ejemplo: Calcule la fuerza resultante y la aceleración que experimenta el bloque. Considere la dirección de las fuerzas como positiva (hacia el este) y negativa (hacia el oeste), ver figura 13.

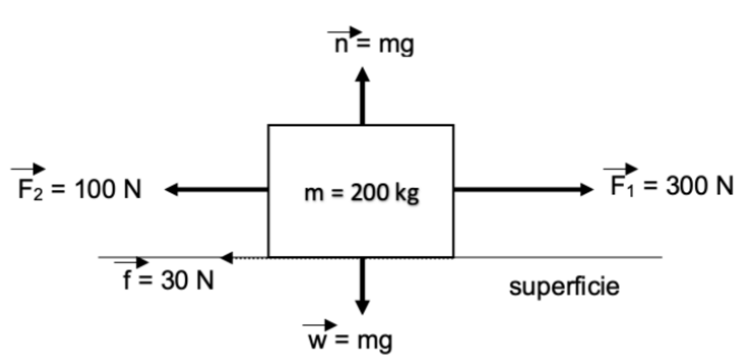

Figura 13: Diagrama de cuerpo libre de un bloque.

Respuesta:

Primero identificamos las fuerzas aplicadas sobre el bloque: $\sum \vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{f} + \vec{n} + \vec{w}$.

Luego sustituimos los datos del diagrama.$\sum \vec{F} = 300N - 100N - 3N + n - w$.

Pero como la normal y el peso son iguales y opuestas, entonces se cancelan entre sí, solo quedan las otras fuerzas. $\sum \vec{F} = 300N - 100N - 3N = 170N$.

Luego se procede a calcular la aceleración: $\sum \vec{F} = 170N = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m} = \frac{170N}{200kg} = 0,85m/s^2$ hacia el este.

7.3 Tercera ley de Newton: Principio de Acción-Reacción

El Principio de Acción-Reacción establece que para toda acción hay una reacción igual y en sentido opuesto. Es decir, cuando un objeto A aplica una acción para empujar, oprimir o mover un objeto B, este objeto B responde con una fuerza de igual magnitud pero en dirección contraria. Se suele interpretar y usar con la siguiente fórmula:

$$\vec{F}_A = -\vec{F}_R \tag{18}$$

Donde $\vec{F}_A$ (es la fuerza de acción) y $\vec{F}_R$ (es la fuerza de reacción). Recuerde que las fuerzas de acción-reacción actúan sobre cuerpos distintos. Veamos algunos ejemplos donde se identifique dichas fuerzas:

- Suponga un cuaderno sobre una mesa de estudio, la fuerza de acción corresponde a la fuerza del cuaderno sobre la mesa y la fuerza de reacción es la fuerza de la mesa sobre el cuaderno.
- Al caminar hay un desplazamiento hacia adelante que corresponde a la fuerza de reacción, porque empujamos el suelo hacia atrás llamado fuerza de acción.
- La fuerza que ejerce la Tierra sobre la Luna es la fuerza de acción, mientras la fuerza que ejerce la Luna sobre la Tierra es de igual magnitud y dirección contraria corresponde a la fuerza de reacción.

7.4 Las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza

En la naturaleza se han reconocido cuatro fuerzas o interacciones fundamentales, que son las responsables de todo lo que ocurre en el Universo y no se pueden explicar en función de otras más sencillas. Si las ordenamos de mayor a menor fuerza relativa se tiene: nuclear fuerte $>$ electromagnética $>$ nuclear débil $>$ gravitatoria. Otra característica importante de ellas es que las fuerzas electromagnética y gravitatoria tienen alcance infinito (∞), mientras la nuclear fuerte tiene un alcance $1,00 \times 10^{-15}m$ y la nuclear débil tiene un alcance de $1,00 \times 10^{-18}m$.

- Fuerza nuclear fuerte, es la más intensa de todas las fuerzas, además es la responsable de mantener unido el núcleo atómico, es decir, mantiene unidos los protones y neutrones.

- Fuerza electromagnética, es la responsable de las interacciones entre las partículas con carga eléctrica, incluye las fuerzas eléctricas y magnéticas; además es responsable de las reacciones químicas y los fenómenos biológicos.
- Fuerza nuclear débil, es la responsable de la desintegración de ciertas partículas inestables (aquellos procesos en los que algunas partículas se descomponen en otras más ligeras), es decir, da origen a algunos procesos radiactivos como la desintegración beta.
- Fuerza gravitatoria, es la responsable de la interacción entre las partículas que tienen masa y de la configuración a escala macroscópica del Universo y de su estabilidad.

8. Ley de Gravitación Universal

La Ley de Gravitacion Universal fue enunciada por Sir Isaac Newton en 1687 dando origen a la mecánica celeste, y la emplearemos para explicar la fuerza de atracción gravitacional entre los diferentes cuerpos, la variación del peso de los cuerpos con la altitud, la puesta en órbita de los satélites artificiales y la de los planetas alrededor del Sol. La constante de gravitación universal ($\mathrm{G} = 6,67 \times 10^{-11} \mathrm{Nm^2/kg^2}$) fue determinada por Sir Henry Cavendish en 1798 con un instrumento llamado balanza de torsión.

8.1 Enunciado

Toda partícula de materia en el Universo atrae a todas las demás partículas con una fuerza directamente proporcional al producto de las masas de las partículas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

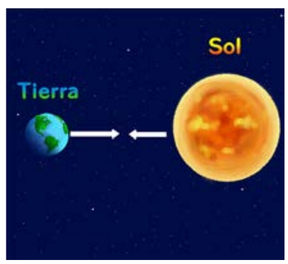

Figura 14: Fuerza de atracción gravitacional entre Sol y Tierra.

8.2 Fórmula y despeje

$$\mathrm{F} = \frac{\mathrm{Gm_1m_2}}{\mathrm{r^2}} \tag{19}$$

Donde:
F = Fuerza (N)
G = constante de gravitación ($6,67 \times 10^{-11} \mathrm{Nm^2/kg^2}$)
m_1 = masa de la partícula 1 (kg)
m_2 = masa de la partícula 2 (kg)
r = distancia entre las partículas (m)

Si deseamos despejar la masa de la partícula 1 en función de la fuerza, masa de la partícula 2, constante de gravitación y la distancia, entonces obtenemos: $m_1 = \frac{Fr^2}{Gm_2}$.

Ahora si deseamos despejar la masa de la partícula 2 en función de la fuerza, masa de la partícula 1, constante de gravitación y la distancia, entonces obtenemos: $m_2 = \frac{Fr^2}{Gm_1}$.

Finalmente, si se despeja la distancia en función de la fuerza, masa de la partícula 1, masa de la partícula 2 y la constante de gravitación, entonces obtenemos: $r = \sqrt{\frac{Gm_1m_2}{F}}$

Ejemplo 1: Calcule la fuerza de atracción gravitacional que ejerce el Sol ($\mathrm{m_S} = 1,99 \times 10^{30}\mathrm{kg}$) sobre la Tierra ($\mathrm{m_T} = 5,98 \times 10^{24}\mathrm{kg}$) si la distancia que los separa es de $1,50 \times 10^{11}\mathrm{m}$.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 19, de la siguiente manera:

$$F = \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\mathrm{Nm^2/kg^2}\right)\left(1{,}99\times10^{30}\mathrm{kg}\right)\left(5{,}98\times10^{24}\mathrm{kg}\right)}{(1{,}50\times10^{11}\mathrm{m})^2} = 3,53 \times 10^{22}\mathrm{N}$$

Por lo tanto, la fuerza de atracción gravitacional que ejerce el Sol sobre la Tierra es de $3,53 \times 10^{22}\mathrm{N}$.

Ejemplo 2: Calcule la distancia de separación entre la Tierra ($\mathrm{m_T} = 5,98 \times 10^{24}\mathrm{kg}$) y la Luna ($\mathrm{m_L} = 7,35 \times 10^{22}\mathrm{kg}$) si existe una fuerza de atracción gravitacional de $1,99 \times 10^{20}\mathrm{N}$.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$r = \sqrt{\frac{(6{,}67\times10^{-11}\mathrm{Nm^2/kg^2})(5{,}98\times10^{24}\mathrm{kg})(7{,}35\times10^{22}\mathrm{kg})}{(1{,}99\times10^{20}\mathrm{N})}} = 3,84 \times 10^{8}\mathrm{m}$$

Por lo tanto, la distancia entre la Tierra y la Luna es de $3,84 \times 10^{8}\mathrm{m}$.

9. Órbita de los cuerpos en sistema planetario

Para conocer el movimiento de los astros y en particular de los planetas que orbitan al Sol o de los satélites que orbitan a los planetas debemos conocer los conceptos básicos de aceleración centrípeta, fuerza centrípeta, campo gravitacional y velocidad orbital que desarrollaremos a continuación.

9.1 Aceleración centrípeta

La aceleración centrípeta es la aceleración que se dirige hacia el centro del círculo y es perpendicular a la velocidad del cuerpo que gira (en este caso un satélite natural o artificial). También se le conoce como la aceleración normal o radial. Por lo tanto, un cuerpo o partícula con movimiento circular uniforme (MCU) tienen una aceleración centrípeta, pero no tienen aceleración tangencial porque su velocidad tangencial es constante. Su fórmula esta dada por:

$$\mathrm{a_c} = \frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{r}} \tag{20}$$

Donde:
$\mathrm{a_c}$ = aceleración centrípeta (m/s^2)
v = velocidad tangencial (m/s)
r = radio (m)

Si deseamos despejar la velocidad tangencial de la partícula en función de la aceleración y el radio, entonces obtenemos: $\mathrm{v}=\sqrt{a_c r}$.

Si deseamos despejar el radio orbital de la partícula en función de la aceleración y la velocidad tangencial, entonces obtenemos: $\mathrm{r}=\frac{v^2}{a_c}$.

Ejemplo: Calcule la aceleración centrípeta que experimenta la Luna en su órbita alrededor del planeta Tierra, si la velocidad tangencial de la Luna es de 1020 m/s y el radio orbital es de $3,84 \times 10^8$m.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 20, de la siguiente manera:

$\mathrm{a_c} = \frac{(1020\mathrm{m/s})^2}{3{,}84\times10^8\mathrm{m}} = 2,71 \times 10^{-3}\mathrm{m/s^2}$

Por lo tanto, la aceleración centrípeta de la Luna es de $2,71 \times 10^{-3}\mathrm{m/s^2}$

9.2 Fuerza centrípeta

La fuerza centrípeta es la fuerza neta que se aplica sobre una partícula u cuerpo para mantenerlo en movimiento sobre una trayectoria circular. Su fórmula esta dada por:

$$\mathrm{F_c} = \mathrm{m}\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{r}} \tag{21}$$

Donde:
$\mathrm{F_c}$ = Fuerza centrípeta (N)
v = velocidad tangencial (m/s)
m = masa del objeto (kg)
r = radio (m)

Si deseamos despejar la velocidad tangencial de la partícula en función de la fuerza centrípeta, la masa y el radio, entonces obtenemos: $\mathrm{v} = \sqrt{\frac{F_c r}{m}}$

Si deseamos despejar el radio del objeto en función de la fuerza centrípeta, la masa y la velocidad tangencial, entonces obtenemos: $\mathrm{r} = \mathrm{m}\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{F_c}}$

Si deseamos despejar la masa del objeto en función de la fuerza centrípeta, el radio y la velocidad tangencial, entonces obtenemos: $\mathrm{m} = \frac{\mathrm{F_c r}}{\mathrm{v}^2}$

Ejemplo: Calcule la fuerza centrípeta que experimenta la Luna $(7,35 \times 10^{22}\mathrm{kg})$ en su órbita alrededor de la Tierra, si la velocidad tangencial de la Luna es de 1020 m/s y el radio orbital es de $3,84 \times 10^{8}\mathrm{m}$.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 21, de la siguiente manera:

$\mathrm{F_c} = \frac{\left(7{,}35\times10^{22}\mathrm{kg}\right)(1020\mathrm{m/s})^2}{3{,}84\times10^{8}\mathrm{m}} = 1,99 \times 10^{20}\mathrm{N}$

Por lo tanto, la fuerza centrípeta que experimenta la Luna es de $1,99 \times 10^{20}\mathrm{N}$.

9.3 Campo gravitacional

El campo gravitacional es una región del espacio donde actúa la gravedad, es decir, es la fuerza que experimenta una partícula o cuerpo al encontrarse una distribución de masa (como puede ser un planeta o estrella). En este caso, la masa del planeta Tierra posee una masa lo suficientemente grande para generar un campo gravitacional que actúa sobre la Luna y los satélites artificiales que se ponen en órbita, y evidentemente sobre cualquier cuerpo cerca de su superficie. Su fórmula está dada por:

$$\mathrm{g} = \frac{\mathrm{Gm}}{\mathrm{r}^2} \tag{22}$$

Donde:
g = campo gravitacional (m/s^2)
G = constante de gravitación $(6,67 \times 10^{-11}\mathrm{Nm}^2/\mathrm{kg}^2)$
m = masa del planeta (kg)
r = radio (m)

Si deseamos despejar el radio del objeto en función de la gravedad, la masa y la constante G, entonces obtenemos: r = $\sqrt{\frac{Gm}{g}}$

Si deseamos despejar la masa del objeto en función de la gravedad, el radio y la constante G, entonces obtenemos: m = $\frac{\mathrm{gr}^2}{\mathrm{G}}$

Importante: Recuerde que el radio orbital corrresponde a la distancia desde el centro del plantea hasta la posición que se encuentra el satélite. Pero si lo que se desea es saber la altura del satélite con respecto a la superficie del planeta, entonces se debe restar el radio medio del planeta, es decir, la altura será: $h = r_{orbital} - r_{planeta}$.

Ejemplo: Calcule la altura a la que se encuentra la Estación Espacial Internacional (ISS) con respecto a la superficie del planeta Tierra ($5,98 \times 10^{24}$kg), si la ISS experimenta una gravedad de 8,65 m/s^2.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{r} = \sqrt{\frac{(6{,}67\times10^{-11}\mathrm{Nm^2/kg^2})(5{,}98\times10^{24}\mathrm{kg})}{8{,}65\mathrm{m/s^2}}} = 6,79 \times 10^6\mathrm{m}$$

Luego, procedemos a calcular la altura a la que se encuentra la ISS:
$h = r_{orbital} - r_{planeta} = 6,79 \times 10^6\mathrm{m} - 6,37 \times 10^6\mathrm{m} = 4,21 \times 10^5\mathrm{m}$.

Por lo tanto, la ISS se encuentra a una altura aproximada de $4,21 \times 10^5$m sobre la superficie terrestre.

9.4 Velocidad orbital de los satélites

Se refiere a que los satélites naturales o artificales requieren obtener una velocidad para estabilizar su órbita. Es la velocidad que debe tener un satélite (natural o artificial) para que su órbita sea estable. Por lo tanto, si el satélite describe un movimiento circular uniforme alrededor de un planeta, entonces dependerá de la masa del planeta y del radio de la órbita.

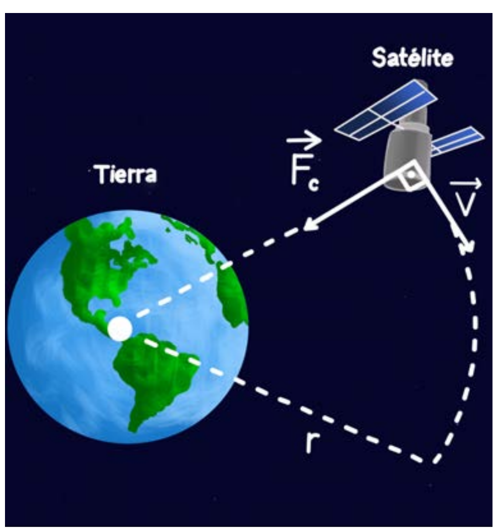

Figura 15: Movimiento de satélites.

Su fórmula está dada por:

$$v = \sqrt{\frac{Gm}{r}} \tag{23}$$

Donde:
v = velocidad orbital (m/s)
G = constante de gravitación $(6,67 \times 10^{-11} \mathrm{Nm^2/kg^2})$
m = masa del planeta (kg)
r = radio (m)

Si deseamos despejar el radio del objeto en función de la velocidad orbital, la masa y la constante G, entonces obtenemos: $\mathrm{r} = \frac{\mathrm{Gm}}{\mathrm{v}^2}$

Si deseamos despejar la masa en función de la velocidad orbital, el radio orbital y la constante G, entonces obtenemos: $\mathrm{m} = \frac{\mathrm{rv}^2}{\mathrm{G}}$

Ejemplo: Calcule la velocidad orbital que tiene un satélite artificial que se encuentra a $6,00 \times 10^5$m de altura con respecto a la superficie terrestre.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema y las constantes que necesita, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 23, de la siguiente manera:

$\mathrm{v} = \sqrt{\frac{(6{,}67\times10^{-11}\mathrm{Nm^2/kg^2})(5{,}98\times10^{24}\mathrm{kg})}{(6{,}37\times10^{6}\mathrm{m})+(6{,}00\times10^{5}\mathrm{m})}} = 7,56 \times 10^3 \mathrm{m/s}$

Por lo tanto, la velocidad orbital del satélite es de $7,56 \times 10^3$m/s

10. Energía

Todo lo que nos rodea, tiene que ver con materia y energía y de ahí la importancia de que este tema sea comprendido. Este es un tema amplio y variado donde se verán diferentes conceptos para la comprensión del trabajo y energía. Se motiva al lector a buscar e investigar sobre este tema para comprender a cabalidad mediante simulaciones y diagramas cada apartado, dado que aquí solo se hará una breve introducción y descripción de los contenidos. Recuerde la unidad derivada de la energía en el Sistema Internacional de Unidades (S.I) es el Joule = J = kgm^2/s^2.

10.1 Energía cinética

La energía cinética es la energía que tiene un cuerpo cuando está en movimiento, es decir, involucra la masa del cuerpo y la velocidad que desarrolla el cuerpo. Su fórmula está dada por:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \tag{24}$$

Donde:
E_c = Energía cinética (J)
v = velocidad (m/s)
m = masa (kg)

Si deseamos despejar la masa en función de la energía cinética y velocidad, entonces obtenemos: $m = \frac{2E_c}{v^2}$

Si deseamos despejar la velocidad en función de la energía cinética y la masa, entonces obtenemos: $v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$

Ejemplo 1: ¿Cuál es la energía cinética que posee un automóvil de 1500 kg que se mueve a 25 m/s hacia el sur?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 24, de la siguiente manera:

$E_c = \frac{1}{2}(1500kg)(25m/s)^2 = 468750kgm^2/s^2 = 468750J = 4,69 \times 10^5J$

Por lo tanto, la energía cinética del automóvil es de $4,69 \times 10^5$J.

Ejemplo 2: ¿Cuál es la velocidad que lleva un carrito de 2 kg si posee una energía cinética de 36 J?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$v = \sqrt{\frac{2(36J)}{2kg}} = 6m/s$

Por lo tanto, la velocidad del carrito es de 6m/s.

10.2 Energía potencial gravitacional

La energía potencial gravitacional es la energía que adquiere un cuerpo cuando está sometido a un campo gravitacional y se encuentra a cierta altura con respecto a la superficie, es decir, esta relacionado con la masa del cuerpo, la altura o posición con respecto a un punto de referencia (como el suelo) y la aceleración de la gravedad $9,8\mathrm{m/s^2}$ en el caso que se encuentre en la superficie terrestre. Su fórmula está dada por:

$$\mathrm{E}_p = \mathrm{m}g\mathrm{h} \tag{25}$$

Donde:
$\mathrm{E_c}$ = Energía potencial gravitacional (J)
h = altura (m)
m = masa (kg)

Si deseamos despejar la masa en función de la energía potencial y altura, entonces obtenemos: $\mathrm{m} = \frac{\mathrm{E}_p}{\mathrm{gh}}$

Si deseamos despejar la altura en función de la energía potencial y masa, entonces obtenemos: $\mathrm{h} = \frac{\mathrm{E}_p}{\mathrm{mg}}$

Ejemplo: ¿Cuál es la energía potencial gravitacional que posee una piedra de 0,150 kg que es lanzada verticalmente hacia arriba y alcanza una altura máxima de 8 m con respecto al suelo?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema y la constante de la gravedad, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 25, de la siguiente manera:

$\mathrm{E}_p = (0,150\mathrm{kg})(9,8\mathrm{m/s^2})(8\mathrm{m}) = 11,76\mathrm{kgm^2/s^2} = 11,76\mathrm{J} = 1,18 \times 10^1\mathrm{J}$

Por lo tanto, la energía potencial gravitacional de la piedra es de $1,18 \times 10^1\mathrm{J}$.

10.3 Energía mecánica

La energía mecánica es el resultado de sumar la energía cinética y energía potencial de un cuerpo. Para un cuerpo en caída libre, su energía cinética aumenta mientras su energía potencial disminuye a medida que disminuye la altura. Su fórmula está dada por:

$$\mathrm{E_M} = \mathrm{E_c} + \mathrm{E_p} \tag{26}$$

Donde:
$\mathrm{E_M}$ = Energía mecánica (J)
$\mathrm{E_c}$ = Energía cinética (J)
$\mathrm{E_p}$ = Energía potencial (J)

Un ejemplo clásico donde se evidencia la conversión de energía potencial en energía cinética es en el péndulo simple; en el punto de altura máxima el péndulo tiene solo energía potencial y la energía cinética es cero, y cuando el péndulo se encuentra en el punto más bajo la energía cinética es máxima y no tiene energía potencial, como se muestra a continuación.

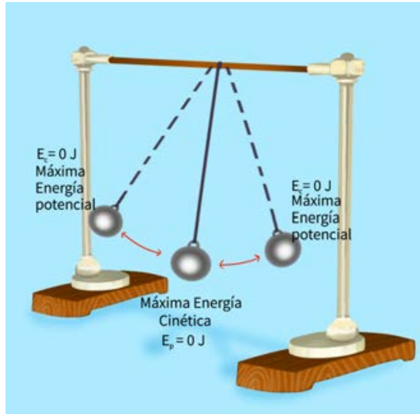

Figura 16: Péndulo simple.

Si deseamos despejar la energía potencial en función de la energía mecánica y energía cinética, entonces obtenemos: $\mathrm{E_p} = \mathrm{E_M} - \mathrm{E_c}$

Si deseamos despejar la energía cinética en función de la energía mecánica y energía potencial, entonces obtenemos: $\mathrm{E_c} = \mathrm{E_M} - \mathrm{E_p}$

Ejemplo: Un coco de 1,5 kg se desprende de una palmera y 1 s después adquiere una velocidad de 9,8 m/s cuando se encuentra a 10,2 m con respecto al suelo.

a) ¿Cuál es la energía mecánica del coco en ese instante?

b) ¿Desde que altura con respecto al suelo se desprendió el coco?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema y la constante de la gravedad, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 26, de la siguiente manera:

a) Primero, calcule la energía potencial y cinética, luego la energía mecánica.

$\mathrm{E_p} = (1,5\mathrm{kg})(9,8\mathrm{m/s^2})(10,2\mathrm{m}) = 149,94\mathrm{kgm^2/s^2} = 1,50 \times 10^2\mathrm{J}$

$\mathrm{E_c} = \frac{1}{2}(1,5\mathrm{kg})(9,8\mathrm{m/s})^2 = 72,03\mathrm{kgm^2/s^2} = 7,20 \times 10^1\mathrm{J}$

$\mathrm{E_M} = (1,50 \times 10^2\mathrm{J}) + (7,20 \times 10^1\mathrm{J}) = 2,22 \times 10^2\mathrm{J}$

Por lo tanto, la energía mecánica del coco en ese instante es de $2,22 \times 10^2$J.

b) En el punto más alto la velocidad es cero, por lo que la energía cinética es cero, es decir, solo hay energía potencial gravitacional. Entonces debe igualar la energía mecánica a la energía potencial y luego se despeja la altura.

$\mathrm{E_p} = \mathrm{E_M} - \mathrm{E_c} = 2,22 \times 10^2\mathrm{J} - 0\mathrm{J} = 2,22 \times 10^2\mathrm{J} \Rightarrow \mathrm{m}g\mathrm{h} = 2,22 \times 10^2\mathrm{J} \Rightarrow \mathrm{h} = \frac{2,22\times10^2\mathrm{J}}{\mathrm{mg}} \Rightarrow$ $\mathrm{h} = \frac{2,22\times10^2\mathrm{J}}{(1,5\mathrm{kg})(9,8\mathrm{m/s^2})} = 15,10\mathrm{m}$

Por lo tanto, el coco se desprende de los 15,10m de altura.

10.4 Energía potencial elástica

La energía potencial elástica es la energía que se almacena como resultado de la deformación de un cuerpo elástico (un resorte), depende de la constante elástica k y de la distancia x que se comprime o estira el resorte respecto a su posición de equilibrio. Su fórmula está dada por:

$$\mathrm{E} = \frac{\mathrm{kx}^2}{2} \tag{27}$$

Donde:
E = Energía potencial elástica (J)
k = Constante elástica (N/m)
x = Distancia que se comprime o estira (m)

Si deseamos despejar la distancia en función de la energía potencial y la constante elástica, entonces obtenemos: $\mathrm{x} = \sqrt{\frac{2\mathrm{E}}{\mathrm{k}}}$

Ejemplo: Un juguete tiene un resorte cuya constante elástica es de 1,8 N/m y es comprimido una distancia de 0,025 m desde su posición de equilibrio. ¿Cuál es la energía potencial elástica del resorte?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema y el valor de la constante elástica, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 27, de la siguiente manera:

$\mathrm{E} = \frac{(1{,}8\mathrm{N/m})(0{,}025\mathrm{m})^2}{2} = 0,0005625\mathrm{J} = 5,63 \times 10^{-4}\mathrm{J}$

Por lo tanto, la energía potencial elástica del resorte es de $5,63 \times 10^{-4}$J.

10.5 Trabajo

El trabajo es el producto de la fuerza constante aplicada sobre un cuerpo por el desplazamiento para moverlo de un punto a otro, es decir, es la energía necesaria para desplazar un cuerpo. Emplearemos la letra W para referirnos al trabajo, y como es equivalente a la energía, se mide en Joule = J = $\mathrm{kgm}^2/\mathrm{s}^2$.
Importante: el trabajo es positivo ($W > 0$) si el ángulo entre la fuerza y el desplazamiento experimentado por el cuerpo es mayor a 90° ($\theta > 90°$); el trabajo es negativo ($W < 0$) si el ángulo entre la fuerza y el desplazamiento es menor a 90° ($\theta <$ 90°), es decir como en el caso de la fuerza de rozamiento; el trabajo es nulo ($W = 0$) si el ángulo entre la fuerza y el desplazamiento es igual a 90° ($\theta = 90°$). Su fórmula está dada por:

$$\mathrm{W} = \mathrm{F}\,(cos\theta)\,\mathrm{d} \tag{28}$$

Donde:
W = Trabajo (J)
F = Fuerza (N)
d = Desplazamiento (m)

Si deseamos despejar la fuerza aplicada en función del trabajo y el desplazamiento, entonces obtenemos: $\mathrm{F} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{d}\cos\theta}$

Si deseamos despejar el desplazamiento en función del trabajo y la fuerza aplicada, entonces obtenemos: $\mathrm{d} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{F}\cos\theta}$

Ejemplo 1: Una carreta es arrastrada por un caballo que ejerce una fuerza de 700 N con un ángulo de 30° con la horizontal y la desplaza 100 m hacia el este. ¿Cuál es el trabajo que realiza el caballo para mover la carreta a lo largo del desplazamiento dado?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 28, de la siguiente manera:

$\mathrm{W} = (700\mathrm{N})\,(\cos(30°))\,(100\mathrm{m}) = 60621,78\mathrm{J} = 6,06 \times 10^4\mathrm{J}$

Por lo tanto, el trabajo realizado por el caballo sobre la carreta es de $6,06 \times 10^4$J.

Ejemplo 2: ¿Cúal es el trabajo realizado por el peso de un florero que está en reposo en el centro de una mesa, si la masa del florero es de 1 kg?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema y la constante que requiere, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 28, de la siguiente manera:

En este caso la fuerza es perpendicular al desplazamiento, es decir, el ángulo que se forma entre la fuerza aplicada (peso) por el florero y el desplazamiento es 90° ($\theta = 90°$) lo que produce un desplazamiento igual a 0 m, por lo tanto el trabajo es nulo ($W = 0$).

$\mathrm{W} = (1\mathrm{kg})(9,8\mathrm{m/s^2})\,(\cos 90^{\circ})\;\;(0\mathrm{m}) = 0\mathrm{J}$

Por lo tanto, el trabajo realizado por el florero sobre la mesa es de 0J.

Ejemplo 3: En la sala de una casa para mover un sillón se aplica una fuerza horizontal de 200 N hacia el este, con lo que el trabajo invertido es de 600 J. ¿Cuál es el desplazamiento aplicado al sillón?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula correspondiente, de la siguiente manera: $\mathrm{d} = \frac{(600\mathrm{J})}{(200\mathrm{N})(\cos 0°)} = 3,00\mathrm{m}$

Por lo tanto, el desplazamiento aplicado al sillón es de 3,00m hacia el este.

Ejemplo 4: Si para desplazar un cuerpo 25 m hacia el este sobre una superficie horizontal se invierte un trabajo de 16250 J, entonces, ¿cuál es la fuerza aplicada sobre el cuerpo?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula correspondiente, de la siguiente manera:

$\mathrm{F} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{d}\cos\theta} = \frac{16250\mathrm{J}}{25\mathrm{m}} = 650\mathrm{N}$

Por lo tanto, la fuerza aplicada sobre el cuerpo es de 650N hacia el este.

10.6 Potencia

La potencia es el trabajo efectuado a un cuerpo por unidad de tiempo. Emplearemos la letra P para referirnos a la potencia. La unidad de la potencia en el S.I es el Watts = W = kgm^2/s^3. Su fórmula está dada por:

$$P = \frac{W}{t} \tag{29}$$

Donde:
P = Potencia (W)
W = Trabajo (J)
t = tiempo (s)

Si deseamos despejar el trabajo en función de la potencia y el tiempo, entonces obtenemos: $W = P * t$

Si deseamos despejar el tiempo en función de la potencia y el trabajo, entonces obtenemos: $t = \frac{W}{P}$

Ejemplo 1: Para levantar una balanza desde el suelo hasta una cierta altura se efectúa un trabajo de 4,70 J en un tiempo igual a 1,1 s. ¿Cuál es la potencia efectuada para realizar ese trabajo?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 29, de la siguiente manera: $P = \frac{4{,}70J}{1{,}1s} = 4,27W$

Por lo tanto, la potencia desarrollada es de $4,27W$.

Ejemplo 2: El motor de un automóvil efectúa una potencia de 4000 W en un tiempo de 5 s. ¿Cuál es el trabajo efectuado por el motor del automovil?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula correspondiente, de la siguiente manera:

$W = (4000W)(5s) = 20000J = 2,00 \times 10^4J$

Por lo tanto, el trabajo efectuado por el motor es de $2,00 \times 10^4J$.

Ejemplo 3: Para elevar una baldosa de cemento se aplica un trabajo de 12000 J y se invierte una potencia de 6000 W, por lo tanto, ¿cuál es el tiempo invertido en este trabajo?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula correspondiente, de la siguiente manera:

$t = \frac{W}{P} = \frac{12000J}{6000W} = 2s$

Por lo tanto, el tiempo invertido es de 2s.

10.7 Teorema de conservación de la energía mecánica

Este teorema nos dice que cuando actúan solo fuerzas conservativas sobre un cuerpo entonces la energía mecánica del cuerpo no cambia (se mantiene constante).

El teorema de la energía cinética se relaciona con el cambio de la energía cinética ΔE_c entre dos puntos inicial y final que experimenta un cuerpo y es igual al trabajo que realiza la fuerza resultante sobre el cuerpo. Su fórmula está dada por:

$$W = \Delta E_c = E_{final} - E_{inicial} = E_{cf} - E_{ci} \tag{30}$$

Donde:
W = Trabajo (J)
E_{ci} = Energía cinética inicial (J)
E_{cf} = Energía cinética final (J)

Ejemplo: Un tren de 40000 kg se mueve en línea recta con una velocidad inicial de 6 m/s y luego de un tiempo cambia su velocidad 10 m/s. ¿Cuál es el trabajo efectuado por la variación de la velocidad del tren?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 30, de la siguiente manera:

$$W = \Delta E_c = E_{cf} - E_{ci} = \frac{1}{2}(40000\text{kg})(10\text{m/s})^2 - \frac{1}{2}(40000\text{kg})(6\text{m/s})^2$$

$$W = \frac{1}{2}(40000\text{kg})\left[(10\text{m/s})^2 - (6\text{m/s})^2\right] = 1280000\text{J} = 1,28 \times 10^6\text{J}$$

Por lo tanto, el trabajo efectuado por el motor es de $1,28 \times 10^6$J.

Pero en el caso de que si solamente una fuerza conservativa F actúa sobre un cuerpo, entonces el trabajo de la fuerza F es igual al cambio entre el valor inicial y final de la energía potencial ΔE_p , que se expresa de la siguiente forma:

$$W = -\Delta E_p = -(E_{final} - E_{inicial}) = -(E_{pf} - E_{pi}) \tag{31}$$

Donde:
W = Trabajo (J)
E_{pi} = Energía potencial inicial (J)
E_{pf} = Energía potencial final (J)

Ejemplo: Se deja caer un bloque de cemento de 3 kg desde la azotea de un edificio de 40 m de alto con respecto al suelo. ¿Cuál es el trabajo realizado por la gravedad sobre el bloque al llegar al suelo?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema y la constante de gravedad, luego proceda a sustituir los datos en la fórmula 31, de la siguiente manera:

$\mathrm{W} = -\Delta \mathrm{E_p} = -(\mathrm{E_{final}} - \mathrm{E_{inicial}}) = -\,(40000\mathrm{kg})\,(9,8\mathrm{m/s^2})\,(0\mathrm{m}) - (3\mathrm{kg})\,(9,8\mathrm{m/s^2})\,(40\mathrm{m})$

$\mathrm{W} = -\,(3\mathrm{kg})\,(9,8\mathrm{m/s^2})\,[(0\mathrm{m}) - (40\mathrm{m})] = 1176\mathrm{J} = 1,18 \times 10^3\mathrm{J}$

Por lo tanto, el trabajo efectuado por el motor es de $1,18 \times 10^3\mathrm{J}$.

Ejemplo integrando la variación de la energía cinética y la energía potencial: suponga que un mango de 0,50 kg se desprende de la rama de un árbol y cae desde los 15 m hasta el suelo. ¿Cuál es la velocidad del mango justo antes de chocar con el suelo?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a igualar las fórmulas 30 y 31, luego proceda a sustituir los datos requeridos junto a la constante de la gravedad, de la siguiente manera:

$\Delta \mathrm{E_c} + \Delta \mathrm{E_p} = 0 \Rightarrow \Delta \mathrm{E_c} = -\Delta \mathrm{E_p} \Rightarrow \mathrm{E_{cf}} - \mathrm{E_{ci}} = -(\mathrm{E_{pf}} - \mathrm{E_{pi}}) \Rightarrow \mathrm{E_{cf}} - 0\mathrm{J} = -(0\mathrm{J} - \mathrm{E_{pi}})$

$\Rightarrow \mathrm{E_{cf}} = -(-\mathrm{E_{pi}}) \Rightarrow \mathrm{E_{cf}} = \mathrm{E_{pi}} \Rightarrow \frac{1}{2}\mathrm{mv^2} = \mathrm{m}g\mathrm{h} \Rightarrow \mathrm{v} = \sqrt{\frac{2\mathrm{mgh}}{\mathrm{m}}} \Rightarrow \mathrm{v} = \sqrt{2\mathrm{gh}}$

$\Rightarrow \mathrm{v} = \sqrt{2(9,8\mathrm{m/s^2})(15\mathrm{m})} = 17,15\mathrm{m/s}$

Por lo tanto, la velocidad del mango justo antes de chocar con el suelo es de $17,15\mathrm{m/s}$.

11. Hidrostática

La hidrostática es el estudio de los fluidos (líquidos y gases) en reposo. Debemos entender por fluido aquella materia donde sus partículas están unidas débilmente de manera que adquieren la forma del recipiente que los contiene, por ejemplo: aire, agua, sangre, aceite, alcohol, oxígeno, nitrógeno. Algunas propiedades de los fluidos es la viscosidad, densidad, volumen, presión, tensión superficial, capilaridad, y se invita al lector a investigar dichas propiedades. Para comprender este tema es necesario repasar algunas características de los sólidos, líquidos y gases.

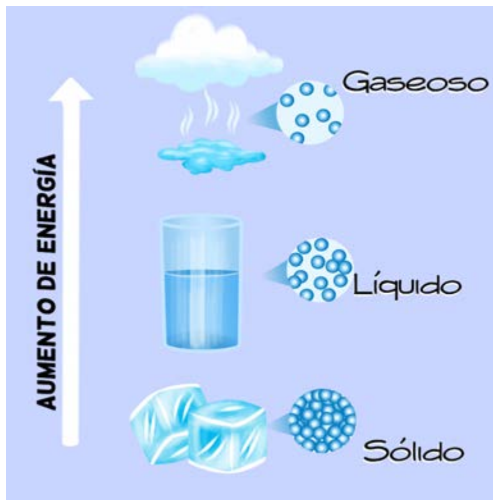

Figura 17: Estados de la materia.

- Sólidos: Poseen una alta cohesión molecular, tienen volumen y forma definida, son dúctiles y maleables, no fluyen en condiciones normales de presión y temperatura.
- Líquidos: Poseen una débil cohesión molecular que les permite fluir, tienen volumen definido, no poseen foma definida ya que adoptan la forma del recipiente que los contiene, no se pueden comprimir.
- Gases: Poseen una muy débil cohesión molecular, no tienen forma ni volumen definido, pueden comprimirse con facilidad, tienen una gran fluidez, pueden ser solubles en agua u otros líquidos, pueden dilatarse al aumentar la temperatura y contraerse al enfriarse.

11.1 Densidad

La densidad es la cantidad de masa entre el volumen de una sustancia determinada. La unidad derivada en el S.I es el $\mathrm{kg/m^3}$. Recuerde que en este tema vamos a usar la densidad del agua pura ($\rho_{\text{agua}} = 1000\mathrm{kg/m^3}$) y el agua salada ($\rho_{\text{agua}} = 1030\mathrm{kg/m^3}$) y en cualquier otro caso se proporcionará la densidad del líquido con el que se esté trabajando. Note que la densidad es directamente proporcional a la masa e inversamente proporcional al volumen, es decir, a medida que el volumen aumenta la densidad disminuye. La fórmula es la siguiente:

$$\rho = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{V}} \tag{32}$$

Donde:
ρ = Densidad ($\mathrm{kg/m^3}$)
m = Masa (kg)
V = Volumen ($\mathrm{m^3}$)

Si deseamos despejar el volumen en función de la densidad y la masa, entonces obtenemos: $\mathrm{V} = \frac{\mathrm{m}}{\rho}$

Si deseamos despejar la masa en función de la densidad y el volumen, entonces obtenemos: $\mathrm{m} = \rho\mathrm{V}$

Ejemplo 1: ¿Cuál es la densidad del hierro para una varilla de 0,0393 kg y cuyo volumen es de $5,00 \times 10^{-6}\mathrm{m^3}$?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 32, de la siguiente manera:

$\rho = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{V}} = \frac{0{,}0393\mathrm{kg}}{5{,}00\times10^{-6}\mathrm{m^3}} = 7860\mathrm{kg/m^3} = 7,86 \times 10^3\mathrm{kg/m^3}$

Por lo tanto, la densidad del hierro es de $7,86 \times 10^3\mathrm{kg/m^3}$.

Ejemplo 2: En cierto lugar se tiene un lingote de oro de 12,4 kg. Si la densidad del oro es de 19300 $\mathrm{kg/m^3}$, entonces, ¿cuál es el volumen del lingote de oro?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{V} = \frac{\mathrm{m}}{\rho} = \frac{12{,}4\mathrm{kg}}{19300\mathrm{kg/m^3}} = 6,42 \times 10^{-4}\mathrm{m^3}$

Por lo tanto, el volumen del lingote de oro es de $6,42 \times 10^{-4}\mathrm{m^3}$.

Ejemplo 3: El mercurio es un metal líquido a temperatura ambiente y se usa en la fabricación de termómetros, este metal posee una densidad de 13600 $\mathrm{kg/m^3}$. Si se tiene un volumen de $7,35 \times 10^{-6}\mathrm{m^3}$ de mercurio, entonces, ¿cuál es la masa que se tiene de ese metal?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$m = \rho V = (13600 kg/m^3)(7,35 \times 10^{-6} m^3) = 1,00 \times 10^{-1} kg$

Por lo tanto, la masa que se tiene de mercurio es de $1,00 \times 10^{-1}$kg.

11.2 Presión

La presión es la fuerza aplicada por unidad de área. Note que la presión es directamente proprocional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional al área dada, es decir, a medida que el área aumenta la presión disminuye. La unidad derivada de la presión en el S.I es el Pascal ($Pa = N/m^2$). La fórmula es la siguiente:

$$p = \frac{F_{\perp}}{A} \tag{33}$$

Donde:
p = Presión (N/m^2)
$F_{\perp}$ = Fuerza aplicada perpendicular (N)
A = Área (m^2)

Si deseamos despejar el área en función de la presión y la fuerza, entonces obtenemos: $A = \frac{F_{\perp}}{p}$

Si deseamos despejar la fuerza en función de la presión y el área, entonces obtenemos: F = pA

Ejemplo 1: ¿Cuál es la presión que ejerce sobre el suelo una persona de 80 kg cuya área de apoyo de ambos zapatos es de 0,0416 m^3?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, recuerde que el peso es una fuerza, por lo que debe usar la constante de la gravedad en la superficie terrestre para calcular el peso, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 33, de la siguiente manera:

$p = \frac{F_{\perp}}{A} = \frac{(80kg)(9,8m/s^2)}{0,0416m^3} = 18846,15 N/m^2 = 1,88 \times 10^4 Pa$

Por lo tanto, la presión que ejerce la persona sobre el suelo es de $1,88 \times 10^4$Pa.

Ejemplo 2: Una persona ejerce una presión de 8333 N/m^2 sobre un área de 0,084 m^2. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza aplicada por la persona?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$F = pA = (8333 N/m^2)(0,084 m^2) = 699,97 N.$

Por lo tanto, la fuerza que ejerce la persona sobre el área es de 699, 97N

Ejemplo 3: Una bailarina de ballet se apoya sobre la punta de su pie. Si la bailarina posee una masa de 55 kg y ejerce una presión de 23744 $\mathrm{N/m^2}$ sobre la punta de su pie, entonces, ¿cuál es el área sobre la que se apoya la bailarina?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{A} = \frac{\mathrm{F}_\perp}{p} = \frac{(55\mathrm{kg})(9{,}8\mathrm{m/s^2})}{23744\mathrm{N/m^2}} = 0,0227\mathrm{m^2}$.

Por lo tanto, el área sobre la que se apoya la bailarina es de $0,0227\mathrm{m^2}$.

11.3 Presión en el interior de un líquido

Es la presión determinada por el peso que ejerce la columna de un líquido de área A y altura h, es decir, depende de la densidad del fluido (ρ), la profundidad del fluido (h) y la aceleración de la gravedad (g). Note que la presión de un fluido estático a una profundidad determinada no depende de la masa total o el volumen total del fluido. La fórmula es la siguiente:

$$\mathrm{p} = \rho g\mathrm{h} \tag{34}$$

Donde:
p = Presión ($\mathrm{Pa} = \mathrm{N/m^2}$)
ρ = Densidad ($\mathrm{kg/m^3}$)
h = Profundidad del fluido (m)
g = Aceleración de la gravedad ($9,8\mathrm{m/s^2}$)

Si deseamos despejar la profundidad del fluido en función de la presión, densidad y aceleración de la gravedad, entonces obtenemos: $\mathrm{h} = \frac{\mathrm{p}}{\rho g}$

Si deseamos despejar la densidad del fluido en función de la presión, profundidad y aceleración de la gravedad, entonces obtenemos: $\rho = \frac{\mathrm{p}}{hg}$

Ejemplo 1: ¿Cuál es la presión en el fondo de un recipiente que contiene una columna de agua de 0,40 m de profundidad?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, debe usar la constante de la gravedad y la densidad del agua pura, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 34, de la siguiente manera:

$\mathrm{p} = \rho g\mathrm{h} = (1000\mathrm{kg/m^3})(9,8\mathrm{m/s^2})(0,40\mathrm{m}) = 3920\mathrm{N/m^2} = 3,92 \times 10^3\mathrm{Pa}$

Por lo tanto, la presión que ejerce la columna de agua en el fondo del recipiente es de $3,92 \times 10^3\mathrm{Pa}$.

Ejemplo 2: Una moneda se encuentra en el fondo de un recipiente lleno de etanol cuya densidad es 789 $\mathrm{kg/m^3}$ y experimenta una presión de 9278,64 Pa. ¿Cuál es la profundidad a la que se encuentra la moneda?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, debe usar la constante de la gravedad y la densidad del etanol, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{h} = \frac{\mathrm{p}}{\rho g} = \frac{9278{,}64\mathrm{Pa}}{(789\mathrm{kg/m^3})(9{,}8\mathrm{m/s^2})} = 1,20\mathrm{m}$

Por lo tanto, la profundidad a la que se encuentra la moneda es de $1,20$m.

Ejemplo 3: Se tiene un barril de petróleo y se introduce una tuerca que se hunde hasta el fondo del recipiente. Si la tuerca experimenta una presión de 10180 $\mathrm{kg/m^3}$ a 1,06 m de profundidad, entonces, ¿cuál es la densidad del petróleo?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, debe usar la constante de la gravedad, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\rho = \frac{\mathrm{p}}{hg} = \frac{10180\mathrm{kg/m^3}}{(1{,}06\mathrm{m})(9{,}8\mathrm{m/s^2})} = 979,98\mathrm{kg/m^3}$

Por lo tanto, la densidad del petróleo es de $979,98\mathrm{kg/m^3}$.

11.4 Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de área que ejerce una columna de gases de la atmósfera sobre la superficie terrestre. La presión atmósferica al nivel de mar es de una atmósfera ($1\mathrm{atm} = 101325\mathrm{Pa} = 1,01 \times 10^5\mathrm{Pa} = 76\mathrm{cmHg}$). Además, esta presión atmosférica varía con la altitud, es decir, a mayor altura menor es la presión atmosférica, en los océanos la presión aumenta 1 atm por cada 10 m de profundidad.

11.5 Principio de Pascal

El Principio de Pascal establece que la presión ejercida en cualquier lugar de un fluido encerrado e incompresible se transmite por igual en todas las direcciones en todo el fluido, es decir, la presión en todo el fluido es constante. La fórmula es la siguiente:

$$\frac{\mathrm{F_2}}{\mathrm{F_1}} = \frac{\mathrm{A_2}}{\mathrm{A_1}} \tag{35}$$

Donde:
$\mathrm{F_1}$ = Fuerza aplicada 1 (N)
$\mathrm{F_2}$ = Fuerza aplicada 2 (N)
$\mathrm{A_1}$ = Área 1 ($\mathrm{m^2}$)
$\mathrm{A_2}$ = Área 2 ($\mathrm{m^2}$)

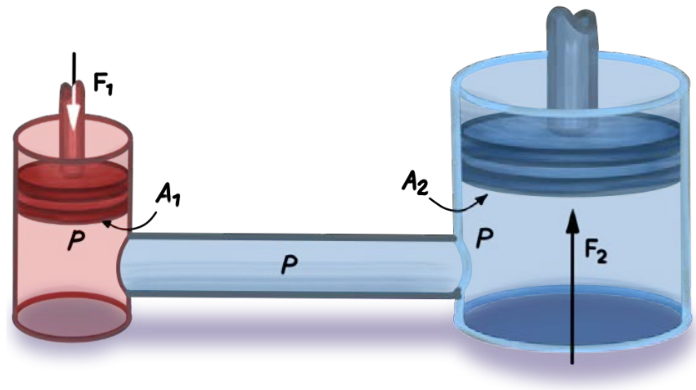

Figura 18: Prensa hidráulica que ilustra el Principio de Pascal.

Si deseamos despejar la Fuerza 2 en función de las áreas y fuerza 1, entonces obtenemos: $\mathrm{F_2} = \frac{\mathrm{F_1 A_2}}{\mathrm{A_1}}$

Si deseamos despejar la Fuerza 1 en función de las áreas y fuerza 2, entonces obtenemos: $\mathrm{F_1} = \frac{\mathrm{A_1 F_2}}{\mathrm{A_2}}$

Si deseamos despejar la área 1 en función de las fuerzas y el área 2, entonces obtenemos: $\mathrm{A_1} = \frac{\mathrm{A_2 F_1}}{\mathrm{F_2}}$

Si deseamos despejar la área 2 en función de las fuerzas y el área 1, entonces obtenemos: $\mathrm{A_2} = \frac{\mathrm{A_1 F_2}}{\mathrm{F_1}}$

Ejemplo 1: Se aplica una fuerza $\mathrm{F_1} = 900\mathrm{N}$ que actúa sobre un émbolo circular de una prensa hidráulica cuya área es de $0,126\mathrm{m}^2$. Si se desea levantar una carga cuyo peso es de 300 N, entonces, ¿cuál será el área del émbolo $\mathrm{A_2}$?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{A_2} = \frac{\mathrm{A_1 F_2}}{\mathrm{F_1}} = \frac{(900\mathrm{N})(0{,}126\mathrm{m}^2)}{300\mathrm{N}} = 0,378\mathrm{m}^2$$

Por lo tanto, el área del émbolo 2 es de $0,378\mathrm{m}^2$.

Ejemplo 2: Sobre un émbolo circular de área 0,450 m^2 se aplica una fuerza $\mathrm{F_1} = 1800\mathrm{N}$ para levantar un motor. Si el área del segundo émbolo es de 1,25 m^2, entonces, ¿cuál es la fuerza $\mathrm{F_2}$ que levanta el motor?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{F_2} = \frac{\mathrm{F_1 A_2}}{\mathrm{A_1}} = \frac{(1800\mathrm{N})(1{,}25\mathrm{m}^2)}{0{,}450\mathrm{m}^2} = 5000\mathrm{N}$$

Por lo tanto, la fuerza $\mathrm{F_2}$ es de 5000N.

Ejemplo 3: Para elevar un cuerpo de 2000 kg utilizando una elevadora hidráulica que tiene un émbolo grande circular cuya área es de 2,84 m^2 y un émbolo pequeño con área de 0,0707 m^2. ¿Cuál es la fuerza que se debe ejercer en el émbolo pequeño para elevar el cuerpo?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$F_1 = \frac{A_1F_2}{A_2} = \frac{(0{,}0707m^2)(2000kg)(9{,}8m/s^2)}{2{,}84m^2} = 487,93N$

Por lo tanto, la fuerza que se ejerce en el émbolo pequeño (F_1) es de $487,93N$.

Ejemplo 4: Se aplica una fuerza $F_1 = 3000N$ que actúa sobre un émbolo pequeño circular de una prensa hidráulica de área desconocida. Si se desea levantar una carga cuyo peso es de 8000 N en el émbolo grande de área igual a $0,90m^2$, entonces, ¿cuál será el área del émbolo pequeño A_1?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$A_1 = \frac{A_2F_1}{F_2} = \frac{(0{,}90m^2)(3000N)}{8000N} = 0,3375m^2$

Por lo tanto, el área del émbolo 1 es de $0,3375m^2$.

11.6 Principio de Arquímedes: Fuerza de empuje

El Principio de Arquímedes establece que todo cuerpo que es sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta una fuerza ascendente (F_E) igual al peso (W) del fluido desalojado por el cuerpo. Considere los siguientes casos:

- $W > F_E$: Si el peso del cuerpo sumergido es mayor que la fuerza de empuje, el cuerpo se hundirá.
- $W < F_E$: Si el peso del cuerpo sumergido es menor que la fuerza de empuje que recibe, el objeto flotará en la superficie del líquido.
- $W = F_E$: Si la fuerza de empuje y el peso del cuerpo son iguales, entonces el cuerpo permanece flotando en equilibrio (con una parte dentro del fluido y otra parte fuera de él) o se mantendrá en equilibrio en la posición en el cual se encuentre sumergido.

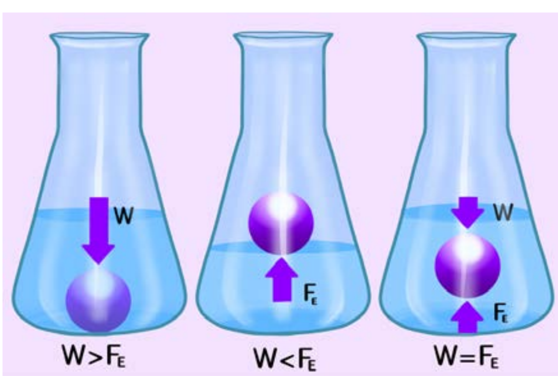

Figura 19: Ilustraciones del Principio de Arquímedes.

La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$\mathrm{F_E} = \mathrm{m}g = \rho g V \tag{36}$$

Donde:
$\mathrm{F_E}$ = Fuerza de empuje (N)
m = Masa del líquido desplazado (kg)
ρ = Densidad del líquido(kg/m^3)
g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)
V = Volumen que desplaza el cuerpo (m^3)

Si deseamos despejar el volumen en función de la fuerza de empuje, la densidad del líquido y la constante de la gravedad, entonces obtenemos: $\mathrm{V} = \frac{\mathrm{F_E}}{\rho \mathrm{g}}$

Si deseamos despejar la densidad del líquido en función de la fuerza de empuje, el volumen y la constante de la gravedad, entonces obtenemos: $\rho = \frac{\mathrm{F_E}}{\mathrm{Vg}}$

Si deseamos despejar la masa del líquido en función de la fuerza de empuje y la constante de la gravedad, entonces obtenemos:
$\mathrm{m} = \frac{\mathrm{F_E}}{\mathrm{g}}$

Ejemplo 1: Una roca es sumergida completamente en agua pura y desplaza un volumen de agua de $5,12 \times 10^{-4}\mathrm{m}^3$. ¿Cuál es la fuerza de empuje que experimenta la roca?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, además use las constantes de densidad del agua y de la gravedad, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{F_E} = \rho g V = (1000\mathrm{kg/m^3})(9,8\mathrm{m/s^2})(5,12 \times 10^{-4}\mathrm{m^3}) = 5,02\mathrm{N}$

Por lo tanto, la fuerza de empuje que experimenta la roca es de $5,02\mathrm{N}$.

Ejemplo 2: ¿Cuál es el volumen desalojado por un cuerpo sumergido parcialmente en agua pura y experimenta una fuerza de empuje de 2940 N?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, además use las constantes de densidad del agua y de la gravedad, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{V} = \frac{\mathrm{F_E}}{\rho \mathrm{g}} = \frac{2940\mathrm{N}}{(1000\mathrm{kg/m^3})(9{,}8\mathrm{m/s^2})} = 0,30\mathrm{m}^3$

Por lo tanto, el volumen desalojado es de $0,30\mathrm{m}^3$.

Ejemplo 3: Un cuerpo de volumen igual a 0,0010 m^3 es sumergido totalmente en un recipiente lleno de gasolina y experimenta una fuerza de empuje igual a 7,056 N. ¿Cuál es la densidad de la gasolina?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, además use la constante de la gravedad, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\rho = \frac{F_E}{Vg} = \frac{7{,}056N}{(0{,}0010m^3)(9{,}8m/s^2)} = 720kg/m^3$

Por lo tanto, la densidad de la gasolina es de $720kg/m^3$

Ejemplo 4: ¿Cuál es la masa del cuerpo que experimenta una fuerza de empuje de 200 N?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, además use la constante de la gravedad, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$m = \frac{F_E}{g} = \frac{200N}{9{,}8m/s^2} = 20,41kg$

Por lo tanto, la masa del cuerpo es de $20,41$kg.

12. Ley de Boyle

12.1 Definición

La Ley de Boyle enuncia que el volumen que ocupa un gas es inversamente proporcional a su presión siempre que la temperatura sea constante. Por lo tanto, cuando hay un incremento en la presión, el volumen disminuye, en caso contrario si la presión baja, el volumen aumenta. Es decir, al multiplicar la presión por el volumen se obtiene una constante $p_1V_1 = k$.

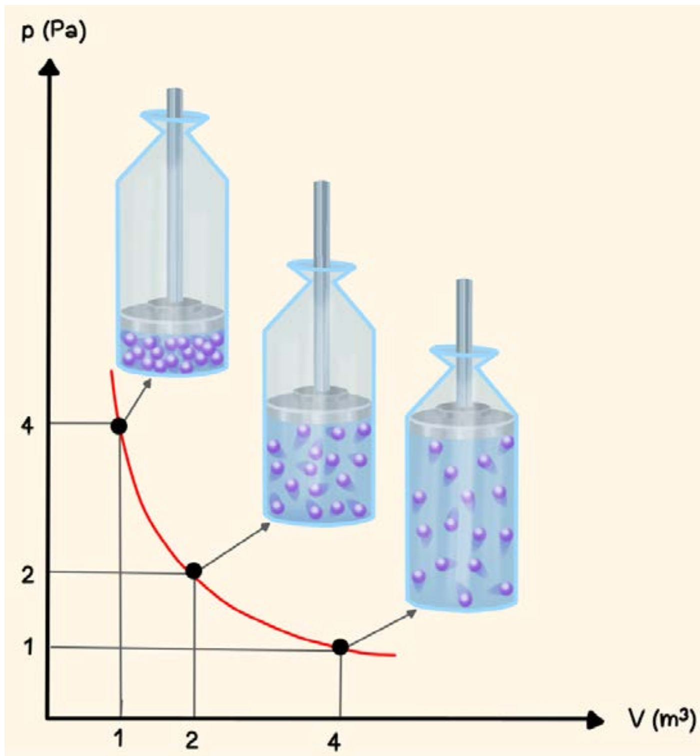

Figura 20: Ley de Boyle (Presión - volumen)

12.2 Fórmula y despeje

Ahora, si realizamos un experimento donde se tiene un volumen inicial de gas (V_1) que está a una presión inicial (p_1), y luego modificamos el volumen de gas hasta un nuevo volumen final (V_2), por lo tanto la presión final variará (p_2), cumpliendo que:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \tag{37}$$

Donde:
p_1 = Presión inicial (Pa)
V_1 = Volumen inicial (m^3)
p_2 = Presión final (Pa)
V_2 = Volumen final (m^3)

Si deseamos despejar la presión inicial en función de la presión final, el volumen inicial y el volumen final, entonces obtenemos: $p_1 = \frac{p_2V_2}{V_1}$

Si deseamos despejar la volumen inicial en función de la presión final, la presión inicial y el volumen final, entonces obtenemos: $V_1 = \frac{p_2V_2}{p_1}$

Si deseamos despejar la presión final en función de la presión inicial, el volumen inicial y el volumen final, entonces obtenemos: $p_2 = \frac{p_1V_1}{V_2}$

Si deseamos despejar la volumen final en función de la presión inicial, el volumen inicial y la presión final, entonces obtenemos: $V_2 = \frac{p_1V_1}{p_2}$

Ejemplo 1: ¿Cuál es la presión necesaria para comprimir 2 m^3 de oxígeno, a temperatura constante y a una presión de 20 Pa, hasta un volumen de 0,50 m^3?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 37 y despeje p_2, de la siguiente manera:

$$p_2 = \frac{p_1V_1}{V_2} = \frac{(20\text{Pa})(2\text{m}^3)}{0{,}50\text{m}^3} = 120\text{Pa}$$

Por lo tanto, la presión final necesaria es de 120Pa.

Ejemplo 2: Considere una cantidad de gas que ocupa un volumen de 30 m^3 a una presión de 1500 Pa. ¿Qué volumen ocupará a una presión de 5000 Pa si la temperatura es constante?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 37 y despeje V_2, de la siguiente manera:

$$V_2 = \frac{p_1V_1}{p_2} = \frac{(1500\text{Pa})(30\text{m}^3)}{5000\text{Pa}} = 9\text{m}^3$$

Por lo tanto, el volumen final es de 9m^3.

Ejemplo 3: ¿Cuál es el volumen inicial que ocupa un gas sometido a una presión de 600 Pa a temperatura y masa constante, si se modifica la presión a 1900 Pa y ocupa un volumen final de 2 m^3?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 37 y despeje V_1, de la siguiente manera:

$$V_1 = \frac{p_2V_2}{p_1} = \frac{(1900\text{Pa})(2\text{m}^3)}{600\text{Pa}} = 6,33\text{m}^3$$

Por lo tanto, el volumen inicial es de $6,33\text{m}^3$.

Ejemplo 4: Un gas confinado en un recipiente hermético ocupa un volumen inicial de 8 m^3 a una presión p_1, si la temperatura es constante y se logra aplicar una presión de 150 Pa el volumen se modifica a 3 m^3. ¿Cuál es el valor de la presión p_1?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 37 y despeje p_1, de la siguiente manera:

$$p_1 = \frac{p_2 V_2}{v_1} = \frac{(150\mathrm{Pa})(3\mathrm{m}^3)}{8\mathrm{m}^3} = 56,25\mathrm{Pa}$$

Por lo tanto, la presión inicial es de $56,25$Pa.

13. Ley de Coulomb

La electrostática estudia los efectos que se producen en los cuerpos con cargas eléctricas que están en reposo o equilibrio. La carga eléctrica es una propiedad de las partículas subatómicas que producen fuerzas de atracción o de repulsión entre las partículas que están en interacción. Si se tiene dos cargas positivas, estas se repelen entre sí, lo mismo sucede con dos cargas negativas, mientras que si hay una carga positiva y otra negativa se atraen entre sí. Recuerde que los electrones tienen carga negativa ($e^- = -1,60 \times 10^{-19}$C) mientras los protones tienen carga positiva ($p^+ = 1,60 \times 10^{-19}$C).

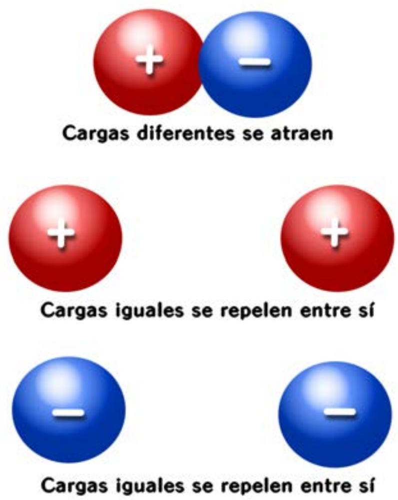

Figura 21: Ley de Coulomb (Cargas eléctricas)

13.1 Definición

La Ley de Coulomb establece que la fuerza eléctrica es directamente proporcional al producto de las cargas puntuales en reposo e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa dichas cargas.

13.2 Fórmula y despeje

$$\mathrm{F} = \frac{\mathrm{KQq}}{\mathrm{r}^2} \tag{38}$$

Donde:
F = Fuerza eléctrica (N)
K = Constante de Coulomb ($9,0 \times 10^9 \mathrm{Nm}^2/\mathrm{C}^2$)
Q = Carga 1 (C)
q = Carga 2 (C)
r = Distancia de separación (m)

Si deseamos despejar la carga Q en función de la fuerza eléctrica, carga q, constante K y la distancia de separación, entonces obtenemos: $\mathrm{Q} = \frac{\mathrm{Fr}^2}{\mathrm{Kq}}$

Si deseamos despejar la carga q en función de la fuerza eléctrica, carga Q, constante K y la distancia de separación, entonces obtenemos: $q = \frac{Fr^2}{KQ}$

Si deseamos despejar la distancia de separación r en función de la fuerza eléctrica, carga q, carga Q y la constante K, entonces obtenemos: $r = \sqrt{\frac{KQq}{F}}$

Ejemplo 1: ¿Cuál es la fuerza eléctrica entre las cargas $Q = 6,00 \times 10^{-6}$C y q = $-7,00 \times 10^{-5}$C que se encuentran separadas una distancia de $1,20 \times 10^{-4}$m?

Respuesta: Primero identifique los datos y la constante que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 38, de la siguiente manera:

$$F = \frac{KQq}{r^2} = \frac{(9,0 \times 10^9 Nm^2/C^2)(6,00 \times 10^{-6}C)(-7,00 \times 10^{-5}C)}{(1,20 \times 10^{-4}m)^2} = -2,63 \times 10^8 N$$

Por lo tanto, la fuerza eléctrica es de $2,63 \times 10^8$N y es de atracción.

Ejemplo 2: Calcule la fuerza eléctrica entre dos electrones que se encuentran separados una distancia de $5,50 \times 10^{-5}$m.

Respuesta: Primero identifique los datos y la constante que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 38, de la siguiente manera:

$$F = \frac{(9 \times 10^9 Nm^2/C^2)(-1,6,00 \times 10^{-19}C)(-1,60 \times 10^{-19}C)}{(5,50 \times 10^{-5}m)^2} = \frac{(9 \times 10^9 Nm^2/C^2)(1,60 \times 10^{-19}C)^2}{(5,50 \times 10^{-5}m)^2} = 9,22 \times 10^{-20} N$$

Por lo tanto, la fuerza eléctrica es de $9,22 \times 10^{-20}$N y es de repulsión.

Ejemplo 3: ¿Cuál es la separación entre dos partículas idénticas de $8,00 \times 10^{-7}$C que experimentan una fuerza de repulsión de $2,60 \times 10^2$N ?

Respuesta: Primero identifique los datos y la constante que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$r = \sqrt{\frac{KQq}{F}} = \sqrt{\frac{(9 \times 10^9 Nm^2/C^2)(8,00 \times 10^{-7}C)^2}{2,60 \times 10^2 N}} = 4,71 \times 10^{-3} m$$

Por lo tanto, la distancia de separación entre las partículas es de $4,71 \times 10^{-3}$m.

Ejemplo 4: Las cargas Q y $q = 1,80 \times 10^{-9}$C se encuentran separadas una distancia de $3,00 \times 10^{-6}$m y experimentan una fuerza de repulsión de $4,50 \times 10^5$N. ¿Cuál es la magnitud de la carga Q?

Respuesta: Primero identifique los datos y la constante que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$Q = \frac{Fr^2}{Kq} = \frac{(4,50 \times 10^5 N)(3,00 \times 10^{-6}m)^2}{(9 \times 10^9 Nm^2/C^2)(1,80 \times 10^{-9}C)} = 2,50 \times 10^{-7} C$$

Por lo tanto, la magnitud de la carga Q es de $2,50 \times 10^{-7}$C.

Ejemplo 5: La fuerza de atracción entre dos partículas es de $2,40 \times 10^{10}$N y se encuentran separadas una distancia de $1,30 \times 10^{-5}$m. Si la carga Q es igual a $8,00 \times 10^{-8}$C, entonces, ¿cuál es el valor de la carga q?

Respuesta: Primero identifique los datos y la constante que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$q = \frac{Fr^2}{KQ} = \frac{(2,40\times10^{10}N)(1,30\times10^{-5}m)^2}{(9\times10^{9}Nm^2/C^2)(8,00\times10^{-8}C)} = 5,63 \times 10^{-3}C$$

Por lo tanto, el valor de la carga q es de $-5,63 \times 10^{-3}$C, como la fuerza es de atracción el valor de la carga q es negativa.

13.3 Materiales conductores

Son aquellos materiales que ofrecen una leve resistencia al paso de las cargas eléctricas, es decir, los electrones circulan libremente a través del material por lo tanto conducen la electricidad con facilidad a temperatura ambiente. Los materiales que mejor conducen la electricidad son los metales. Por ejemplo: el oro, cobre, hierro, aluminio.

13.4 Materiales aislantes

Son los materiales que no permiten el paso de la carga eléctrica, es decir, impide que los electrones fluyan libremente. Por ejemplo: cerámica, vidrio, plásticos, papel, madera, entre otros.

13.5 Materiales semiconductores

Son aquellos materiales que puede actuar como un conductor o aislante de la corriente eléctrica, dependiendo de ciertas condiciones como temperatura, presión, radiación y campos magnéticos. Por ejemplo: silicio, germanio, arseniuro de galio, azufre, oxígeno, cadmio, selenio. Estos materiales con muy utilizados en la industria para la fabricación de transistores, circuitos integrados, diodos eléctricos, sensores ópticos, láseres, amplificador de guitarra eléctrica, etc.

13.6 Materiales superconductores

Son aquellos materiales que bajo ciertas condiciones, permiten el paso de la carga eléctrica sin resistencia alguna o pérdida de energía, es decir, cuando el material se enfría por debajo de la temperatura crítica desaparece su resistencia eléctrica.

14. Campo eléctrico

La fórmula establece que el campo eléctrico es igual al producto de la constante de Coulomb y la carga puntual entre la distancia de separación al cuadrado. Las unidades del campo eléctrico en el S.I es el Newton sobre Coulomb (N/C). Algunas características que debemos considerar para el campo eléctrico son:

- Es invisible.
- Es tridimensional, es decir, rodea toda la carga.
- Es una cantidad vectorial.
- Tiene origen en las cargas eléctricas.
- El campo producido por una carga puntual positiva apunta en una dirección que se aleja de la carga, es decir, es radialmente hacia afuera.
- El campo producido por una carga puntual negativa apunta hacia la carga, es decir, es radialmente hacia el interior de una carga puntual negativa.
- La intensidad del campo disminuye a medida que la distancia aumenta, es decir E es inversamente proporcional a r^2.

14.1 Definición

El campo eléctrico es directamente proporcional a la fuerza eléctrica e inversamente proporcional a la carga eléctrica. La dirección del campo corresponde a la dirección de la fuerza que ejerce sobre una carga eléctrica positiva de prueba.

14.2 Fórmula y despeje

$$\mathrm{E} = \frac{\mathrm{Kq}}{\mathrm{r}^2} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{q}} \tag{39}$$

Donde:
E = Campo eléctrico (N/C)
F = Fuerza eléctrica (N)
K = Constante de Coulomb ($9,0 \times 10^9 \mathrm{Nm}^2/\mathrm{C}^2$)
q = Carga eléctrica (C)
r = Distancia de separación (m)

Para el caso de una carga puntual tenemos:

Si deseamos despejar la carga eléctrica q en función de la magnitud del campo eléctrico, constante K y la distancia de separación, entonces obtenemos: $\mathrm{q} = \frac{\mathrm{Er}^2}{\mathrm{K}}$

Si deseamos despejar la distancia r en función de la magnitud del campo eléctrico, carga eléctrica q y la constante K, entonces obtenemos: $\mathrm{r} = \sqrt{\frac{\mathrm{Kq}}{\mathrm{E}}}$

Ahora, para la fórmula $\mathrm{E} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{q}}$ los despejes son:

Si deseamos despejar la carga eléctrica q en función de la magnitud del campo eléctrico y de la magnitud de la fuerza eléctrica, entonces obtenemos: $\mathrm{q} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{E}}$

Si deseamos despejar la magnitud de la fuerza en función de la magnitud del campo eléctrico y la carga eléctrica, entonces obtenemos: $\mathrm{F} = \mathrm{Eq}$

Ejemplo 1: ¿Cuál es la intensidad del campo eléctrico que produce una carga eléctrica de $5,00 \times 10^{-9}\mathrm{C}$ a una distancia de 0,30 m de la carga?

Respuesta: Primero identifique los datos y la constante K que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 39, de la siguiente manera:

$$\mathrm{E} = \frac{\mathrm{Kq}}{\mathrm{r}^2} = \frac{(9{,}0\times10^9\mathrm{Nm}^2/\mathrm{C}^2)(5{,}00\times10^{-9}\mathrm{C})}{(0{,}30\mathrm{m})^2} = 5,00 \times 10^2\mathrm{N/C}$$

Por lo tanto, la magnitud del campo eléctrico es de $5,00 \times 10^2\mathrm{N/C}$.

Ejemplo 2: ¿Cuál es la distancia a la que una carga eléctrica de $8,00 \times 10^{-8}\mathrm{C}$ genera un campo eléctrico igual a $6,00 \times 10^4\mathrm{N/C}$?

Respuesta: Primero identifique los datos y la constante K que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{r} = \sqrt{\frac{\mathrm{Kq}}{\mathrm{E}}} = \sqrt{\frac{(9{,}0\times10^9\mathrm{Nm}^2/\mathrm{C}^2)(8{,}00\times10^{-8}\mathrm{C})}{6{,}00\times10^4\mathrm{N/C}}} = 1,10 \times 10^{-1}\mathrm{m}$$

Por lo tanto, la distancia a la que se genera un campo eléctrico es de $1,10 \times 10^{-1}\mathrm{m}$.

Ejemplo 3: Una carga eléctrica de $6,00 \times 10^{-6}\mathrm{C}$ se introduce a una región donde actúa un campo de fuerza de $4,00 \times 10^{-2}\mathrm{N}$ ¿Cuál es la intensidad del campo eléctrico en esa región?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{E} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{q}} = \frac{4{,}00\times10^{-2}\mathrm{N}}{6{,}00\times10^{-6}\mathrm{C}} = 6,67 \times 10^3\mathrm{N/C}$$

Por lo tanto, la magnitud del campo eléctrico es de $6,67 \times 10^3\mathrm{N/C}$.

Eemplo 4: ¿Cuál es el valor de la carga eléctrica que está sometida a un campo eléctrico de $7,5 \times 10^5\mathrm{N/C}$ y sobre ella se aplica una fuerza de $8,60 \times 10^{-2}\mathrm{N}$?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$q = \frac{F}{E} = \frac{8{,}60 \times 10^{-2}N}{7{,}5 \times 10^{5}N/C} = 1,15 \times 10^{-7}C$

Por lo tanto, la carga eléctrica tiene un valor de $1,15 \times 10^{-7}$C.

Ejemplo 5: Si una carga eléctrica positiva de $1,50 \times 10^{-6}$C se coloca en un punto P donde existe un campo eléctrico de $7,00 \times 10^{4}$N/C dirigido hacia la derecha, entonces, ¿cuál será la magnitud de la fuerza eléctrica que actúa sobre la carga positiva?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$F = Eq = (7,00 \times 10^{4}N/C)(1,50 \times 10^{-6}C) = 1,05 \times 10^{-1}N$

Por lo tanto, la magnitud de la fuerza eléctrica es de $1,05 \times 10^{-1}$N.

14.3 Líneas de campo eléctrico

Las líneas de campo eléctrico (o líneas de fuerza eléctrica) son líneas imaginarias que permiten describir el cambio en la dirección del campo eléctrico al trasladarse de un lugar a otro en el espacio, es decir, describen las trayectorias que sigue la unidad de carga eléctrica positiva al ser liberada. Fue una idea presentada por el científico inglés Michael Faraday (1791-1867) para mostrar la noción de la intensidad y de la orientación del campo eléctrico. Algunas propiedades de estas líneas de campo son:

- El campo eléctrico es vector tangente a las líneas de fuerza en cualquier punto dado.
- En una carga eléctrica positiva las líneas de campo eléctrico siempre salen, mientras que en las cargas eléctricas negativas dichas líneas ingresan o se dirigen hacia la carga.
- Hay una proporcionalidad con el número de líneas que salen o entran en una carga.
- La intensidad de campo eléctrico en cualquier punto es proporcional a la densidad de líneas de campo en ese punto.
- Las líneas de campo electrico no se pueden cortar, porque esto provocaría la existencia de dos vectores campo eléctrico diferentes.
- Para un sistema de cargas, las líneas de fuerza a grandes distancias se encuentran espaciadas de la misma manera y son radiales, así el sistema se comporta como una carga puntual.

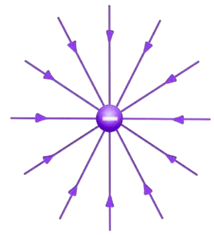

Figura 22: Carga puntual negativa.

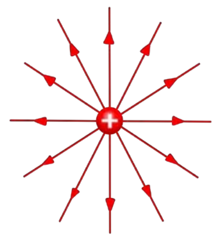

Figura 23: Carga puntual positiva.

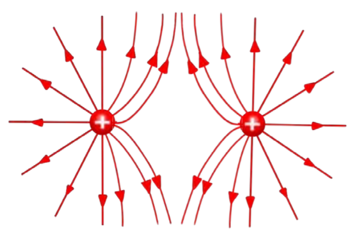

Figura 24: Líneas de campo de dos cargas positivas.

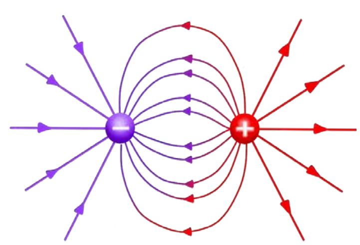

Figura 25: Líneas de campo de un dipolo eléctrico.

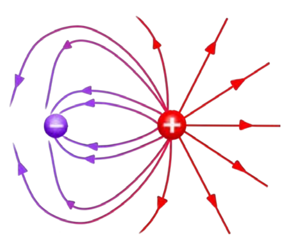

Figura 26: Líneas de campo de cargas diferentes con diferente intensidad.

14.4 Energía potencial eléctrica

La energía potencial eléctrica es la energía que tiene una carga eléctrica debido a su posición en relación con otras cargas eléctricas. La capacidad que tendrá para realizar trabajo la carga eléctrica. Esta energía se mide en el S.I en Joules (J). Este tema solo se ve en el programa de estudio de manera conceptual pero es importante que se familiarice con la fórmula respectiva para comprender el siguiente concepto de trabajo.

14.5 Fórmula y despeje

$$E_p = \frac{Kq_1q_2}{r} \tag{40}$$

Donde:
E_p = Energía potencial eléctrica (J)
K = Constante de Coulomb ($9,0 \times 10^9 Nm^2/C^2$)
q_1 = Carga puntual 1 (C)
q_2 = Carga puntual 2 (C)
r = Distancia de separación (m)

El trabajo (W_e) que realiza una fuerza eléctrica para desplazar una carga desde un punto A hasta otro B, es igual al incremento de la energía potencial eléctrica. Este tema solo se ve en el programa de estudio de manera conceptual pero es importante que se familiarice con la fórmula respectiva para comprender el siguiente concepto de potencial eléctrico.

$$W_e = -(E_{pB} - E_{pA}) = E_{pA} - E_{pB} \tag{41}$$

Donde:
W_e = Trabajo (J)
E_{pA} = Energía potencial eléctrica en el punto A (J)
E_{pB} = Energía potencial eléctrica en el punto B (J)

14.6 Potencial eléctrico

El potencial eléctrico es la energía potencial eléctrica por unidad de carga eléctrica. A continuación se muestra dos fórmulas para calcular el potencial eléctrico.

$$V = \frac{Kq}{r} = \frac{W}{q} \tag{42}$$

Donde:
V = Potencial eléctrico (V)
K = Constante de Coulomb ($9,0 \times 10^9 Nm^2/C^2$)
q = Carga puntual (C)
W_e = Trabajo (J)
r = Distancia de separación (m)

Note que el potencial eléctrico es: $V = \frac{E_p}{q} = \frac{\frac{Kq_1q_2}{r}}{q_2} = \frac{Kq_1}{r}$

Si deseamos despejar la carga puntual q en función del potencial eléctrico y el trabajo, entonces obtenemos:
$q = \frac{W}{V}$

Si deseamos despejar el trabajo en función del potencial eléctrico y la carga, entonces obtenemos:
$W = qV$

Ejemplo 1: ¿Cuál es el potencial eléctrico creado por una carga puntual de $-4,00 \times 10^{-4}$C en un punto situado a 0,40 m de ella en el vacío?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 42, de la siguiente manera:

$V = \frac{Kq_1}{r} = \frac{(9{,}0\times10^9 Nm^2/C^2)(-4{,}00\times10^{-4}C)}{0{,}40m} = -9,00 \times 10^6V$

Por lo tanto, el potencial eléctrico es de $-9,00 \times 10^6$V.

Ejemplo 2: ¿Cuál es el trabajo realizado sobre una carga puntual de $8,00 \times 10^{-5}$C a la que se le aplica un potencial eléctrico de $5,00 \times 10^4$V?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$W = qV = (8,00 \times 10^{-5}C)(5,00 \times 10^4V) = 4,00J$

Por lo tanto, el trabajo realizado es de 4,00J.

15. Corriente eléctrica

La corriente eléctrica es el flujo de partículas cargadas como los electrones que atraviesan un material conductor cada segundo. La unidad de la corriente eléctrica en el S.I es el ampere (A).

De acuerdo al movimiento del sentido de las cargas, se puede clasificar la corriente eléctrica en corriente directa y corriente alterna. La corriente eléctrica se manifiesta de diferentes formas en la naturaleza, por ejemplo, en los rayos, impulsos nerviosos y la anguila eléctrica. La fórmula está dada por:

$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{q}}{\mathrm{t}} \tag{43}$$

Donde:
I = Corriente eléctrica (A)
q = Carga eléctrica (C)
t = Tiempo (s)

Si deseamos despejar la carga eléctrica en función de la corriente eléctrica y el tiempo, entonces obtenemos: $\mathrm{q} = \mathrm{It}$

Si deseamos despejar el tiempo en función de la corriente eléctrica y la carga eléctrica, entonces obtenemos: $\mathrm{t} = \frac{\mathrm{q}}{\mathrm{I}}$

Ejemplos 1: ¿Cuál es la intensidad de corriente eléctrica que fluye por la sección transversal de un alambre conductor por el que pasan 100 C en 20 s?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 43, de la siguiente manera:

$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{q}}{\mathrm{t}} = \frac{100\mathrm{C}}{20\mathrm{s}} = 5(\mathrm{C/s}) = 5\mathrm{A}$

Por lo tanto, la corriente eléctrica tiene una intensidad de 5A.

Ejemplo 2: Si la intensidad de la corriente eléctrica que atraviesa a un conductor es de 40 A, entonces, ¿cuál es el valor de la carga eléctrica que pasa por su sección transversal en 5 s?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{q} = \mathrm{It} = (40\mathrm{A})(5\mathrm{s}) = 200\mathrm{C}$

Por lo tanto, la carga eléctrica tiene un valor de 200C.

Ejemplo 3: Si la corriente eléctrica de un conductor es de 60 A, entonces, ¿cuánto tiempo se necesita para que circulen 4000 C por el conductor?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{t} = \frac{\mathrm{q}}{\mathrm{I}} = \frac{7000\mathrm{C}}{100\mathrm{A}} = 70\mathrm{s}$

Por lo tanto, el tiempo necesario es de 70s.

15.1 Corriente directa o corriente continua

La corriente directa (CD) es aquella cuyos electrones fluyen siempre en el mismo sentido en un circuito eléctrico cerrado, moviéndose del polo negativo hacia el polo positivo de una fuente de fuerza electromotriz (fem).
Las baterías y dinamos producen corriente continua que son ampliamente usados en la actualidad; por ejemplo los celulares y calculadoras usan baterías para su funcionamiento.

15.2 Corriente alterna

La corriente alterna es el tipo de corriente eléctrica que se caracteriza porque la magnitud y la dirección presentan una variación de tipo cíclico, es decir, oscila en forma senoidal, haciendo una curva que va subiendo y bajando continuamente, esta forma de oscilación permite transmitir la energía de manera más eficiente.
Los generadores producen corriente alterna (CA) que fluye por el tendido eléctrico y llega a los hogares, cuando usted enchufa o conecta la refrigeradora o algún otro dispositivo está usando la corriente alterna.

15.3 Ley de Ohm

La Ley de Ohm establece que la corriente eléctrica que atraviesa un circuito es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia del circuito. La fórmula está dada por:

$$\mathrm{V} = \mathrm{IR} \tag{44}$$

Donde:
V = Voltaje (V)
I = Corriente eléctrica (A)
R = Resistencia eléctrica (Ω)

Si deseamos despejar la corriente eléctrica en función del voltaje y la resistencia eléctrica, entonces obtenemos: $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R}}$

Si deseamos despejar la resistencia en función del voltaje y la corriente eléctrica, entonces obtenemos: $\mathrm{R} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{I}}$

Ejemplo 1: ¿Cuál es el voltaje entre dos puntos del circuito de una plancha por el que atraviesa una corriente eléctrica de 6 A y presenta una resistencia de 15 Ω?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 44, de la siguiente manera:

$\mathrm{V} = \mathrm{IR} = (6\mathrm{A})(15\Omega) = 90\mathrm{V}$

Por lo tanto, el voltaje es de 90V.

Ejemplo 2: ¿Cuál es la intensidad de la corriente que alimenta a una ducha que tiene una resistencia de 5,5 Ω y funciona con una diferencia de potencial de 220 V?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R}} = \frac{220\mathrm{V}}{5{,}5\Omega} = 40\mathrm{A}$

Por lo tanto, la corriente eléctrica es de 40A.

Ejemplo 3: Por un cable conductor se aplica una diferencia de potencial de 110 V y circula una corriente eléctrica de 8 A. ¿Cuál es el valor de la resistencia del cable?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{R} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{I}} = \frac{110\mathrm{V}}{8\mathrm{A}} = 13,75\Omega$

Por lo tanto, la resistencia eléctrica tiene un valor de $13,75\Omega$.

15.4 Circuitos en serie

El circuito en serie es el circuito eléctrico que provee un único camino para el paso de la corriente eléctrica desde y hacia la fuente. Si hay una falla en la cadena de transmisión esto producirá una interrupción completa en todo el flujo eléctrico del circuito afectando a todos los componentes.

Principales características:

- El voltaje es igual a la suma de los voltajes individuales. Así,

  $\mathrm{V}_{\mathrm{Total}} = \mathrm{V}_1 + \mathrm{V}_2 + \mathrm{V}_3 + ... + \mathrm{V}_\mathrm{n}$, donde "n" es la cantidad de voltajes individuales que se conectan al circuito.
- La corriente es igual en todos sus puntos del circuito. Así, $\mathrm{I}_{\mathrm{Total}} = \mathrm{I}_1 = \mathrm{I}_2 = \mathrm{I}_3 = ... = \mathrm{I}_\mathrm{n}$, donde "n" es la cantidad de corrientes individuales que estén conectadas al circuito.
- La resistencia equivalente se refiere a la suma de las resistencias individuales del circuito. Así, $\mathrm{R}_{\mathrm{Total}} = \mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_3 + ... + \mathrm{R}_\mathrm{n}$, donde "n" es la cantidad de resistencias individuales que se conectan al circuito

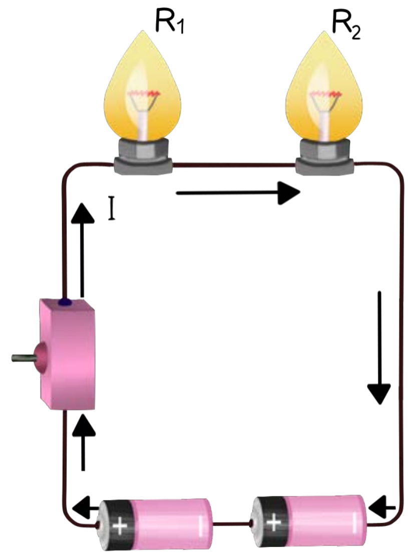

Figura 27: Componentes del circuito en serie.

Ejemplo: Consideremos el circuito de la figura 28, donde $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, y circula una corriente de 12A. Calcule lo siguiente:

a) La resistencia equivalente del circuito.

b) El voltaje total del circuito.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en las fórmulas respectivas y usando la ley de Ohm, de la siguiente manera:

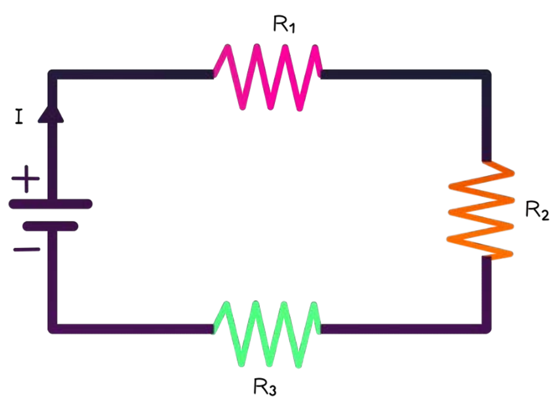

Figura 28: Esquema de circuito en serie.

a) $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 = 2\Omega + 3\Omega + 5\Omega = 10\Omega$.

b) Usando la ley de Ohm, se obtiene el voltaje total:

$V_{Total} = I_{Total}R_{eq} = (12A)(10\Omega) = 120V$.

15.5 Circuitos en paralelo

El circuito en paralelo es aquel en donde los elementos que lo componen están dispuestos de forma paralela uno de otro que tienen el mismo voltaje, por tanto el flujo de corriente se divide por cada rama del circuito, el valor de cada subcorriente no siempre es la misma, ya que cada resistencia tiene su propio valor.

Principales características:

- El voltaje es constante en todos los componentes del circuito. Así,

  $V_1 = V_2 = V_3 = ... = V_n$, donde "n" es la cantidad de voltajes individuales que estén conectados al circuito.

- La intensidad de corriente total es el resultado de sumar todas las intensidades de las corrientes individuales. Cada receptor experimenta una corriente diferente, menor cuanto mayor resistencia.
  Así, $I_{Total} = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$, donde "n" es la cantidad de corrientes individuales que se conectan al circuito.

- El inverso de la resistencia equivalente es el resultado de sumar los inversos de todas las resistencias individuales. Así, $\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$, donde "n" es la cantidad de resistencias individuales que estén conectadas al circuito

- Los terminales de entrada y salida de cada uno de los componentes se conectan en paralelo.

- Los caminos descritos por la corriente eléctrica se les llama "Ramas".

- La corriente eléctrica fluye por varios caminos, por lo que si un resistor deja de funcionar, las demás resistencias (pueden ser bombillos) no se verán afectadas.

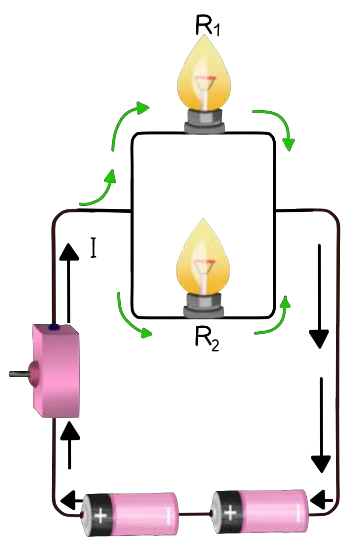

Figura 29: Componentes del circuito en paralelo.

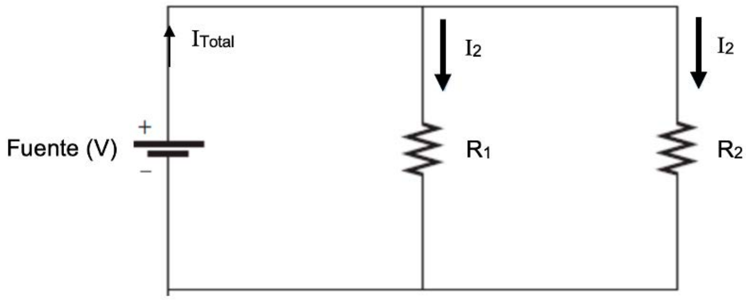

Figura 30: Esquema de circuito en paralelo.

Ejemplo: Consideremos la figura 30, donde $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, y la batería proporciona una diferencia de potencial de 12V. Calcule lo siguiente:

a) La resistencia equivalente del circuito.

b) La corriente total del circuito.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en las fórmulas respectivas y usando la ley de Ohm, de la siguiente manera:

a) Como las resistencias están en paralelo, se procede de la siguiente manera:

$\frac{1}{\mathrm{R_{Total}}} = \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{2\Omega} = \frac{3}{4\Omega} \Rightarrow R_{Total} = \frac{4\Omega}{3} = 1,33\Omega.$

15.6 Circuito mixto

El circuito mixto es el resultado de combinar elementos que están conectados simultáneamente en serie y en paralelo. Por lo tanto, sus características son una combinación de ambos tipos de conexión.

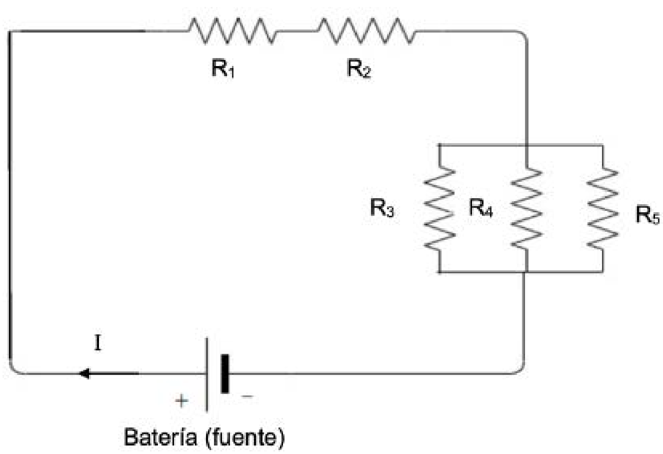

Figura 31: Esquema de un circuito mixto.

Ejemplo: Consideremos el circuito de la figura 31, donde $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 8\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, $R_4 = 2\Omega$, $R_5 = 2\Omega$, y la batería proporciona una diferencia de potencial de 24V. Calcule lo siguiente:

a) La resistencia equivalente del circuito.

b) La corriente total del circuito.

c) El voltaje y la corriente en cada una de las resistencias.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en las fórmulas respectivas y usando la ley de Ohm, de la siguiente manera:

a) Observe que las resistencias ($R_3 = 5\Omega$, $R_4 = 2\Omega$, $R_5 = 2\Omega$) están en paralelo. Entonces, procedemos a calcular primero la resistencia total de las resistencias que están en paralelo.
$\frac{1}{\mathrm{R_{Total}}} = \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{2\Omega} = \frac{6}{5\Omega} \Rightarrow R_{Total} = \frac{5\Omega}{6} = 0,83\Omega.$

Luego, debido a que las resistencias en paralelo están conectadas en serie a $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 8\Omega$, entonces la resistencia equivalente ($\mathrm{R_{eq}}$) del circuito consiste en sumar todas esas resistencias.
$\mathrm{R_{eq}} = \mathrm{R_1} + \mathrm{R_2} + \mathrm{R_{Total}} = 4\Omega + 8\Omega + \frac{5\Omega}{6} = \frac{77\Omega}{6} = 12,83\Omega.$

b) Usando la ley de Ohm, despejamos para obtener la corriente total del circuito.
$\mathrm{I_{Total}} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R_{eq}}} = \frac{24\mathrm{V}}{\frac{77\Omega}{6}} = \frac{144\mathrm{A}}{77} = 1,87\mathrm{A}$

c) Los voltajes de las dos resistencias que están en serie son:

$$\mathrm{V_1} = \mathrm{I_{Total}R_1} = (\tfrac{144\mathrm{A}}{77})(4\Omega) = \tfrac{576\mathrm{V}}{77} = 7,48\mathrm{V}$$

$$\mathrm{V_2} = \mathrm{I_{Total}R_2} = (\tfrac{144\mathrm{A}}{77})(8\Omega) = \tfrac{1152\mathrm{V}}{77} = 14,96\mathrm{V}$$

Por su parte, los voltajes V_3, V_4 y V_5 tienen el mismo valor, ya que las resistencias están en paralelo:

$$\mathrm{V_3} = \mathrm{V_4} = \mathrm{V_5} = (\tfrac{144\mathrm{A}}{77})(\tfrac{5\Omega}{6}) = \tfrac{120\mathrm{V}}{77}$$

Luego, la corriente que pasa en las resistencias R_1 y R_2 es la misma corriente total del circuito. $\mathrm{I_{Total}} = \mathrm{I_1} = \mathrm{I_2} = \frac{144\mathrm{A}}{77}$

Pero las corrientes en las resistencias que están en paralelo son:

$$\mathrm{I_3} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R_3}} = \frac{\frac{120\mathrm{V}}{77}}{5\Omega} = \frac{24\mathrm{A}}{77} = 0,312\mathrm{A}$$

$$\mathrm{I_4} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R_4}} = \frac{\frac{120\mathrm{V}}{77}}{2\Omega} = \frac{60\mathrm{A}}{77} = 0,78\mathrm{A}$$

$$\mathrm{I_5} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R_5}} = \frac{\frac{120\mathrm{V}}{77}}{2\Omega} = \frac{60\mathrm{A}}{77} = 0,78\mathrm{A}$$

Note que al sumar I_3, I_4 y I_5 se obtiene de nuevo la corriente total que sale de la batería.

16. Campo magnético

El campo magnético es un campo vectorial representado líneas imaginarias, las cuales reciben el nombre de líneas del campo magnético. La unidad de campo magnético en el S.I es el Tesla (T).

16.1 Definición

El campo magnético es un espacio en el cual tienen lugar fenómenos magnéticos debido a la influencia de un cuerpo con propiedades magnéticas, sea el caso de un imán o un material ferromagnético imantado.

Principales características:

- Cuando hay movimiento de corrientes eléctricas o de imanes se genera un campo magnético.
- Los polos opuestos de un imán se atraen mientras que los polos iguales se repelen.
- El campo magnético posee un polo norte y un polo sur.
- La intensidad del campo magnético es mayor cuanto más cerca este del origen.
- La propagación del campo se mueve a la velocidad de la luz.
- El campo se representa con las líneas de fuerza magnética.

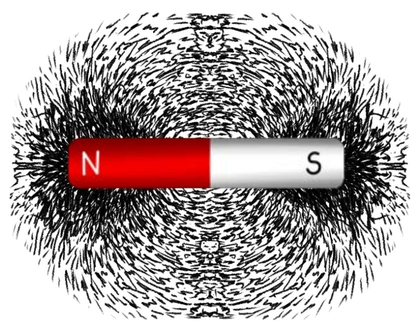

Figura 32: Líneas de campo magnético de un imán con limadura de hierro.

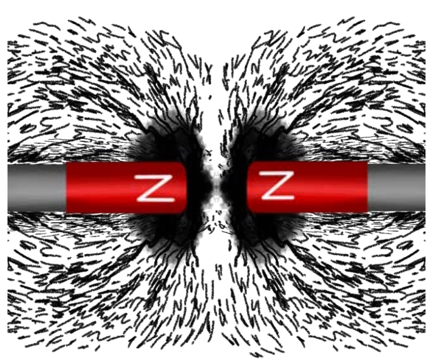

Figura 33: Polos idénticos de dos imanes.

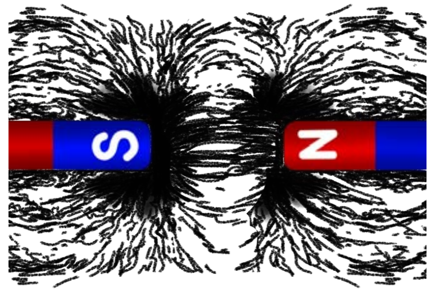

Figura 34: Polos diferentes de dos imanes.

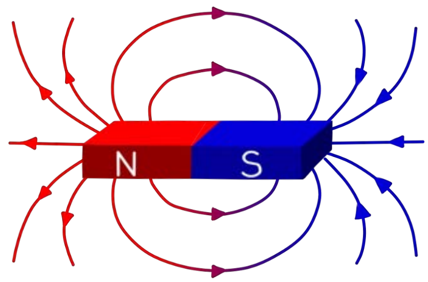

Figura 35: Representación de las líneas de campo magnético de un imán de barra.

16.2 Experimento de Oersted

El experimento que se muestra en la figura 36, ilustra una aguja imantada próxima a un cable conductor por el que circula una corriente eléctrica, la aguja se desvía evidenciando la acción de un campo magnético. Por lo tanto se concluye que las corrientes eléctricas generan a su vez campos magnéticos, demostrándo de esta manera que las corrientes eléctricas estan relacionadas con campos magnéticos. Este experimento fue hecho en 1820 por Hans Christian Oersted, donde se demuestra la relación entre la electricidad y el magnetismo.

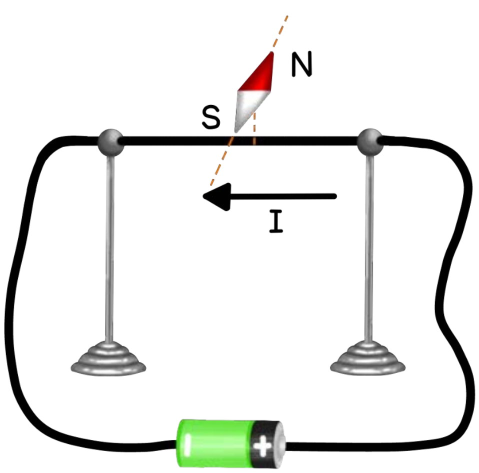

Figura 36: Experimento de Oersted.

16.3 Experimento de Faraday

El experimento mostrado en la figura 37, consiste en mover un imán en el interior de una espira, donde aparece una corriente eléctrica en la espira, la corriente eléctrica circula en un sentido cuando el imán se acerca y en sentido opuesto cuando se aleja el imán.
La ley de Faraday o la de inducción electromagnética permite inducir una corriente eléctrica mediante un flujo magnético variable.
Entre las aplicaciones de la inducción electromagnética están: la cocina, lámparas y los hornos de inducción así como la recarga de baterías eléctricas por inducción.

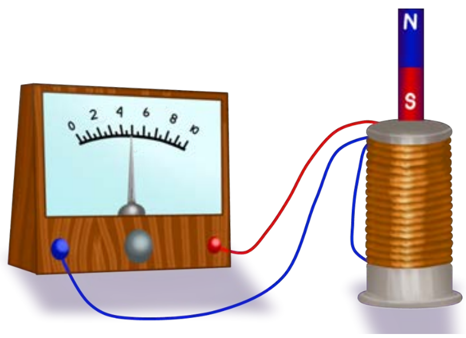

Figura 37: Experimento de Faraday.

16.4 Campo magnético en un solenoide

El solenoide consiste en un alambre de cobre, de longitud L, que se enrolla con un número de espiras por el que circula una corriente eléctrica, que genera un campo magnético uniforme en su interior y, por lo tanto, fuera del solenoide el campo magnético es nulo.

$$\mathrm{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{NI}}{\mathrm{L}} \tag{45}$$

Donde:
μ_0 = Permeabilidad magnética ($4\pi \times 10^{-7}$Tm/A)
N = Número de vueltas o cantidad de espiras
I = Corriente eléctrica (A)
L = Longitud del solenoide (m)

Si deseamos despejar la corriente eléctrica en función del campo magnético, número de espiras y longitud del solenoide, entonces obtenemos: $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{BL}}{\mu_0 \mathrm{N}}$

Si deseamos despejar el número de espiras en función del campo magnético, corriente eléctrica y longitud del solenoide, entonces obtenemos: $\mathrm{N} = \frac{\mathrm{BL}}{\mu_0 \mathrm{I}}$

Si deseamos despejar la longitud del solenoide en función del campo magnético, número de espiras y corriente eléctrica, entonces obtenemos: $\mathrm{L} = \frac{\mu_0 \mathrm{NI}}{\mathrm{B}}$

Ejemplo 1: En un solenoide de 0,40 m de longitud y se enrolla con 300 vueltas de alambre conductor por el que circula una corriente de 0,070 A. Calcular el campo magnético en el centro del solenoide.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 45, de la siguiente manera:

$B = \frac{\mu_0 NI}{L} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} Tm/A)(300)(0{,}070A)}{0{,}40m} = 6,60 \times 10^{-5}T$

Por lo tanto, el campo magnético es de $6,60 \times 10^{-5}T$.

Ejemplo 2: Un solenoide tiene una longitud de 0,80 m, el número de vueltas es de 50 y el campo magnético en su interior es de $5,60 \times 10^{-5}T$. Encontrar la intensidad de corriente que circula por el solenoide.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$I = \frac{BL}{\mu_0 N} = \frac{(5{,}60 \times 10^{-5}T)(0{,}80m)}{(4\pi \times 10^{-7}Tm/A)(50)} = 7,13 \times 10^{-1}A$

Por lo tanto, la intensidad de corriente eléctrica es de $7,13 \times 10^{-1}A$.

Ejemplo 3: Por un solenoide de 0,64 m de longitud circula una corriente eléctrica de 0,030 A y produce un campo magnético en el centro de $3,53 \times 10^{-5}T$. Determine el número de vueltas de alambre conductor que constituyen el solenoide.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$N = \frac{BL}{\mu_0 I} = \frac{(3{,}53 \times 10^{-5}T)(0{,}64m)}{(4\pi \times 10^{-7}Tm/A)(0{,}030A)} = 5,99 \times 10^2$

Por lo tanto, el número de vueltas del alambre conductor es de 599.

16.5 Campo magnético en una bobina

Bobina o embobinado hace referencia a cualquier cable o hilo de cualquier material, enrollado sobre un eje. La bobina se refiere al alambre enrollado, en diferentes formas para formar un campo magnético inducido dentro de esta bobina al paso de una corriente eléctrica. Recuerde que el campo magnético producido es generado en su centro, no en cualquier punto, solo en el centro.

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2r} \tag{46}$$

Donde:
μ_0 = Permeabilidad magnética $(4\pi \times 10^{-7}Tm/A)$
N = Número de vueltas o cantidad de espiras
I = Corriente eléctrica (A)
r = Radio de la espira(m)

Si deseamos despejar la corriente eléctrica en función del campo magnético, número de espiras y radio de la espira, entonces obtenemos: $I = \frac{2Br}{\mu_0 N}$

Si deseamos despejar el número de espiras en función del campo magnético, corriente eléctrica y radio de la espira, entonces obtenemos: $\mathrm{N} = \frac{2\mathrm{Br}}{\mu_0 \mathrm{I}}$

Si deseamos despejar el radio de la espira en función del campo magnético, número de vueltas y corriente eléctrica, entonces obtenemos: $\mathrm{r} = \frac{\mu_0 \mathrm{NI}}{2\mathrm{B}}$

Ejemplo 1: Una bobina de radio igual a 0,20 m se le enrolla con 200 vueltas de alambre conductor por el que circula una corriente de 5 A. Calcular el campo magnético en el centro de la bobina.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 46, de la siguiente manera:

$$\mathrm{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{NI}}{2\mathrm{r}} = \frac{(4\pi\times10^{-7}\mathrm{Tm/A})(200)(5\mathrm{A})}{2(0{,}20\mathrm{m})} = 3,14 \times 10^{-3}\mathrm{T}$$

Por lo tanto, el campo magnético en el centro de la bobina es de $3,14 \times 10^{-3}\mathrm{T}$.

Ejemplo 2: Calcular el radio de una bobina que tiene 800 espiras de alambre en el aire por la cual circula una corriente de 8 A y se produce una inducción magnética en su centro de $9,50 \times 10^{-3}\mathrm{T}$.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{r} = \frac{\mu_0 \mathrm{NI}}{2\mathrm{B}} = \frac{(4\pi\times10^{-7}\mathrm{Tm/A})(800)(8\mathrm{A})}{2(9{,}50\times10^{-3}\mathrm{T})} = 0,42\mathrm{m}$$

Por lo tanto, el radio de la espira es de $0,42\mathrm{m}$.

Ejemplo 3: Una bobina formada por un alambre conductor por el que circula una corriente eléctrica de 3 A que genera un campo magnético de 5,00 T en su centro. Determinar el número de vueltas con que se debe conformar la bobina que tiene un radio de 0,15 m.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{N} = \frac{2\mathrm{Br}}{\mu_0 \mathrm{I}} = \frac{2(5{,}00\times10^{-3}\mathrm{T})(0{,}15\mathrm{m})}{(4\pi\times10^{-7}\mathrm{Tm/A})(3\mathrm{A})} = 398$$

Por lo tanto, el número de vueltas es de 398.

Ejemplo 4: Calcular la intensidad de corriente que debe circular por una bobina de 600 espiras de alambre en el aire, cuyo radio es de 0,08 m para que produzca una inducción magnética de $7,00 \times 10^{-3}\mathrm{T}$.

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{I} = \frac{2\mathrm{Br}}{\mu_0 \mathrm{N}} = \frac{2(7{,}00\times10^{-3}\mathrm{T})(0{,}08\mathrm{m})}{(4\pi\times10^{-7}\mathrm{Tm/A})(600)} = 1,49\mathrm{A}$$

Por lo tanto, la intensidad de corriente es de $1,49\mathrm{A}$.

16.6 Campo magnético en un alambre largo y recto

En el caso de un alambre conductor rectilíneo se crea un campo magnético circular que es perpendicular alrededor del alambre. La intensidad del campo magnético creado en cualquier punto depende de varios factores: la intensidad de la corriente eléctrica, la distancia del punto respecto al alambre conductor. Ahora bien, se usa la regla de la mano derecha para determinar la dirección y sentido del campo magnético, como se ilustra en la figura 38, donde el dedo pulgar indica el sentido de la corriente eléctrica, mientras que la curvatura del resto de dedos indica el sentido del campo magnético.

La magnitud del campo magnético alrededor de un alambre largo y recto está dado por la siguiente fórmula:

$$\mathrm{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{2\pi \mathrm{r}} \tag{47}$$

Donde:
μ_0 = Permeabilidad magnética ($4\pi \times 10^{-7}$Tm/A)
π = constante pi (3,14159265)
I = Corriente eléctrica (A)
r = Distancia o separación del alambre (m)

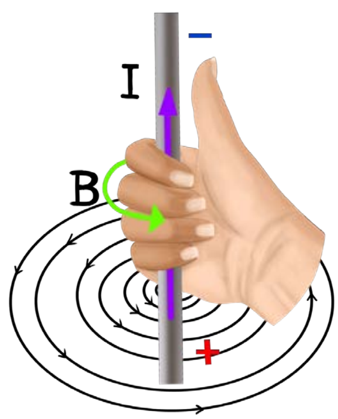

Figura 38: Regla de la mano derecha.

Si deseamos despejar la corriente eléctrica en función del campo magnético y separación del alambre, entonces obtenemos: $\mathrm{I} = \frac{2\pi \mathrm{Br}}{\mu_0}$

Si deseamos despejar la separación del alambre en función del campo magnético y corriente eléctrica, entonces obtenemos: $\mathrm{r} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{2\pi \mathrm{B}}$

Ejemplo 1: Una corriente de 6 A que circula por un alambre conductor largo. ¿Cuál es la magnitud del campo magnético generado a 0,50 m del centro del alambre?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 47, de la siguiente manera:

$\mathrm{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{2\pi \mathrm{r}} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}\mathrm{Tm/A})(6\mathrm{A})}{2(\pi)(0{,}50\mathrm{m})} = 2{,}40 \times 10^{-6}\mathrm{T}$

Por lo tanto, la magnitud del campo magnético es de $2,40 \times 10^{-6}$T.

Ejemplo 2: Un conductor largo y recto transporta una corriente de 10 A. ¿A qué distancia del eje del alambre conductor la magnitud del campo magnético es igual a $5,00 \times 10^{-6}$T?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$\mathrm{r} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{2\pi \mathrm{B}} = \frac{(4\pi\times10^{-7}\mathrm{Tm/A})(10\mathrm{A})}{2(\pi)(5{,}00\times10^{-6}\mathrm{T})} = 4,00 \times 10^{-1}$m.

Por lo tanto, la distancia es de $0,40$m.

17. Ondas

Una onda es una agitación o alteración de un medio determinado que se desplaza de un lugar a otro, donde no hay transporte neto de materia, pero sí existe transmisión de energía. El medio perturbado puede ser el aire, agua, un trozo de metal o el vacío. La fórmula para calcular la velocidad de la onda es:

$$v = \lambda f \tag{48}$$

Donde:
v = Velocidad de la onda (m/s)
f = Frecuencia (Hz)
λ = longitud de onda (m)

17.1 Elementos de una onda

- Cresta: Es el punto más alto de dicha amplitud o punto máximo de saturación de la onda, es decir, es el punto máximo en la ondulación.
- Valle: Es el punto más bajo de una onda (lo contrario de la cresta).
- Período $T = \frac{1}{f}$: Es el tiempo que demora la onda en ir desde una cresta hasta la siguiente, o sea, en repetirse.
- Amplitud (A): Es la variación máxima del desplazamiento, la distancia vertical entre la cresta y el punto medio de la onda.
- Frecuencia $f = \frac{1}{T}$: Es el número de veces que la onda se repite entre el tiempo en segundos. Se representa con la letra f.
- Longitud de onda: Es la distancia en metros entre dos crestas seguidas de la onda. Se representa con el símbolo λ.
- Ciclo: Es la ondulación completa, de principio a fin.

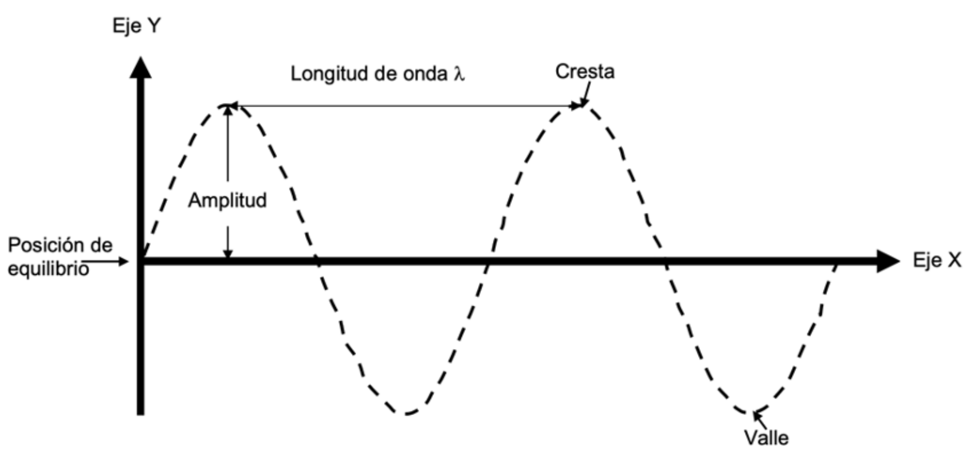

Figura 39: Elementos de una onda.

17.2 Ejemplos de Ondas

- Las olas en el mar o un lago, son alteraciones que se propagan por el agua.
- Las ondas electromagnéticas tales como las ondas de radio, microondas, luz visible, luz ultravioleta y rayos X. Las cuales no requieren de un medio para propagarse, lo hacen a través del vacío (viaja a 299 792 458 m/s $\approx 3,00 \times 10^8$m/s).
- Las ondas sonoras son ondas mecánicas que se propagan por el aire, los líquidos o los sólidos.
- Las ondas sísmicas en terremotos son ondas mecánicas transversales.

17.3 Clasificación de las ondas según el medio en el que se propaga:

Las ondas se clasifican según el medio en el que se propagan en: ondas mecánicas (necesitan un medio para propagarase) y ondas electromagnéticas (no requieren de un medio para propagarse).

- Ondas mecánicas:

  Las ondas mecánicas son las que requieren de un medio físico para propagarse. Se puede observar la propagación de una onda al sacudir una alfombra o un látigo, recuerde no hay transporte de materia a través del medio. Las características del medio tales como temperatura, elasticidad y homogeneidad afectan la velocidad de la onda. Ejemplos de las ondas mecánicas son las ondas elásticas y las ondas sonoras.

- Ondas electromagnéticas:

  Las ondas electromagnéticas no requieren de un medio para propargarse, es decir, se propagan por el espacio vacío. Las ondas electromagnéticas son el resultado de la combinación de oscilaciones de un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí. Las ondas electromagnéticas viajan aproximadamente a una velocidad de 300 000 km/s en el vacío.

17.4 Clasificación de las ondas según la dirección de la perturbación

En función de la dirección de la perturbación, las ondas se clasifican en: ondas longitudinales y ondas transversales.

- Ondas longitudinales: son aquellas donde las partículas del medio se mueven paralelamente a la dirección de propagación de la onda. Por ejemplo, un resorte que se comprime da lugar a una onda longitudinal.
- Ondas transversales: son aquellas donde las partículas del medio se mueven perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Por ejemplo, al mover una cuerda sujeta a un extremo fijo.

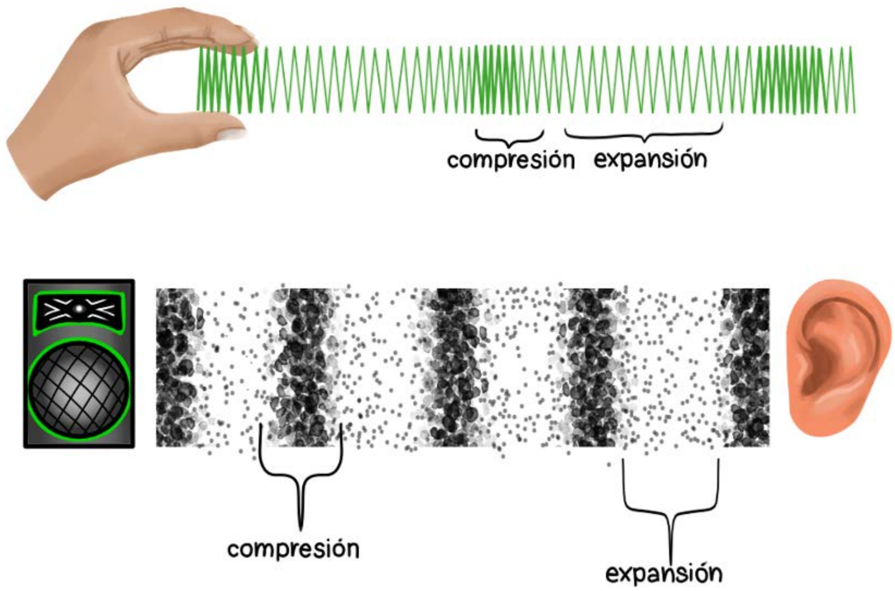

Figura 40: Onda longitudinal. Como el caso del sonido que viaja en el aire hasta el oído.

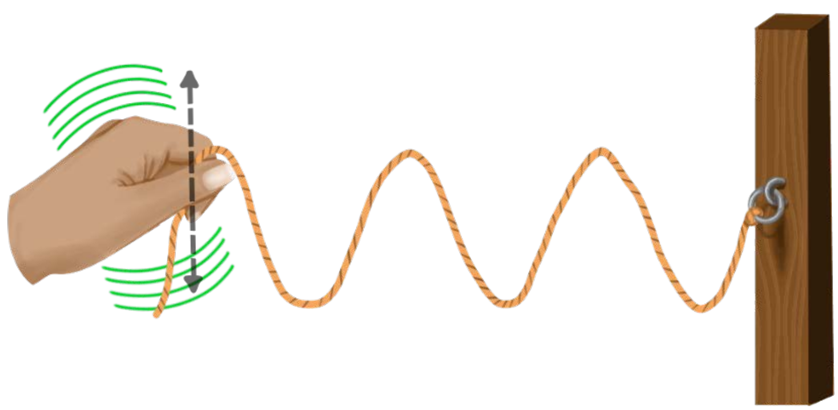

Figura 41: Onda transversal.

17.5 Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es el que incluye todas las longitudes de onda presentes en las radiaciones electromagnéticas. La figura 42 muestra el espectro electromagnético, desde baja frecuencia $1,00 \times 10^3$Hz hasta alta frecuencia $1,00 \times 10^{24}$Hz; también muestra el valor de la longitud de onda larga $1,00 \times 10^5$m hasta la longitud de onda corta $1,00 \times 10^{-16}$m. A continuación, se hace una breve descripción de los rayos cósmicos, rayos gamma, rayos X, radiación ultravioleta, luz visible, radiación infrarroja, microondas y ondas radioeléctricas.

- Rayos cósmicos: son partículas de alta energía que llegan del espacio exterior e impactan la Tierra en todas direcciones.
- Los rayos gamma: son ondas de alta energía con las longitudes de onda más cortas y las frecuencias más altas conocidas.

- Los rayos X: es una forma de radiación ionizante que poseen longitudes de onda ubicadas entre los rayos gamma y la radiación ultravioleta. La radiografía es un ejemplo de su aplicación en medicina.
- La radiación ultravioleta (UV): se ubica entre los rayos X y la luz visible, es empleada para esterilizar alimentos y para eliminar virus y bacterias.
- La luz visible (espectro visible): tiene longitudes de onda que va entre los colores del azul a 400 nm hasta el rojo a 700 nm, cabe mencionar que la luz azul contiene más energía que la roja.
- La radiación infrarroja (radiación térmica): es la radiación que tiene longitudes de onda menores a los 400 nm pero mayores a las microondas. La fuente natural más importante de radiación infrarroja es el Sol.
- Microondas: es la radiación que tiene longitudes de onda menores a 1 cm, una aplicación típica es para calentar la comida en los hornos microondas.
- Las ondas radioeléctricas: estas son radiaciones no ionizantes cuyas longitudes de onda largas que varían unos pocos centímetros a 10 000 m de longitud. Se emplean en la televisión, los teléfonos móviles y las comunicaciones por radio.

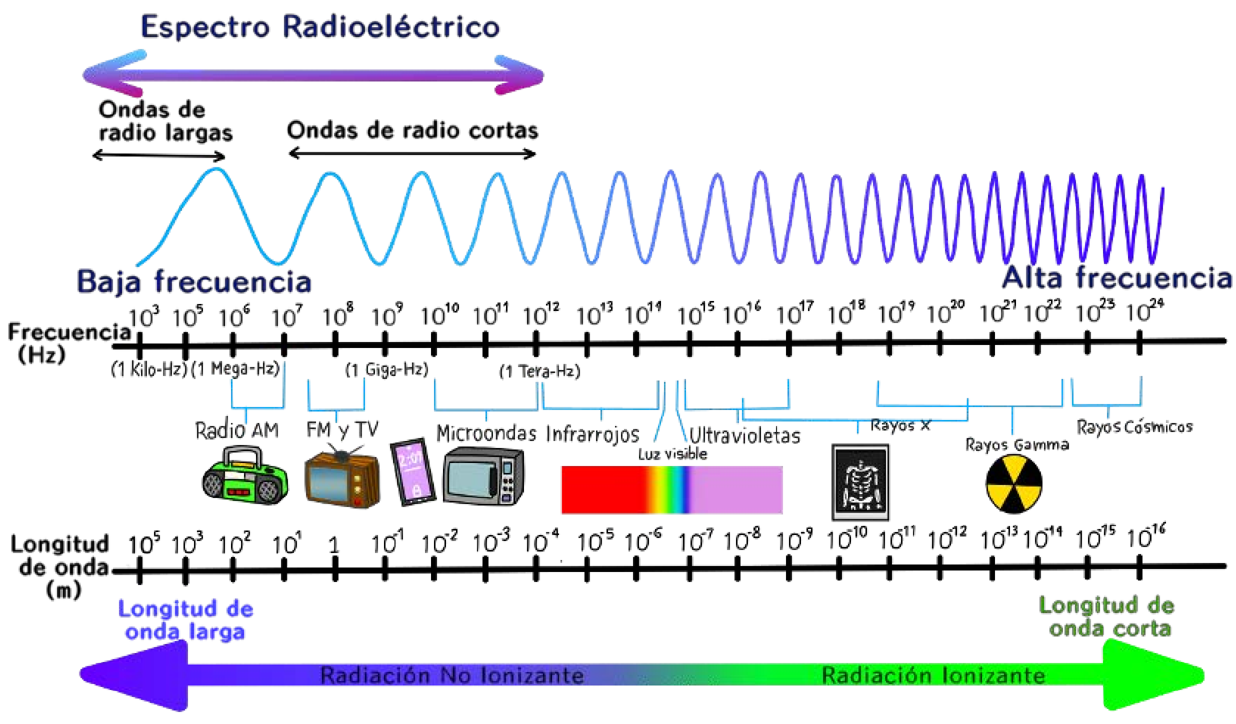

Figura 42: Espectro electromagnético.

18. Efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno natural y que en condiciones normales es beneficioso lo que permite el desarrollo de la vida en el planeta Tierra tal y como la conocemos. Los gases de invernadero (dióxido de carbono, metano, vapor de agua, óxido nitroso) presentes en la atmósfera retienen parte de la radiación térmica emitida por la superficie terrestre tras ser calentada por el Sol, manteniendo la temperatura del planeta a un nivel adecuado para el desarrollo de la vida.

En otras palabras, es el efecto por el que la radiación solar que llega a la Tierra permanece sin ser devuelta al espacio en su totalidad, esto permite una temperatura ideal para el desarrollo de los seres vivos (bacterias, plantas, animales, etc) en el planeta Tierra.

El cambio climático está relacionado con una alteración del efecto invernadero que genera consecuencias negativas para la vida en el planeta.

Figura 43: Efecto invernadero.

18.1 Alcances positivos

La atmósfera natural se compone en su mayor parte de nitrógeno(78 %) y oxígeno (21 %), también posee una pequeña parte de gas argón (0,9 %) y gases de invernadero (0,1 %). Estos gases de invernadero son importantes porque cumplen la función de atrapar parte del calor proveniente del Sol, evitando que se escape al espacio exterior y con ello da origen al efecto invernadero. Los principales alcances positivos de este fenómeno natural son:

- Necesaria para la vida: La existencia del efecto invernadero es un componente vital de una Tierra habitable, ya que mantiene la superficie a una temperatura óptima; sin él, la Tierra sería mucho más fría, con una temperatura media de unos −18°C.
- Regula la temperatura: La retención de calor, permite a la Tierra mantenerse en una temperatura media de alrededor de 15°C, de modo que sería imposible sin la participación de los gases de invernadero.
- Contribuye en retener calor en la Tierra para la adecuada evolución de los ecosistemas, por ejemplo el ciclo hidrológico provee de agua a diferentes partes del planeta.

18.2 Alcances negativos

El efecto invernadero se vuelve perjudicial cuando la cantidad de gases de invernadero aumenta cambiando las concentraciones normales de estos gases, de ahí que los alcances negativos son los siguientes:

- El aumento en la temperatura global terrestre se debe a un incremento de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Las islas y zonas costeras se verían seriamente afectadas por las inundaciones debido al derretimiento de los glaciares que provocaría un aumento del nivel del mar.
- Los ecosistemas se verían afectados por el cambio en el clima, provocando una adaptación de los seres vivos a nuevas condiciones climáticas.
- Al aumentar la temperatura se provoca una mayor evaporación del agua creando así grandes sequías donde las zonas fértiles se volverían desiertos.
- Al producirse cambios en el patrón de las lluvias se da una mayor erosión de los suelos causando infertilidad para cultivar afectando gravemente la agricultura y la ganadería.
- Incremento del impacto de la radiación solar provocará la propagación de enfermedades (malaria, cólera, dengue) y pandemias, afectando la salud humana con insolación, envejecimiento prematuro y cáncer de piel.
- Huracanes más devastadores: al aumentar la temperatura de los océanos provocaría un aumento en la intensidad de los huracanes creando condiciones extremas que afectarían a poblaciones enteras de seres vivos.
- Migraciones de especies: al existir un aumento progresivo de las temperaturas, el cambio climático asotaria ciertas regiones del planeta provocando una migración masiva de seres vivos para sobrevivir de las sequías e inundaciones extremas.

18.3 Acciones humanas que incrementan el efecto invernadero:

- Las fábricas industriales liberan gran cantidad de gases de invernadero que contaminan el ambiente.
- La ganadería intensiva también libera gas metano que altera el efecto invernadero.
- El uso desmedido de combustibles fósiles (petróleo y sus derivados) está liberando gran cantidad de gases de invernadero que alteran el fenómeno natural.
- El uso abusivo de medios de transporte contaminantes, como los automóviles, autobuses, motocicletas y aviones, que usan derivados de combustibles fósiles.
- La deforestación evita la fijación del dióxido de carbono lo que provoca una liberación de este gas en la atmósfera.

18.4 Acciones humanas que ayudan a reducir la emisión de gases de invernadero:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4).
- Usar energías renovables en lugar de petróleo y sus derivados, gas y carbón.
- Usar más la bicicleta y el transporte público en lugar del automóvil personal.
- Incentivar la conciencia ecológica en los ciudadanos principalmente en los más pequeños y guiarles en lo que podemos hacer para contrarrestar el problema de la contaminación.
- Reducir el consumo de carne prefiriendo la ganadería trashumante que respeta al medio ambiente.
- Fomentar la participación de los gobiernos para prevenir y combatir la contaminación y el incremento del cambio climático.
- Reciclar materiales como vidrio, plástico y papel en el hogar.
- No malgastar la electricidad y el gas en el hogar.
- Consumir productos ecológicos que no usan pesticidas, herbicidas o químicos nocivos para la salud humana.

18.5 Manejo de los desechos reutilizables

Para proteger el medio ambiente debemos reducir la basura, reciclar y reutilizar los materiales. A continuación se hace una breve descripción:

- Reducir: significa disminuir la cantidad de productos que tiramos. La prevención en la producción de desechos, es importante cuando las personas deciden adoptar buenas prácticas como la disminución de compras y envolturas innecesarias. Por ejemplo: compra productos recomendados que duren más para que no tengas que desecharlos y sustituirlos frecuentemente. Reduce el consumo de energía al apagar las luces que no se usen, conecta los dispositivos electrónicos solo para recargar la batería y usa la lavadora con carga completa para evitar el desperdicio de agua y jabón. Usa solo lo que necesites desde alimentos hasta papel higiénico.

- Reciclar: consiste en convertir los objetos que ya no se necesitan en otros que se puedan volver a utilizar. Por ejemplo: Consume productos que se puedan reciclar fácilmente. Informate en donde depositar los materiales que se pueden reciclar. Busca centros de reciclaje que acepten artículos que no se pueden botar en los contenedores de reciclaje.

- Reutilizar: consiste en reutilizar un material que cumpla la misma función de fabricación u otra diferente. Por ejemplo, puedes reutilizar el papel escribiendo o imprimiendo ambas caras de la hoja. Usar nuevamente las cajas de cartón para guardar cosas. Usar las bolsas de plástico para hacer las compras en el supermercado. Puedes convertir las latas de conservas en maceteros y las botellas de vidrio como floreros.

19. Teoría de la relatividad especial

La teoría de la relatividad comprende dos teorías: la primera es la teoría de la relatividad especial publicada en 1905 y la segunda es la teoría de la relatividad general publicada 1916. Pero en este apartado solo se explicará la teoría de la relatividad especial que fue propuesta por el físico alemán Albert Einstein y que se basa en dos postulados: el primero, el principio especial de la relatividad y el segundo, la invarianza de la velocidad de la luz (c).

Además, predice la masa relativista cambia con la velocidad, la dilatación del tiempo y contracción de la longitud. Esta teoría revolucionó la comprensión del espacio-tiempo y la energía, convirtiéndose un avance científico sin precedentes en la historia.

Equivalencia entre masa y energía: predice que la energía de un cuerpo en reposo (E) es igual a la masa (m) multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado (c^2). Es decir, todo cuerpo en reposo con masa tiene un tipo de energía asociada (energía en reposo).

Para llegar hasta la ecuación hace falta tener en cuenta dos leyes importantes:

- Ley de conservación del momento lineal: Básicamente quiere decir que cuando dos objetos entran en colisión a distinta velocidad (y por tanto diferente momento lineal) la resultante de la suma de ambos objetos ha de tener el mismo valor antes y después.
- Ley de conservación de la energía: La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma en otras formas de energía, es decir, cambia de una forma de energía a otra.

La ecuación de la energía establece la proporcionalidad entre la masa y la energía, son transformables entre sí, cambiando nuestra forma de pensar dado que se creía eran cosas independientes. Cabe aclarar que la ecuación más famosa de Einstein, proviene de la ecuación de objetos que se encuentran en movimiento ($E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$), por lo tanto, en el caso particular donde la masa no está en movimiento, significa que el momento lineal es cero ($p = 0$) obteniéndose así la ecuación ($E = mc^2$).

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \Rightarrow E^2 = 0 + m^2c^4 \Rightarrow E = \sqrt{m^2c^4} \Rightarrow E = mc^2 \qquad (49)$$

Donde:
E = Energía (J)
c = Velocidad de la luz (m/s)
m = Masa en reposo (kg)
p = Momento lineal (kgm/s)

19.1 Contexto teórico y tecnológico

En este apartado solo se verán los aspectos más básicos de la teoría de la relatividad especial de acuerdo al programa de estudio; se insta al lector a investigar sobre el tema para profundizar sobre la teoría. Primeramente, se hará una mención de los postulados, luego se explicará aplicaciones tecnológicas y posteriormente se hace referencia a la contracción de la longitud, masa relativista aparente, dilatación del tiempo con sus fórmulas y ejemplos.

A continuación los postulados de la relatividad especial:

- Principio especial de relatividad: Las leyes de la física son las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales. Es decir, no existe un sistema inercial de referencia privilegiado que se pueda considerar como absoluto.
- Invariancia de c: La velocidad de la luz en el vacío es una constante universal c, que no depende del movimiento de la fuente de luz. Cabe aclarar que algunos años antes dos grandes científicos Michelson y Morley demostraron que c es una constante (en este apartado se usará como $c = 3,00 \times 10^{8}\text{m/s}$).

Entre las aplicaciones tecnológicas de la teoría de la relatividad especial se tiene: El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) requiere de correcciones en los cálculos relativistas para hacer su trabajo. Los satélites artificales que orbitan la Tierra emiten señales que son usadas por el GPS lo que les permite fijar la posición de barcos, aviones, camiones, automóviles, personas con cierta precisión, esto pemite rastrear y recuperar vehículos robados.

También se emplea en la telefonía móvil del tipo Smartphone (teléfonos inteligentes). Otra aplicación es en la topografía y geodesia, en la construcción, nivelación de terrenos, cortes de talud, tendido de tuberías, en la agricultura de precisión, ganadería, en salvamento y rescate, en deportes de todo tipo (navegación, parapentes, planeadores), y también para la localización de enfermos, discapacitados y menores de edad.

19.2 Contracción de la longitud

La teoría de la relatividad especial predice que la longitud (L) de un cuerpo se contrae en la dirección del movimiento cuando su velocidad se aproxima a c. Cuando el objeto se mueve a velocidad relativista (v), es decir, velocidad cercana a la de la luz (c). El factor de Lorenz (γ) es adimensional (sin unidades). La longitud propia (L_0) es la longitud del objeto medida en su marco en reposo.

$$L = \frac{L_0}{\gamma} = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \tag{50}$$

Donde:
L = Longitud relativista (m)
L_0 = Longitud propia (m)
γ = Factor de Lorentz $\left(\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)$
v = Velocidad relativista (m/s)
c = Velocidad de la luz (m/s)

Si deseamos despejar la longitud propia en función de la longitud del objeto en movimiento y el factor de Lorentz, entonces obtenemos: $L_0 = L\gamma = \frac{L}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

Ejemplo 1: Considere el siguiente caso hipotético: Una nave espacial sale de la Tierra hacia Próxima Centauri (la segunda estrella más cercana a la Tierra) con una velocidad de 0,95c. El jefe de la tripulación a bordo sabe que la medida de la longitud de la nave es de 200 m. ¿Cuál es la longitud medida por los observadores en se hallan en la Tierra?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 50, de la siguiente manera:

$$L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = (200\text{m})\sqrt{1 - \frac{(0{,}95c)^2}{c^2}} = (200\text{m})\sqrt{1 - 0,95^2} = 62,45\text{m}$$

Por lo tanto, la longitud de la nave medida por los observadores en Tierra es de $62,45$m, confirmando la contracción de la longitud predicha por la teoría de la relatividad especial de Einstein.

Ejemplo 2: Considere el siguiente caso hipotético: Juan está en la torre de control de un aeropuerto y observa en el radar que pasa una nave espacial a 0,98c. Dentro de la nave un pasajero lleva una regla de longitud x en posición horizontal. Si para Juan la longitud de la regla es de 0,20 m, entonces, ¿cuál es la longitud propia de la regla para el pasajero dentro de la nave?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$L_0 = L\gamma = \frac{L}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{0{,}20\text{m}}{\sqrt{1-\frac{(0{,}98c)^2}{c^2}}} = \frac{0{,}20\text{m}}{\sqrt{1-0{,}98^2}} = 1,0\text{m}$$

Por lo tanto, la longitud propia de la regla para el pasajero es de $1,0$m.

19.3 Masa relativista aparente

Es la masa (m) de un cuerpo en movimiento con velocidad cercana a c. Su valor se obtiene dividiendo la masa del cuerpo en reposo (m_0) por el factor de contracción de Lorentz (γ).

$$m = m_0\gamma = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{51}$$

Donde:
m = Masa relativista (kg)
m_0 = Masa invariante del cuerpo en reposo (kg)
γ = Factor de Lorentz $\left(\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)$
v = Velocidad relativista (m/s)
c = Velocidad de la luz (m/s)

Si deseamos despejar la masa invariante en función de la masa relativista y el factor de Lorentz, entonces obtenemos: $m_0 = \frac{m}{\gamma} = m\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

Ejemplo 1: En el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) se aceleran protones ($m_{p^+} = 1,67 \times 10^{-27}$kg) hasta alcanzar una velocidad de 0,99 c. ¿Cuál es la masa relativista del protón cuando se mueve a esa velocidad?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 51, de la siguiente manera:

$$m = m_0\gamma = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1{,}67\times10^{-27}\text{kg}}{\sqrt{1-\frac{(0{,}99c)^2}{c^2}}} = \frac{1{,}67\times10^{-27}\text{kg}}{\sqrt{1-0{,}99^2}} = 1,18 \times 10^{-26}\text{kg}$$

Por lo tanto, la masa relativista del protón es de $1,18 \times 10^{-26}$kg, confirmando el aumento de masa predicha por la teoría de la relatividad especial de Einstein.

Ejemplo 2: Si un electrón es acelerado en el LHC hasta alcanzar una masa de $6,46 \times 10^{-30}$kg con una velocidad de 0,99c, entonces, ¿cuál es la masa invariante (en reposo) del electrón?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 51, de la siguiente manera:

$$m_0 = \frac{m}{\gamma} = (6,46 \times 10^{-30}\text{kg})\sqrt{1-\frac{(0{,}99c)^2}{c^2}} = (6,46 \times 10^{-30}\text{kg})\sqrt{1-0,99^2} = 9,11 \times 10^{-31}\text{kg}$$

Por lo tanto, la masa invariante del electrón es de $9,11 \times 10^{-31}$kg.

19.4 Dilatación del tiempo

Es un fenómeno predicho por la relatividad especial, donde para un observador en un marco de referencia inercial, un reloj que se mueve con relación a él marcará el tiempo más lento que un reloj que está en reposo en su marco de referencia, es decir, si dos objetos se mueven a velocidades diferentes, el tiempo pasa más despacio para aquel que se desplaza a mayor velocidad.

$$\mathrm{t} = \mathrm{t_0}\gamma = \frac{\mathrm{t_0}}{\sqrt{1-\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{c}^2}}} \tag{52}$$

Donde:
t = Tiempo relativista medido por observador en movimiento (s)
$\mathrm{t_0}$ = Tiempo propio (s)
γ = Factor de Lorentz $\left(\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{c}^2}}}\right)$
v = Velocidad relativista (m/s)
c = Velocidad de la luz (m/s)

Si deseamos despejar el tiempo propio en función del tiempo relativista y el factor de Lorentz, entonces obtenemos: $\mathrm{t_0} = \frac{\mathrm{t}}{\gamma} = \mathrm{t}\sqrt{1-\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{c}^2}}$

Ejemplo 1: Una partícula tiene una vida media de $2,20 \times 10^{-6}$s en su propio marco de referencia antes de desintegrarse. Si la partícula se mueve hasta alcanzar una velocidad de 0,95c con respecto al laboratorio, ¿cuál es la vida media de la partícula que se mide en el laboratorio?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula 52, de la siguiente manera:

$$\mathrm{t} = \mathrm{t_0}\gamma = \frac{\mathrm{t_0}}{\sqrt{1-\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{c}^2}}} = \frac{2{,}20\times10^{-6}\mathrm{s}}{\sqrt{1-\frac{(0{,}95\mathrm{c})^2}{\mathrm{c}^2}}} = \frac{2{,}20\times10^{-6}\mathrm{s}}{\sqrt{1-0{,}95^2}} = 7,05 \times 10^{-6}\mathrm{s}$$

Por lo tanto, el tiempo relativista de la partícula es de $7,05 \times 10^{-6}$s, confirmando la dilatación temporal predicha por la teoría de la relatividad especial de Einstein.

Ejemplo 2: Considere el siguiente caso hipotético: un astronauta sale de la Tierra en una nave espacial a una velocidad de 0,90c. Cuando para el control de mando en Tierra ha transcurrido 60 s de tiempo del viaje, entonces, ¿cuál es el tiempo propio para el astronauta dentro de la nave?

Respuesta: Primero identifique los datos que se ofrecen en el problema, luego proceda a sustituir los datos requeridos en la fórmula respectiva, de la siguiente manera:

$$\mathrm{t_0} = \frac{\mathrm{t}}{\gamma} = \mathrm{t}\sqrt{1-\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{c}^2}} = (60\mathrm{s})\sqrt{1-\frac{(0{,}90\mathrm{c})^2}{\mathrm{c}^2}} = (60\mathrm{s})\sqrt{1-(0,90)^2} = 26,15\mathrm{s}$$

Por lo tanto, el tiempo propio para el astronauta es de $26,15$s.

20. Fórmulas básicas

Cinemática

- Velocidad relativa: $V_{P/A} = V_{P/B} + V_{B/A}$
- Velocidad media: $\vec{v}_m = \frac{\vec{d}}{t}$
- Rapidez media: $v = \frac{d}{t}$
- Aceleración: $a = \frac{v - v_0}{t}$
- Distancia: $d = v_0 t + \frac{at^2}{2}$

  $d = \left(\frac{v_0 + v}{2}\right) t$

  $d = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$

Dinámica

- Fuerza: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$
- Peso: $\vec{P} = m\vec{g}$

Gravitación Universal

- Aceleración centrípeta: $a_c = \frac{v^2}{r}$
- Fuerza centrípeta: $F_c = m\frac{v^2}{r}$
- Fuerza gravitacional: $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$
- Campo gravitacional: $g = \frac{Gm}{r^2}$
- Velocidad orbital: $v = \sqrt{\frac{Gm}{r}}$

Trabajo y Energía

- Trabajo: $W = F\,(cos\theta)\,d$
- Potencia: $P = \frac{W}{t}$
- Energía cinética: $E_c = \frac{1}{2}mv^2$
- Energía potencial: $E_p = mgh$
- Energía mecánica: $E_M = E_c + E_p$

- Teorema de Trabajo-Energía: $\mathrm{W} = \Delta\mathrm{E}$
- Energía potencial elástica: $\mathrm{E} = \frac{\mathrm{kx}^2}{2}$
- Conservación de la energía mecánica: $\mathrm{E}_{c_A} + \mathrm{E}_{p_A} = \mathrm{E}_{c_B} + \mathrm{E}_{p_B}$

Hidrostática

- Densidad: $\rho = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{V}}$
- Presión: $\mathrm{p} = \frac{\mathrm{F}_{\perp}}{\mathrm{A}}$
- Presión hidrostática: $\mathrm{p} = \rho g \mathrm{h}$
- Ley de Boyle: $\mathrm{p}_1\mathrm{V}_1 = p_2\mathrm{V}_2$
- Principio de Arquímedes (Fuerza se empuje):$\mathrm{F}_{\mathrm{E}} = \mathrm{m}g = \rho g V$

Electrostática y Electromagnetismo

- Carga eléctrica: $\mathrm{q} = \mathrm{ne}$
- Ley de Coulomb: $\mathrm{F} = \frac{\mathrm{KQq}}{\mathrm{r}^2}$
- Campo eléctrico: $\mathrm{E} = \frac{\mathrm{Kq}}{\mathrm{r}^2} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{q}}$
- Potencial eléctrico: $\mathrm{V} = \frac{\mathrm{Kq}}{\mathrm{r}} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{q}}$
- Corriente eléctrica: $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{q}}{\mathrm{t}}$
- Ley de Ohm: $\mathrm{V} = \mathrm{IR}$
- Potencia eléctrica: $\mathrm{P} = \mathrm{IV} = \mathrm{I}^2\mathrm{R}$
- Resistencia equivalente para circuito en serie: $\mathrm{R} = \mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_2 + \cdots$
- Resistencia equivalente para circuito en paralelo: $\frac{1}{\mathrm{R}} = \frac{1}{\mathrm{R}_1} + \frac{1}{\mathrm{R}_2} + \cdots$
- Campo magnético producido en el interior de un solenoide: $\mathrm{B} = \frac{\mu_0\mathrm{NI}}{\mathrm{L}}$
- Campo magnético producido en el interior de una bobina: $\mathrm{B} = \frac{\mu_0\mathrm{NI}}{2\mathrm{r}}$
- Campo magnético inducido por un conductor largo y recto: $\mathrm{B} = \frac{\mu_0\mathrm{I}}{2\pi\mathrm{r}}$

Relatividad Especial

- Contracción de la longitud: $\mathrm{L} = \mathrm{L}_0\sqrt{1 - \frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{c}^2}}$
- Masa relativista aparente: $\mathrm{m} = \frac{\mathrm{m}_0}{\sqrt{1-\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{c}^2}}}$
- Dilatación temporal: $\mathrm{t} = \frac{\mathrm{t}_0}{\sqrt{1-\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{c}^2}}}$

Constantes físicas

- Constante $\pi = 3,14$
- Gravedad en superficie terrestre: $g = 9,80\mathrm{m/s}^2$
- Radio terrestre: $\mathrm{r_T} = 6,37 \times 10^6\mathrm{m}$
- Carga del electrón: $\mathrm{e} = 1,60 \times 10^{-19}\mathrm{C}$
- Velocidad de la luz en el vacío: $\mathrm{c} = 3,00 \times 10^8\mathrm{m/s}$
- Densidad del agua pura: $\rho_{\mathrm{agua}} = 1000\mathrm{k}g/\mathrm{m}^3$
- Masa de la Tierra: $\mathrm{m_T} = 5,98 \times 10^{24}\mathrm{k}g$
- Permeabilidad magnética del vacío: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\mathrm{Tm/A}$
- Constante de Coulomb: $\mathrm{K} = 9,0 \times 10^9\mathrm{Nm}^2/\mathrm{C}^2$
- Constante de gravitación universal: $\mathrm{G} = 6,67 \times 10^{-11}\mathrm{Nm}^2/\mathrm{k}g^2$
- Presión atmosférica sobre el nivel del mar: $1\mathrm{atm} = 1,01 \times 10^5\mathrm{Pa} = 76\mathrm{cmH}g$

Referencias

Alfonseca, M. (1996). *1.000 grandes científicos: Diccionario Espasa.* Espasa, Madrid.

Areatecnología. (2022) Energía potencial eléctrica. Recuperado de: https://www.areatecnologia.com/electricidad/energia-potencial-electrica.html

Asimov, I. (1979). *100 preguntas básicas sobre la ciencia.* Madrid, Alianza Editorial SA.

Colhogar. (2022) *Qué significa reducir, reutilizar y reciclar y cómo hacerlo bien.* Recuperado de: https://www.colhogar.com/es/vida-en-familia/organizando-el-hogar/que-significareducir-reutilizar-y-reciclar-y-como-hacerlo-bien/

Euroinnova. (2022) *¿Qué es la física téorica?.* Recuperado de: https://www.euroinnova.cr/blog/que-es-la-fisica-teorica

Equipos y Laboratorio. (2021) *Onda física.* Recuperado de: https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/onda-fisica

Fano, A; Vargas, L; Donev, J. (2022) Efecto invernadero. Recuperado de: https://energyeducation.ca/es/Efectoinvernadero

FísicaLinda. (2022) *Principio de Pascal.* Recuperado de: https://www.fisicalinda.com/courses/capitulo-5-hidrostatica/lessons/principio-de-pascal/

Gómez, A. (2022) *Reciclar, reutilizar y reducir basura: claves para cuidar el medio ambiente.* Recuperado de: https://www.telam.com.ar/notas/201706/193121-reciclar-reutilizarreducir-basura-medio-ambiente.html

Hewitt, P. G (2022). *Conceptual physics.* Pearson Educación.

Hyperphysics. (2022) *Cálculo de presión de fluidos.* Recuperado de: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/pflu.html

Iberdrola. (2022) *Efecto invernadero.* Recuperado de: https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/consecuencias-efecto-invernadero

Juste, I. (2022) *Efecto invernadero: causas, consecuencias y soluciones.* Recuperado de: https://www.ecologiaverde.com/efecto-invernadero-causas-consecuencias-ysoluciones-1031.html

Ministerio de Educación Pública. (2017). *Programa de Estudio de Física Educación Diversificada.* San José, Costa Rica.

Observatorio Perre Auger. (2018) *¿Qué son los rayos cósmicos?*. Recuperado de: https://visitantes.auger.org.ar/index.php/ique-son-los-rayos-cosmicos-2/

Podo. (2022) *¿Qué es la corriente eléctrica? Tipos y efectos.* Recuperado de: https://www.mipodo.com/blog/informacion/que-es-corriente-electrica/

Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D., Freedman, R. A. (2013). *Física universitaria:* Volumen 1. Pearson Educación de México, SA de CV.

Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D., Freedman, R. A. (2013). *Física universitaria:* Volumen 2. Pearson Educación de México, SA de CV.

$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \Rightarrow E^2 = 0 + m^2c^4 \Rightarrow E = \sqrt{m^2c^4} \Rightarrow E = mc^2$
$\vec{n} = mg$
$\vec{F_1} = 300$ N
m = 200 kg
$\vec{F_2} = 100$ N
superficie
$\vec{f} = 30$ N
$\vec{w} = mg$
$F = \frac{KQq}{r^2}$
$\sum \vec{F} = m\vec{a}$
$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$
$t = t_0\gamma = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
Eje Y
Longitud de onda λ
Cresta
Amplitud
Posición de equilibrio
Eje X
Valle
$\vec{A}$
$\vec{B}$
$\vec{C}$
v (m/s)
5
Distancia
0
4
t (s)
$\vec{R}$
$\vec{B}$
θ
$\vec{A}$
UCR
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA