SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

UnADM
Universidad Abierta y a Distancia de México

División de Ciencias Exactas Ingeniería y Tecnología

Ingeniería en Logística y transporte

3er. Semestre

Unidad Didáctica: Física

Unidad 2. Mecánica

Clave
13142313

Universidad Abierta y a Distancia de México

DCEIT

Índice

Unidad 2. Mecánica

Presentación

Universo

Fuente: Wikipedia

La naturaleza es verdaderamente coherente y confortable consigo misma.

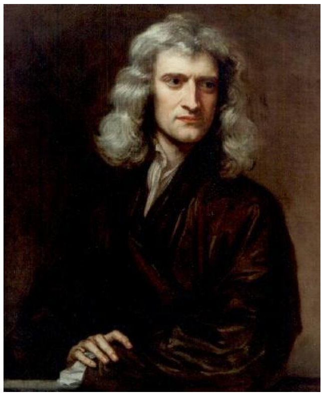
Isaac Newton

Todo en el universo se encuentra en movimiento, no existe partícula (un punto con masa despreciable y un tamaño infinitesimal) alguna que se encuentre en reposo absoluto. Las galaxias se separan unas de otras a grandes velocidades, las estrellas giran unas en torno de otras, los planetas del sistema solar se trasladan y rotan en torno al sol, los átomos que forman la materia están constantemente en movimiento y aún las partículas que los conforman se mueven a velocidades cercanas a la velocidad de la luz.

Entender la idea de “movimiento” es una de las hazañas del pensamiento humano que más han ayudado a comprender la naturaleza y ha concedido la viabilidad de aplicaciones tecnológicas de mucho impacto en la vida humana.

El estudio experimental de este fenómeno inició hace más de 400 años dando inicio a una de las ramas de la física llamada cinemática, la cual se encarga de describir el movimiento de los cuerpos.

UNIDAD 2. MECÁNICA



Sir Isaac Newton
Fuente: [Wikipedia]

El estudio de las causas que lo originan dio paso a la dinámica y a la síntesis realizada por Sir Isaac Newton en sus Tres leyes, que son fundamentales para conocer y describir los movimientos de los cuerpos celestes y terrestres.

En esta unidad aprenderás las leyes que rigen el movimiento de los cuerpos, los conceptos que te ayudarán a describir y modelar fenómenos físicos de la vida diaria, a resolver y explicar problemas relacionados con el tema.

COMPETENCIA ESPECÍFICA

Describe fenómenos dinámicos y estáticos para predecir el comportamiento de un cuerpo aplicando las leyes de la mecánica clásica.

LOGROS

- ✓ Consolidar los conceptos básicos para describir el movimiento como: desplazamiento, velocidad y aceleración.
- ✓ Reforzar los conceptos y las fórmulas que permiten la descripción del movimiento en dos dimensiones.
- ✓ Utilizar las leyes de Newton para resolver diversos problemas de mecánica que involucran las Tres leyes de la física y la Ley de la gravitación.
- ✓ Consolidar el concepto de Conservación de la energía mecánica.
- ✓ Vincular los conceptos involucrados en las leyes de la mecánica en el funcionamiento de la polea.

2.1. Cinemática

El problema del movimiento es uno de los grandes obstáculos intelectuales que el ser humano ha enfrentado. Sus alcances han sido sorprendentes. Aún los griegos, con toda su sofisticación intelectual y habilidad matemática, tuvieron dificultades al inventar los conceptos que resolvieran este fenómeno, y fue hasta el siglo XVII cuando se pudieron construir los conceptos de velocidad, aceleración y cantidades instantáneas.

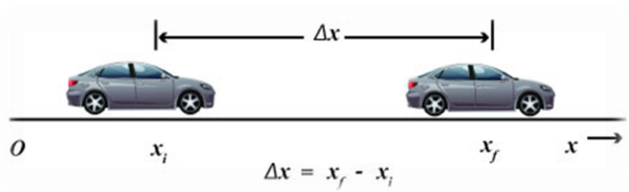
Movimiento

Fuente: [Pixabay]

En este subtema estudiaremos los conceptos relacionados con la descripción del movimiento, tales como su posición, velocidad, aceleración media e instantánea. Los aplicaremos para describir y modelar el movimiento de objetos de la vida cotidiana, en una y dos dimensiones, usando tablas, gráficas y las ecuaciones que los representen.

2.1.1 Desplazamiento, velocidad y aceleración

Para comprender el estudio de la cinemática, es necesario primero definir los conceptos de **desplazamiento, velocidad y aceleración**. Es posible comenzar el estudio del concepto de **desplazamiento** si visualizamos el movimiento de una partícula y esto es posible si sabemos su posición en cada momento, esto considerando que su posición es el lugar que ocupa con respecto a un punto de referencia seleccionado, consideremos entonces que se trata del origen de un sistema coordenado, y se muestra en la siguiente imagen.



Desplazamiento en línea recta

Fuente: [Wikipedia]

Desplazamiento

Para el caso del automóvil de la figura "Desplazamiento en línea recta", si su posición en un tiempo t_1 es x_1 y, posteriormente, x_2 en un tiempo t_2, definimos el desplazamiento Δx como:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

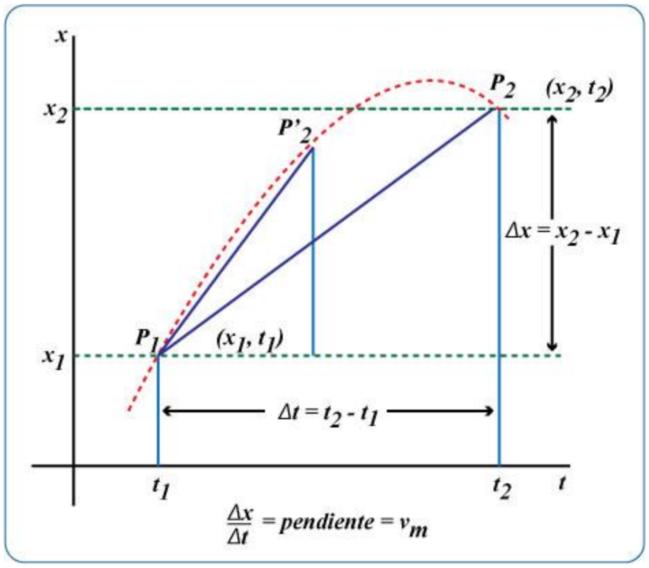
Velocidad media

Se define como el cociente del desplazamiento Δx entre el intervalo de tiempo Δt.

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

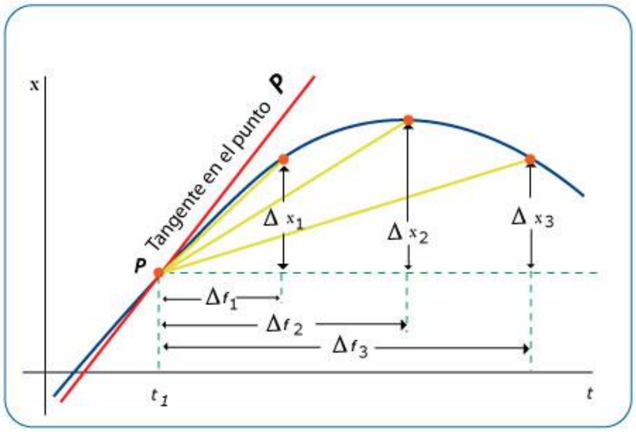
Las unidades de la velocidad media serían *m/s (metros / segundos).*

Gráficamente podemos visualizar la velocidad media como la pendiente de la recta que une los puntos P1 y P2 que se encuentran sobre la curva y que representa el movimiento de una partícula en dos posiciones distintas, observa la siguiente figura.



Gráfica de Velocidad media

Definimos, la velocidad instantánea como la pendiente de la tangente a la curva en el punto P, ver la siguiente gráfica donde se visualiza la pendiente:



Gráfica de Velocidad instantánea

La velocidad instantánea puede definirse a partir del concepto de límite[1] (ver a fondo el concepto de límite en tu curso de cálculo).

Velocidad instantánea

Se define como el límite de $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ cuando Δt se aproxima a cero.

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

A esta cantidad se le llama la derivada de x con respecto a t.

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Los valores que toma la derivada pueden ser positivos, negativos o cero.

La velocidad de una partícula puede cambiar con el tiempo; a este cambio en la velocidad le llamamos aceleración.

Aceleración promedio

De manera análoga a como se hizo con la velocidad, definimos aceleración promedio como el cambio de velocidad $\Delta v = v_2 - v_1$ en un intervalo de tiempo Δt.

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_2} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

La aceleración tiene unidades de velocidad divididas entre el tiempo, es decir, metros sobre segundo cuadrado, m/s^2.

[1] En nuestro contexto el concepto de límite matemático es una magnitud fija a la que se aproxima cada vez más los términos de una secuencia infinita de magnitudes.

Al igual que la velocidad instantánea podemos definir la aceleración instantánea a partir del concepto de límite y derivada.

Aceleración instantánea

La aceleración instantánea, que nos permitirá saber la aceleración en cada punto del intervalo, la definimos como el límite del cociente de la aceleración promedio.

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

O sea,

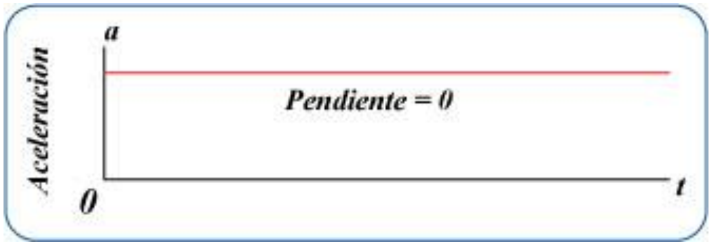
$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt}$$

Cuando hablemos de aceleración, nos referiremos a la aceleración instantánea de acuerdo con esta última relación.

Todos estamos familiarizados con la aceleración. La idea clave que define a la aceleración es *cambio*. Decir que estamos acelerando es decir de alguna manera que estamos cambiando nuestro estado de movimiento.

2.1.2 MOVIMIENTO CON ACELERACIÓN CONSTANTE

Si la aceleración de una partícula es constante, entonces la aceleración promedio y la aceleración instantánea son iguales. Nótese cómo se representa el movimiento con aceleración constante en la siguiente gráfica:



Movimiento con aceleración constante

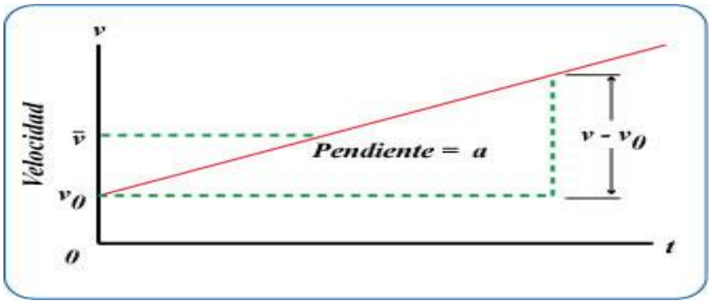
Si la partícula inicialmente tiene velocidad v_0 en el tiempo $t = 0$ y velocidad v en un tiempo t, la aceleración, de acuerdo con la definición de aceleración promedio, estaría dada por:

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

Si despejamos la velocidad de la relación anterior, obtenemos:

$$\boxed{v = v_0 + at}$$

La ecuación anterior representa una línea recta con pendiente a y ordenada al origen v_0, como se visualiza en la siguiente gráfica:



Gráfica que representa la línea recta con pendiente ***a***

Ahora, obtendremos una expresión para encontrar la posición de la partícula en cualquier tiempo. Recordando que la expresión para la velocidad promedio en el intervalo Δt, cuando la gráfica es una línea recta, es el valor medio de las velocidades en el tiempo t y t_0:

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v + v_0)$$

Sustituimos el valor de *v*, usando la expresión:

$$v = v_0 + at$$

Obtenemos:

$$\bar{v} = v_0 + \frac{1}{2}at$$

La velocidad promedio está dada por:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - 0}$$

Cuando la partícula se encuentra en la posición *x* en el tiempo *t*, y en la posición x_0 en el tiempo 0. Despejamos *x*.

$$x = x_0 + \bar{v}\, t$$

Sustituimos el valor de la velocidad media:

$$x = x_0 + \left(v_0 + \frac{1}{2}\, at \right) t$$

Reacomodando términos:

$$\boxed{x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}\, at^2}$$

Para eliminar el tiempo, despejamos de la siguiente ecuación a *t:*

$$v = v_0 + at$$

Obtenemos:

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

De la velocidad media

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v + v_0)$$

Multiplicamos por t y obtenemos:

$$\Delta x = \bar{v}t = \frac{1}{2}\,(v + v_0)t$$

Sustituimos el valor de t

$$\Delta x = \bar{v}\frac{v - v_0}{a} = \frac{1}{2}\,(v + v_0)\,\frac{v - v_0}{a}$$

Reacomodando términos

$$\Delta x = \left(\frac{1}{2}\right)\frac{v^2 - v_0^2}{a}$$

Como, $\Delta x = x - x_0$ la expresión anterior queda:

$$x - x_0 = \left(\frac{1}{2}\right)\frac{v^2 - v_0^2}{a}$$

Despejando v^2, obtenemos:

$$\boxed{v^2 = v_0^2 + 2_a(x - x_0)}$$

La fórmula tiene un detalle sutíl, en cuanto a la variable de la aceleración *a*, la fórmula correcta es: $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$

Otra expresión bastante útil se obtiene al quitar la aceleración de las expresiones, de la velocidad media, cuando la velocidad de la partícula en *t* es *v* y en *t*=0 es v_0.

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v + v_0)$$

Sustituyendo:

$$\frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{1}{2}(v + v_0)$$

Despejamos x, obtenemos:

$$\boxed{x = x_0 + \frac{1}{2}(v + v_0)t}$$

Resumiendo, las ecuaciones que nos permiten modelar un movimiento con aceleración constante son:

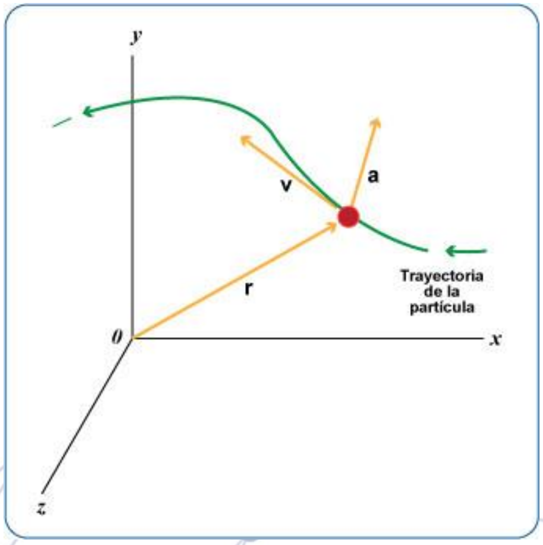
$$\boxed{\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ x &= x_0 + \frac{1}{2}(v + v_0)t \\ x &= x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \\ v^2 &= v_0^2 + 2a(x - x_0) \end{aligned}}$$

2.1.3 Movimiento bidimensional: circular y tiro parabólico

En este subtema continuaremos con el estudio del movimiento, pero ahora será en dos dimensiones. La herramienta matemática que nos auxiliará son los *vectores*. Veremos que las ecuaciones para una dimensión se pueden utilizar de manera general al sustituir la variable unidimensional con el vector que le corresponde.

Movimiento bidimensional

Observa la siguiente gráfica.

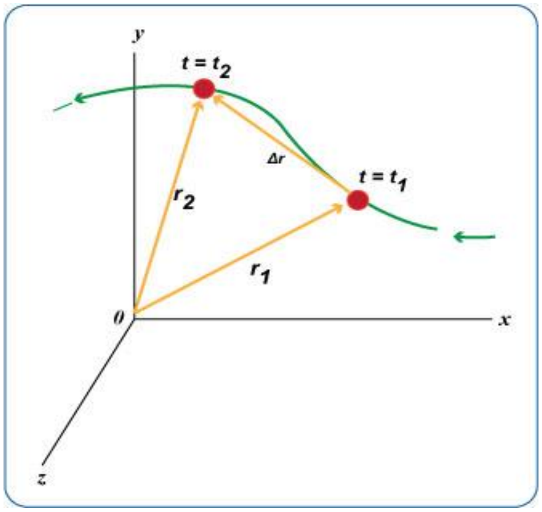


Trayectoria de la partícula y la representación vectorial de la velocidad y aceleración.

¿Qué notaste? La posición de la partícula está representada por el vector ***r***, la velocidad por el vector ***v*** y la aceleración por el vector ***a***. Las componentes cartesianas del vector serían:

$$r = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}$$

Donde ***i***, ***j*** y ***k*** son los vectores unitarios en la dirección *x*, *y* y *z*, respectivamente. Si la partícula se mueve de la posición $\boldsymbol{r_1}$ a la posición $\boldsymbol{r_2}$ en el tiempo t_1 al t_2, el desplazamiento será el vector $\Delta\mathbf{r}=\mathbf{r_2}-\mathbf{r_1}$. Visualízalo en la gráfica:



Trayectoria de la partícula, desplazamiento de la posición $\boldsymbol{r_1}$ a la posición $\boldsymbol{r_2}$ en el tiempo t_1 al t_2.

El intervalo de tiempo sería $\Delta t = t_2 - t_1$, la velocidad promedio en ese intervalo es:

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

La velocidad instantánea será el límite cuando el intervalo de tiempo Δt se aproxime a cero de la velocidad promedio,

$$\bar{v} = \lim \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

La velocidad instantánea será tangencial en cualquier punto de la trayectoria del movimiento de la partícula y se representa como la derivada del vector ***r*** con respecto al tiempo:

$$v = \frac{dr}{dt}$$

Las componentes del vector velocidad, serían:

$$v_x\, i + v_y \mathrm{j} + v_z k = \frac{d}{dt}(xi + yj + zk)$$
$$= \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j + \frac{dz}{dt} k$$

De donde se obtiene:

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

De igual forma definimos la aceleración promedio:

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

Y la aceleración instantánea, que es el límite de la aceleración promedio cuando el intervalo de tiempo Δt tiende a *cero*.

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

Que se representa como la derivada del vector ***v*** con respecto al tiempo:

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt}$$

Cuyas componentes serían:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \qquad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \qquad a_z = \frac{dv_z}{dt}$$

Tanto la aceleración como la velocidad son magnitudes vectoriales porque tienen dirección y magnitud. Si una de estas características cambia, existirá un cambio en la velocidad o en la aceleración, aunque su magnitud no lo haga.

Cuando el movimiento de una partícula tiene aceleración constante, el vector aceleración *a* **no cambia ni en dirección ni en magnitud,** en este caso las componentes del vector son constantes.

$$a_x = \text{constante}, \quad a_y = \text{constante}, \quad \text{y} \quad a_z = \text{constante}$$

La partícula tendría entonces una posición y velocidad inicial dadas por los vectores

$$\boldsymbol{r_0} = x_0\boldsymbol{i} + y_0\boldsymbol{j} + z_0\boldsymbol{k}$$

$$\boldsymbol{v_0} = v_{x0}\boldsymbol{i} + v_{y0}\boldsymbol{j} + v_{z0}\boldsymbol{k}$$

La velocidad, para una aceleración constante, en analogía con el movimiento unidimensional, sería:

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v_0} + \boldsymbol{a}t$$

Cuyas componentes escalares estarían dadas por:

$$v_x = v_{x0} + a_x t$$

$$v_y = v_{y0} + a_y t$$

$$v_z = v_{z0} + a_z t$$

De la misma manera, las ecuaciones vectoriales que representan el movimiento con aceleración constante en dos o más dimensiones serían:

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{a}t$$

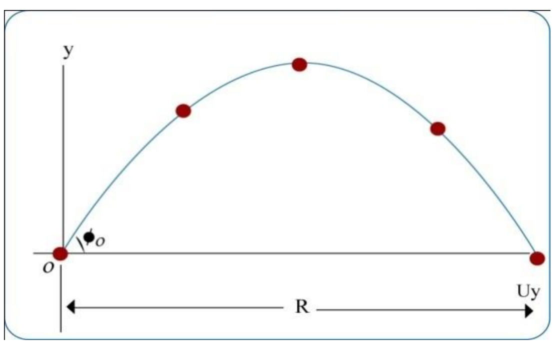
$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0 + \boldsymbol{v}_0 t + \frac{1}{2}\boldsymbol{a}t^2$$

$$\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0\cdot\boldsymbol{v}_0 + 2\boldsymbol{a}\cdot(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}_0)$$

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0 + \frac{1}{2}(\boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{v})\,t$$

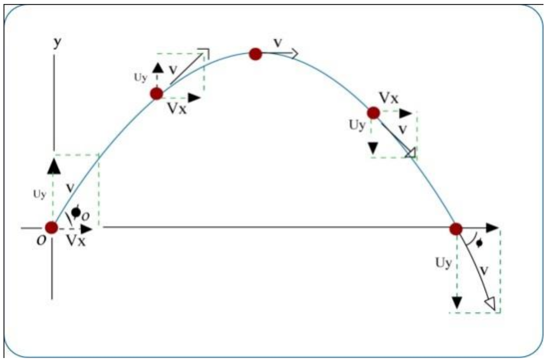
Tiro parabólico

Estudiemos el movimiento de un proyectil que es lanzado con una velocidad inicial $\boldsymbol{v}$. En este caso, la aceleración debido a la gravedad es constante. Supongamos que la resistencia del aire es despreciable y no será considerada en nuestra descripción. La siguiente figura, muestra nuestro caso de estudio.



Trayectoria del proyectil, sistema de coordenadas y partícula.

La aceleración es $\boldsymbol{g}$ y está dirigida hacia abajo, de acuerdo a nuestro sistema de coordenadas. El vector de velocidad $\boldsymbol{v}$, tendría dos componentes, $\boldsymbol{v}_x$ y $\boldsymbol{v}_y$, ya que el movimiento está sobre el plano *xy*.



Se agrega el vector ***v*** y sus componentes

La componente del vector en x es de tamaño constante; la componente en *y* va disminuyendo conforme el proyectil sube, hasta desaparecer cuando está en la parte más elevada. Cuando inicia el descenso, la magnitud de la componente comienza a aumentar. La velocidad inicial $\boldsymbol{v_0}$ en $t=0$, tiene los componentes:

$$V_{x0}=v_0 \cos \emptyset_0$$

$$V_{y0}= v_0 sen\emptyset_0$$

Como no hay una componente horizontal de la aceleración, la velocidad en ***x*** es constante durante todo el recorrido:

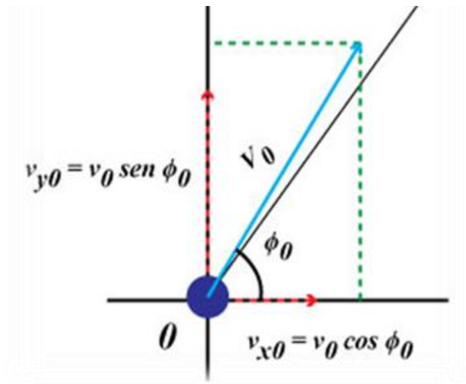
$$v_x = v_{x0} + a_x t = v_0 \cos \emptyset_2$$

La componente vertical cambia con el tiempo debido a la aceleración de la gravedad:

$$v_y = v_{y0} + a_y t = v_0 sen\emptyset_0 - gt$$

Donde:

$$a_y = -g \quad \text{y} \quad v_{y0}= v_0 \, sen \, \emptyset_0$$



Descomposición vectorial de la velocidad en el plano *xy*.

La magnitud del vector velocidad en cualquier instante es:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

El ángulo en ese instante estaría dado por:

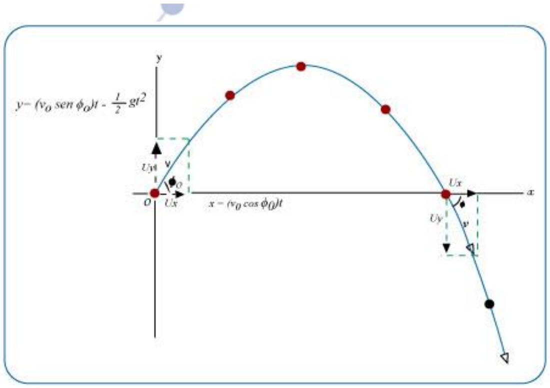
$$\tan \emptyset = \frac{v_y}{v_x}$$

La coordenada *x*, con $x_0=0$ y $a_x=0$, sería:

$$x = x_0 + v_{x0}t + \tfrac{1}{2}a_x t^2 = (v_0 \cos \phi_0)t$$

La coordenada y, con $y_0=0$ y a=-g, es:

$$y = y_0 + v_{y0}t + \tfrac{1}{2}a_y t^2 = (v_0\, \text{sen}\, \phi_0)t - \tfrac{1}{2}gt^2$$



Valor de ***x*** y ***y*** durante la trayectoria

Si despejamos el tiempo ***t*** de las ecuaciones x y ***y***, e igualamos y despejamos ***y***, obtenemos:

$$y = (tan\emptyset_0)x - \frac{g}{2(v_0\ cos\emptyset_0)^2}x^2$$

Que es la ***ecuación de una parábola***. El alcance ***R*** horizontal del proyectíl lo obtenemos cuando y = 0. Observa la siguiente figura.

$$0 = (\tan\emptyset_0)x\ - \frac{g}{2\ (v_0 \cos\emptyset_0\ )^2}x^2$$

Al resolver la ecuación de segundo grado para ***x***, obtenemos el alcance:

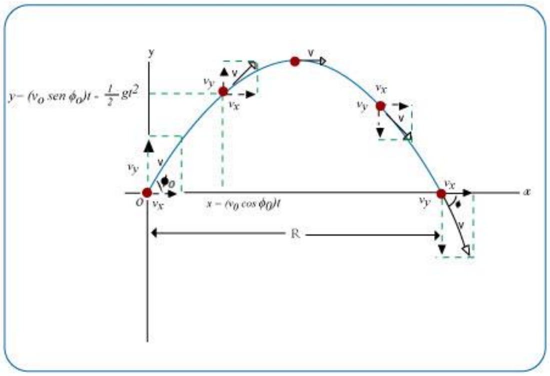
$$R = \frac{2v_0^2}{g}\ sen\ \emptyset_0 \cos\emptyset_0$$

Y como

$$sen\ 2\theta = 2\ sen\ \theta \cos\theta$$

Entonces el alcance sería:

$$R = \frac{v_0^2}{g} sen\ 2\emptyset_0$$

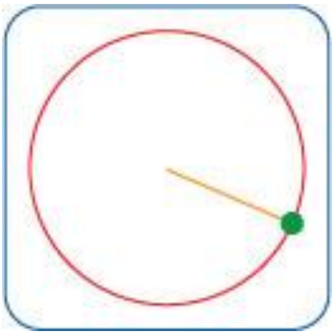


Se muestra la parábola que sigue la trayectoria y el alcance R

Movimiento circular

En el movimiento circular examinaremos el caso en el que una partícula se mueve en una trayectoria circular a "*velocidad constante*". La velocidad y la aceleración son constantes en magnitud, pero cambian en dirección continuamente. No existe una componente de la aceleración paralela a la trayectoria, de otra manera cambiaría la velocidad en magnitud; el vector *aceleración* es perpendicular a la trayectoria y apunta hacia el centro del movimiento circular.

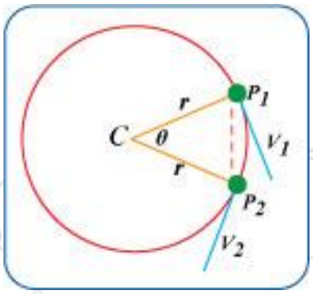
Ejemplos de este fenómeno son el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, los planetas girando en torno al Sol, el giro de los discos compactos o los ventiladores.



Un planeta moviéndose en torno al sol, en trayectoria circular

Observemos que al pasar un planeta de la posición P_1 en el tiempo t_1 a la posición P_2, en el tiempo $t_2 = t_1 + \Delta t$, forma un ángulo θ entre ambos vectores, la velocidad en P_1 es v_1 y en P_2 es v_2, ambos vectores con magnitud igual pero dirección diferente. La longitud de la trayectoria entre P_1 y P_2 en el tiempo Δt sería el arco descrito por $r\theta$, pero también es igual a la $v\Delta t$, es decir:

$$\boxed{r\theta = v\Delta t}$$



Planeta alrededor del Sol. Se observa el vector posición r, el punto de identificación P1 y P2, el vector velocidad para cada punto, el ángulo que forman y el centro C en el Sol.

Si colocamos los orígenes del vector velocidad de los puntos P_1 y P_2 de tal manera que coincidan y conserven la misma dirección, tendríamos un triángulo semejante al que forman el vector **r** y los puntos P_1 y P_2. Trazando una bisectriz en el triángulo formado por $\mathbf{v_1}$, $\mathbf{v_2}$ y O, obtenemos para uno de los triángulos rectángulos así formados:

$$\frac{1}{2}\Delta v = v sen\,\frac{\theta}{2}$$

La velocidad promedio, usando los datos anteriores, sería:

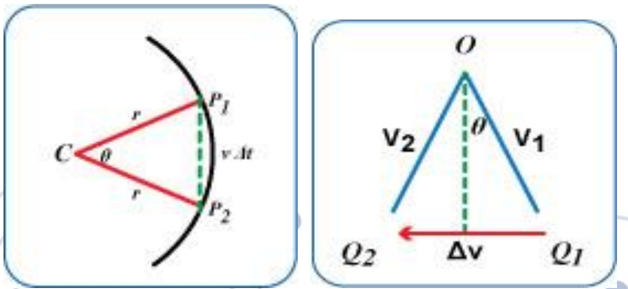
$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2v\,sen\,(\theta/2)}{r\theta/v} = \frac{v^2}{r}\frac{sen\,(\theta/2)}{\theta/2}$$

La aceleración instantánea sería:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{v^2}{r}\frac{\text{sen}\,(\theta/2)}{\theta/2} = \frac{v^2}{r}\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\text{sen}\,(\theta/2)}{\theta/2}$$

Como el $\text{sen}\,\theta/2 \approx \theta/2$ cuando el ángulo θ es muy pequeño, lo que sucede al ser Δt muy pequeño, el cociente $\frac{sen\,(\theta/2)}{\theta/2}$ es igual a 1, por lo que obtenemos:

$$\boxed{a = \frac{v^2}{r}}$$

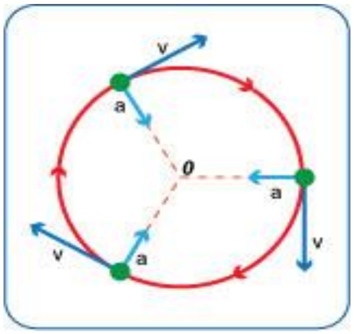


Triángulo semejante que forma el vector ***r*** y los puntos P_1 y P_2.

La dirección del vector aceleración siempre es perpendicular al vector velocidad y apunta hacia el centro del círculo. Por esta razón se le llama ***aceleración radial o centrípeta***. Aunque la magnitud de la velocidad no cambia, sí lo hace su dirección debido a la aceleración centrípeta, por lo que el vector velocidad no es el mismo en cada punto de la trayectoria debido al cambio de dirección.

Al tiempo *T* requerido para que la partícula dé una vuelta completa se le llama periodo, tiempo en el cual la partícula recorre una distancia $2\pi r$, donde r es el radio de la circunferencia, la velocidad estaría dada por:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$



El planeta gira alrededor del Sol, se muestran los vectores ***v*** y ***a***

2.2 Leyes de Newton

En el estudio de la física, la ley de la inercia y el concepto de fuerza han sido uno de los grandes tropiezos para su comprensión. A la mente humana le tomó mucho tiempo develar los aspectos de este fenómeno natural. Los conceptos de fuerza y masa tienen concepciones particulares en la vida y la comunicación diaria, aunque en este tema usaremos las mismas palabras, el significado que tienen en física es muy preciso y alejado de muchos aspectos cotidianos.

En este tema iniciaremos con una descripción cualitativa de las leyes de Newton, una interpretación operacional y su aplicación en la descripción de fenómenos físicos de la vida diaria.

2.2.1 Primera ley de Newton o ley de la inercia

Cuando Isaac Newton publicó *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, en 1687, la primera ley ya había sido asimilada y comprendida por todos los filósofos naturales de la época, él no se adjudica la autoría de esta ley, sino que agradece a quienes lo precedieron, pero se deslinda del pensamiento Aristotélico. Veamos la definición de fuerza de contacto que da Newton: Una fuerza de contacto es una acción que se ejerce sobre un cuerpo para cambiar su estado ya sea de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme. Entonces, como **primera ley**, tenemos:

> Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que sea obligado a cambiar ese estado por fuerzas que actúan sobre él.

Primera Ley de Newton
Fuente: Pixabay

De acuerdo con esta ley, debemos aceptar el hecho de que el **reposo** y el **movimiento rectilíneo uniforme** son los estados naturales de los objetos y que las interacciones con otros objetos son necesarias para producir cambios en tal movimiento.

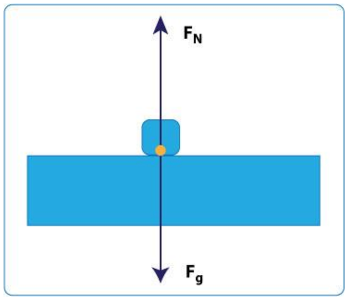
Tenemos, entonces, una definición cualitativa de **fuerza**, es decir, es la acción de un agente externo hacia el cuerpo en movimiento que produce un cambio en la velocidad. El cambio incluye a la dirección y magnitud, a la tendencia de un cuerpo a mantenerse en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme se le llama **inercia**.

La primera ley de Newton no se cumple en todas las situaciones, necesitamos un marco de referencia para describir el movimiento del cuerpo. A los marcos de referencia en los que se cumple la primera ley se les denomina **marcos de referencia inercial**. Un marco de referencia inercial común es el planeta tierra, donde la descripción de los fenómenos físicos puede explicarse con base en las leyes de Newton y ser aplicados a otros sistemas de referencia inerciales. Cualquier sistema que se encuentre en movimiento rectilíneo uniforme con respecto a un sistema de referencia inercial, también es un sistema de referencia inercial. En todos los marcos de referencia inercial, un observador mediría el mismo valor de la aceleración.

Una herramienta que te servirá para determinar las fuerzas que actúan en un cuerpo es el ***diagrama de cuerpo libre***. Mediante la siguiente tabla se te mostrará cómo determinar la fuerza de un cuerpo en equilibrio utilizando el diagrama de cuerpo libre, mientras que simultaneamente conocerás el sustento teórico para determinar la fuerza de un cuerpo en equilibrio.

El diagrama de cuerpo libre

Un diagrama de cuerpo libre es una representación gráfica donde se muestra al cuerpo como una partícula y se muestran todas las fuerzas, como vectores, que actúan sobre la partícula.



Cuerpo en equilibrio sobre una mesa

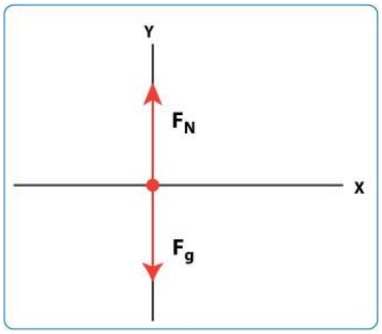


Diagrama de cuerpo libre de la figura anterior

Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son la fuerza de gravedad y la fuerza normal, que es la fuerza que ejerce la mesa sobre el cuerpo y es perpendicular a la superficie de la mesa.

Cuerpos en equilibrio

Cuando un cuerpo se encuentra en reposo, la suma de las fuerzas, la fuerza resultante, que actúa sobre el cuerpo es cero.

La suma vectorial de tales fuerzas sería:

$$\vec{R} = \overline{F_1} + \overline{F_2} + \overline{F_3} + \cdots = \sum \vec{F}$$

Las componentes de la resultante, en dos dimensiones:

$$R_x = \sum F_x$$

$$R_y = \sum F_y$$

Donde $\sum F$ representa la suma de las componentes de la fuerza en la dirección respectiva.

La magnitud de la fuerza resultante sería:

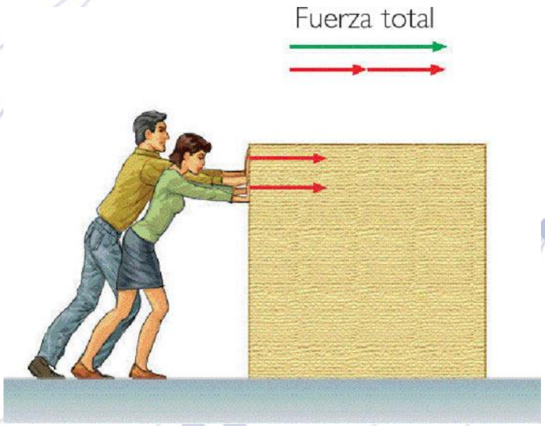
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Y la dirección es dada por el ángulo que forma la resultante R y la dirección positiva del eje x,

$$\tan\theta = \frac{R_y}{R_x}$$

Como el cuerpo se encuentra en equilibrio, permanece en reposo, y la suma de las fuerzas, la resultante, tendrá que ser cero. $R = \sum F = F_N + F_g = 0$ Cuyas componentes $R_x = \sum F_x = F_{Nx} + F_{gx} = 0$ $R_y = \sum F_y = F_{Ny} + F_{gy} = 0$	Para el caso que explicamos, un cuerpo en reposo, la resultante de las fuerzas debe ser cero $R = \sum F = 0$ Por lo que cada una de sus componentes debe también ser cero $R_x = \sum F_x = 0$ $R_y = \sum F_y = 0$ Si la resultante de las fuerzas es cero, se dice que el cuerpo está en equilibrio.

2.2.2 Segunda ley de Newton o ley de la fuerza



Segunda Ley de Newton
Fuente: [Biblioteca]

Es un hecho físico experimental que la fuerza ***F*** es proporcional a la aceleración ***a*** cuando diferentes fuerzas se aplican a un cuerpo, es decir, la naturaleza nos dice que existe un número único, una propiedad del cuerpo dado, que es la constante de proporcionalidad. Si denotamos a la constante de proporcionalidad por m, escribimos:

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

Donde $\boldsymbol{m}$, la propiedad del cuerpo que está siendo acelerado, es la pendiente de la línea recta correspondiente. Le damos a esta propiedad el nombre de "masa inercial" o simplemente "masa".

La existencia de este número, único para cada cuerpo, no es sólo una cuestión de definición ni tampoco se deduce de principios teóricos, es un hecho físico experimental: ***una ley de la naturaleza***.

También es un hecho experimental que las masas de los cuerpos se suman o restan aritméticamente cuando los cuerpos se combinan o separan. El experimento también confirma que dos fuerzas iguales en la misma dirección que se aplican sobre un cuerpo lo aceleran dos veces más que si lo hiciera una sola fuerza; dos fuerzas iguales en direcciones opuestas se sustraen una de otra sin acelerar el cuerpo. De manera general, las fuerzas colineales se superponen algebraicamente; dos fuerzas a diferentes ángulos aplicadas a un mismo cuerpo se suman de la misma manera que las velocidades y las aceleraciones, se comportan como cantidades vectoriales. La aceleración está siempre en la dirección de la fuerza resultante.

El **peso** de un cuerpo es la fuerza gravitacional ejercida por la tierra sobre el objeto, impartiendo una aceleración de **9.8 m/s^2**. El peso será diferente si te encuentras en la luna o en algún otro planeta; sin embargo, la masa será la misma. La unidad de la masa en el sistema internacional de medidas es el kilogramo (K). De acuerdo con la relación:

$$F = ma$$

La fuerza tendría unidades de $[Kgm/s^2]$ que lo definimos como Newton, entonces;

$$1\,N = 1\,\frac{kg\,m}{s^2}$$

Considerando los hechos experimentales anteriores, la segunda Ley de Newton afirma:

La fuerza resultante de la suma de fuerzas que actúan sobre un cuerpo es proporcional al cambio en la aceleración del cuerpo.

La fuerza resultante, también llamada **fuerza neta**, de la suma de fuerzas que actúan sobre el cuerpo sería:

$$\boldsymbol{R} = \sum \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

Las componentes en tres dimensiones de la resultante serían:

$$R_x = \sum \boldsymbol{F_x} = \sum \boldsymbol{ma_x}$$
$$R_y = \sum \boldsymbol{F_y} = \sum \boldsymbol{ma_y}$$
$$R_z = \sum \boldsymbol{F_z} = \sum \boldsymbol{ma_z}$$

La relación anterior es la **ecuación fundamental de la mecánica**. Si se conoce el tipo de fuerza que actúa sobre el cuerpo, es posible describir su movimiento con mucha precisión. Ahora continuemos con otra forma de expresar la segunda Ley de Newton:

¿Podemos conocer el movimiento final de una colisión entre dos cuerpos si conocemos los movimientos iniciales, pero desconocemos la fuerza que cambia el movimiento?

La respuesta a la pregunta es sí. Para esto es necesario definir el ***momento lineal*** de un cuerpo. El momento lineal se define como el producto de la masa por la velocidad del cuerpo:

$$\mathrm{p} = \mathrm{mv}$$

El momento es una magnitud vectorial y su dirección es la misma que la dirección de la velocidad. La segunda ley de Newton puede reformularse en función del momento como:

> La resultante de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es igual al cambio en el momento con respecto al tiempo del cuerpo.
>
> $$\sum F = \frac{dp}{dt}$$

Si la masa es constante, tenemos la formulación de la segunda ley de Newton:

$$\sum \boldsymbol{F} = \frac{\boldsymbol{dp}}{\boldsymbol{dt}} = \frac{\boldsymbol{d}}{\boldsymbol{dt}}(\boldsymbol{mv}) = \boldsymbol{m}\frac{\boldsymbol{dv}}{\boldsymbol{dt}} = \boldsymbol{ma}$$

Definimos el impulso como la fuerza que se aplica a un cuerpo durante un intervalo de tiempo (es importante regresar a sus notas de sus cursos de cálculo diferencial e integral).

$$J = \int_{t_1}^{t_2} F dt$$

La relación entre impulso y momento se expresa en un importante teorema llamado ***Teorema del impulso-momento:***

> El impulso de la fuerza neta que actúa sobre una partícula durante un intervalo determinado es igual al cambio del momento de la partícula durante el intervalo.
>
> $$J_{neto} = \Delta p = p_f - p_i$$

Para un sistema aislado compuesto de dos cuerpos tenemos la ley de conservación del momento lineal:

El momento lineal total del sistema permanece constante cuando la fuerza externa que actúa sobre el sistema es cero.

$$\frac{dp}{dt} = 0$$

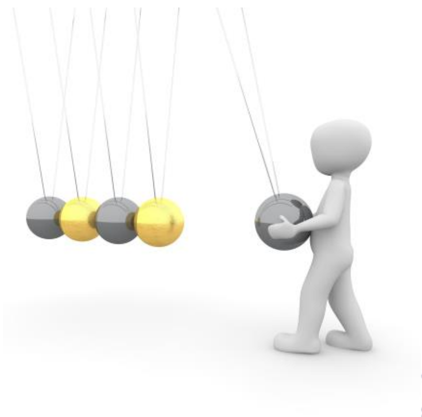
Si el momento lineal del sistema es p_i y el final es p_f la ley de conservación del momento nos dice:

$$\boldsymbol{p_f} = \boldsymbol{p_i}$$

2.2.3 Tercera ley de Newton o ley de acción y reacción

Todos los cuerpos que interactúan ejercen fuerzas iguales y opuestas sobre cada uno, instante por instante; esto se aplica tanto a cuerpos separados interactuando gravitatoriamente como a cuerpos que ejercen fuerzas de contacto uno al otro.

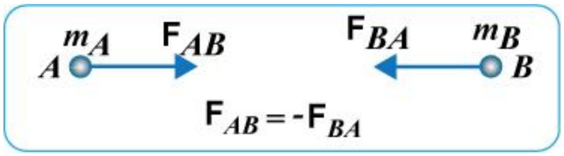
La tercera Ley de Newton señala, que las fuerzas siempre se presentan en pares, toda fuerza es parte de la interacción mutua entre dos cuerpos. Estas fuerzas siempre son iguales en magnitud y opuestas en dirección. No puede existir una fuerza aislada.



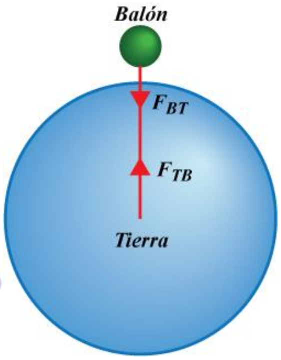
Tercera Ley de Newton
Fuente: [Pixabay]

De acuerdo con lo anterior, la tercera ley de Newton dice:

> Si un cuerpo A ejerce una fuerza $\boldsymbol{F_{AB}}$ sobre otro cuerpo B, el segundo cuerpo ejerce una fuerza $\boldsymbol{F_{BA}}$ de la misma magnitud, pero en sentido opuesto sobre el primero.

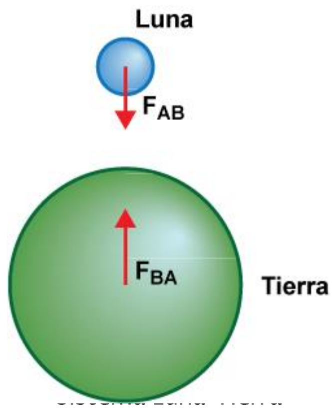


Al par de fuerzas $\boldsymbol{F_{AB}}$ y $\boldsymbol{F_{BA}}$, debido a la interacción de los dos cuerpos, suele llamársele fuerza de acción y de reacción. Cualquiera de las dos fuerzas podría ser la acción y la otra la reacción. Las fuerzas de acción y reacción siempre operan sobre cuerpos diferentes. Si observamos que dos fuerzas de la misma magnitud operan en sentido opuesto, pero sobre el mismo cuerpo, no pueden ser fuerzas de acción-reacción. Un ejemplo de pares de fuerza acción reacción sería un cuerpo en caída libre. Observa con atención la siguiente figura.

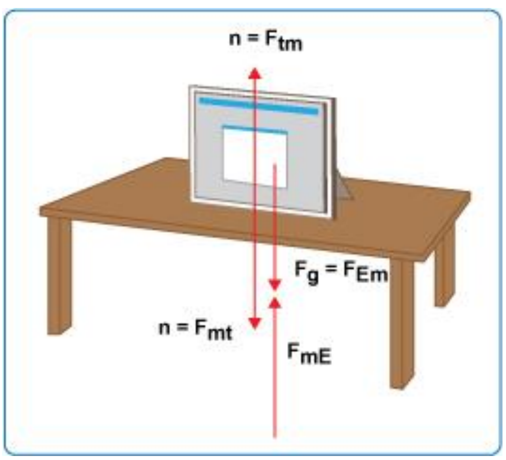


Cuerpo en caída libre

La fuerza que actúa sobre el balón es la fuerza de gravedad F_{BT}, debido a la atracción gravitacional de la Tierra, pero el cuerpo también ejerce una fuerza F_{TB} de la misma magnitud sobre la Tierra. Observa el sistema Luna-Tierra:



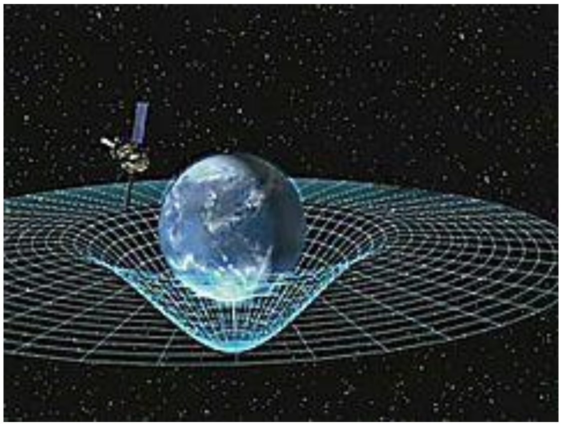
La Luna ejerce una fuerza F_{BA} sobre la Tierra y la Tierra ejerce una fuerza F_{AB} sobre la Luna, ambas debido a la atracción gravitacional. Nota que las fuerzas tienen la misma magnitud, en dirección contraria, pero aplicadas a diferentes cuerpos. Observa con atención la siguiente imagen:



Televisión sobre una mesa

En la figura tenemos dos pares de fuerzas, la fuerza que ejerce la TV sobre la mesa, $\boldsymbol{F}_{tm}$, y la fuerza de la mesa sobre la TV, $\boldsymbol{F}_{mt}$; por otro lado, la fuerza que ejerce la Tierra sobre la TV, $\boldsymbol{F}_g = \boldsymbol{F}_{Em}$, y la fuerza que ejerce la TV sobre la Tierra, $\boldsymbol{F}_{mE}$.

2.2.4 Ley de la Gravitación Universal



Ley de gravitación
Fuente: Wikipedia

Una de las fuerzas de no contacto más importantes y universales de la naturaleza es la fuerza de atracción gravitacional. La ley que describe esta fuerza entre dos cuerpos fue propuesta por Isaac Newton en 1665. Con esta ley es posible explicar el movimiento de las galaxias, los cúmulos entre ellas, de los planetas, de la luna y de los cuerpos en caída libre cerca de la superficie terrestre.

La fuerza que se ejerce entre dos cuerpos debido a su masa, ***la fuerza gravitacional***, es sólo una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza; las otras tres son ***la fuerza electromagnética***, que abarca las interacciones eléctricas y magnéticas y que une átomos y la estructura de los sólidos; ***la fuerza nuclear débil***, que causa ciertos procesos de desintegración entre las partículas fundamentales, y ***la fuerza nuclear fuerte***, que opera entre las partículas fundamentales y se encarga de mantener el núcleo unido. La fuerza gravitacional actúa en todo el universo. Newton formuló dicha ley:

> Un cuerpo del universo atrae a todos los demás cuerpos con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. La dirección de la fuerza sigue la línea que une a las partículas.

Para dos cuerpos con masa m_1 y m_2 , separados una distancia r, la fuerza gravitacional sería:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Donde G es la ***constante gravitacional*** con un valor de:

$$G = 6.67x10^{-11} N.m^2/kg^2$$

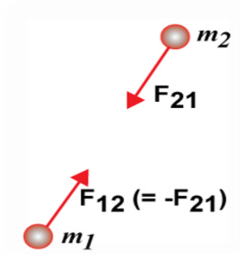
De forma vectorial podemos expresar la Ley de Gravitación Universal entre dos cuerpos como

$$\boldsymbol{F}_{12} = -G\frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$$

para el primer cuerpo, y como

$$\boldsymbol{F}_{21} = -G\frac{m_2 m_1}{r_{21}^2}\hat{\boldsymbol{r}}_{21}$$

para el segundo cuerpo, ver la siguiente figura



Partículas m_1 y m_2. Ley de la Gravitación Universal

$\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$ y $\hat{\boldsymbol{r}}_{21}$ son los vectores unitarios a lo largo de la línea recta que une ambos cuerpos y r es la distancia que los separa. Los vectores unitarios se definen de la siguiente manera:

$$\hat{\boldsymbol{r}}_{12} = \frac{\bar{\boldsymbol{r}}_{12}}{r_{12}}$$

El vector en la dirección del cuerpo 1 al cuerpo 2, sobre la línea que los une, entre la magnitud del mismo.

Y lo mismo para el vector unitario que va del cuerpo 2 al cuerpo 1.

$$\hat{r}_{21} = \frac{\bar{r}_{21}}{r_{21}}$$

Variación de la gravedad con la altitud;

Altitud (km)	Ubicación	$g_0(m/s^2)$
0	Superficie terrestre	9.83
10	Altitud de autonomía de vuelo	9.80
100	Parte superior de la atmósfera	9.53
400	Órbita de nave espacial	8.70
35,700	Órbita de satélite de comunicaciones	0.225
380,000	Órbita lunar	0.0027

La magnitud de la fuerza gravitacional que actúa sobre un cuerpo de masa m situada en un punto externo a una distancia r del centro de la Tierra, con masa M_T está dado por

$$F = G\frac{M_T m}{r^2}$$

Por la segunda ley de Newton, la fuerza gravitacional sería:

$$F = mg_0$$

Donde g_0 es la aceleración debida a la atracción gravitacional de la Tierra. Al igualar ambas expresiones, obtenemos el valor de la aceleración de la gravedad mediante:

$$g_0 = G\frac{M_T}{r^2}$$

Con la expresión anterior podemos saber el valor de g a diferentes alturas sobre la superficie terrestre, como se muestra en la tabla anterior.

2.3 DINÁMICA

La dinámica tiene como fin describir el movimiento de un cuerpo si se conocen las fuerzas que actúan sobre él, es decir, cómo varía su posición con respecto al tiempo. En este tema describiremos el movimiento de algunos cuerpos cuando se le aplica una fuerza constante y ampliaremos nuestro estudio con fuerzas que dependen de la posición de una partícula revisando los conceptos de ***trabajo***, ***energía cinética*** y la ***ley de la conservación de energía***.

2.3.1 TRABAJO

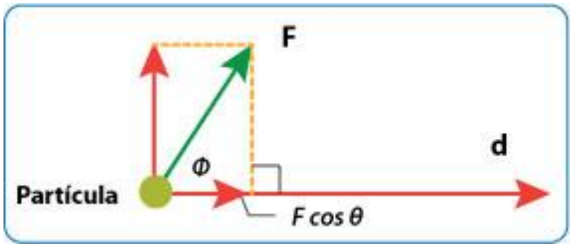
Definimos el trabajo efectuado por una fuerza sobre una partícula como el producto de la fuerza por el desplazamiento durante el cual actúa dicha fuerza.

$$W = \boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{d}$$

El trabajo es el producto escalar de los vectores fuerza y desplazamiento; su magnitud, de acuerdo con la definición de producto escalar, sería

$$W = fd\cos\theta$$

La componente del vector fuerza que realiza trabajo es la que se encuentra en la dirección del desplazamiento.

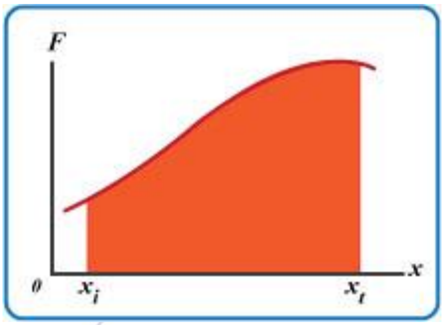


Fuerza que realiza trabajo en la dirección del desplazamiento

La unidad del trabajo en el sistema internacional de medidas es el joule, abreviado *J*, entonces

$$1\,J = 1\,N \cdot m$$

Hablamos de **fuerza variable**; si la fuerza cambia con la distancia, entonces la fuerza sería una función de la distancia $F = F(x)$, gráficamente, para el desplazamiento $x_f - x_i$, tendríamos



Fuerza variable en función de la distancia, ***x***

El trabajo correspondería al área que se encuentra bajo la curva en el intervalo $x_f - x_i$. El trabajo total de la fuerza F al desplazar un cuerpo desde x_i hasta x_f lo calculamos con la integral

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x)dx$$

2.3.2 Energía cinética y potencial

Veamos ahora cómo afecta el trabajo el movimiento de una partícula. Consideremos el trabajo debido a todas las fuerzas que actúan sobre la partícula, la resultante de las fuerzas o la fuerza neta. Esta fuerza neta cambiará la velocidad de la partícula desde una velocidad v_i a una velocidad v_f; si la fuerza es **constante**, la aceleración es constante, y el trabajo realizado por la fuerza sobre ella, desde la posición x_i hasta la posición x_f, será:

$$W = R(x_f - x_i) = m\boldsymbol{a}(x_f - x_i)$$

Como la aceleración es constante, podemos usar la relación

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

Despejando, obtenemos

$$(x_f - x_i) = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$$

Sustituyendo

$$W = m\boldsymbol{a}\frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$$

Reordenando:

$$\boxed{W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2}$$

Al término $\frac{1}{2}mv^2$ se le conoce como energía cinética y será representa por k $K = \frac{1}{2}mv^2$.

Lo que nos indica la relación anterior es que:

El trabajo que la fuerza neta realiza sobre la partícula durante el intervalo $(x_f - x_i)$ es igual al cambio en la energía cinética de la partícula.

$$\boldsymbol{W = K_f - K_i = \Delta K}$$

Se ha calculado para una fuerza neta constante, el Teorema también es válido para una fuerza variable. En ocasiones es necesario saber, a qué velocidad se realiza el trabajo, por lo que definimos la potencia ***P***, como la razón de cambio del trabajo en el intervalo de tiempo que la fuerza actúa sobre el cuerpo. La potencia promedio $\bar{P}$, que desarrolla un agente externo y que ejerce una fuerza sobre un cuerpo en un intervalo de tiempo dado es:

$$\bar{P} = \frac{W}{t}$$

La potencia instantánea sería:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

La unidad de potencia en el sistema internacional de unidades es el watt, abreviado W.

$$1\,W = 1\,\frac{J}{s}$$

De la expresión anterior podemos observar que el trabajo también lo podemos expresar como potencia x tiempo

$$W = Pt$$

La potencia también puede expresarse en términos de la velocidad del cuerpo

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{\boldsymbol{F \cdot ds}}{dt} = \boldsymbol{F}\frac{\boldsymbol{ds}}{dt} = \boldsymbol{F \cdot v}$$

Como es un producto escalar:

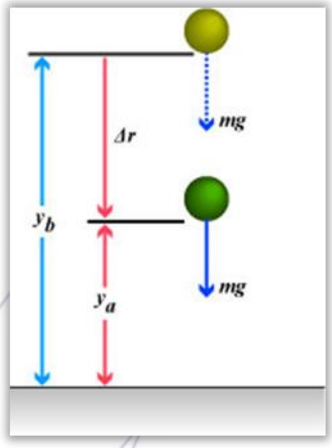
$$P = Fv\cos\theta$$

Si la fuerza es paralela a la velocidad, entonces $\cos\theta = 1$ y tendríamos

$$P = Fv$$

Entendamos por ***energía potencial*** la energía almacenada en la configuración de un sistema de cuerpos que ejercen fuerza uno sobre otro. La energía potencial sólo puede ser usada cuando hablamos de fuerzas conservativas; cuando en un sistema aislado actúan fuerzas conservativas, entonces la energía cinética ganada por el sistema cuando sus elementos cambian sus posiciones relativas unos con otros implica la pérdida o ganancia igual de energía potencial del sistema. A este balanceo de las dos formas de energía se le llama ***principio de conservación de la energía mecánica***.

La energía potencial se encuentra en el universo en varias formas: como la gravitacional, la electromagnética, la química y la gravitacional. No obstante, una forma de energía puede ser convertida en otra. Un ejemplo de esto es cuando un sistema consiste en una batería conectada a un motor, la energía química de una batería se puede convertir en energía cinética conforme el eje de un motor gira. Para explicar la energía cinética y potencial con más detalle consideremos el sistema *balón-Tierra*. Observa con atención la siguiente figura.



Sistema balón – Tierra

¿Qué observaste? Se realiza trabajo al levantar el balón lentamente $\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{y_b} - \boldsymbol{y_a}$, este trabajo hecho en el sistema aparecerá como un incremento en la energía del sistema. El balón se encuentra en reposo antes de realizar el trabajo y está en reposo después de realizarlo, por lo que no existe un cambio en la energía cinética del sistema. Como no hay un cambio en la energía cinética o interna del sistema, la energía debe aparecer como otro tipo de energía almacenada. Si el balón se deja caer, esta energía acumulada se convertiría en energía cinética, pero sólo hasta que se le permita caer, a está energía almacenada se le llama **energía potencial**. Para este caso particular, le llamaremos **energía potencial gravitacional**.

El trabajo que se realiza sobre el sistema estaría dado por la expresión:

$$W = \boldsymbol{F} \cdot \Delta \boldsymbol{r} = mg\boldsymbol{j} \cdot [(y_b - y_a)\boldsymbol{j}] = mgy_b - mgy_a$$

Asumimos que la fuerza es constante en el intervalo y es igual al peso del balón, el cuerpo está en equilibrio y moviéndose a velocidad constante. De la expresión anterior, la energía potencial gravitacional sería:

$$U_g = mgy$$

La unidad de la energía potencial gravitacional es el joule. El trabajo podría ser reescrito como:

$$W = \Delta U_g$$

Que indica que el trabajo realizado sobre el sistema se traduce en un cambio en la energía potencial gravitacional del sistema. La energía potencial gravitacional depende exclusivamente de la altura del objeto sobre la superficie de la Tierra, el mismo trabajo se realiza si el objeto es levantado horizontalmente o siguiendo cualquier trayectoria para llegar a ese punto. Podemos mostrar esto calculando el trabajo con un desplazamiento que tenga componentes verticales y horizontales:

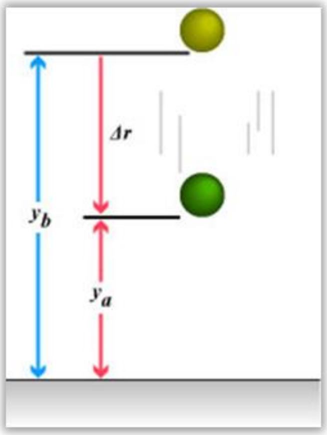
$$W = \boldsymbol{F} \cdot \Delta \boldsymbol{r} = (mg)\boldsymbol{j} \cdot [(x_b - x_a)\boldsymbol{i} + (y_b - y_a)\boldsymbol{j}] = mgy_b - mgy_a$$

No hay término en $\boldsymbol{x}$ debido a que $\boldsymbol{i} \cdot \boldsymbol{j} = 0$

En la solución de problemas, debes seleccionar un punto de referencia donde la energía potencial gravitacional sea igual a un valor de referencia, en la mayoría de los casos donde el valor sea igual a cero. La selección de la referencia es arbitraria, lo que importa es la diferencia de la energía potencial.

Para estudiar la conservación de la energía mecánica en un sistema aislado retomemos el ejemplo anterior: al levantar el balón, existe energía potencial almacenada de acuerdo con la expresión:

$$W = \Delta U_g$$



Sistema balón – Tierra 2

Si dejamos caer el balón, el trabajo realizado por la fuerza gravitacional conforme el balón llega a su punto altura original sería de:

$$W_{sobre\ el\ balón} = (m\boldsymbol{g}) \cdot \Delta\boldsymbol{r} = (-mg\boldsymbol{j}) \cdot [(y_b - y_a)\boldsymbol{j}] = mgy_b - mgy_a$$

Por el teorema del trabajo-energía cinética, el trabajo realizado sobre el balón es igual al cambio en la energía cinética del balón

$$W_{realizado\,sobre\,el\,balón} = \Delta K_{del\,balón}$$

Igualando las expresiones

$$\Delta K_{del\,balón} = mgy_b - mgy_a$$

Si relacionamos ambas con el sistema balón-Tierra, tenemos

$$mgy_b - mgy_a = -(mgy_a - mgy_b) = -(U_f - U_i) = -\Delta U_g$$

Y como el balón es el único cuerpo del sistema que se está moviendo, la energía cinética del sistema sería la del balón.

$$\Delta K_{del\,libro} = \Delta K$$

La ecuación del sistema quedaría:

$$\Delta K = -\Delta U_g$$

Que reacomodando quedaría:

$$\Delta K + \Delta U_g = 0$$

Que nos indica del lado izquierdo que la energía almacenada en el sistema es la suma de la energía potencial más la energía cinética, y del lado derecho que no existe transferencia de energía a través de la frontera del sistema. El sistema balón-Tierra es aislado. Definimos la suma de la energía cinética y la energía potencial como la **energía mecánica** del sistema.

$$E_{mecánica} = \Delta K + \Delta U_g$$

La relación puede generalizarse para todo tipo de energía potencial, entonces

$$E_{mecánica} = \Delta K + \Delta U$$

Donde U representa todo tipo de energía potencial en el sistema. De la expresión:

$$\Delta K + \Delta U_g = 0$$

Tenemos al desarrollarla:

$$(K_f - K_i) + (U_f - U_i) = 0$$

De donde obtenemos la importante relación de la conservación de la **energía mecánica para un sistema aislado:**

$$K_f + U_f = K_i + U_i$$

La energía en un sistema aislado se conserva; la suma de la energía potencial y la energía cinética permanece constante.

2.3.3 Fuerzas conservativas y no conservativas

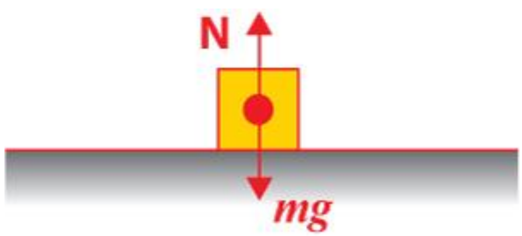
Si en un sistema aislado el trabajo que se realiza sobre un cuerpo no depende de la trayectoria y depende sólo de la posición en que se encuentra el cuerpo, decimos que la fuerza que se aplica al cuerpo es conservativa. ***Una fuerza conservativa*** deberá cumplir con las siguientes propiedades

1. El trabajo realizado por una fuerza conservativa sobre una partícula moviéndose entre dos puntos es independiente de la trayectoria seguida por la partícula.
2. El trabajo hecho por una fuerza conservativa sobre una partícula moviéndose a través de una trayectoria cerrada es cero.

Un ejemplo de fuerza conservativa es la fuerza de gravedad, el trabajo que se realiza sobre un cuerpo donde depende de la posición inicial y final $W = mgy_f - mgy_i$, si el cuerpo sigue una trayectoria cerrada entonces $y_f = y_i$ y el trabajo es cero.

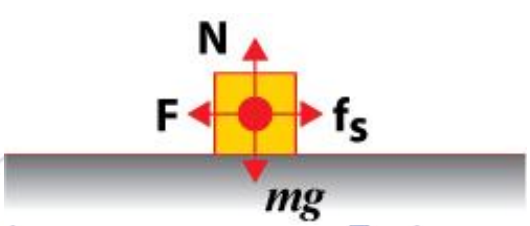
Podemos asociar una energía potencial a cualquier sistema aislado cuyos componentes interactúen entre sí por medio de una fuerza conservativa.

Una fuerza es ***no conservativa*** si no se cumplen las propiedades 1 y 2 antes señaladas. Una fuerza no conservativa que actúa sobre el sistema produce un cambio en la energía mecánica $E_{mecánica}$ del sistema. Un ejemplo de fuerza no conservativa es la fuerza de fricción, el trabajo que se realiza sobre el cuerpo donde actua la ***fuerza de fricción*** depende de la trayectoria.



Por fricción consideramos una interacción de contacto entre sólidos. Siempre que la superficie de un cuerpo se desliza sobre la otra, ejerce una fuerza de fricción entre sí y tiene una dirección contraria a su movimiento en relación con el otro cuerpo. Las fuerzas de fricción se oponen al movimiento relativo y nunca lo favorecen.

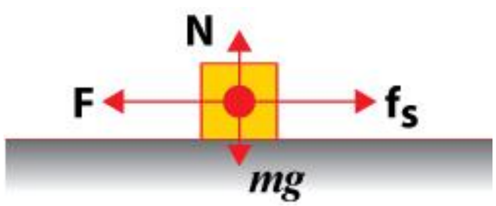
Consideremos el cuerpo en reposo de la figura. La fuerza que actúa sobre el cuerpo es la fuerza de gravedad, su peso, y la fuerza normal debido a la superficie.



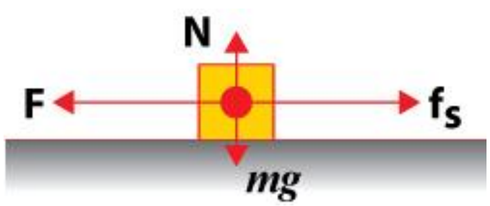
Si aplicamos una fuerza F para mover el cuerpo, éste no se moverá si aplicamos una fuerza pequeña, lo que significa que esta fuerza está equilibrada con otra fuerza opuesta f_s a la aplicada, y que se debe a la superficie de contacto. A esta fuerza se le llama fuerza de fricción estática y es proporcional a la fuerza normal e independiente del área de contacto. A la constante de proporcionalidad se le conoce como coeficiente de fricción estática de la superficie. Entonces,

$f_s \leq \mu_s N$

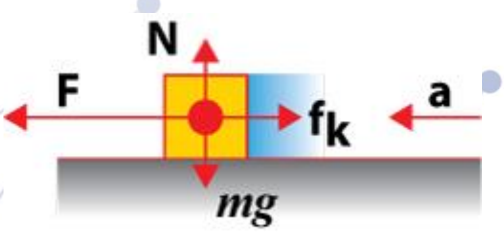
En donde μ_s es el coeficiente de fricción estática y N la magnitud de la fuerza normal. El signo de igualdad aparece sólo cuando f_s alcanza su valor máximo.



Al aumentar la fuerza F también aumentará la fuerza de fricción estática f_s.

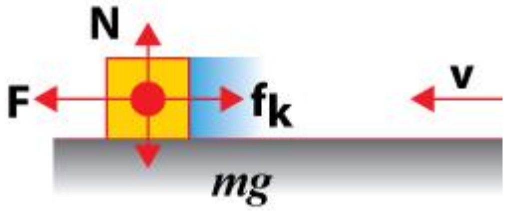


Llegará un momento en el que el cuerpo dejará de estar en reposo y comenzará a acelerar. Superando la fuerza de fricción estática.



Cuando el cuerpo acelere, la fuerza necesaria para mantener el movimiento uniforme sin aceleración es menor a la que se utilizó para romper el reposo. En este caso la fuerza que se opone al movimiento es la fuerza de fricción cinética f_k.

La fuerza de fricción que se opone al movimiento acelerado entre dos superficies se llama fuerza de fricción cinética f_k , es independiente del área de contacto y



proporcional a la magnitud de la fuerza normal; a la constante de proporcionalidad se le conoce como coeficiente de fricción cinético μ_k, entonces $f_k = \mu_k N$

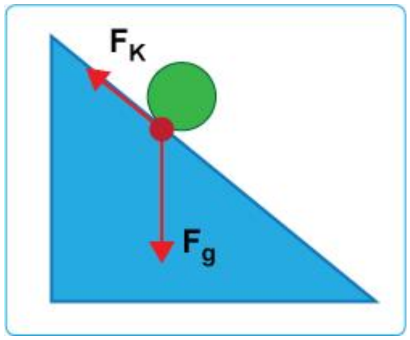
Observa que la fuerza de fricción cinética y estática son magnitudes escalares.

Superficies	μ_s	μ_k
Madera contra madera	0.25-0.5	0.2
Vidrio contra vidrio	0.90	0.4
Acero contra acero, superficies limpias	0.6	0.6
Acero contra acero, superficies lubricadas	0.09	0.05
Hule contra concreto seco	1.0	0.8
Teflón contra teflón	0.04	0.04

Para muchas aplicaciones prácticas, es necesario conocer los coeficientes de fricción estática y cinética. Es un hecho experimental que los valores de y de dependen del material de las superficies y casi siempre se pueden considerar como constantes. Podemos ver algunos de estos valores de materiales comunes en la tabla adjunta.

Consideremos un sistema donde actúen fuerzas conservativas y fuerzas no conservativas. Debido a las primeras, la energía del sistema no cambia, pero por las fuerzas no conservativas la energía mecánica del sistema cambia.

Tomemos como ejemplo un balón resbalando sobre una superficie plana inclinada, como se ilustra a continuación:



Balón resbalando sobre un plano inclinado

Si el cuerpo se desplaza una cantidad d, el trabajo que la fuerza de fricción cinética realiza sobre el cuerpo sería $f_k d$. Como además el balón al desplazarse cambia su energía potencial y cinética, el cambio en la energía mecánica del sistema sería entonces:

$$\Delta E_{mecánica} = \Delta K + \Delta U_g = -f_k d$$

Este resultado se puede generalizar para todo tipo de energía potencial para un sistema en donde actúa una fuerza de fricción.

$$\Delta E_{mecánica} = \Delta K + \Delta U = -f_k d$$

Podemos definir una función de energía potencial U de tal manera que el trabajo realizado por una fuerza conservativa sea igual a la disminución de la energía potencial del sistema. Si en un sistema la configuración cambia al moverse una partícula en la dirección x, el trabajo realizado por una fuerza conservativa es:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F_x\,dx = -\Delta U$$

Donde F_x es la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento. Podemos escribir la relación anterior como:

$$\Delta U = U_f - U_i = \int_{x_i}^{x_f} F_x\,dx$$

Si establecemos dentro del sistema un punto de referencia x_i donde se puedan medir todas las diferencias en la energía potencial, definimos la función energía potencial como:

$$U_f(x) = -\int_{x_i}^{x_f} F_x\,dx + U_i$$

Si la fuerza conservativa se conoce, podemos calcular con la relación anterior el cambio en la energía potencial del sistema cuando un cuerpo se desplaza del punto x_i al punto x_f. Por otro lado, en lugar de inicar con las leyes de Newton para resolver problemas que tengan que ver con fuerzas conservativas, podemos usar la expresión:

$$W = \Delta K = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

Siempre tendemos a buscar algo que sea constante en el movimiento de un cuerpo para poder resolver problemas; cuando la energía es constante, podemos iniciar la solución del problema con la ecuación:

$$\frac{1}{2}mv^2 + U(x) = \frac{1}{2}mv_0^2 + U(x_0) = E$$

Y en una dimensión, la relación entre la fuerza y la energía portencial sería:

$$F(x) = -\frac{dU(x)}{dx}$$

Cierre de la unidad

¡Felicidades! Concluiste la segunda unidad de esta Unidad Didáctica.

Ahora cuentas con conocimientos relacionados a las bases de la mecánica como rama de la física. Conoces las fórmulas que nos ayudan a hacer cálculos de desplazamiento, velocidad y aceleración; además sabes que hay diferentes tipos de cálculo para conocer el movimiento de la materia de acuerdo con las variables que conozcamos.

Por otra parte, revisaste Tres Leyes de movimiento de Newton y las bases de la Ley de gravitación universal.

En el tercer tema de esta unidad identificaste los componentes de la dinámica, rama de la física que identifica los movimientos de un cuerpo de acuerdo con las causasa que generan cambios en su posición inicial. Vivimos bajo las leyes de la física pues son condiciones dadas que nos permiten existir de la manera que existimos. En el astronauta en orbita o en tu vecino en la calle es posible que observes los fenómenos que estudia la física, por ello es importante que asocies tu realidad con la misma.

Solo resta una unidad para que termines de estudiar el contenido de esta Unidad Didáctica, será una experiencia de aprendizaje enriquecedora para tu desarrollo profesional.

Fuentes de consulta

- Arons, A. B. (1997). *Teaching introductory physics.* New York: John Wiley & Sons.
- Gettys, W. E., Keller, F. J. &Skove, M. J. (2005). ***Física para Ciencias e Ingeniería***. Madrid: McGraw-Hill.
- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (2001). ***Fundamentos de Física***. México: CECSA.
- Hewitt, P. G. (2009). ***Física conceptual***. México: Perason Educación Addison Wesley Longman.
- M. Alonso & E. J. Finn. (2008).*Física*. España: Pearson.
- Resnick, R., Halliday, D. &Krane, K. S. (2002). ***Física***. México: CECSA.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D. &Freedman, R. A. (2004). ***Física universitaria***. México: Pearson Addison-Wesley.
- Tipler, P. A. & Mosca, G. (2005). ***Física para la ciencia y la tecnología***. Barcelona: Editorial Reverté.