

# **FÍSICA I**

## **MATEMÁTICAS APLICADAS**

### **FAÇULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS**

Curso Básico - Primavera 2026

Omar De la Peña-Seaman



Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)

# Curso: Física I

## Información General

**Período de clases (18 sem.)**

6 enero — 29 mayo 2025

**Horario**

Lunes, Miércoles: 12–14 hrs.

Jueves: 12–13 hrs.

## Bibliografía

1. J. Walker, *Halliday & Resnick Fundamentals of Physics*, 11th edition (John Wiley & Sons, 2018).
2. R. Feynman, R.B. Leighton, and M. Sands *The Feynman Lectures on Physics*, 8th edition (CalTech, CA, 2013).
3. L. García-Colín Scherer, *Introducción a la Termodinámica Clásica*, 4a edición (Editorial Trillas, 2019).
4. R.K. Wangness, *Campos Electromagnéticos*, 1era edición (Editorial Limusa, 2001).
5. A. Beiser, *Concepts of Modern Physics*, 6th edition (McGraw Hill, 2003).

### Criterios de evaluación

- Para cada uno de los temas:
  - Tarea: **40%**
  - Examen: **60%**
  - **No** se manejan trabajos/exámenes de **recuperación**.

### Rúbricas

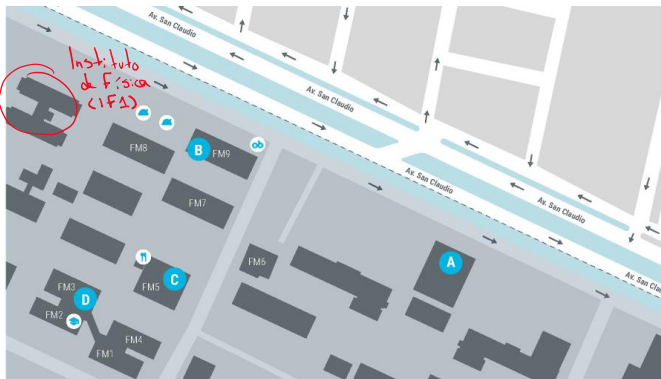
- Las tareas se entregan el **día** que se establece en la publicación de la misma. Si existiera un **retraso** en la entrega, se aplicará una penalización del **10%** por cada día de retraso.
- Se toma en cuenta el **procedimiento** de los ejercicios de tarea en la calificación. En caso de que se **omita**, se aplicará una penalización de **10-20%** por procedimiento omitido en cada ejercicio.
- La **asistencia** a clase es importante para comprender los temas discutidos, así como para tener derecho a examen extraordinario, en caso de ser necesario.

# Curso: Física I

## Medios de contacto

Para dudas y preguntas:

1. Grupo de Gmail: **Física I (primavera 2026)**
2. Correo electrónico: **omar.seaman@correo.buap.mx**
3. Oficina: Instituto de Física "Luis Rivera Terrazas", Edificio **IF1**, oficina **214**.



### Contenido del curso

- |                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| 1. Mecánica Clásica                | (5 sem.) |
| 2. Electricidad y Magnetismo       | (5 sem.) |
| 3. Termodinámica                   | (4 sem.) |
| 4. Mecánica Cuántica y Relatividad | (4 sem.) |

### Fuente de consulta e información

Las sesiones de clase y las tareas estarán disponibles *on-line* al término de cada tópico en la siguiente dirección:

[http://www.ifuap.buap.mx/~oseaman/physics\\_I\\_2026.html](http://www.ifuap.buap.mx/~oseaman/physics_I_2026.html)

# Contenido

## 1. Mecánica Clásica

# Contenido: Tema 01

## 1. Mecánica Clásica

- 1.1 Movimiento unidimensional, bidimensional y tridimensional
- 1.2 Leyes de Newton, Dinámica de una partícula
- 1.3 Energía y leyes de conservación
- 1.4 Sistemas de partículas, cinemática de rotaciones

# Contenido: Tema 01

## 1. Mecánica Clásica

### 1.1 Movimiento unidimensional, bidimensional y tridimensional

#### 1.2 Leyes de Newton, Dinámica de una partícula

#### 1.3 Energía y leyes de conservación

#### 1.4 Sistemas de partículas, cinemática de rotaciones

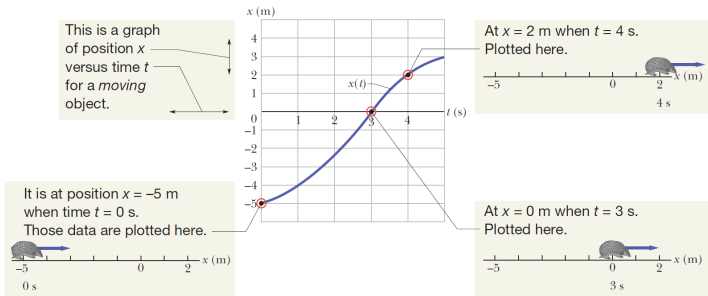


# Movimiento unidimensional

## Movimiento

La **cinemática** es la ciencia que estudia y analiza el **movimiento** de un cuerpo. Para entender el movimiento, se restringe la explicación a tres condiciones:

- El movimiento es a lo largo de una **línea recta**.
- Las **fuerzas** que causan el movimiento no se consideran, por el momento.
- El cuerpo en movimiento puede ser una **partícula**, o un **conjunto** de ellas, siempre que se muevan como un solo objeto.



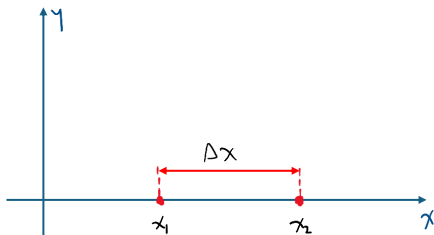
# Movimiento unidimensional

## Posición y desplazamiento

Localizar a un objeto significa encontrar su **posición** relativa a un punto de referencia, considerado como punto de partida el **origen** del sistema coordenado.

Por otro lado, un cambio de posición, por ejemplo de  $x_1$  a  $x_2$ , se le llama **desplazamiento**  $\Delta x$ , siendo:

$$\Delta x = x_2 - x_1,$$



Es importante mencionar que el desplazamiento es un ejemplo de cantidad **vectorial**, ya que tiene tanto magnitud como **dirección**.

# Movimiento unidimensional

## Velocidad y rapidez

Que tan rápido se mueve una partícula en un instante dado se define como la **velocidad instantánea**, o simplemente **velocidad**  $v$ .

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

La velocidad es un ejemplo de cantidad **vectorial**, ya que cuenta con magnitud, que se conoce como **rapidez**, y sentido.

Sus unidades en el sistema internacional **SI** son,

$$[v] = \frac{\text{longitud}}{\text{tiempo}} = \frac{m}{s}.$$

# Movimiento unidimensional

## Aceleración

Cuando la velocidad de una partícula cambia, se dice que la partícula se encuentra bajo el efecto de la **aceleración**, la cual está dada como,

$$a = \frac{dv}{dt},$$
$$\Rightarrow a = \frac{d}{dt} \left( \frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2},$$

es decir, la aceleración de una partícula es la razón a la cual su velocidad cambia en un instante dado, y también se trata de una cantidad **vectorial**.

Las unidades en el sistema SI para la aceleración son,

$$a = \frac{\text{longitud}}{\text{tiempo}^2} = \frac{m}{s^2}.$$

# Movimiento unidimensional

## Aceleración constante

Al considerar la **aceleración constante**, la aceleración promedio es igual a la instantánea, por tanto:

$$a = a_{\text{avg}} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{v - v_0}{t},$$
$$\Rightarrow v = v_0 + at.$$

Otra ecuación que se puede obtener es considerando a la velocidad promedio:

$$v_{\text{avg}} = \frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{x - x_0}{t},$$
$$\Rightarrow x = x_0 + v_{\text{avg}}t,$$
$$= x_0 + 1/2v_0t + 1/2vt \quad \forall \quad v_{\text{avg}} = 1/2(v + v_0),$$
$$\therefore x = x_0 + v_0t + 1/2at^2.$$

# Movimiento unidimensional

## Aceleración constante

Las expresiones anteriores son las **ecuaciones básicas** para el caso de **aceleración constante**.

Relacionándolas pueden dar expresiones adicionales que ayuden a resolver un problema de manera más sencilla, obteniendo al final **cinco ecuaciones**:

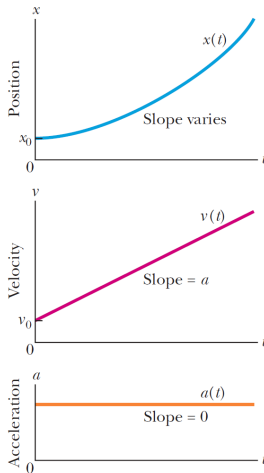
$$v = v_0 + at,$$

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2,$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0),$$

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

$$x = x_0 + vt - \frac{1}{2}at^2.$$



# Movimiento unidimensional

## Aceleración en caída libre

Si se lanza una partícula hacia arriba o hacia abajo, ignorando los efectos de la resistencia del aire, se observa que:

**Movimiento hacia arriba:** La partícula se **desacelera**.

**Movimiento hacia abajo:** La partícula se **acelera**.

En ambos casos, el cambio de velocidad ocurre a una razón constante, lo que se conoce como aceleración en **caída libre**.

Se le representa con la variable  $g$ , cuyo valor es aproximadamente de  $9.8 \text{ m/s}^2$ , el cual varía ligeramente con la latitud en el planeta.

Cabe mencionar que la aceleración en caída libre es **negativa**:

$$a = -g = -9.8 \text{ m/s}^2.$$

# Movimiento bidimensional y tridimensional

## Posición y desplazamiento

Una manera general de ubicar a una partícula es mediante un **vector de posición**,  $\mathbf{r}$ ,

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

siendo  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  los vectores **unitarios** del espacio cartesiano.

Al moverse una partícula, su vector de posición cambiará desde  $\mathbf{r}_1$  a  $\mathbf{r}_2$ , en un tiempo determinado, con lo cual, el **desplazamiento** será,

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1.$$

Lo cual se puede expresar de la siguiente manera,

$$\Delta\mathbf{r} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k},$$

$$\forall \quad \mathbf{r}_1 = x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k} \quad \& \quad \mathbf{r}_2 = x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k},$$

donde  $\Delta x = x_2 - x_1$ ,  $\Delta y = y_2 - y_1$ , y  $\Delta z = z_2 - z_1$ .



# Movimiento bidimensional y tridimensional

## Velocidad

la **velocidad** de una partícula en un instante dado  $t$  se puede expresar como,

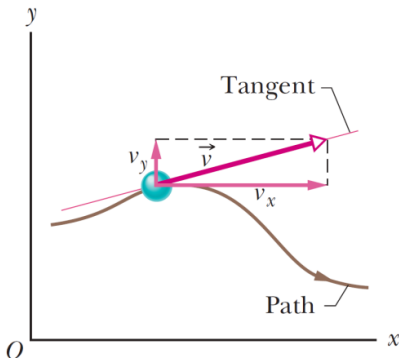
$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt},$$

describiendo en componentes,

$$\begin{aligned}\mathbf{v} &= \frac{d}{dt} (x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}), \\ &= \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}, \\ &= v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k}.\end{aligned}$$

siendo  $v_x = dx/dt$ ,  $v_y = dy/dt$ , y  $v_z = dz/dt$ .

La dirección de  $\mathbf{v}$  será siempre **tangente** a la trayectoria de la partícula en la posición específica que se desea conocer,



# Movimiento bidimensional y tridimensional

## Aceleración

la **aceleración** de una partícula en un instante dado  $t$  está dada como,

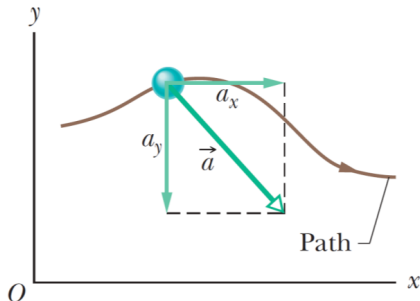
$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt},$$

expresando en componentes,

$$\begin{aligned}\mathbf{a} &= \frac{d}{dt} (v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k}), \\ &= \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k}, \\ &= a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k}.\end{aligned}$$

donde  $a_x = dv_x/dt = d^2x/dt^2$ ,  $a_y = dv_y/dt = d^2y/dt^2$ , y  $a_z = dv_z/dt = d^2z/dt^2$ .

A diferencia de la velocidad, la dirección de  $\mathbf{a}$  no guarda una relación geométrica específica con la trayectoria de la partícula,



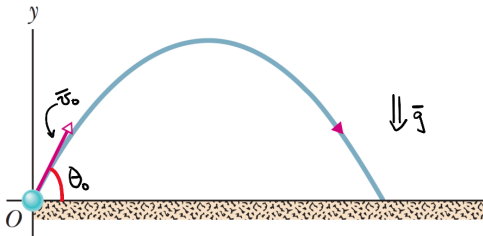
# Movimiento bidimensional y tridimensional

## Movimiento parabólico o de proyectil

El **movimiento parabólico** o de **proyectil** considera una partícula en movimiento en un plano vertical<sup>1</sup> con cierta **velocidad inicial**,

$$\begin{aligned}\mathbf{v}_0 &= v_{0x}\mathbf{i} + v_{0y}\mathbf{j}, \\ &= v_0\cos\theta_0\mathbf{i} + v_0\sin\theta_0\mathbf{j},\end{aligned}$$

siendo  $\theta_0$  el ángulo formado con la horizontal, y con una **aceleración** tipo caída libre<sup>2</sup>  $\mathbf{g}$ , la cual solo tiene componente vertical.



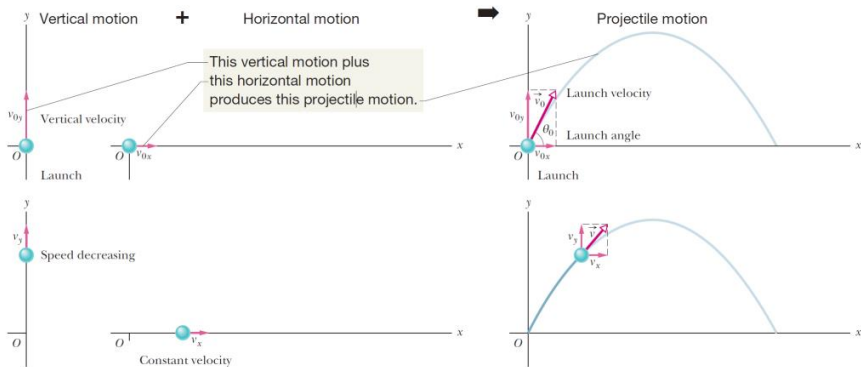
<sup>1</sup>Dos dimensiones.

<sup>2</sup>Siempre dirigida hacia abajo.

# Movimiento bidimensional y tridimensional

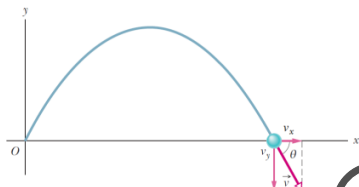
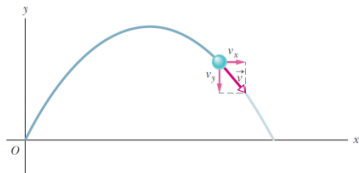
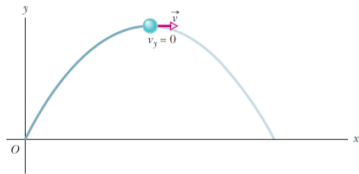
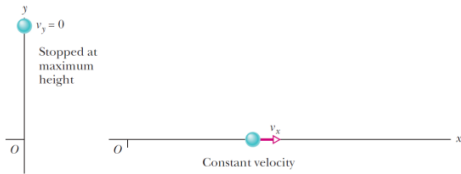
## Movimiento parabólico o de proyectil

El movimiento parabólico se puede descomponer en un movimiento **horizontal uniforme** y un movimiento **vertical acelerado** en todo momento, siendo independientes entre ellos,



# Movimiento bidimensional y tridimensional

## Movimiento parabólico o de proyectil



# Movimiento bidimensional y tridimensional

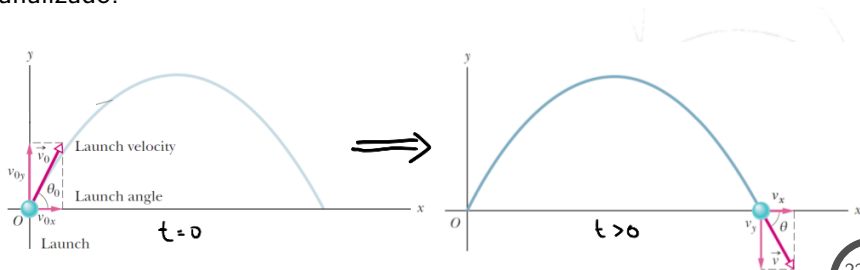
## Movimiento parabólico o de proyectil

Para resolver el movimiento parabólico, basta con atacar por separado cada una de las dimensiones:

**Movimiento horizontal:** Se trata de un movimiento uniforme, sin aceleración.

**Movimiento vertical:** Involucra un movimiento con aceleración constante conocida ( $g$ ).

Ambas componentes están relacionadas por el **tiempo**, el cual es el mismo para las dos dimensiones, independiente del punto del movimiento analizado.



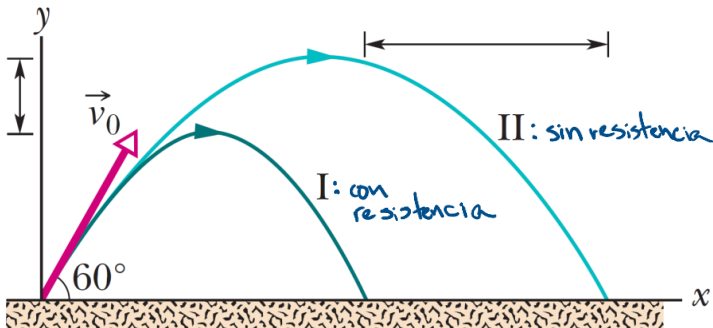
# Movimiento bidimensional y tridimensional

## Movimiento parabólico o de proyectil

El análisis presentado ha sido sin considerar los **efectos del aire**, los cuales afectarían al movimiento de una partícula de dos maneras:

**Movimiento horizontal:** Reducción del rango alcanzado.

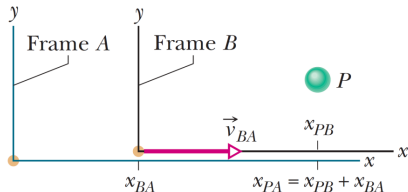
**Movimiento vertical:** Decremento de la altura máxima.



# Movimiento bidimensional y tridimensional

## Movimiento relativo

La velocidad de una partícula dependerá del **marco de referencia** desde donde el observador realiza la medición.



El marco de referencia  $B$  se mueve a **velocidad constante**  $v_{BA}$  respecto al marco de ref.  $A$ , por tanto, la **posición** y **velocidad** de la partícula  $P$ , desde  $A$ , se puede obtener como:

$$x_{PA} = x_{PB} + x_{BA},$$

$$v_{PA} = \frac{dx_{PA}}{dt} = \frac{dx_{PB}}{dt} + \frac{dx_{BA}}{dt},$$

$$\Rightarrow v_{PA} = v_{PB} + v_{BA}.$$

Analizando la **aceleración**,

$$a_{PA} = \frac{dv_{PA}}{dt} = \frac{dv_{PB}}{dt} + \frac{dv_{BA}}{dt},$$

$$\Rightarrow a_{PA} = a_{PB},$$

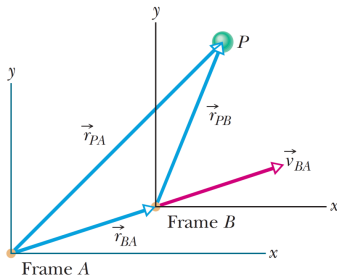
debido a que la velocidad  $v_{BA}$  es **constante**.



# Movimiento bidimensional y tridimensional

## Movimiento relativo

El análisis anterior se puede generalizar a más dimensiones,



en donde la **posición**, **velocidad** y **aceleración**, medidas desde el marco de referencia A, considerando el movimiento a **velocidad constante** del marco de ref. B respecto a A ( $\vec{v}_{BA}$ ), vienen dadas como:

$$\mathbf{r}_{PA} = \mathbf{r}_{PB} + \mathbf{r}_{BA},$$

$$\mathbf{v}_{PA} = \mathbf{v}_{PB} + \mathbf{v}_{BA},$$

$$\mathbf{a}_{PA} = \mathbf{a}_{PB}.$$

# Contenido: Tema 01

## 1. Mecánica Clásica

1.1 Movimiento unidimensional, bidimensional y tridimensional

1.2 Leyes de Newton, Dinámica de una partícula

1.3 Energía y leyes de conservación

1.4 Sistemas de partículas, cinemática de rotaciones

# Leyes de Newton

## Mecánica Newtoniana

La **dinámica** trata con lo que causa que un objeto se mueva y, en particular, se **acelere**, es decir las **fuerzas**.

La relación entre las fuerzas y la aceleración causada por éstas fue entendida por **Isaac Newton**<sup>3</sup> dando lugar a lo que se conoce como **mecánica Newtoniana**.

Esta teoría, sin embargo, no aplica en todos los casos, por ejemplo:

- Si la **velocidad** de las partículas es muy **grande**, del orden de una fracción de la velocidad de la luz, entonces se debe de utilizar la teoría especial de la relatividad de Einstein.
- Si el **tamaño** de las partículas es muy **pequeño**, del orden de la escala atómica, entonces se debe de implementar la formulación de la mecánica cuántica.

---

<sup>3</sup>(1642–1727).

# Leyes de Newton

## Fuerzas y Primera ley de Newton

La **fuerza** al ser una cantidad vectorial, posee magnitud y dirección, con las siguientes características:

**Unidades:** Se define como 1 **newton** (N) la fuerza que acelera en  $1 \text{ m/s}^2$  a  $1 \text{ Kg}$  de masa, es decir:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} * 1 \text{ m/s}^2.$$

**Fuerza resultante:** Si dos o más fuerzas actúan en un cuerpo, éstas se pueden sumar, dando una **fuerza neta**, la cual puede sustituir a todas las fuerzas que la originaron, generando el mismo efecto.

### Primera Ley de Newton

Si no existe una fuerza neta actuando en un cuerpo,  $\mathbf{F}_{\text{net}} = 0$ , entonces la velocidad del cuerpo no cambiará, es decir, no se acelerará.

# Leyes de Newton

## Masa y Segunda Ley de Newton

De la observación o experimentación, se tiene que al aplicar la **misma** fuerza a **distintos** objetos, se obtendrá como resultado **diferentes** valores de aceleración.

El objeto con la **mayor** masa se acelerará **menos**, es decir, la aceleración tiene una relación **inversa** con la masa, lo cual nos ayuda a definirla:

**Masa** Es una cantidad escalar, intrínseca de un objeto/cuerpo, y se puede definir como la característica que relaciona a una fuerza aplicada a un cuerpo con su aceleración resultante.

### Segunda Ley de Newton

La fuerza neta aplicada a un cuerpo es igual al producto de la masa del cuerpo por su aceleración,

$$\mathbf{F}_{\text{net}} = m\mathbf{a}.$$

# Leyes de Newton

## Segunda Ley de Newton

La **segunda ley de Newton** es equivalente a tres ecuaciones por componentes,

$$F_{\text{net},x} = ma_x, \quad F_{\text{net},y} = ma_y, \quad F_{\text{net},z} = ma_z,$$

donde cada una es **independiente** de las demás, es decir, la aceleración en una componente dada será generada solamente por la suma de las fuerzas en esa dirección, sin influencia de las otras.

Si la fuerza neta en un objeto es **cero**, significa que no se acelera ( $a = 0$ ), es decir:

- Si el objeto está en **reposo**, permanecerá en reposo.
- Si el objeto está en **movimiento** a velocidad constante, continuará moviéndose a la misma velocidad.
- No significa que no existan fuerzas, simplemente de que se **anulan** entre ellas.

# Leyes de Newton

## Fuerzas peculiares

### Fuerza gravitacional $\mathbf{F}_g$

- Fuerza que jala a un cuerpo hacia otro cuerpo, siendo el caso en la Tierra hacia un objeto siendo atraído hacia el centro del planeta.
- Su magnitud es igual al producto de la masa del objeto por la aceleración de la gravedad:  $F_g = mg$ .

### Peso $W$

- El peso de un cuerpo,  $W$ , es la magnitud de la fuerza neta necesaria para evitar que el cuerpo caiga libremente.
- El peso de un cuerpo,  $W$ , es igual en magnitud a la fuerza gravitacional  $F_g$  en ese mismo cuerpo:  $W = mg$ .

### Fuerza Normal $\mathbf{F}_N$

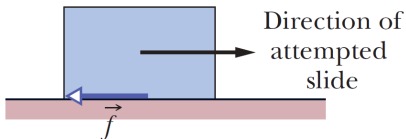
- Cuando un cuerpo se encuentra sobre una superficie, y no está en movimiento en la dirección vertical, la superficie ejerce una fuerza sobre el cuerpo, perpendicular a ella, para conservar el equilibrio.
- Esta fuerza es la fuerza normal  $\mathbf{F}_N$ , y su magnitud es igual al peso del cuerpo en ausencia de otras fuerzas:  $F_N = mg$ .

# Leyes de Newton

## Fuerzas peculiares

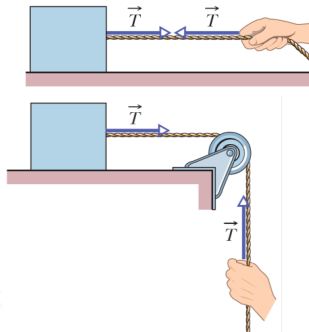
### Fricción $f$

- La resistencia al movimiento que presenta un cuerpo que descansa en una superficie al aplicarle una fuerza externa se le conoce como la fricción  $f$ .
- La fricción es paralela a la superficie, y en dirección opuesta al movimiento que se pretende realizar.



### Tensión $T$

- Cuando una cuerda se amarra a un objeto, y ésta se jala, entonces la cuerda ejerce una fuerza  $T$  sobre el cuerpo en dirección opuesta al mismo, y paralela a la cuerda.



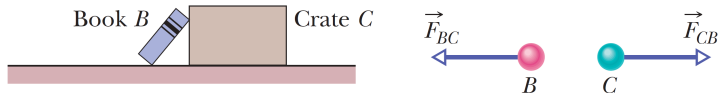


# Leyes de Newton

## Tercera Ley de Newton

### Tercera Ley de Newton

Cuando dos cuerpos interactúan entre sí, las fuerzas en cada cuerpo debido al otro son siempre iguales en magnitud y de dirección opuesta.



En el ejemplo, se tiene que los cuerpos (el libro y la caja) interactúan entre sí **empujándose** uno a otro:

- Se tiene una fuerza horizontal  $\mathbf{F}_{BC}$  aplicada sobre el libro debido a la caja.
- También existe una fuerza horizontal  $\mathbf{F}_{CB}$  aplicada sobre la caja debido al libro.

por tanto, por la tercera ley de Newton se tiene:

$$F_{BC} = F_{CB} \ \& \ \mathbf{F}_{BC} = -\mathbf{F}_{CB}.$$

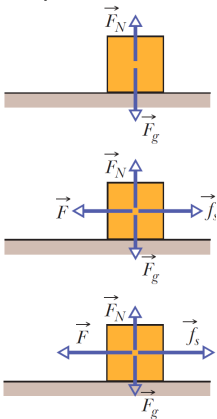
# Dinámica

## Fricción

La **fuerza de fricción** presenta dos diferentes variantes:

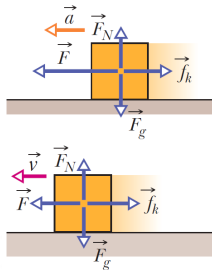
### Fricción estática

Fuerza  $f_s$  que impide que un cuerpo se mueva al aplicarle una fuerza  $\vec{F}$ , equilibrándola.



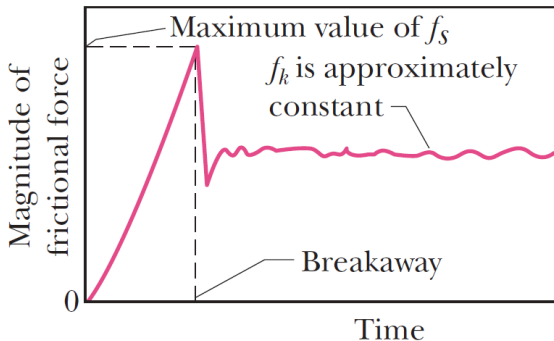
### Fricción cinética

Cuando  $\vec{F}$  se incrementa, sobrepasa el **punto de quiebre** de  $f_s$ , moviendo el cuerpo, pero sigue existiendo una fricción,  $f_k$  ( $< f_s$ ) oponiéndose al movimiento.



# Dinámica

## Fricción



- La **fricción estática** se va modificando para poder igualar a la fuerza aplicada, hasta cierto valor, conocido como **punto de quiebre**.
- La **fricción cinética** es aproximadamente **constante**, y con un valor menor a la estática.

# Dinámica

## Propiedades de la fuerza de fricción

**Propiedad 1:** Si el cuerpo no se mueve, entonces la fuerza de **fricción estática**  $\mathbf{f}_s$  se equipara con la comp. paralela a la superficie de  $\mathbf{F}$ , con la misma magnitud y sentido contrario.

**Propiedad 2:** La magnitud de  $\mathbf{f}_s$  tiene un valor **máximo**,

$$f_{s,\max} = \mu_s F_N,$$

donde  $\mu_s$  es el **coeficiente de fricción estática** y  $F_N$  es la magnitud de la fuerza normal del cuerpo.

**Propiedad 3:** Si el cuerpo se desliza sobre la superficie, la magnitud de la fuerza de fricción decae rápidamente a un valor  $f_k$ ,

$$f_k = \mu_k F_N,$$

siendo  $\mu_k$  el **coeficiente de fricción cinética**.

$\mu_s$  y  $\mu_k$  son cantidades adimensionales, determinadas experimentalmente, y sus valores dependen tanto del cuerpo como de la superficie.

# Dinámica

## Movimiento circular uniforme

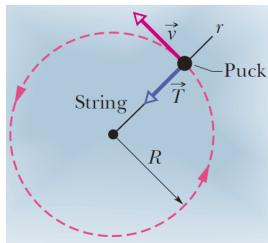
Cuando un cuerpo se mueve en un **círculo** (o un arco del mismo) a una **velocidad constante**  $v$  se tiene un **movimiento circular uniforme**.

- A pesar de que  $v$  es constante, existe un cambio de **dirección**, por tanto hay una aceleración, que se le llama **aceleración centrípeta**,
- Tanto la fuerza como la aceleración centrípeta apuntan hacia el **centro de curvatura** de la trayectoria de la partícula,

$$a = \frac{v^2}{R} \quad \forall \quad R = \text{radio del círculo.}$$

- La aceleración centrípeta se debe a una fuerza neta que la genera, conocida como **fuerza centrípeta**,

$$F = ma \quad \Rightarrow \quad F = \frac{mv^2}{R}.$$



# Contenido: Tema 01

## 1. Mecánica Clásica

1.1 Movimiento unidimensional, bidimensional y tridimensional

1.2 Leyes de Newton, Dinámica de una partícula

1.3 Energía y leyes de conservación

1.4 Sistemas de partículas, cinemática de rotaciones

# Energía cinética y trabajo

## Energía cinética

En general, se tiene que la **energía**:

- Es una cantidad escalar asociada con el **estado**, o condición, de uno o más objetos.
- Puede ser **transformada** de una a otra forma, y **transferida** de un objeto a otro, pero la cantidad total de energía siempre es la misma.

En particular, la **energía cinética**  $K$  se asocia con el **estado de movimiento** de un objeto, y se define como,

$$K = 1/2mv^2,$$

siendo sus unidades en el SI el **joule (J)**, definido como:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Para el caso cuando un objeto se encuentra **estacionario**, se tiene que  $K = 0$ .

# Energía cinética y trabajo

## Trabajo

### Trabajo $W$

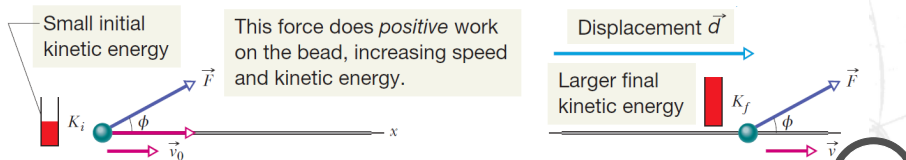
El trabajo es energía **transferida** hacia o desde un objeto mediante una **fuerza** actuando en un objeto.

$W > 0$ : Energía transferida **hacia** el objeto.

$W < 0$ : Energía transferida **desde** el objeto.

Para calcular el trabajo realizado por una fuerza para mover un objeto una cierta distancia, se considera únicamente la componente **paralela** de la fuerza en la dirección de movimiento,

$$W = F_x d = F d \cos \phi = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d}.$$





# Energía cinética y trabajo

## Trabajo

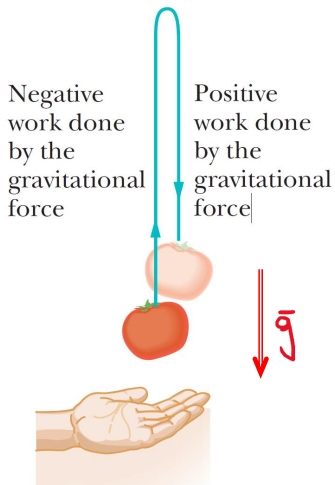
Consideraciones importantes sobre calcular el trabajo con  $W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d}$ ,

- La fuerza aplicada debe ser **constante**, es decir, no puede cambiar de dirección, sentido, o magnitud.
- El objeto al que se le aplica la fuerza se debe de considerar como una **partícula puntual** o un **cuerpo rígido**.
- $W > 0$  si la componente de  $\mathbf{F}$  y  $\mathbf{d}$  tienen la **misma** dirección.
- $W < 0$  si la componente de  $\mathbf{F}$  y  $\mathbf{d}$  tienen direcciones **opuestas**.
- Si se tiene más de una fuerza actuando en un objeto, el **trabajo neto** será la suma de los trabajos individuales por cada fuerza o, de manera equivalente, el trabajo realizado por la suma de fuerzas.
- El **teorema de trabajo-energía** establece que el cambio en energía cinética de un objeto es igual al trabajo realizado en/por la partícula,

$$\Delta K = K_f - K_i = W.$$

# Energía potencial y conservación de energía

## Trabajo y energía potencial



- La **energía potencial**  $U$  se define como la energía almacenada en un objeto debido a la **altura** que posee,

$$U(y) = mgy.$$

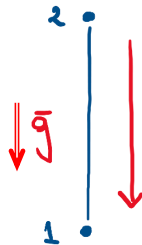
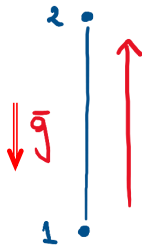
- Al lanzar una partícula hacia **arriba**, la energía cinética **decrece** y la altura **crece**:  $K_f - K_i = W < 0$ .
- Al viajar hacia **abajo**, se dará un **incremento** de la energía cinética y la altura **decrece**:  $K_f - K_i = W > 0$ .
- El cambio en energía potencial se define como el **negativo** del **trabajo** hecho por la **fuerza gravitacional**:

$$\Delta U = -W.$$

# Energía potencial y conservación de energía

## Fuerzas conservativas

Un sistema de **fuerzas conservativas** es aquel en el cual al invertir el sentido del movimiento del sistema, el trabajo cambia de signo.



$$W_{12} = K_2 - K_1 \quad \forall \quad K_2 < K_1, \\ \therefore W_{12} < 0.$$

$$W_{21} = K_1 - K_2 \quad \forall \quad K_2 < K_1, \\ \therefore W_{21} > 0.$$

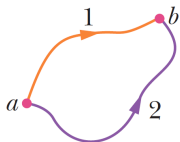
En este caso, al ser exactamente los mismos puntos 1 y 2, entonces:

$$W_{21} = -W_{12}.$$

# Energía potencial y conservación de energía

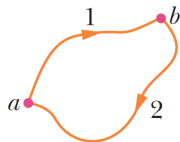
## Fuerzas conservativas

- El **trabajo** hecho por una fuerza **conservativa** en una partícula que se mueve entre dos puntos no **depende** de la **trayectoria** que sigue la partícula.



$$W_{ab,1} = W_{ab,2}.$$

- El **trabajo** neto hecho por una fuerza **conservativa** en una partícula que se mueve en una trayectoria **cerrada** es **cero**.



$$W_{ba,2} = -W_{ab,2},$$

$$\text{pero: } W_{ab,2} = W_{ab,1},$$

$$\Rightarrow W_{ba,2} = -W_{ab,1},$$

$$\therefore W_{ba,2} + W_{ab,1} = 0.$$

# Energía potencial y conservación de energía

## Conservación de energía

La **energía**  $E$  de un sistema viene dada como la suma de su energía **potencial**  $U$  y **cinética**  $K$ ,

$$E = U + K.$$

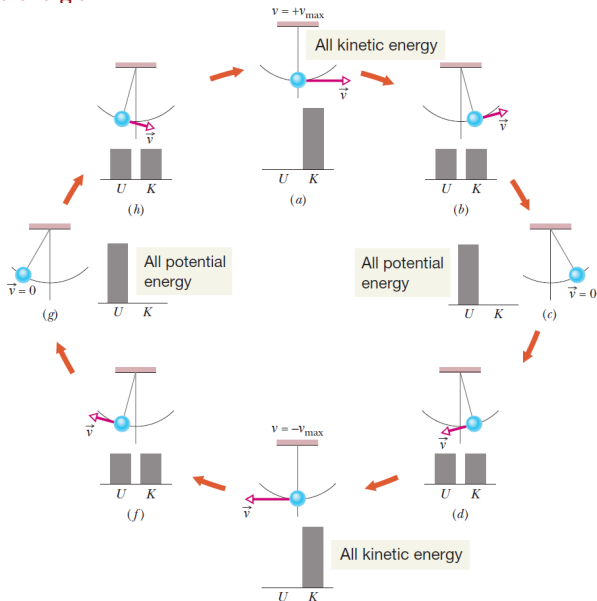
En el caso de **fuerzas conservativas** y sin aplicación de **fuerzas externas**, se tiene que el trabajo aplicado al sistema es:

$$\begin{aligned} W &= \Delta K \quad \forall \quad \Delta K = K_2 - K_1, \\ \text{pero: } \Delta U &= -W \quad \forall \quad \Delta U = U_2 - U_1, \\ \Rightarrow \Delta K &= -\Delta U, \\ \therefore K_2 + U_2 &= K_1 + U_1, \end{aligned}$$

lo cual se conoce como el principio de **conservación de energía**:  
 $\Delta E = \Delta K + \Delta U = 0$ .

# Energía potencial y conservación de energía

## Conservación de energía



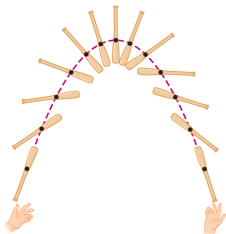
# Contenido: Tema 01

## 1. Mecánica Clásica

- 1.1 Movimiento unidimensional, bidimensional y tridimensional
- 1.2 Leyes de Newton, Dinámica de una partícula
- 1.3 Energía y leyes de conservación
- 1.4 Sistemas de partículas, cinemática de rotaciones

# Centro de masas y momento lineal

## Centro de masas



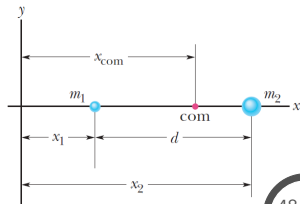
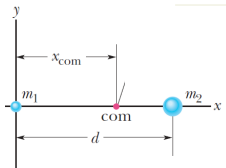
### Centro de masas

El centro de masas de un sistema de partículas (discreto o continuo) es el punto que se mueve como si **toda la masa** del sistema estuviera ubicada ahí, y **todas las fuerzas** externas se aplicaran en ese punto particular.

Para el caso de un sistema de **dos partículas**, el centro de masa se calcula como:

$$\begin{aligned}x_{cm} &= \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}, \\ &= \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{M},\end{aligned}$$

$$\forall \quad M = m_1 + m_2.$$





# Centro de masas y momento lineal

## Centro de masas

Para el caso en el que se tengan **muchas partículas** (en una sola dimensión), el centro de masas se expresa como,

$$\begin{aligned}x_{com} &= \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n}{M}, \\&= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad \forall \quad M = m_1 + m_2 + \dots + m_n.\end{aligned}$$

Cuando las partículas se distribuyen en las **tres dimensiones**, el centro de masas se puede identificar por tres coordenadas:

$$x_{com} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad y_{com} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i y_i, \quad z_{com} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i z_i,$$

lo cual define un vector de posición para el centro de masas,

$$\begin{aligned}\mathbf{r}_{com} &= x_{com}\mathbf{i} + y_{com}\mathbf{j} + z_{com}\mathbf{k}, \\ \Rightarrow \mathbf{r}_{com} &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \mathbf{r}_i.\end{aligned}$$

# Centro de masas y momento lineal

## 2ª ley de Newton para un sistema de partículas

El movimiento de un conjunto de partículas, como un todo, se puede analizar mediante el comportamiento de su centro de masas, es decir:

$$\mathbf{F}_{net} = M\mathbf{a}_{com},$$

lo cual representa la 2ª ley de Newton para el centro de masas de **un sistema de partículas**, con las siguientes consideraciones:

1.  $\mathbf{F}_{net}$  es la fuerza neta de todas las **fuerzas externas** que actúan en el sistema.
2.  $M$  es la **masa total** del sistema, el cual no pierde ni gana masa, es decir, es un sistema **cerrado**.
3.  $\mathbf{a}_{com}$  es la aceleración del **centro de masas** del sistema.

La 2ª ley de Newton para el centro de masas se puede expresar de manera equivalente mediante sus componentes:

$$F_{net,x} = Ma_{com,x}, \quad F_{net,y} = Ma_{com,y}, \quad F_{net,z} = Ma_{com,z}.$$

# Centro de masas y momento lineal

## Momento lineal

El **momento lineal**  $\mathbf{p}$  de una partícula es una cantidad vectorial que se define como:

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v},$$

en donde las unidades en el SI del momento son  $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ .

## 2ª ley de Newton

La razón de cambio del **momento** de una partícula es igual a la **fuerza neta** actuando en la partícula, siguiendo la dirección de esa fuerza,

$$\mathbf{F}_{net} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}.$$

Para el caso de un **sistema de partículas**, se tiene que el **momento total**  $\mathbf{P}$  es:

$$\begin{aligned}\mathbf{P} &= \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 + \dots + \mathbf{p}_n, \\ &= m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 + \dots + m_n\mathbf{v}_n, \\ \therefore \mathbf{P} &= M\mathbf{v}_{com}.\end{aligned}$$

# Centro de masas y momento lineal

## Momento lineal

La expresión anterior para el **momento total** nos dice que es igual al producto de la **masa total** por la **velocidad** del **centro de masas**.

Relacionando la expresión de  $\mathbf{P}$  con la fuerza,

$$\begin{aligned}\mathbf{P} &= M\mathbf{v}_{com}, \\ \Rightarrow \frac{d\mathbf{P}}{dt} &= M\frac{d\mathbf{v}_{com}}{dt} = M\mathbf{a}_{com}, \\ \therefore \mathbf{F}_{net} &= \frac{d\mathbf{P}}{dt},\end{aligned}$$

es decir, la **fuerza externa** neta  $\mathbf{F}_{net}$  aplicando en un sistema de partículas cambiará el **momento lineal**  $\mathbf{P}$  del sistema.

Lo anterior implica que si **no** existe una fuerza externa neta,  $\mathbf{F}_{net} = 0$ , entonces el momento  $\mathbf{P}$  **no** cambiará.

# Centro de masas y momento lineal

## Momento lineal

Retomando la idea de que las fuerzas externas netas sean cero,  $\mathbf{F}_{net} = 0$ , entonces:

$$\mathbf{F}_{net} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} \Rightarrow \frac{d\mathbf{P}}{dt} = 0 \quad \therefore \quad \mathbf{P} = \text{cte.}$$

es decir, si la fuerza neta externa es **cero**, entonces el momento lineal total será una **constante de movimiento**, lo cual representa la **ley de conservación de momento lineal**,

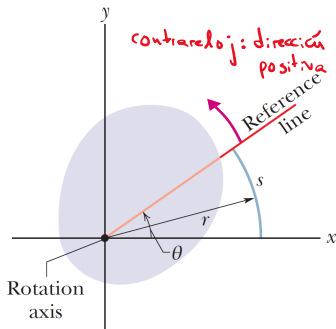
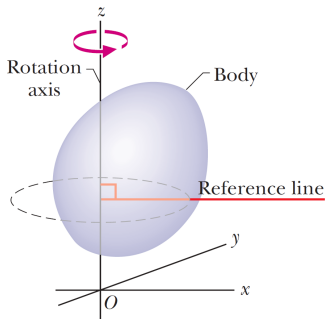
$$\mathbf{P} = \text{cte.} \Rightarrow \mathbf{P}_i = \mathbf{P}_f.$$

Lo anterior se aplica también a las **componentes** del momento lineal por separado, ya que si en esa dirección **no existe** una fuerza neta, entonces el momento lineal se **conservará** en esa dirección.

# Movimiento rotacional

## Variables rotacionales

Considerando el **mov. rotacional** de un **cuerpo rígido**,<sup>4</sup> se define un **eje de rotación** como el eje alrededor del cual el cuerpo rota.

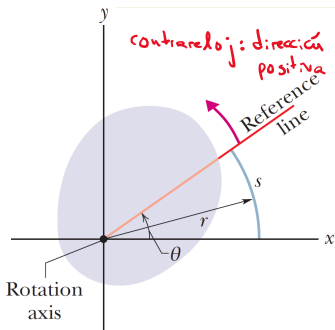


Se define la **posición angular** como el ángulo de la **línea de referencia**, fija en el cuerpo y perpendicular al eje de rotación, con respecto a una dirección fija, considerada como el origen.

<sup>4</sup>Cuerpo que puede rotar con todas sus partes, sin sufrir deformaciones.

# Movimiento rotacional

## Variables rotacionales



La **posición angular**  $\theta$  se define como,

$$\theta = s/r,$$

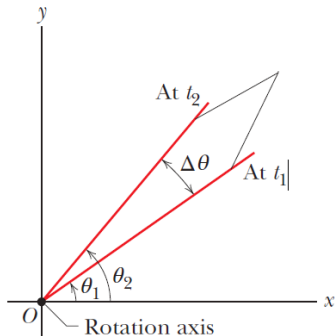
siendo  $s$  la **longitud de arco** desde la posición cero de la variable angular, y  $r$  el **radio** del círculo al cual pertenece el arco.

Sus unidades son **radianes** (rad), no poseen dimensión, y se relacionan con los grados de la siguiente manera:

$$1 \text{ rev} = 360^\circ = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ rad.}$$

# Movimiento rotacional

## Variables rotacionales



El **desplazamiento angular** es el cambio de la posición angular,

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1,$$

**negativo (positivo)** en el sentido **horario (antihorario)**.

La **velocidad angular**  $\omega$  es el cambio de posición angular en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  muy pequeño,

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}.$$

siendo sus unidades rad/s, y puede ser tanto negativa como positiva.

De igual manera, se define la **aceleración angular**, dada como:

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}.$$

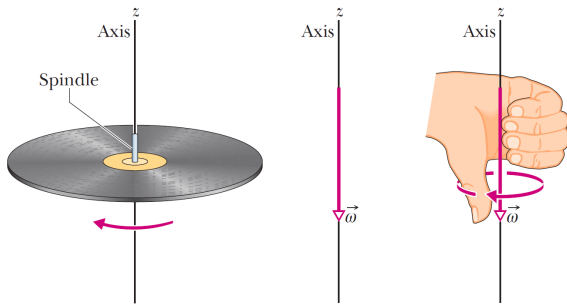
siendo sus unidades rad/s<sup>2</sup>.



# Movimiento rotacional

## Variables rotacionales

La velocidad y aceleración angular representan cantidades **vectoriales**, para determinar la dirección de la **velocidad** se aplica la **regla de la mano derecha**:



- (1) Rotar los dedos de la mano derecha en la dirección de rotación del objeto.
- (2) Extender el pulgar.
- (3) La dirección del pulgar será la **dirección** del vector de **velocidad angular**.

# Movimiento rotacional

## Rotaciones con aceleración angular constante

Las ecuaciones de cinemática para el **movimiento angular**<sup>5</sup> son similares a las correspondientes en el movimiento rectilíneo uniforme.

| Ecuaciones <b>lineales</b>   | Ecuaciones <b>angulares</b>                          |
|------------------------------|------------------------------------------------------|
| $v = v_0 + at$               | $\omega = \omega_0 + \alpha t$                       |
| $x - x_0 = v_0 t + 1/2 at^2$ | $\theta - \theta_0 = \omega_0 t + 1/2 \alpha t^2$    |
| $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$  | $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$ |
| $x - x_0 = 1/2(v_0 + v)t$    | $\theta - \theta_0 = 1/2(\omega_0 + \omega)t$        |
| $x - x_0 = vt - 1/2 at^2$    | $\theta - \theta_0 = \omega t - 1/2 \alpha t^2$      |

Siendo que las variables **lineales**  $s$ ,  $v$  y  $a$ , en un punto particular de un objeto en rotación, se pueden relacionar con las variables **angulares**  $\theta$ ,  $\omega$  y  $\alpha$  de ese cuerpo.

<sup>5</sup>Con aceleración angular constante.

# Movimiento rotacional

## Relaciones entre variables lineales y angulares

El **desplazamiento**  $s$  sobre una sección de longitud de arco, dado por una rotación angular  $\theta$  es,

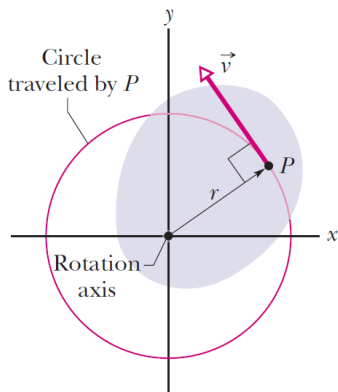
$$s = \theta r,$$

mientras que la **velocidad**  $v$  lineal se relaciona como,

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d\theta}{dt} r = \omega r.$$

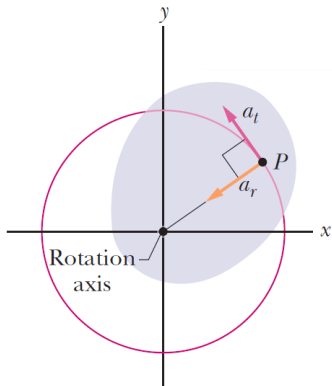
Para velocidad angular **constante**, entonces  $v$  también lo es, con lo cual se determina el **periodo** de revolución,

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



# Movimiento rotacional

## Relaciones entre variables lineales y angulares



La **aceleración lineal**, para el caso de  $r$  constante, se puede expresar como:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d\omega}{dt}r = \alpha r.$$

y es **tangencial** al movimiento circular.

Por otro lado, retomando el concepto de **aceleración radial**, la cual es responsable del cambio de dirección de la velocidad  $\mathbf{v}$  y con dirección **radial**, se tiene:

$$a_r = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r.$$