Fundamentos de Mecánica, Fluidos y Calor

Bibliografía correspondiente al examen local de la OATec

Ing. Marcelo Perotti

RECURSOS DE ESTUDIO

Índice de Contenidos

Magnitudes Escalares y Vectoriales

Una de las primeras distinciones que debemos establecer en cinemática es la diferencia entre magnitudes **escalares** y **vectoriales**. Comprender esta diferencia es fundamental para plantear correctamente cualquier problema de mecánica.

Magnitudes Escalares

Se definen completamente con un número y una unidad de medida. No tienen dirección ni sentido asociados.

Ejemplos de magnitudes escalares:

- Temperatura: 25 °C
- Tiempo: 3 s
- Masa: 70 kg
- Rapidez: 60 km/h

Magnitudes Vectoriales

Requieren, además de módulo y unidad, una **dirección** y un **sentido** para quedar completamente definidas.

Ejemplos de magnitudes vectoriales:

- Posición: vector desde el origen al punto estudiado
- Desplazamiento: variación de posición
- Velocidad: desplazamiento sobre tiempo
- Aceleración: variación de velocidad
- Fuerza

Cinemática de la Partícula

La cinemática es la rama de la mecánica que se ocupa del estudio descriptivo de los movimientos. No se pregunta por qué un cuerpo se mueve, sino cómo lo hace: qué trayectoria sigue, con qué velocidad, en cuánto tiempo recorre determinada distancia, etcétera. Es el punto de partida obligado antes de estudiar dinámica o cualquier otro campo de la mecánica.

Cuando analizamos el movimiento de traslación de un cuerpo sus dimensiones no son relevantes para el problema en cuestión, lo idealizamos como una **partícula**: un objeto puntual cuya masa está concentrada en un único punto del espacio. Esta simplificación es válida en la mayoría de los problemas de mecánica introductoria.

NÚCLEO 1 · CINEMÁTICA DE LA PARTÍCULA

Nomenclatura de Magnitudes Vectoriales

En este apunte utilizaremos la siguiente nomenclatura estandarizada para representar magnitudes vectoriales y sus componentes:

Notación Vectorial

Un vector se simboliza mediante una letra con una flecha encima. Por ejemplo, $\vec{v}$ para la velocidad o $\vec{F}$ para una fuerza.

Módulo

El módulo de un vector se denota con la misma letra sin la flecha. Por ejemplo, v representa el módulo de $\vec{v}$, y es siempre un valor positivo.

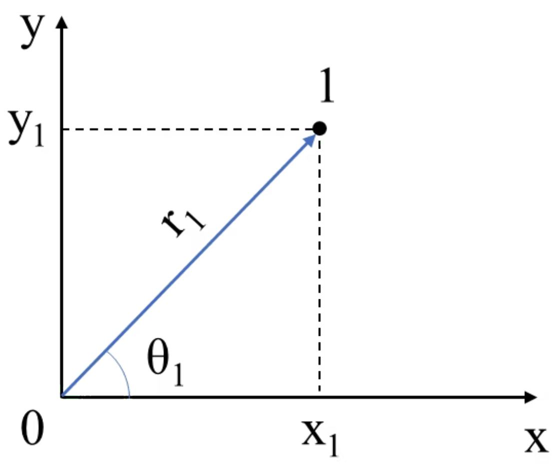
Componentes Escalares

Las componentes se indican con un subíndice que especifica la dirección. Por ejemplo, v_x y v_y son las componentes de $\vec{v}$. Son números reales; su signo depende del sistema de coordenadas adoptado.

Magnitud	Notación vectorial	Módulo	Componente en x	Componente en y
Posición	$\vec{r}$	r	x	y
Desplazamiento	$\Delta\vec{r}$	Δr	Δx	Δy
Velocidad	$\vec{v}$	v	v_x	v_y
Aceleración	$\vec{a}$	a	a_x	a_y
Fuerza	$\vec{F}$	F	F_x	F_y

En la tabla se muestran algunos ejemplos de magnitudes vectoriales junto con la notación que usaremos.

Vector Posición



La posición de una partícula en el plano puede especificarse de dos maneras equivalentes: indicando sus coordenadas cartesianas (x_1; y_1), o indicando el módulo y el ángulo del vector de posición (r_1; θ_1). En el caso unidimensional, la posición queda determinada por una única coordenada con signo.

$$r_1^2 = x_1^2 + y_1^2$$

$$\sin\theta_1 = \frac{y_1}{r_1} \qquad \cos\theta_1 = \frac{x_1}{r_1} \qquad \tan\theta_1 = \frac{y_1}{x_1}$$

Sistema de Referencia

El movimiento es relativo: una partícula puede estar en reposo para un observador y en movimiento para otro. Siempre debemos especificar desde qué sistema de referencia se describe el movimiento. El vector posición que va desde el origen hasta la partícula se simboliza como:

$$\vec{r}$$

Sistema de Coordenadas

Una vez fijado el sistema de referencia, elegimos un sistema de ejes (coordenadas) que nos permita describir la posición de la partícula mediante números.

En una dimensión, usamos la coordenada **x** para movimientos horizontales y la coordenada **y** para movimientos verticales.

Movimiento 1D

En esta unidad analizamos únicamente movimientos que ocurren a lo largo de una recta. Es el caso más simple y la base para extender el análisis a dos y tres dimensiones en unidades posteriores.

En breve será necesario repasar trigonometría elemental (seno, coseno, tangente y sus inversas).

Caso Unidimensional: Posición y Desplazamiento

En el movimiento unidimensional la posición de una partícula queda definida por una **única coordenada** sobre un eje. Es crucial distinguir entre **posición** (coordenada de un punto en el eje) y **distancia** (longitud del camino recorrido): son conceptos diferentes que frecuentemente se confunden.

La coordenada tiene signo según la ubicación de la partícula respecto del origen: es positiva si está del lado positivo del eje, siendo negativa en caso contrario. El **desplazamiento en el eje x**, que es la **componente x del vector desplazamiento Δr**, se define como la diferencia entre la posición final **xf** y la inicial $\mathbf{x_0}$:

$$\Delta x = x_f - x_0$$

Desplazamiento positivo

Si una partícula va de la posición $\mathbf{x_0}$ a la posición **xf** (con **xf > $\mathbf{x_0}$**), la componente x del desplazamiento es:

$$\Delta x = x_f - x_0 > 0$$

La partícula se movió hacia el lado positivo del eje.

Desplazamiento negativo

Si la partícula regresa de **xf** a $\mathbf{x_0}$, la componente x del desplazamiento es:

$$\Delta x = x_0 - x_f < 0$$

El signo negativo indica que el movimiento fue hacia el lado negativo del eje.

Si el eje x es positivo hacia la derecha, el signo negativo del desplazamiento indica que la partícula se movió hacia la izquierda.

Desplazamiento ≠ Distancia

La distancia recorrida es siempre positiva y mide la longitud total del camino. El desplazamiento puede ser cero (si la partícula vuelve al origen) aunque la distancia recorrida haya sido grande.

Regla clave: el signo del desplazamiento indica el sentido del movimiento a lo largo del eje elegido.

Rapidez Media y Velocidad Media

Además de medir los desplazamientos y distancias recorridas, también nos interesa medir el tiempo transcurrido. Definimos entonces:

Rapidez Media

$$v_{media} = \frac{\text{distancia recorrida}}{\Delta t}$$

- Es una magnitud escalar.
- Es siempre positiva.

Velocidad Media

$$\vec{v}_{media} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

- Es una magnitud vectorial.
- En los problemas 1D la dirección está predeterminada.
- El sentido está definido por el signo.

• La rapidez media la solemos usar cotidianamente (por ejemplo, en las carreras de autos).

• La velocidad media tiene poca utilidad práctica.

Rapidez y Velocidad Instantánea

La **rapidez instantánea** y la **velocidad instantánea** son los valores de rapidez y velocidad para un instante preciso de tiempo. Intuitivamente, la rapidez instantánea es lo que indica el velocímetro de un auto en un momento dado. Matemáticamente, se definen tomando el límite del cociente de desplazamiento sobre tiempo cuando el intervalo de tiempo tiende a cero. Para el caso 1D sería:

Velocidad instantánea

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

Es la derivada de la posición respecto del tiempo. Su signo indica el sentido del movimiento en ese instante.

Rapidez instantánea

$$|v_x| = \left| \frac{dx}{dt} \right|$$

Es el valor absoluto (módulo) de la velocidad instantánea. Siempre es un número positivo o cero.

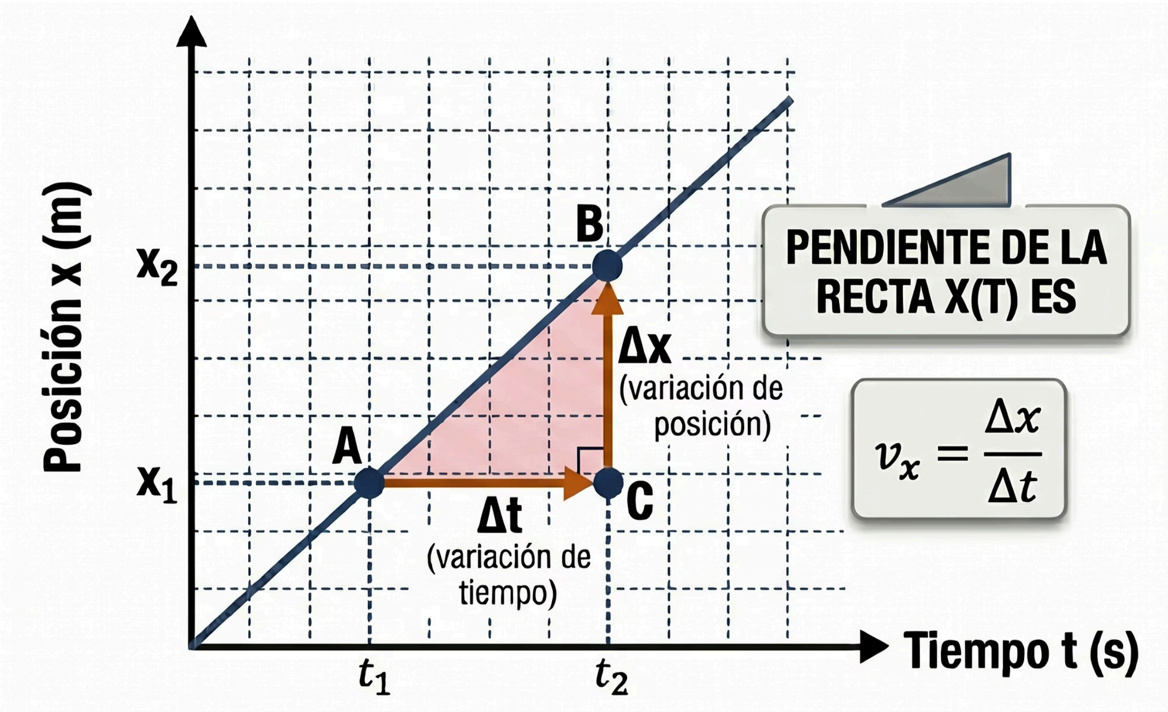
La definición formal usando límites corresponde al concepto de **derivada**, que se estudia en profundidad en Análisis Matemático y no es requisito para comprender este texto. En este apunte trabajamos con casos en los que la aceleración es constante, lo que simplifica considerablemente el tratamiento matemático y permite obtener ecuaciones algebraicas cerradas.

Ecuación Horaria del MRU

El **Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU)** es aquel en el que la velocidad permanece constante a lo largo del tiempo, es decir, no cambia su módulo, dirección ni sentido. Esto implica que no hay aceleración (**a_x = 0**) y que la partícula recorre distancias iguales en tiempos iguales.

1	2	3
Ecuación horaria de posición $x = x_0 + v_x \cdot (t - t_0)$ donde **x** es la posición (variable dependiente), **t** el tiempo (variable independiente), y **x_0**, **t_0** son las condiciones iniciales.	**Forma simplificada (t_0 = 0)** $x = x_0 + v_x \cdot t$ Cuando se toma el instante inicial como t_0 = 0, la ecuación se simplifica. Esta es la forma más utilizada en la práctica.	**Interpretación gráfica** La función x(t) es una **recta** en el plano (x, t). La pendiente de esa recta es la velocidad v_x: una pendiente pronunciada indica mayor rapidez; una recta horizontal indica reposo.

> **¡Importante!** Para poder escribir correctamente las ecuaciones cinemáticas, lo primero que debe hacerse es definir el sistema de coordenadas utilizado. Esa elección determina los signos de todas las magnitudes del problema.



EJEMPLO — MRU

Problema de Encuentro entre dos Móviles

A las 11 h parte un móvil que se mueve en línea recta con una rapidez de 60 km/h. A las 13 h del mismo lugar parte otro móvil que se mueve en igual dirección y sentido que el primero, pero con una rapidez de 100 km/h. **Calcular a qué hora y a qué distancia del punto de partida se cruzan.**

1 Definir el sistema de coordenadas

Ambos móviles parten desde la misma posición inicial. Definimos $\mathbf{x_0 = 0}$ y el sentido positivo hacia donde se mueven. Como ambos van en el mismo sentido, ambas velocidades son positivas.

2 Plantear las ecuaciones horarias

Móvil 1 (sale a t = 11 h):

$\mathbf{x_1 = 60\ km/h \cdot (t - 11\ h)}$

Móvil 2 (sale a t = 13 hs):

$\mathbf{x_2 = 100\ km/h \cdot (t - 13\ h)}$

3 Condición de encuentro

En el encuentro ambos móviles están en la misma posición: $\mathbf{x_1 = x_2}$.

$60\ km/h \cdot (t - 11\ h) = 100\ km/h \cdot (t - 13\ h)$

Despejando el tiempo de encuentro resulta:

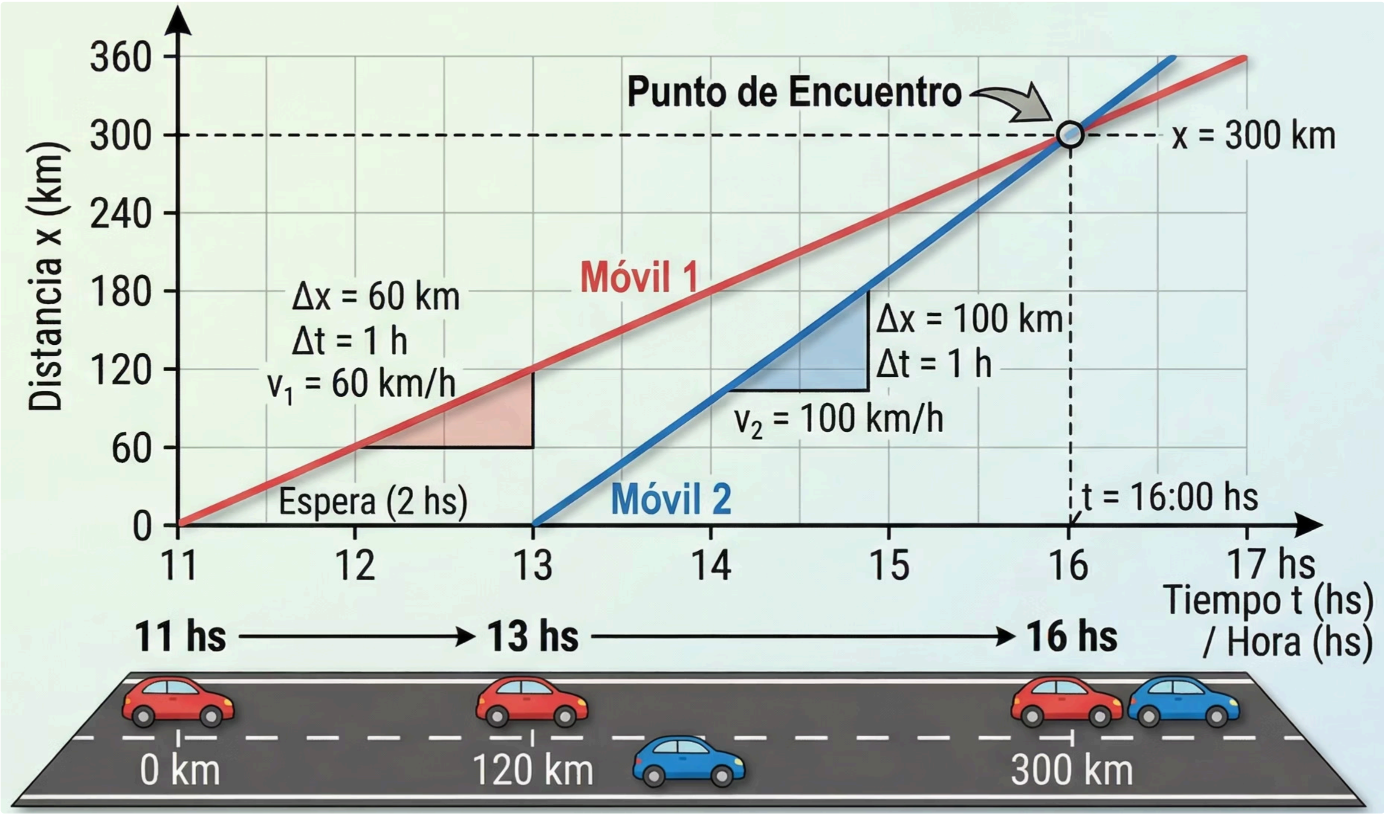
t = 16 h.

4 Posición de encuentro

Reemplazando en cualquiera de las ecuaciones:

$x_1 = 60\ km/h \cdot (16 - 11)\ h = 60\ km/h \cdot 5\ h$

300 km del punto de partida.



Aceleración y Ecuaciones Horarias del MRUV

La **aceleración** es la magnitud que mide cómo cambia la velocidad en el tiempo. Si la velocidad de una partícula varía entre dos instantes, decimos que experimentó una aceleración. Al igual que la velocidad, la aceleración es una magnitud vectorial.

En los problemas unidimensionales, la velocidad solo puede cambiar en módulo (la partícula va más rápido o más lento) o en sentido (la partícula invierte su dirección de movimiento), pero no en dirección, ya que la partícula siempre se mueve sobre la misma recta.

Aceleración media

$$a_{media,x} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{fx} - v_{0x}}{t - t_0}$$

Promedia el cambio de velocidad en un intervalo de tiempo. Tiene las mismas limitaciones que la velocidad media.

Aceleración instantánea

$$a_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt}$$

Es la derivada de la velocidad respecto del tiempo. En el MRUV es constante.

Despejando la velocidad

$$v_{fx} = v_{0x} + a_x \cdot \Delta t$$

Esta relación es la **primera ecuación horaria del MRUV**. Si ax = cte, esta expresión es exacta para cualquier intervalo de tiempo.

El Movimiento Rectilíneo Uniformemente Variado (MRUV) es aquel en que la aceleración es constante. Esto genera dos ecuaciones horarias: una para la velocidad y otra para la posición, ambas en función del tiempo.

Ecuación de Posición

$$x(t) = x_0 + v_{0x} \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a_x \cdot \Delta t^2$$

La posición es una función cuadrática del tiempo cuando hay aceleración constante no nula.

Signo de v_x

Indica el sentido del movimiento: positivo si se mueve en la dirección positiva del eje, negativo si se mueve en la dirección negativa.

Signo de a_x

Indica el sentido en el que cambia la velocidad: no determina por sí solo si el móvil acelera o frena (ver la siguiente sección).

Unidades SI: la aceleración se mide en metros por segundo al cuadrado [m/s²]. Una aceleración de 1 m/s² significa que la velocidad cambia 1 m/s cada segundo.

¿Cuándo Acelera y Cuándo Frena un Móvil?

Una pregunta muy frecuente es: ¿el signo de la aceleración determina por sí mismo si el móvil acelera o frena? La respuesta es **NO**. Lo que importa es la **relación entre el signo de la aceleración y el signo de la velocidad vx**.

> **Regla fundamental:** si la aceleración ax y la velocidad vx tienen el **mismo signo**, el módulo de la velocidad **aumenta** (el móvil acelera). Si tienen **signos opuestos**, el módulo de la velocidad **disminuye** (el móvil frena).

$vx > 0$, $ax > 0 \rightarrow$ Acelera

El móvil se mueve hacia la derecha y la aceleración también apunta a la derecha. La velocidad aumenta en módulo.

$vx < 0$, $ax < 0 \rightarrow$ Acelera

El móvil se mueve hacia la izquierda y la aceleración también apunta a la izquierda. La velocidad aumenta en módulo (en sentido negativo).

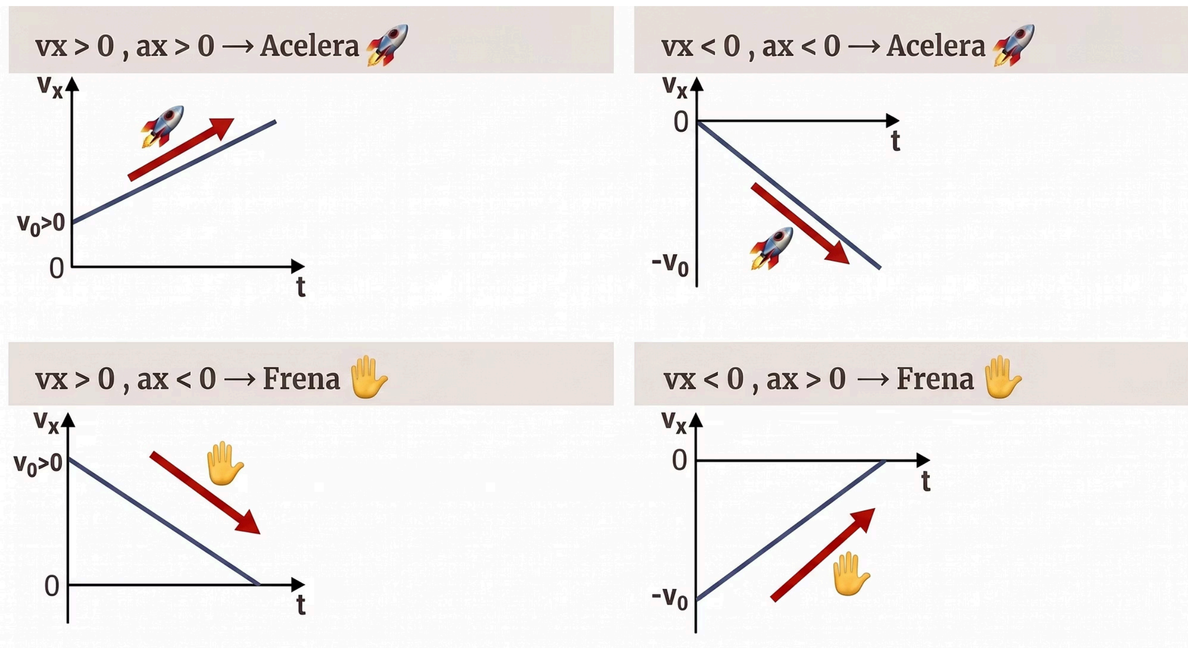
$vx > 0$, $ax < 0 \rightarrow$ Frena

El móvil se mueve hacia la derecha pero la aceleración apunta a la izquierda. La velocidad disminuye en módulo hasta llegar a cero.

$vx < 0$, $ax > 0 \rightarrow$ Frena

El móvil se mueve hacia la izquierda pero la aceleración apunta a la derecha. La velocidad disminuye en módulo hasta llegar a cero.

Gráficos vx = f(t) para cada caso



EJEMPLO — MRUV SENCILLO

Tren que Frena: Aceleración y Distancia

Un tren se mueve con una rapidez de 18 m/s; frena y se detiene en 15 segundos. **Calcular su aceleración y la distancia recorrida al frenar.**

Volcamos los datos en las ecuaciones que definen al movimiento.

1

Planteo del sistema

Tomamos $t_0 = 0$, $x_0 = 0$, sentido positivo a favor del movimiento. $v_{0x} = +18\ \mathrm{m/s}$ (se mueve en sentido positivo).

Condición final: $v_x = 0$ a $t = 15\ \mathrm{s}$.

2

Ec. (1): hallar la aceleración

$$v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$$

$$0 = 18 + a_x \cdot 15$$

$$a_x = -\frac{18}{15} = -1{,}2\ \mathrm{m/s^2}$$

El signo negativo confirma que el tren frena (a y v tienen signos opuestos).

3

Ec. (2): hallar la posición final

$$x = x_0 + v_{0x} \cdot t + \tfrac{1}{2} a_x \cdot t^2$$

$$x = 0 + 18 \cdot 15 + \tfrac{1}{2}(-1{,}2)(15)^2$$

$$x = 270 - 135 = 135\ \mathrm{m}$$

4

Conclusión

El tren frena con $a_x = -1{,}2\ \mathrm{m/s^2}$ y recorre 135 m hasta detenerse. Como el tren siempre se movió en el mismo sentido, desplazamiento y distancia recorrida coinciden.

EJEMPLO — MRUV MÁS COMPLEJO

Distancia de Frenado

Un auto es capaz de detenerse completamente desde los 100 km/h en una distancia de 80 m. Considerando que el auto frena con aceleración constante, **calcular qué distancia necesitará como mínimo para detenerse desde los 120 km/h.**

(1) Convertir unidades

$$100\ \mathrm{km/h} = \frac{100}{3{,}6} \approx 27{,}78\ \mathrm{m/s}$$

$$120\ \mathrm{km/h} = \frac{120}{3{,}6} \approx 33{,}33\ \mathrm{m/s}$$

Siempre convertir a unidades del SI antes de operar.

(2) Plantear con los datos conocidos (100 km/h)

$x_0 = 0$, $v_0 = 27{,}78\ \mathrm{m/s}$, $v = 0$, $x = 80\ \mathrm{m}$

Ecuación (1):

$$0 = 27{,}78 + a \cdot t \quad \Rightarrow \quad t = -\frac{27{,}78}{a}$$

Ecuación (2):

$$80\ \mathrm{m} = 0 + 27{,}78 \cdot t + \tfrac{1}{2} a \cdot t^2$$

(3) Sistema con dos incógnitas

Tenemos dos ecuaciones y dos incógnitas (a y t). Una es cuadrática. Resolver este sistema por sustitución resulta tedioso. *¿Hay una forma más eficiente?* Sí: la **ecuación complementaria.** Para obtener una ecuación que vincule posición y velocidad sin que aparezca el tiempo, despejamos t de la ecuación (1) y lo reemplazamos en la ecuación (2).

01

Despejar t de la Ec.(1)

$$v_x = v_{0x} + a_x (t - t_0)$$

$$t - t_0 = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}$$

02

Sustituir en la Ec.(2)

$$x = x_0 + v_{0x} \cdot \frac{v_x - v_{0x}}{a_x} + \frac{1}{2} a_x \left(\frac{v_x - v_{0x}}{a_x} \right)^2$$

03

Simplificar la expresión

$$x - x_0 = \frac{v_{0x}(v_x - v_{0x})}{a_x} + \frac{(v_x - v_{0x})^2}{2a_x}$$

$$x - x_0 = \frac{2v_{0x}(v_x - v_{0x}) + (v_x - v_{0x})^2}{2a_x}$$

04

Resultado final

$$\boxed{v_x^2 = v_{0x}^2 + 2\, a_x\, (x - x_0)}$$

Esta ecuación no contiene el tiempo. Es ideal cuando se conocen posiciones y velocidades pero no el tiempo.

Resumen de Ecuaciones del MRUV

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x\,(t - t_0)(1)$$

$$x(t) = x_0 + v_{0x}(t - t_0) + \tfrac{1}{2}a_x(t - t_0)^2(2)$$

$$v_x^2 = v_{0x}^2 + 2\,a_x\,\Delta x(3)$$

RESOLUCIÓN — ECUACIÓN COMPLEMENTARIA

Resolución con la Ec. Complementaria

Queremos ahora encontrar la distancia de frenado desde 120 km/h (33,33 m/s).

1

Paso 1 — Hallar la aceleración con los datos conocidos

Aplicamos la ecuación complementaria con $v_{0x} = 27{,}78\ \mathrm{m/s}$, $v_x = 0$, $x - x_0 = 80\ \mathrm{m}$:

$$0^2 = (27{,}78)^2 + 2\,a_x \cdot 80$$

$$0 = 771{,}7 + 160\,a_x$$

$$a_x = -\frac{771{,}7}{160} \approx -4{,}82\ \mathrm{m/s^2}$$

La aceleración es negativa: coherente con que el auto frena.

2

Paso 2 — Calcular la nueva distancia de frenado

$v_{0x} = 33{,}33\ \mathrm{m/s}$, $v_x = 0$, $a_x = -4{,}82\ \mathrm{m/s^2}$:

$$0^2 = (33{,}33)^2 + 2\,(-4{,}82)\,(x - x_0)$$

$$0 = 1110{,}9 - 9{,}64\,(x - x_0)$$

$$x - x_0 = \frac{1110{,}9}{9{,}64} \approx 115{,}2\ \mathrm{m}$$

3

Conclusión

El auto necesita aproximadamente **115 m** para detenerse desde los 120 km/h. Obsérvese que al aumentar la velocidad inicial un 20%, la distancia de frenado aumenta un 44%, porque depende del cuadrado de la velocidad. Esto tiene implicaciones importantes para la seguridad vial.

Movimiento Bajo el Campo Gravitatorio

Cerca de la superficie de la Tierra, los objetos experimentan la aceleración provocada por el campo gravitatorio terrestre (g). Su valor promedio es de 9,8 m/s^2 (frecuentemente redondeado a 10 m/s^2 para facilitar cálculos). El movimiento bajo la gravedad es un caso particular de MRUV en el eje vertical (y).

Importante sobre el signo de g: La aceleración de la gravedad es un vector que siempre apunta hacia el centro de la Tierra (hacia abajo). Su signo en las ecuaciones depende exclusivamente del sistema de coordenadas elegido:

- Si el eje y es positivo hacia arriba → $a_y = -g$
- Si el eje y es positivo hacia abajo → $a_y = +g$

EJEMPLO I — TIRO VERTICAL

Un cuerpo es arrojado verticalmente hacia arriba con una rapidez de 30 m/s. Se pide: tabla de valores de posición y velocidad cada 0,5 s entre t = 0 y t = 6 s, y la altura máxima que alcanzará el cuerpo. Se adopta $g = 10\ m/s^2$.

Se define el eje y positivo hacia arriba, con origen en el punto de lanzamiento. Las ecuaciones horarias del movimiento son:

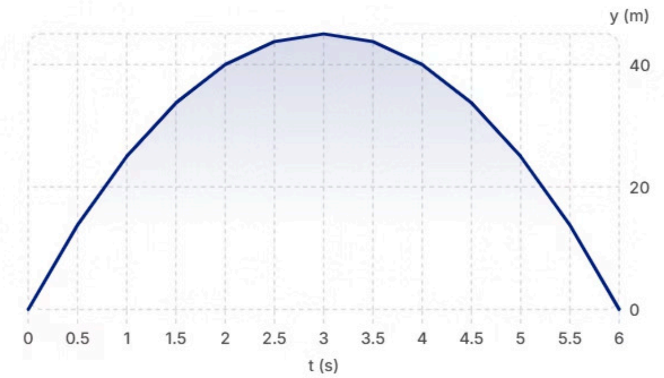
$$v_y(t) = v_{0y} + a_y \cdot t = 30\ m/s - 10\ m/s^2 \cdot t$$

$$y(t) = v_{0y} \cdot t + ½ \cdot a_y \cdot t^2 = 30\ m/s \cdot t - 5\ m/s^2 \cdot t^2$$

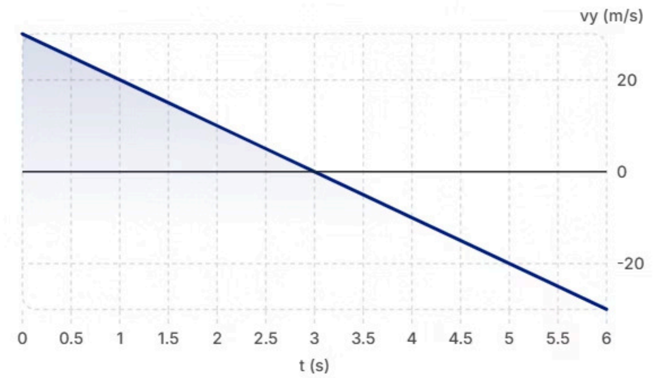
Estas ecuaciones son válidas para todo el movimiento (subida y bajada). Dejan de ser válidas cuando el objeto llega justo al piso.

t (s)	y (m)	vy (m/s)
0	0	30
0,5	13,75	25
1	25	20
1,5	33,75	15
2	40	10
2,5	43,75	5
3	45	0
3,5	43,75	−5
4	40	−10
4,5	33,75	−15
5	25	−20
5,5	13,75	−25
6	0	−30

Posición en función del tiempo



Velocidad en función del tiempo



Altura máxima

En t = 3 s se alcanza la altura máxima. En ese instante vy = 0. Hmáx = 45 m.

Movimiento simétrico

En t = 6 s el cuerpo justo llega al piso. Observe la simetría.

Interpretación de vy

Para t < 3 s → vy > 0 (sube).
Para t = 3 s → vy = 0 (Hmáx).
Para t > 3 s → vy < 0 (baja).

EJEMPLO II — TIRO VERTICAL

Altura Máxima con Ecuación Complementaria

Elsa arroja un objeto verticalmente hacia arriba con una rapidez inicial v_0y desconocida. Una persona parada a una altura de 10 m lo ve pasar hacia arriba 1 s después de que fue lanzado. Determinar la altura máxima que alcanzará el objeto. Considerar g = 10 m/s².

01

Definir el sistema de coordenadas

Se elige el eje y positivo hacia arriba, con origen en el punto de lanzamiento (piso). Las ecuaciones horarias son:

$$y(t) = v_{0y} \cdot t - \tfrac{1}{2} \cdot 10\, t^2$$

$$v_y(t) = v_{0y} - 10\, t$$

02

Hallar v_{0y} con los datos del enunciado

La persona a 10 m ve pasar el objeto en t = 1 s (subiendo). Reemplazamos en la ecuación de posición:

$$10 \text{ m} = v_{0y} \cdot 1 \text{ s} - \tfrac{1}{2} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot (1 \text{ s})^2$$

$$10 \text{ m} = v_{0y} \cdot 1 \text{ s} - 5 \text{ m}$$

$$v_{0y} = \frac{10 \text{ m} + 5 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 15 \text{ m/s}$$

03

Hallar Hmáx con la ecuación complementaria

En la altura máxima, vy = 0. Aplicamos la ecuación complementaria:

$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2\, a_y\, \Delta y$$

$$0 = (15 \text{ m/s})^2 + 2 \cdot (-10 \text{ m/s}^2) \cdot H_{\text{máx}}$$

$$0 = 225 \text{ m}^2/\text{s}^2 - 20 \text{ m/s}^2 \cdot H_{\text{máx}}$$

$$H_{\text{máx}} = \frac{225}{20} = 11{,}25 \text{ m}$$

Importante: La ecuación complementaria es la herramienta más directa cuando se conocen velocidades y posiciones pero no el tiempo. En este caso evita despejar t de la ecuación de velocidad y sustituir en la de posición.

Movimiento Bidimensional: Tiro Oblicuo

El tiro oblicuo es la combinación de dos movimientos independientes que ocurren simultáneamente. Es el modelo que describe la trayectoria de un proyectil bajo la acción exclusiva de la gravedad (sin resistencia del aire) y que vuela a relativamente baja altura.

Principio de Independencia de los Movimientos (Galileo): lo que sucede en el eje horizontal no afecta a lo que sucede en el eje vertical. Cada eje se analiza por separado con sus propias ecuaciones.

Eje X: MRU

No hay aceleración: $a_x = 0$

$$v_x = v_{0x} = \text{cte}$$

$$x(t) = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

Eje Y: MRUV

Actúa la gravedad: $a_y = -g$ (con eje y positivo hacia arriba).

La velocidad vertical cambia uniformemente.

Ecuaciones:

$$v_y(t) = v_{0y} + a_y \cdot t$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{1}{2} a_y \cdot t^2$$

Descomposición del Vector Velocidad Inicial v₀

Componente horizontal

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha_0$$

Componente vertical

$$v_{0y} = v_0 \cdot \operatorname{sen} \alpha_0$$

Módulo del vector

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$$

donde α_0 es el ángulo de lanzamiento con respecto a la horizontal (es decir, el ángulo entre el vector velocidad inicial y el eje horizontal).

EJEMPLO — TIRO OBLICUO

Proyectil Lanzado desde el Piso: Planteo General

Un proyectil es arrojado desde el piso formando un ángulo de 53,13° con la horizontal. La rapidez inicial del proyectil es de 50 m/s. El terreno es horizontal. Se pide determinar: a) tiempo de vuelo, b) altura máxima, c) alcance.

Se define el sistema de coordenadas con origen en el punto de lanzamiento, eje x positivo hacia la derecha y eje y positivo hacia arriba. Por lo tanto: $a_x = 0$ (MRU en x) y $a_y = -g = -10\ \mathrm{m/s^2}$ (MRUV en y).

Descomposición de vo

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha_0 = 50\ \mathrm{m/s} \cdot \cos(53{,}13^\circ) = 30\ \mathrm{m/s}$$

$$v_{0y} = v_0 \cdot \operatorname{sen}\alpha_0 = 50\ \mathrm{m/s} \cdot \operatorname{sen}(53{,}13^\circ) = 40\ \mathrm{m/s}$$

Ecuaciones horarias del movimiento

$$x(t) = v_{0x} \cdot t = 30\ \mathrm{m/s} \cdot t$$

$$y(t) = v_{0y} \cdot t - \tfrac{1}{2} g\, t^2 = 40\ \mathrm{m/s} \cdot t - 5\ \mathrm{m/s^2} \cdot t^2$$

$$v_y(t) = v_{0y} - g\, t = 40\ \mathrm{m/s} - 10\ \mathrm{m/s^2} \cdot t$$

$$v_x = 30\ \mathrm{m/s}\ (\mathrm{constante})$$

a) Tiempo total de vuelo tv

El proyectil justo golpea contra el piso cuando y = 0:

$$0 = v_{0y} \cdot t_v - \tfrac{1}{2} g\, t_v^2$$

$$0 = 40\ \mathrm{m/s} \cdot t_v - 5\ \mathrm{m/s^2} \cdot t_v^2$$

$$t_v\,(40 - 5\, t_v) = 0$$

tv = 0 (lanzamiento) o bien:

$$t_v = \frac{40}{5} = 8\ \mathrm{s}$$

EJEMPLO — TIRO OBLICUO (INCISOS B, C)

Tiempo de Vuelo, Altura Máxima y Alcance

01

b) Altura máxima Hmáx

En la altura máxima, vy = 0. Usando la ecuación complementaria:

$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2\,a_y\,\Delta y$$

$$0 = (40\ \mathrm{m/s})^2 - 2 \cdot 10\ \mathrm{m/s}^2 \cdot H_{\text{máx}}$$

$$H_{\text{máx}} = \frac{1600}{20} = 80\ \mathrm{m}$$

Verificación con ecuación horaria: $t_{\text{máx}} = v_{0y}/g = 40/10 = 4\ \mathrm{s}$ (mitad del tiempo de vuelo)

$$H_{\text{máx}} = 40 \cdot 4 - 5 \cdot 4^2 = 160 - 80 = 80\ \mathrm{m}\checkmark$$

02

c) Alcance R

El alcance es la distancia horizontal desde el punto de lanzamiento hasta el punto de impacto. Se usa la ecuación del eje x con el tiempo de vuelo:

$$R = v_{0x} \cdot t_v = 30\ \mathrm{m/s} \cdot 8\ \mathrm{s} = 240\ \mathrm{m}$$

(Solo válido cuando la altura inicial y final son ambas cero.)

8 s	80 m	240 m
Tiempo de vuelo tv	Altura máxima Hmáx	Alcance R

Observación: el tiempo en alcanzar la altura máxima (tmáx = 4 s) es exactamente la mitad del tiempo de vuelo total (tv = 8 s). Esto ocurre siempre que el proyectil sea lanzado y aterrice a la misma altura (terreno horizontal).

Fórmula General del Alcance

Para un proyectil lanzado desde el piso con rapidez inicial v_0 y ángulo α_0 respecto a la horizontal, sobre terreno horizontal, se puede obtener una expresión general del alcance R en función de v_0, α_0 y g.

01

Tiempo de vuelo general

Igualando y = 0 (regreso al piso):

$$0 = v_{0y} \cdot t_v - \tfrac{1}{2} g\, t_v^2$$

$$t_v \left(v_{0y} - \tfrac{1}{2} g\, t_v\right) = 0$$

$$t_v = \frac{2\, v_{0y}}{g} = \frac{2\, v_0 \operatorname{sen} \alpha_0}{g}$$

02

Alcance general

$$R = v_{0x} \cdot t_v = v_0 \cos \alpha_0 \cdot \frac{2\, v_0 \operatorname{sen} \alpha_0}{g}$$

$$R = \frac{2\, v_0^2 \operatorname{sen} \alpha_0\ \cos \alpha_0}{g}$$

Usamos la identidad trigonométrica:

$$2 \operatorname{sen} \theta \cdot \cos \theta = \operatorname{sen}(2\theta)$$

03

Resultado

$$\boxed{R = \frac{v_0^2 \operatorname{sen}(2\alpha_0)}{g}}$$

El alcance máximo se obtiene cuando $\operatorname{sen}(2\alpha_0) = 1$, es decir, cuando $2\alpha_0 = 90°$, o sea $\alpha_0 = 45°$.

Condición de validez: esta fórmula solo es válida cuando el proyectil es lanzado y aterriza a la misma altura (y_0 = yf = 0). Si la altura inicial y final son distintas, debe usarse el procedimiento general con las ecuaciones horarias.

Alcance máximo (α_0 = 45°)

$$R_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{g}$$

El ángulo de 45° maximiza el alcance horizontal para una velocidad inicial dada.

Ángulos complementarios

Dos ángulos complementarios (que sumen 90°) producen el mismo alcance. Por ejemplo,

α_0 = 30° y α_0 = 60° dan el mismo R.

Ejemplo espacial: El lanzamiento de una sonda desde la superficie lunar. Al no haber atmósfera, la trayectoria es una parábola perfecta. Como la aceleración gravitatoria lunar es aproximadamente g/6 ≈ 1,6 m/s², el alcance y la altura máxima serían aproximadamente 6 veces mayores que en la Tierra para la misma velocidad inicial.

NÚCLEO 2 · DINÁMICA DE LA PARTÍCULA

Dinámica de la Partícula

Mientras que la cinemática describe el movimiento, la dinámica estudia las causas que lo producen: las fuerzas. En este módulo seguiremos utilizando el modelo de partícula para analizar la traslación de objetos bajo la acción de fuerzas.

Las Tres Leyes de Newton

1ª Ley: Principio de Inercia

Un cuerpo aislado (sin interacciones) permanecerá en reposo si estaba en reposo, o continuará con velocidad constante si estaba en movimiento.

La inercia es la tendencia natural de los cuerpos a mantener su estado de movimiento.

Este principio define el marco de validez de las Leyes de Newton: solo son válidas en sistemas inerciales.

2ª Ley: Principio de Masa

Si sobre un cuerpo actúa una fuerza neta, adquirirá una aceleración en la misma dirección y sentido que dicha fuerza. La masa es la constante de proporcionalidad:

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

Analíticamente por componentes:

$$\Sigma F_x = m \cdot a_x$$

$$\Sigma F_y = m \cdot a_y$$

3ª Ley: Acción y Reacción

Las fuerzas siempre se presentan de a pares. Si el cuerpo 1 ejerce F_{21} sobre el cuerpo 2, entonces el cuerpo 2 ejerce F_{12} sobre el cuerpo 1:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Igual módulo, igual dirección, sentido contrario.

Siempre se aplican en cuerpos diferentes, por lo que nunca se anulan entre sí.

El principio de superposición establece que cuando varias fuerzas actúan simultáneamente sobre una partícula, la fuerza resultante es la suma vectorial de todas ellas.

Definiciones

Fuerza F

Magnitud vectorial que describe la interacción entre entre dos objetos. Tiene módulo, dirección y sentido. La unidad de medida en el SI es el Newton.
[N] = [kg · m/s²].

Masa m

Escalar positivo que mide la inercia de un cuerpo, es decir, su resistencia a cambiar su estado de movimiento.
A mayor masa, mayor tendencia a mantener la velocidad constante.

La unidad SI es el kg.

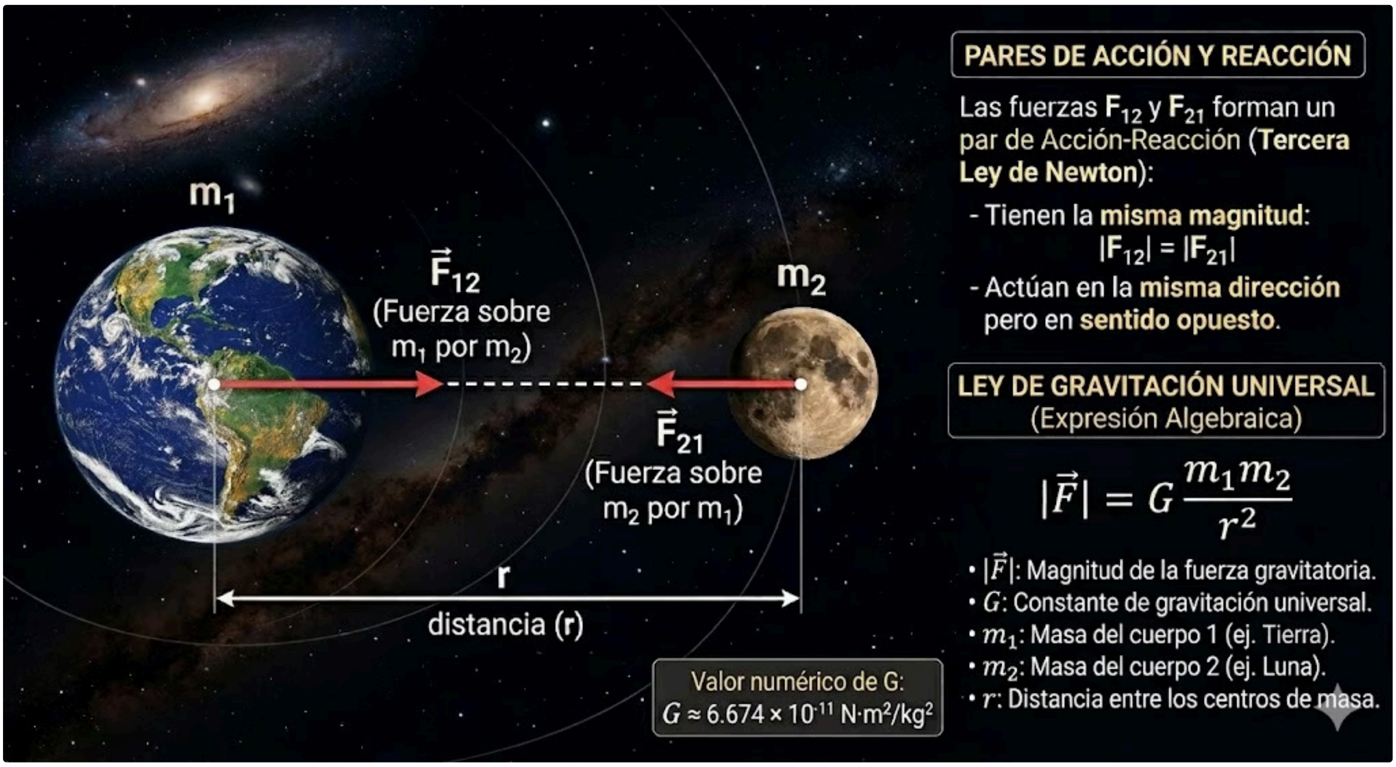
Sistemas Inerciales

Las Leyes de Newton solo son válidas para observadores fijos en un sistema inercial (en reposo o con velocidad constante). Un colectivo frenando, acelerando o doblando es un sistema NO inercial.

Dato histórico: En 1998, la NASA perdió el satélite Mars Climate Orbiter (costo: ~200 millones de dólares) debido a una confusión entre unidades de fuerza: libras-fuerza vs. Newtons. El rigor en el uso de unidades es crítico en todas las ciencias y, en particular, en ingeniería.

Ley de Gravitación Universal

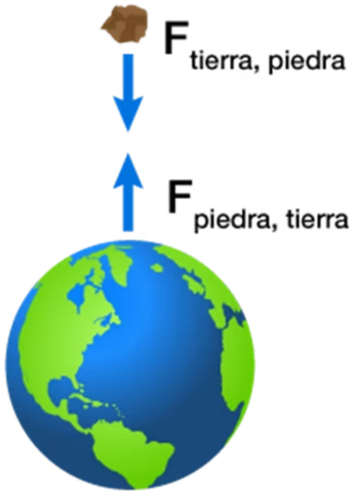
Cualquier par de objetos con masa se atraen mutuamente. Esta interacción es notable cuando al menos uno de los cuerpos es masivo, como un planeta. Newton formuló la Ley de Gravitación Universal que describe esta atracción.



Fuerza Peso

A la fuerza con la que la Tierra atrae a los objetos se la denomina Peso.

Su relación con la masa del objeto queda establecida usando la Ley de Gravitación.



Aceleración de la Gravedad g

Para un objeto de masa m cerca de la superficie terrestre (masa MT = 5,98 × 10^{24} kg, radio RT = 6370 km):

$$F_g = \frac{G \cdot M_T \cdot m}{R_T^2}$$

Si el objeto está relativamente cerca de la superficie terrestre podemos considerar que:

$$g = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \approx 9{,}8\ \mathrm{m/s}^2 \approx 10\ \mathrm{m/s}^2$$

El Peso de un objeto es la fuerza gravitatoria que ejerce la Tierra sobre él:

$$\vec{P} = m\,\vec{g}$$

El peso es un vector que apunta siempre hacia el centro de la Tierra (hacia abajo).

Importante: Masa ≠ Peso. La masa es una propiedad intrínseca del cuerpo (escalar, invariante). El peso es una fuerza que depende del campo gravitatorio local. Un astronauta en la Luna tiene la misma masa que en la Tierra, pero su peso es aproximadamente 6 veces menor (g_{Luna} ≈ 1,6 m/s²).

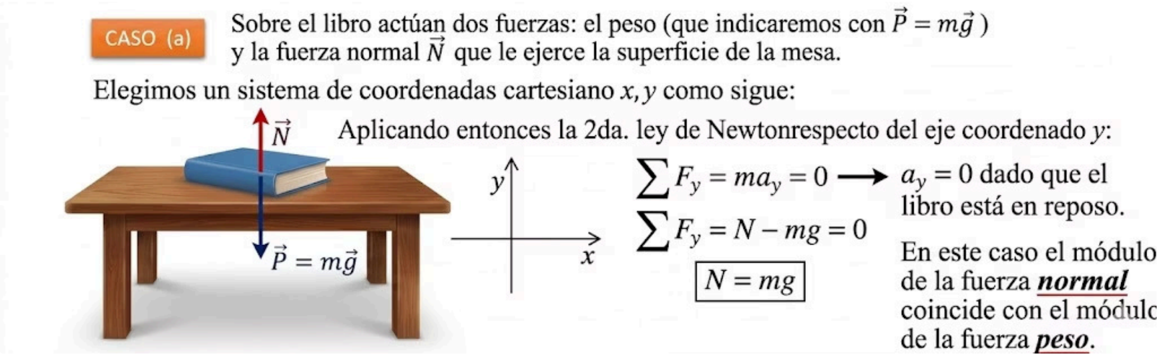
Fuerzas Habituales en Dinámica

En los problemas de dinámica aparecen recurrentemente tres tipos de fuerzas de contacto además del peso. Reconocerlas y modelarlas correctamente es esencial para plantear el Diagrama de Cuerpo Libre.

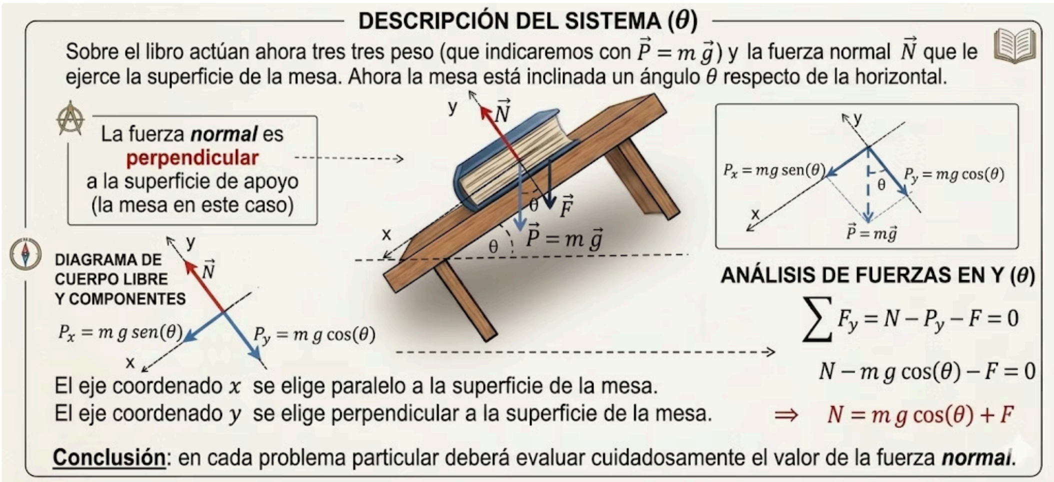
Fuerza Normal N

Fuerza de contacto perpendicular a la superficie de apoyo. Es una fuerza de vínculo: su valor no es fijo, depende de la configuración del sistema.

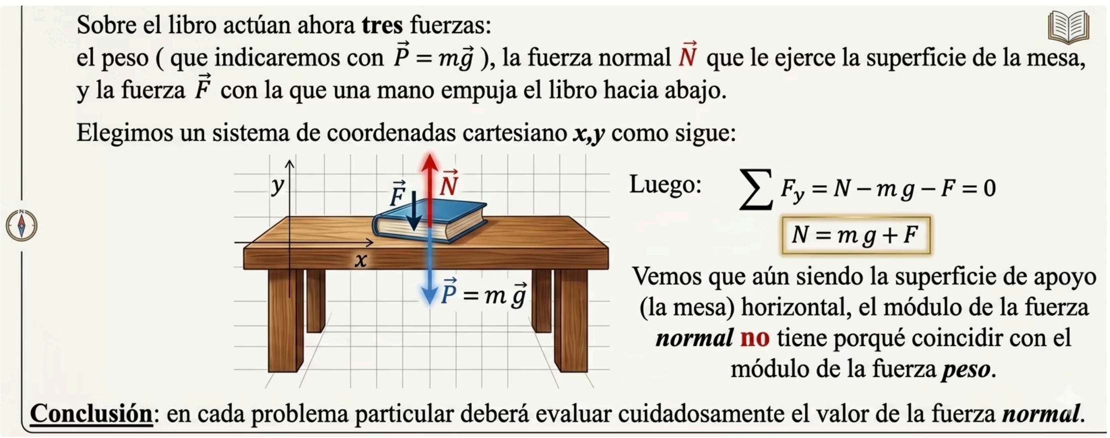
- Plano horizontal (sin otras fuerzas):



- Plano inclinado (ángulo θ):

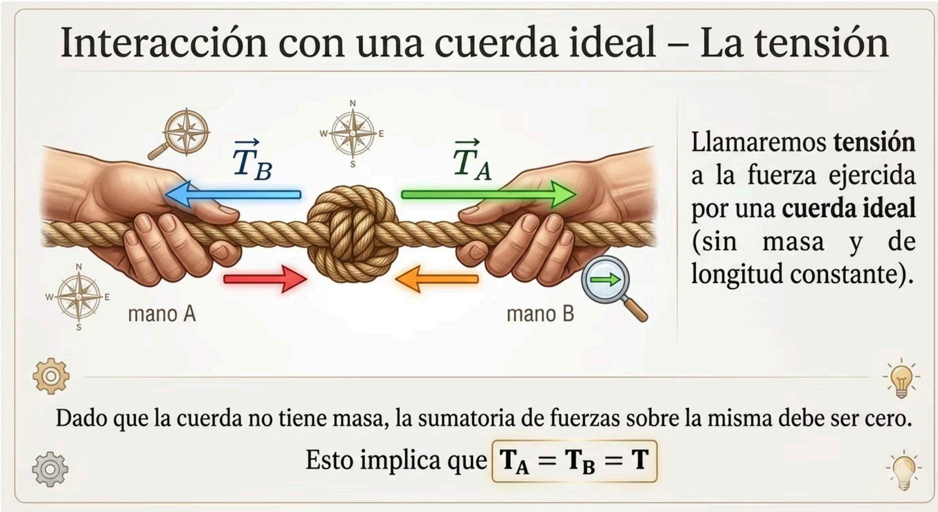


- Con fuerza adicional:



Tensión T

Fuerza ejercida por una cuerda ideal (sin masa, longitud constante).



Es importante observar que la igualdad indicada previamente se refiere a los módulos.

En relación al sentido, la tensión siempre tracciona (tira) al cuerpo; nunca empuja.

Fuerza de Rozamiento Fr

Aparece cuando dos sólidos en contacto deslizan o intentan deslizar entre sí. Es paralela a la superficie de contacto y se opone al movimiento relativo.

Régimen Estático

Consideremos un objeto apoyado en el piso. Al aplicar una fuerza F el objeto no se mueve. Al ir aumentando la fuerza aplicada vemos que el objeto sigue sin moverse. La fuerza de roce estática NO es constante. Es una fuerza de vínculo (similar a la tensión o a la normal).

Experimentalmente se verifica que:

- La fuerza de roce estático es paralela a las superficies en contacto.
- Su sentido es tal que se opone al deslizamiento relativo de dichas superficies.
- Su módulo es relativamente independiente del área de contacto.

Su valor máximo es proporcional al módulo de la fuerza normal y se puede expresar como:

$$F_{r\text{máx}} = \mu_e \cdot N$$

donde μe es un coeficiente adimensional que depende del tipo de superficies en contacto y N es el módulo de la fuerza Normal.

Fuerza de Rozamiento Fr (cont.)

Régimen Cinético o Dinámico

Cuando la fuerza de roce estático requerida para que las superficies no deslicen entre sí supera al valor máximo, entonces se pasa del régimen estático al cinético o dinámico.

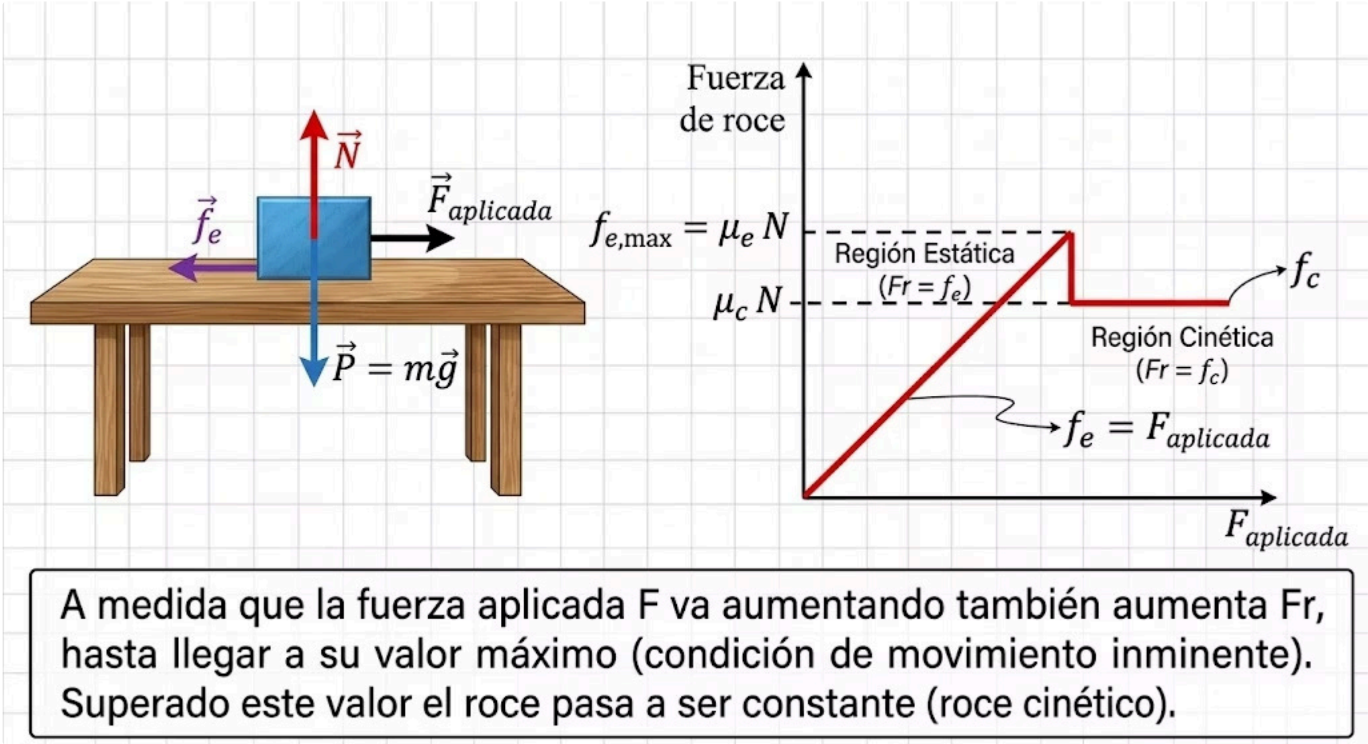
- La fuerza de roce cinético es paralela a las superficies en contacto.
- Su sentido es opuesto al deslizamiento relativo de dichas superficies.
- Su módulo es relativamente independiente del área de contacto.
- Para rango de rapideces entre 1 cm/s y varios m/s su módulo es independiente de la rapidez y puede calcularse como:

$$F_{rc} = \mu_c \cdot N$$

donde μc es un coeficiente adimensional que depende del tipo de superficies en contacto y N es la fuerza Normal.

Experimentalmente para los casos en los que el modelo analizado es válido se verifica que

$$0 \leq \mu_c \leq \mu_e \leq 1$$



⚠ La fuerza de roce estática NO es siempre igual a su valor máximo μe·N. Solo alcanza ese valor cuando el movimiento es inminente.

Metodología de Resolución en Dinámica

Para resolver cualquier problema de dinámica de forma sistemática y evitar en lo posible errores, se recomienda seguir siempre estos cinco pasos. Saltear alguno de ellos es la causa más frecuente de errores conceptuales.

01

1. Definir el sistema

Identificar el cuerpo (o cuerpos) a estudiar. Aislar mentalmente la partícula del resto del entorno.

02

2. Diagrama de Cuerpo Libre (DCL)

Dibujar todas las fuerzas que actúan sobre la partícula aislada: peso, normal, tensión, rozamiento, fuerzas aplicadas. Solo se incluyen fuerzas que actúan SOBRE el cuerpo elegido, no las que él ejerce sobre otros.

03

3. Sistema de coordenadas

Elegir ejes convenientes. Conviene orientar el eje x paralelo a la dirección de la aceleración. En planos inclinados, se suele elegir x paralelo al plano, mientras que la coordenada y se elige perpendicular al mismo.

04

4. Plantear ecuaciones

Aplicar $\Sigma F = m \cdot a$ para cada eje. Si el cuerpo está en equilibrio (reposo o MRU): $a_x = a_y = 0$.

05

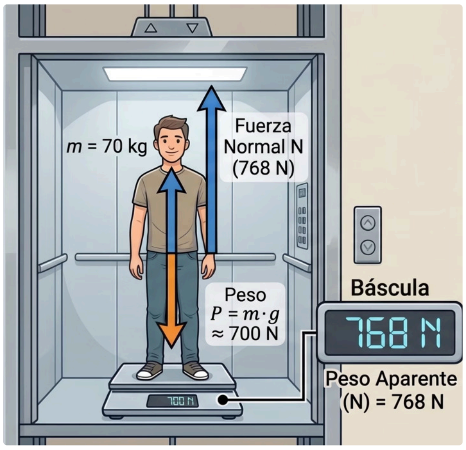
5. Resolver

Despejar las incógnitas del sistema de ecuaciones resultante. Verificar que los resultados sean físicamente razonables (signos, órdenes de magnitud).

> **Clave del DCL:** si un cuerpo está en reposo o en MRU, la suma de fuerzas en cada eje es cero. Si tiene aceleración, la suma de fuerzas en la dirección de la aceleración es $m \cdot a \neq 0$.

Peso Aparente en un Ascensor

Un hombre de masa m = 70 kg se encuentra sobre una báscula (balanza) dentro de un ascensor. Cuando el ascensor acelera hacia arriba, la báscula marca un peso aparente de 768 N. Determinar la aceleración del ascensor. ¿Es posible saber si el ascensor está subiendo o bajando?



Se define el eje y positivo hacia arriba. El DCL del hombre muestra dos fuerzas: el peso P = m·g hacia abajo y la Normal N (indicación de la báscula) hacia arriba. Aplicando la 2ª Ley de Newton:

$$\Sigma F_y = N - m \cdot g = m \cdot a_y$$

$$\rightarrow N = m \cdot g + m \cdot a_y = m \cdot (g + a_y)$$

01

Datos

m = 70 kg

g = 10 m/s²

Peso real: 700 N

Peso aparente: 768 N

02

Aplicar 2ª Ley

$$N - m \cdot g = m \cdot a_y$$

$$768N - 700N = 70kg \cdot a_y$$

$$68N = 70kg \cdot a_y$$

$$a_y = 68/70 \approx 0,97 m/s^2$$

03

Interpretación

La aceleración es positiva (hacia arriba), lo que significa que el ascensor está acelerando hacia arriba.

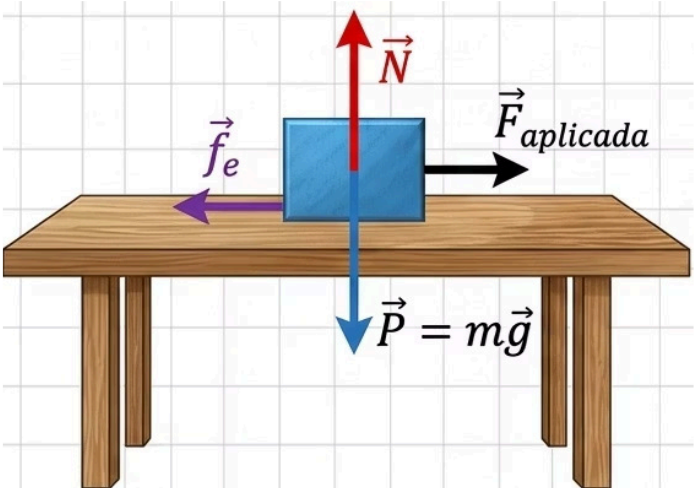
Sin embargo, NO podemos saber si está subiendo o bajando: un ascensor que sube y acelera, o uno que baja y frena, producen el mismo efecto sobre la báscula.

Báscula marca MÁS que el peso real: ay > 0 (aceleración hacia arriba). Ocurre cuando sube y acelera, o cuando baja y frena.

Báscula marca MENOS que el peso real: ay < 0 (aceleración hacia abajo). Ocurre cuando sube y frena, o cuando baja y acelera. En caída libre: N = 0 (ingravidez aparente).

Ejemplo con Rozamiento

Sobre un bloque de masa m = 15 kg se aplica una fuerza horizontal de módulo F. Los coeficientes de roce son μe = 0,58 y μc = 0,40. Con g = 10 m/s², analizar tres casos: a) F = 84 N, b) F = 87 N, c) F= 90 N.



Datos previos comunes a los tres casos:

N = m·g = 15 kg · 10 m/s² = 150 N

Frmáx = μe · N = 0,58 · 150 N = 87 N (valor máximo de la fricción estática)

Caso a) F = 84 N

Como F = 84 N < Frmáx = 87 N, el bloque permanece en reposo.

La fricción estática se adapta: Fr = F = 84 N (NO es 87 N).

Asignarle el valor máximo sería un absurdo físico: implicaría que el bloque se mueve hacia la izquierda.

Caso b) F = 87 N

F = Frmáx = 87 N → el movimiento es INMINENTE.

ΣFx = F − Frmáx = 0 → el bloque está en equilibrio en el límite.

Solo en este caso la fricción estática alcanza su valor máximo.

Caso c) F = 90 N

F = 90 N > Frmáx = 87 N → el bloque se mueve.

Ahora actúa la fricción cinética (constante):

Frc = μc N = 0,40.150 N = 60 N

ΣFx = 90 − 60 = 30 N = m · ax

ax = 30 / 15 = 2 m/s²

Regla de decisión: primero verificar si F ⩽ Frmáx. Si se cumple → régimen estático, Fr = F. Si no se cumple → régimen cinético, Frc = μc · N (constante) y el bloque acelera.

Determinación del Coeficiente de Rozamiento Estático (μ_e)

A continuación explicaremos cómo determinar experimentalmente el valor de μ_e analizando el ángulo crítico en el que un objeto sobre un plano inclinado está a punto de deslizarse.

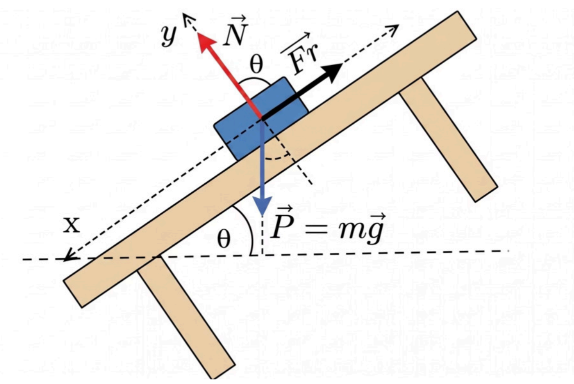
1. Definición del Sistema

Consideramos un bloque de masa m que descansa sobre un plano inclinado. El ángulo de inclinación θ se aumenta gradualmente hasta alcanzar un valor crítico (θc) donde el movimiento del bloque es inminente. En este estado, el sistema todavía se encuentra en equilibrio estático.

2. Diagrama de Cuerpo Libre (DCL)

Para el análisis, descomponemos las fuerzas en un sistema de ejes coordenados donde:

- El eje x es paralelo a la superficie del plano, con sentido hacia el suelo.
- El eje y es perpendicular a la superficie del plano.



3. Planteo de las Ecuaciones de Equilibrio

Aplicamos la Primera Ley de Newton (ΣF = 0) para ambas componentes:

Eje y (Equilibrio perpendicular): la componente del peso en este eje es m·g·cos(θ).

$$\sum F_y = 0 \implies N - m \cdot g \cdot \cos(\theta) = 0$$

$$N = m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad \text{(Ec. 1)}$$

Eje x (Equilibrio paralelo): la componente del peso que tiende a hacer deslizar el bloque es m·g·sin(θ).

$$\sum F_x = 0 \implies m \cdot g \cdot \sin(\theta) - f_e = 0$$

$$f_e = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad \text{(Ec. 2)}$$

Determinación de μ_e. Resolución Matemática y Conclusión

Continuación del desarrollo anterior.

4. Condición de Movimiento Inminente

El coeficiente de rozamiento estático se define a partir de la fuerza de roce máxima que las superficies pueden soportar antes de deslizar:

$$f_{e,max} = \mu_e \cdot N \qquad \text{(Ec. 3)}$$

Esta condición ocurre precisamente cuando el ángulo es θc. Por lo tanto, en ese instante, f_e (de la ec. 2) es igual a f_e,máx (de la ec. 3).

5. Resolución Matemática

Igualamos las expresiones de la fuerza de roce y sustituimos el valor de la Normal:

$$\mu_e \cdot N = m \cdot g \cdot \sin(\theta_c)$$

Sustituyendo N desde la Ecuación 1:

$$\mu_e \cdot (m \cdot g \cdot \cos(\theta_c)) = m \cdot g \cdot \sin(\theta_c)$$

Para despejar μ_e, dividimos ambos miembros por (m·g·cos(θc)):

$$\mu_e = \frac{m \cdot g \cdot \sin(\theta_c)}{m \cdot g \cdot \cos(\theta_c)}$$

Simplificando la masa (m) y la aceleración de la gravedad (g):

$$\mu_e = \frac{\sin(\theta_c)}{\cos(\theta_c)}$$

Utilizando la identidad trigonométrica tan(θ) = sin(θ)/cos(θ), obtenemos el resultado final:

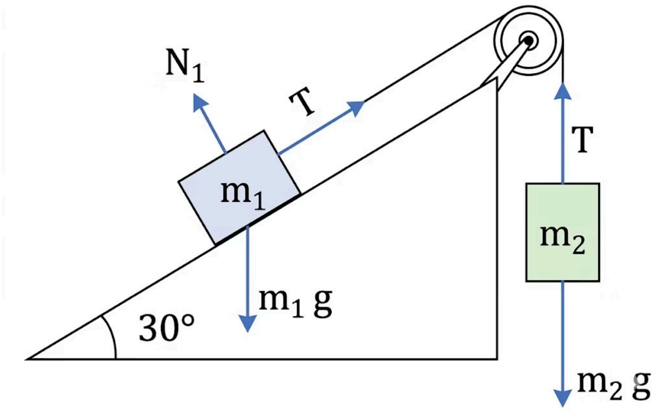
$$\boxed{\mu_e = \tan(\theta_c)}$$

Conclusión: El coeficiente de rozamiento estático es independiente de la masa del objeto. Se puede determinar simplemente calculando la tangente del ángulo de inclinación en el momento exacto en que el bloque comienza a deslizarse.

EJEMPLO — DINÁMICA

Cuerpos Vinculados con Rozamiento

Un cuerpo de masa $m_1 = 4\ \mathrm{kg}$ se encuentra sobre un plano inclinado $30°$ respecto a la horizontal. Este cuerpo está conectado mediante una cuerda ideal y una polea sin rozamiento a un segundo cuerpo de masa $m_2 = 5\ \mathrm{kg}$ que cuelga verticalmente.



Se conocen los coeficientes de rozamiento entre el bloque 1 y el plano: $\mu_e = 0{,}40$ y $\mu_c = 0{,}24$. Considerando $g = 10\ \mathrm{m/s^2}$, determine:

- Si el sistema inicia el movimiento.
- En caso afirmativo, la aceleración del sistema y la tensión de la cuerda.

1. Descomposición de fuerzas en m_1

Definimos un sistema de ejes donde x es paralelo al plano (positivo hacia la polea) e y es perpendicular al mismo.

- Peso de m_1: $P_1 = m_1 \cdot g = 40\ \mathrm{N}$
- Componente x: $P_{1x} = P_1 \cdot \sin(30°) = 40\ \mathrm{N} \cdot 0{,}5 = \mathbf{20}\ \mathrm{N}$
- Componente y: $P_{1y} = P_1 \cdot \cos(30°) = 40\ \mathrm{N} \cdot 0{,}866 = \mathbf{34{,}64}\ \mathrm{N}$

Como no hay aceleración en el eje y:

$$N = P_{1y} = 34{,}64\ \mathrm{N}$$

2. Verificación del estado de reposo (Estática)

Para saber si el sistema se mueve, comparamos la fuerza motriz con la fuerza de roce estática máxima.

Fuerza motriz neta:

$$F_{motriz} = P_2 - P_{1x} = 50\ \mathrm{N} - 20\ \mathrm{N} = \mathbf{30}\ \mathrm{N}$$

Fuerza de roce estático máxima:

$$f_{e,max} = \mu_e \cdot N = 0{,}40 \cdot 34{,}64\ \mathrm{N} = \mathbf{13{,}86}\ \mathrm{N}$$

ⓘ Como $30\ \mathrm{N} > 13{,}86\ \mathrm{N}$, la fuerza motriz vence al roce estático. **El sistema se mueve.**

EJEMPLO — DINÁMICA

3. Cálculo de la aceleración (Dinámica)

Ahora que el sistema está en movimiento, utilizamos el coeficiente cinético μ_c para hallar la fuerza de roce cinético (f_c):

$$f_c = \mu_c \cdot N = 0{,}24 \cdot 34{,}64 \text{ N} = \mathbf{8{,}31} \text{ N}$$

Planteamos la Segunda Ley de Newton para el sistema, considerando la dirección de la cuerda como eje x, y tomando el sentido positivo a favor del movimiento:

$$\sum F_{sistema} = (m_1 + m_2) \cdot a_x$$

$$P_2 - P_{1x} - f_c = (m_1 + m_2) \cdot a_x$$

Sustituimos los valores:

$$50 \text{ N} - 20 \text{ N} - 8{,}31 \text{ N} = (4 \text{ kg} + 5 \text{ kg}) \cdot a_x$$

$$21{,}69 \text{ N} = 9 \text{ kg} \cdot a_x$$

$$a_x = \frac{21{,}69 \text{ N}}{9 \text{ kg}}$$

$$\boxed{a_x \approx 2{,}41 \text{ m/s}^2}$$

4. Cálculo de la tensión (T)

Utilizamos la ecuación de movimiento para m_2 (más sencilla):

$$P_2 - T = m_2 \cdot a_x$$

$$50 \text{ N} - T = 5 \text{ kg} \cdot 2{,}41 \text{ m/s}^2$$

$$T = 50 \text{ N} - 12{,}05 \text{ N}$$

$$\boxed{T = 37{,}95 \text{ N}}$$

⚠ **Siempre es fundamental verificar si la fuerza motriz supera al roce estático antes de asumir que existe una aceleración, ya que de lo contrario $a = 0$ y el roce sería simplemente igual a la fuerza aplicada.**

NÚCLEO 3 · TRABAJO Y ENERGÍA

Trabajo, Energía y Conservación

Energía cinética, potencial gravitatoria y elástica, fuerzas conservativas y potencia.

Trabajo de una Fuerza

El trabajo mecánico (W) es un mecanismo de transferencia de energía entre cuerpos o sistemas. Solo existe transferencia de energía por trabajo cuando hay desplazamiento, y solo hacen trabajo las fuerzas con componente en la dirección del movimiento. Para fuerzas constantes vale que:

$$W = F_x \cdot \Delta x = F \cdot \Delta x \cdot \cos(\theta)$$

donde θ es el ángulo que se forma entre la fuerza y el desplazamiento.

Unidad SI

$$[W] = \mathrm{N} \cdot \mathrm{m} = \mathrm{J}\ (\mathrm{Joule})$$

Signo del Trabajo

W > 0 (Positivo)

La fuerza favorece el movimiento (0° ⩽ θ < 90°). El objeto gana energía.

W = 0 (Nulo)

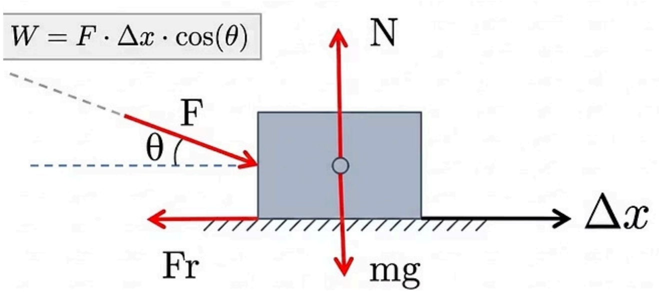
La fuerza es perpendicular al desplazamiento (θ = 90°).

W < 0 (Negativo)

La fuerza se opone al movimiento (90° < θ ⩽ 180°). El objeto pierde energía.

Trabajo Neto

El trabajo es una cantidad escalar y aditiva. El trabajo neto es la suma de los trabajos individuales de cada fuerza.



$$W_F = F_x \Delta x = F \cos\theta \, \Delta x$$

$$W_N = N_x \Delta x = 0$$

$$W_{Fr} = F_r \Delta x \cos 180^\circ = -F_r \Delta x$$

$$W_{mg} = mg_x \Delta x = 0$$

$$W_{Neto} = W_F + W_N + W_{Fr} + W_{mg} = F_x \Delta x + 0 - F_r \Delta x + 0$$

$$W_{Neto} = (F_x - F_r)\Delta x = F_{Neta}\, \Delta x$$

Teorema del Trabajo y la Energía Cinética

La energía cinética (K) es la energía asociada al estado de movimiento de una partícula. Es una cantidad escalar y aditiva: la energía cinética de un sistema es la suma de las individuales de cada cuerpo.

Definición

$$K = (1/2)\cdot m\cdot v^2$$

$$[K] = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = \mathrm{J}$$

La energía cinética es siempre positiva o nula. Solo depende del módulo de la velocidad, no de su dirección.

Teorema del Trabajo y la Energía Cinética

$$W_{\text{neto}} = \Delta K = K_f - K_0$$

$$W_{\text{neto}} = \tfrac{1}{2}mv_f^2 - \tfrac{1}{2}mv_0^2$$

El trabajo neto sobre un sistema es igual a la variación de su energía cinética. Si Wneto > 0, el objeto acelera. Si Wneto < 0, el objeto frena.

Derivación: aún cuando la expresión de la energía cinética es independiente del tipo de movimiento, haremos la deducción considerando un MRUV ya que es el único caso cuyas ecuaciones conocemos.

$$F_{\text{neta}} = m \cdot a$$

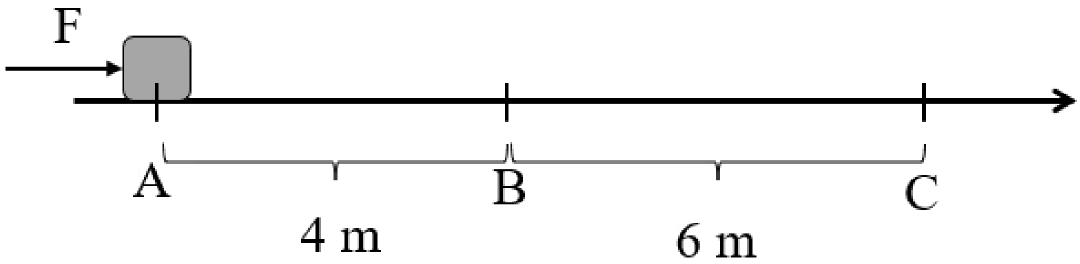
$$2a \cdot \Delta x = v_f^2 - v_0^2$$

$$W_{\text{neto}} = m \cdot a \cdot \Delta x = \tfrac{1}{2}mv_f^2 - \tfrac{1}{2}mv_0^2$$

EJEMPLO · TRABAJO Y ENERGÍA CINÉTICA

Ejemplo — Trabajo y Energía Cinética

Un objeto de masa m = 5 kg se encuentra apoyado en un plano horizontal con rozamiento. Se aplica una fuerza horizontal F = 50 N desde A hasta B (4 m). Luego la fuerza deja de actuar y el objeto llega a C (6 m más adelante) con la misma rapidez inicial vA. Determinar el coeficiente de roce cinético.



1. Planteo energético

Como v_C = v_A, la variación de energía cinética es nula:

$$W_{\text{neto}} = \Delta K = 0$$

2. Trabajo de cada fuerza

$$W_F = 50\,\mathrm{N} \cdot 4\,\mathrm{m} = 200\,\mathrm{J} \quad (\text{solo actúa en AB})$$

$$W_{Fr} = -F_r \cdot 10\,\mathrm{m} \quad (\text{actúa en todo el recorrido AC})$$

$$W_N = W_{mg} = 0 \quad (\text{perpendiculares al movimiento})$$

3. Resolución

$$200\,\mathrm{J} - F_r \cdot 10\,\mathrm{m} = 0 \implies F_r = 20\,\mathrm{N}$$

$$F_r = \mu_c \cdot m \cdot g \implies 20\,\mathrm{N} = \mu_c \cdot 5\,\mathrm{kg} \cdot 10\,\mathrm{m/s^2}$$

$$\mu_c = 0{,}4$$

Ventaja del enfoque energético: permite comparar el punto inicial con el final directamente, sin necesidad de analizar puntos intermedios.

Fuerzas Conservativas y Energías Potenciales

Una fuerza es conservativa cuando su trabajo en una trayectoria cerrada vale cero, es decir, su trabajo depende solo de los puntos inicial y final, no de la trayectoria. Estas fuerzas permiten definir una energía potencial asociada:

$$W_{Fc} = -\Delta U$$

Energía Potencial Gravitatoria (Ug)

Asociada a la posición en el campo gravitatorio. Al alejarse de la Tierra, el objeto acumula energía; al acercarse, la libera.

$$\Delta U_g = -W_{\text{peso}} = mg(h_f - h_0)$$

$$\Delta U_g = mg\,\Delta h$$

Referencia: es fundamental fijar un nivel h = 0. La Ug aumenta con la altura (eje y positivo hacia arriba).

Energía Potencial Elástica (Ue)

Asociada a la deformación de un resorte ideal (Ley de Hooke *: Fe = k·d). Al comprimir o estirar el resorte, se almacena energía que puede recuperarse.

$$\Delta U_e = \tfrac{1}{2}k\,d_f^2 - \tfrac{1}{2}k\,d_0^2$$

donde d es la deformación respecto a la longitud natural L_0 (siempre positiva).

El peso y la fuerza elástica son las dos fuerzas conservativas que estudiaremos. El rozamiento cinético NO es conservativo: disipa energía mecánica en forma de calor.

* Ley de Hooke: La fuerza elástica ejercida por un resorte es proporcional a su deformación y de sentido contrario: $F_e = -kx$, donde x es el desplazamiento respecto a la longitud natural del resorte y k es la constante de elasticidad del resorte [k] = N/m. Por simplicidad para este apunte usamos d en lugar de x, donde d representa la deformación del resorte respecto a su longitud natural.

Conservación de la Energía Mecánica

La Energía Mecánica (E_M) es la suma de la energía cinética y las energías potenciales del sistema. La ecuación general que rige la evolución de la energía mecánica es:

$$W_{Fnc} = \Delta K + \Delta U = \Delta E_M = E_{M_f} - E_{M_0}$$

donde:

$$W_{Fnc} = \text{trabajo de las fuerzas no conservativas}$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_0^2)$$

$$\Delta U_g = mg(h_f - h_0)$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}k(d_f^2 - d_0^2)$$

$W_{Fnc} = 0 \rightarrow$ Energía Mecánica Constante

No actúan fuerzas no conservativas (o su trabajo neto es nulo). Ej: Normal perpendicular al movimiento, Tensión en cuerda ideal.

$$K_0 + U_0 = K_f + U_f$$

$W_{Fnc} \neq 0 \rightarrow$ Energía Mecánica Varía

Si actúan **fuerzas disipativas** (rozamiento cinético, resistencia del aire) la energía mecánica final es menor que la inicial:

$$E_{M_f} < E_{M_0}$$

Importante: el trabajo neto de la tensión **sobre un sistema** siempre es nulo (fuerza no disipativa). Lo mismo ocurre con la Normal. Tensión y Normal pueden hacer trabajo sobre una partícula, pero su trabajo sobre el sistema siempre será nulo. Un caso diferente es el rozamiento cinético, que es la fuerza disipativa más frecuente y aunque sea fuerza interna de un sistema, siempre hace un trabajo neto negativo.

EJEMPLO · CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

Ejemplo Bloque en Plano Inclinado (con y sin roce)

Se deja caer un bloque de masa m desde el punto A (altura h) de un plano inclinado un ángulo α respecto a la horizontal hasta la base B. Comparamos los casos con y sin rozamiento.

Sin rozamiento (μc = 0)

Fuerzas: peso (conservativa) + Normal (no conservativa, W = 0).

Como $W_{Fnc} = 0$, la energía mecánica se conserva:

$$E_{M_A} = E_{M_B} \rightarrow U_g = K_B$$

$$mgh = \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$v_B = \sqrt{2gh}$$

Con rozamiento (coeficiente μc, ángulo α)

La fuerza de rozamiento realiza trabajo negativo:

$$W_{Fnc} = -\mu_c \cdot mg \cos\alpha \cdot AB$$

Aplicando $W_{Fnc} = \Delta K + \Delta U$:

$$-\mu_c \cdot mg \cos\alpha \cdot AB = \frac{1}{2} m v_B^2 - mgh$$

$$v_B = \sqrt{2gh\left(1 - \frac{\mu_c}{\tan\alpha}\right)}$$

Si μc = 0 se recupera el resultado sin roce.

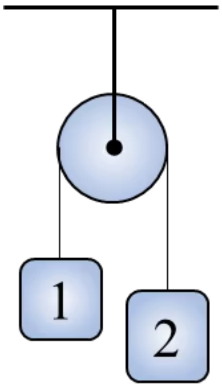
OJO: la energía potencial gravitatoria aumenta con la altura. Si usás Δy, debe ser positivo hacia arriba. Si hay dudas, usá Δh para evitar confusiones.

EJEMPLO · CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

Ejemplo: Máquina de Atwood

Una máquina de Atwood utiliza dos masas m_1 y m_2 tal como indica la figura. Parte del reposo y en cierto instante se mide la rapidez de ambas masas resultando de 4 m/s. En ese momento la energía cinética del sistema vale 80 J y cada una de las masas se ha desplazado una distancia de 6 m respecto de sus posiciones iniciales.

Determine el valor de las masas. Considere que $m_2>m_1$.



Planteo energético

$$0 = \frac{1}{2}m_1v^2 + m_1g\,\Delta h_1 + \frac{1}{2}m_2v^2 + m_2g\,\Delta h_2$$

La energía cinética del sistema es 80 J cuando los bloques tienen una rapidez de 4 m/s.

$$80\,\mathrm{J} = \frac{1}{2}(m_1+m_2)\left(4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 \quad \rightarrow \quad m_1+m_2 = 10\,\mathrm{kg} \quad (1)$$

Sabiendo que el bloque 1 sube y el 2 baja obtenemos:

$$0 = 80\,\mathrm{J} + m_1\cdot 10\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot 6\,\mathrm{m} - m_2\cdot 10\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot 6\,\mathrm{m} \quad \rightarrow \quad m_2-m_1 = \frac{4}{3}\,\mathrm{kg} \quad (2)$$

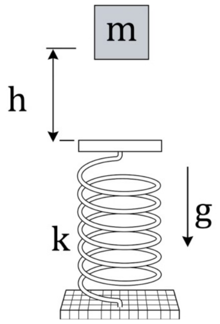
Finalmente, sumamos (1) y (2) y obtenemos:

$$2\,m_2 = 11{,}33\,\mathrm{kg} \quad \rightarrow \quad \boxed{m_2 = 5{,}67\,\mathrm{kg} \quad \mathrm{y} \quad m_1 = 4{,}33\,\mathrm{kg}}$$

Importante: el trabajo neto de la tensión sobre un sistema siempre es nulo (fuerza no disipativa). En este este ejemplo el sistema está compuesto por las masas m_1 y m_2.

EJEMPLO · CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

Ejemplo: Bloque sobre Resorte



Se deja caer un bloque de masa m = 2 kg desde una altura h = 1,6 m sobre el extremo libre de un resorte ideal de constante elástica k = 50 N/m, comprimiéndolo hasta que el bloque se detiene momentáneamente.

Con g = 10 m/s² y despreciando el rozamiento, determine:

- a) La compresión máxima del resorte (d_{max}).
- b) La compresión d para la cual la rapidez del bloque es máxima.
- c) El valor de dicha rapidez máxima (v_{max}).

Definimos el nivel de referencia (y = 0) en el extremo libre del resorte (sin comprimir).

a) Compresión Máxima

Aplicamos conservación de energía mecánica entre el punto de caída (1) y el punto de máxima compresión (2):

$$E_{M_1} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{M_2} = \tfrac{1}{2} k\, d_{\text{max}}^2 - m \cdot g \cdot d_{\text{max}}$$

Igualamos $E_{M_1} = E_{M_2}$ y reemplazamos valores:

$$2 \cdot 10 \cdot 1{,}6 = \tfrac{1}{2} \cdot 50 \cdot d_{\text{max}}^2 - 2 \cdot 10 \cdot d_{\text{max}}$$

$$32 = 25\, d_{\text{max}}^2 - 20\, d_{\text{max}}$$

$$25\, d_{\text{max}}^2 - 20\, d_{\text{max}} - 32 = 0$$

Resolviendo la ecuación cuadrática (raíz positiva):

$$\boxed{d_{\text{max}} = 1{,}6\ \text{m}}$$

EJEMPLO · CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

b) Compresión para Rapidez Máxima

La rapidez es máxima cuando la aceleración es nula, es decir, cuando la fuerza del resorte compensa exactamente el peso:

$$\sum F = 0 \implies m \cdot g = k \cdot d$$

$$20\,\mathrm{N} = 50\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} \cdot d \implies d = \frac{20}{50}$$

$$\boxed{d = 0{,}4\ \mathrm{m}}$$

c) Rapidez Máxima

Consideramos la conservación de la energía entre el punto inicial (1) y el punto de rapidez máxima donde d = 0,4 m:

$$m \cdot g \cdot h = \tfrac{1}{2} m\, v_{\mathrm{max}}^2 + \tfrac{1}{2} k\, d^2 - m \cdot g \cdot d$$

$$32 = \tfrac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_{\mathrm{max}}^2 + \tfrac{1}{2} \cdot 50 \cdot (0{,}4)^2 - 2 \cdot 10 \cdot 0{,}4$$

$$32 = v_{\mathrm{max}}^2 + 4 - 8$$

$$v_{\mathrm{max}}^2 = 36$$

$$\boxed{v_{\mathrm{max}} = 6\ \mathrm{m/s}}$$

Resumen de Ecuaciones de Energía

Trabajo:

$$W = F\cdot \Delta x\cdot cos(\theta)$$

Energía Cinética:

$$K = (1/2)\cdot m\cdot v^2$$

Energía Potencial Gravitatoria:

$$Ug = m\cdot g\cdot h$$

Energía Potencial Elástica:

$$Ue = (1/2)\cdot k\cdot d^2$$

Ecuación General:

$$W_{\mathrm{Fnc}} = \Delta K + \Delta U_g + \Delta U_e$$

Potencia

La potencia mide la rapidez con la que se transmite la energía, es decir, la rapidez con la que se hace trabajo. El valor instantáneo se define como:

Potencia Instantánea (fuerza constante):

$$P = F\cdot v\cdot cos(\theta)$$

donde θ es el ángulo que forma la fuerza F con la velocidad v.

Potencia Media (desarrollada en un intervalo de tiempo Δt):

$$Pm = W/\Delta t$$

Unidades SI:

$$[P] = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = \mathrm{W}\ (\mathrm{Watt})$$

$$1\,\mathrm{kW} = 1000\,\mathrm{W} \qquad 1\,\mathrm{HP} \approx 746\,\mathrm{W}$$

> En el diseño de cohetes, no solo importa cuánta energía libera el combustible, sino qué tan rápido lo hace (la potencia del motor), ya que esto determina la aceleración para vencer la gravedad terrestre.

EJEMPLO — POTENCIA

Remolcador: Fuerza de Arrastre y Potencia

Se sabe que la fuerza de arrastre que actúa sobre un barco se puede modelizar mediante la expresión:

$$F = k\,v^{1{,}75}$$

donde k es una constante dimensional y v es la rapidez del barco. Un único remolcador a potencia máxima puede tirar del barco con una rapidez de 4,5 km/h, ejerciendo una fuerza neta de 300 kN.

01

Potencia erogada por el remolcador

Convertimos la rapidez: 4,5 km/h = 1,25 m/s. La potencia instantánea es:

$$P = F \cdot v = 300\,\mathrm{kN} \times 1,25\,\mathrm{m/s}$$

$$\boxed{P = 375\,\mathrm{kW}}$$

02

¿Si se duplica la potencia, se duplica la rapidez?

Expresamos la potencia en función de la velocidad usando $F = k\,v^{1{,}75}$:

$$P_1 = F_1 \cdot v_1 = k\,v_1^{1{,}75} \cdot v_1 = k\,v_1^{2{,}75}$$

Si se duplica la potencia:

$$P_2 = 2P_1 \implies k\,v_2^{2{,}75} = 2\,k\,v_1^{2{,}75}$$

$$v_2 = 2^{1/2{,}75} \cdot v_1 = 2^{0{,}364} \times 1,25\,\mathrm{m/s} \approx 1,61\,\mathrm{m/s}$$

La rapidez NO se duplica: aumenta solo un 29% aproximadamente.

Introducción a la Mecánica de los Fluidos

Un fluido es toda sustancia que puede fluir y que no tiene forma propia. Los fluidos se clasifican en dos grandes grupos:

- **Líquidos.** Si los consideramos incompresibles tienen un volumen definido. Su forma se adapta al recipiente que los contiene.
- **Gases.** Pueden comprimirse / expandirse. Tienen el volumen del recipiente que los contiene.

Definiciones

Densidad (ρ)

Se define como la masa de un material por unidad de volumen. Es una propiedad intrínseca del material y varía levemente con la temperatura. Para el caso de densidades constantes tendremos que:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$[\rho] = \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$$

Densidad Relativa (ρ_r)

Se define como el cociente entre la densidad de un material y la densidad del agua a 1 atm y 4°C:

$$\rho_r = \frac{\rho_{\mathrm{mat}}}{\rho_{H_2O,\,4^\circ C,\,1\mathrm{atm}}}$$

$$\rho_{H_2O,\,4^\circ C,\,1\mathrm{atm}} = 1000\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$$

Peso Específico (γ)

Se define como el peso de un material por unidad de volumen.

$$\gamma = \rho g$$

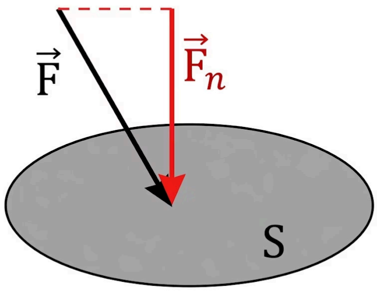
NÚCLEO 4 · MECÁNICA DE LOS FLUIDOS

Presión

Presión (p)

- Se define como la fuerza normal aplicada por unidad de superficie.
- Es una magnitud escalar.

$$p = \frac{F_{\text{normal}}}{S}$$

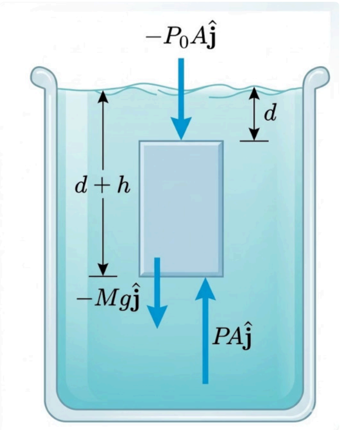


$$[p] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal)}$$

El pascal es una unidad de medida de presión muy pequeña, por lo que es usual que en la práctica aparezcan otras unidades de medida.

$$1\,\text{atm} = 101.300\,\text{Pa} = 1{,}013\,\text{bar} = 760\,\text{mm Hg} = 14{,}7\,\text{psi}$$

Variación de la Presión con la Profundidad



Líquido de densidad ρ en reposo.

Incompresible: ρ es uniforme en todo el líquido.

$$\sum \vec{F} = 0 \implies PA - Mg - P_0A = 0$$

$$PA = P_0A + \rho g A h$$

$$\boldsymbol{P = P_0 + \rho g h}$$

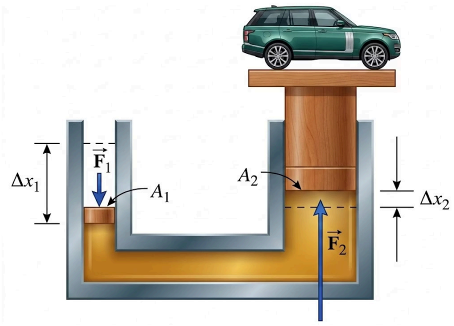
Ley de Pascal

Un cambio en la presión aplicada a un fluido se transmite sin disminución a todos los puntos del fluido y a las paredes del contenedor.

NÚCLEO 4 · MECÁNICA DE LOS FLUIDOS

Prensa Hidráulica

La prensa hidráulica es una aplicación directa del Principio de Pascal, el cual establece que la presión ejercida sobre un fluido incompresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido.



1. Transmisión de la Presión

Al aplicar una fuerza descendente F_1 sobre el pistón de entrada con área A_1, se genera una presión P en el fluido:

$$P = \frac{F_1}{A_1}$$

De acuerdo con Pascal, esta presión se distribuye uniformemente. En el pistón de salida (área A_2), la presión será la misma:

$$P = \frac{F_2}{A_2}$$

2. Multiplicación de la Fuerza

Igualando ambas presiones, obtenemos la relación fundamental de la prensa:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \implies F_2 = F_1 \cdot \left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

Como A_2 es mayor que A_1, la fuerza F_2 es mucho mayor que F_1. Esto permite levantar cargas pesadas con un esfuerzo menor.

3. Conservación del Trabajo y Desplazamiento

El volumen desplazado en ambas ramas es el mismo ($V_1 = V_2$):

$$A_1 \cdot \Delta x_1 = A_2 \cdot \Delta x_2$$

En un sistema ideal sin fricción, el trabajo de entrada es igual al trabajo de salida:

$$F_1 \cdot \Delta x_1 = F_2 \cdot \Delta x_2$$

Conclusión: La ventaja mecánica ganada en fuerza se 'paga' con una mayor distancia de desplazamiento en el pistón pequeño.

NÚCLEO 4 · MECÁNICA DE LOS FLUIDOS

Principio de Arquímedes y Empuje Hidrostático

Cuando un cuerpo está sumergido en un fluido, la presión hidrostática aumenta con la profundidad. Esto genera una fuerza neta resultante dirigida verticalmente hacia arriba: el Empuje ($\vec{E}$).

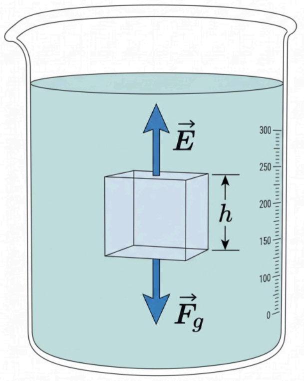
1. Deducción para un Cuerpo Prismático

Consideremos un cubo de altura h y área de base A sumergido en un fluido de densidad ρ_f. La diferencia de presión entre la cara inferior y superior genera el empuje:

$$E = F_{\text{inf}} - F_{\text{sup}} = (P_{\text{inf}} - P_{\text{sup}}) \cdot A$$

Aplicando el teorema fundamental de la hidrostática ($\Delta P = \rho_f \cdot g \cdot h$) y el volumen $V = A \cdot h$:

$$E = \rho_f \cdot g \cdot V_{\text{sum}}$$



donde ρ_f es la densidad del fluido, g la aceleración de la gravedad y V_{sum} el volumen sumergido del cuerpo.

2. Enunciado del Principio

> "Todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta una fuerza de empuje vertical hacia arriba, cuya magnitud es igual al peso del volumen del fluido desplazado por el cuerpo."

3. Condiciones de Equilibrio

Sobre el cuerpo actúan dos fuerzas en el eje vertical: el Peso (F_g) hacia abajo y el Empuje (E) hacia arriba.

- $E > F_g \rightarrow$ el cuerpo asciende hacia la superficie
- $E < F_g \rightarrow$ el cuerpo se hunde
- $E = F_g \rightarrow$ flotación neutra (equilibrio)

EJEMPLO · PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Determinación de la Densidad de la Corona

Izquierda: pesaje en el aire (T_1). Derecha: pesaje sumergida en agua (T_2). La diferencia es el empuje E.

Planteo del problema

Se pesa la corona en el aire y luego sumergida en agua. Llamamos T_1 a la tensión en el aire y T_2 a la tensión en el agua. El empuje E es la diferencia entre ambas tensiones.

Equilibrio en el aire:

$$T_1 - mg = 0$$

$$T_1 = mg = \rho_c V_c g = kd_1 (1)$$

Equilibrio en el agua:

$$T_2 + E - mg = 0$$

$$E = T_1 - T_2 = kd_1 - kd_2 = \rho_l V_c g (2)$$

Dividiendo (1) entre (2):

$$\frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{kd_1}{kd_1 - kd_2} = \frac{d_1}{d_1 - d_2}$$

$$= \frac{\rho_c V_c g}{\rho_l V_c g}$$

Resultado final:

$$\rho_c = \rho_l \frac{d_1}{d_1 - d_2}$$

EJEMPLO · PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Corteza Esférica de Cobre Flotando

Una corteza esférica de cobre, con un diámetro exterior de 12 cm flota sobre agua con la mitad de su volumen por encima de la superficie. Determine el diámetro interior de la corteza. Suponga que en la cavidad interior se ha hecho vacío. Dato: ρcobre = 8960 kg/m³.

01

1. Condición de Flotación

Para que la corteza flote, el empuje (E) debe ser igual al peso del cuerpo (P):

$$E = P$$

02

2. El Empuje (E)

Según Arquímedes, el empuje es el peso del volumen de líquido desplazado. Como flota con la mitad de su volumen desplazado:

$$V_{desp} = \frac{1}{2} V_{ext} = \frac{1}{2}\left(\frac{4}{3}\pi R_{ext}^3\right)$$

$$E = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \frac{2}{3}\pi R_{ext}^3$$

03

3. El Peso (P)

El peso depende únicamente de la masa del cobre (en el interior se hizo vacío). El volumen del cobre es la diferencia entre volumen exterior e interior:

$$V_{cobre} = \frac{4}{3}\pi(R_{ext}^3 - R_{int}^3)$$

$$P = \rho_{Cu} \cdot g \cdot \frac{4}{3}\pi(R_{ext}^3 - R_{int}^3)$$

04

4. Igualación y Simplificación

Igualamos E = P y simplificamos los términos comunes (g, π y factores numéricos):

$$\rho_{H_2O} \cdot g \cdot \frac{2}{3}\pi R_{ext}^3 = \rho_{Cu} \cdot g \cdot \frac{4}{3}\pi(R_{ext}^3 - R_{int}^3)$$

$$\rho_{H_2O} \cdot R_{ext}^3 = 2 \cdot \rho_{Cu} \cdot (R_{ext}^3 - R_{int}^3)$$

05

5. Despeje de Rint

Reorganizamos para despejar Rint:

$$R_{int}^3 = R_{ext}^3\left(1 - \frac{\rho_{H_2O}}{2\rho_{Cu}}\right)$$

$$R_{int} = R_{ext} \cdot \sqrt[3]{1 - \frac{\rho_{H_2O}}{2\rho_{Cu}}}$$

06

6. Cálculo Numérico

Sustituimos los valores conocidos (Rext = 6 cm, ρH2O = 1000 kg/m³, ρCu = 8960 kg/m³):

$$R_{int} = 6 \cdot \sqrt[3]{1 - \frac{1000}{17920}} = 6 \cdot \sqrt[3]{0{,}9442} \approx 5{,}887 \text{ cm}$$

$$d_{int} = 2 \cdot R_{int} \approx \mathbf{11{,}77} \text{ cm}$$

NÚCLEO 4 · MECÁNICA DE LOS FLUIDOS

Fluidos en Movimiento: Tipos de Flujo

Flujo Laminar

- Cada partícula del fluido sigue una trayectoria uniforme: las trayectorias de diferentes partículas nunca se cruzan.
- En el flujo estable, todas las partículas de fluido que pasan por un mismo punto tienen la misma velocidad.

Flujo Turbulento

- A partir de cierta rapidez el flujo se vuelve turbulento.
- Flujo irregular que se caracteriza por pequeñas regiones tipo remolino.

Viscosidad

- Es una medida de la resistencia interna de un fluido (líquido o gas) a fluir o a deformarse cuando se le aplican tracciones.
- Fuerza viscosa: se asocia con la resistencia que tienen dos capas adyacentes de fluido para moverse una respecto a la otra.
- Hace que parte de la energía que transporta el fluido se convierta en energía interna (en cierto sentido, análogo a lo que le ocurre a una partícula sobre una superficie rugosa).

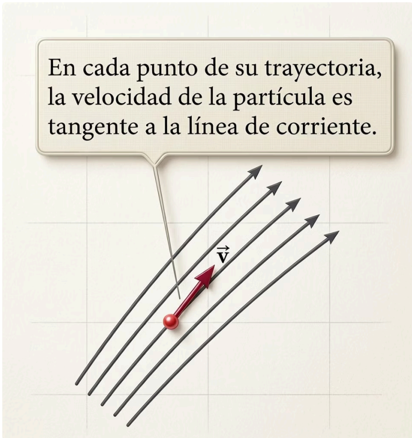
Flujo Ideal

- El fluido no es viscoso (no hay pérdida de energía).
- El flujo es estacionario: todas las partículas que pasan por un mismo punto tienen la misma velocidad.
- El flujo es incompresible: la densidad es constante.

<u>En este apunte consideraremos siempre flujos ideales (no viscosos), estacionarios e incompresibles</u>.

Línea de Corriente

- La trayectoria que toma una partícula de fluido en flujo estacionario se llama línea de corriente.
- En cada punto la velocidad de la partícula es tangente a la línea de corriente.



Caudal (Q)

El caudal se define como el volumen de fluido (ΔV) que atraviesa una sección transversal de un conducto por unidad de tiempo (Δt). Matemáticamente:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Si consideramos un fluido que se desplaza a una velocidad constante v a través de una tubería de área transversal A, el volumen que pasa en un intervalo de tiempo es el producto del área por la distancia recorrida ($\Delta x = v \cdot \Delta t$):

$$\Delta V = A \cdot \Delta x = A \cdot (v \cdot \Delta t)$$

Sustituyendo esto en la definición de caudal, obtenemos la forma cinemática:

$$Q = \frac{A \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t} \implies Q = A \cdot v$$

El Principio de Conservación de la Masa

En un fluido incompresible (donde la densidad ρ es constante) y en régimen estacionario, la cantidad de masa que entra en un sistema debe ser igual a la que sale. No puede haber acumulación ni pérdida de fluido dentro de las paredes del conducto.

Si tenemos una tubería que cambia su sección transversal de un área A_1 a un área A_2:

- El caudal que entra por la sección 1 es $Q_1 = A_1 \cdot v_1$.
- El caudal que sale por la sección 2 es $Q_2 = A_2 \cdot v_2$.

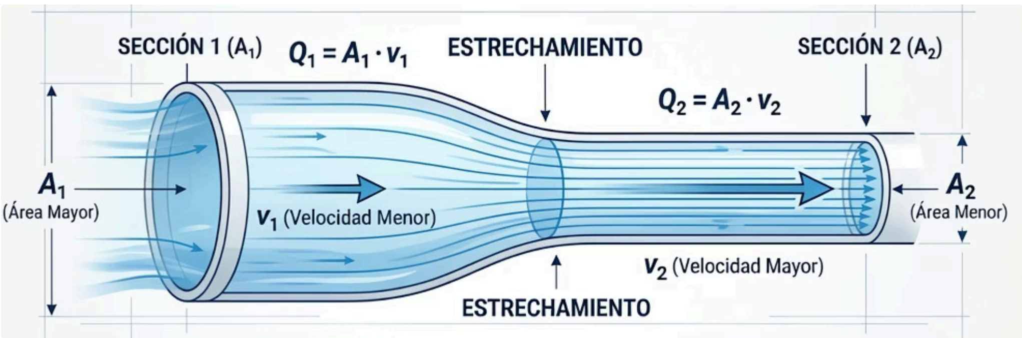
Dado que el fluido no se comprime, el volumen que entra por unidad de tiempo debe ser idéntico al que sale:

$$Q_1 = Q_2$$

La Ecuación de Continuidad

Al igualar ambos caudales basados en la definición anterior, llegamos a la expresión de la ecuación de continuidad:

$$\mathbf{A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2}$$



Implicancias físicas:

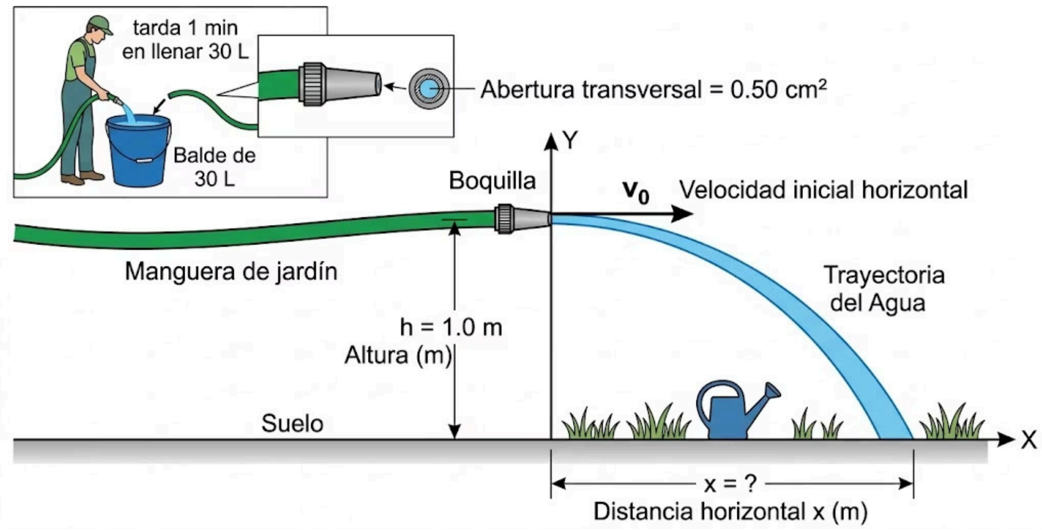
- Relación Inversa: El área de la sección transversal y la velocidad del fluido son inversamente proporcionales.
- Efecto Venturi (velocidad): Si el conducto se estrecha (A disminuye), el fluido debe aumentar su velocidad (v) para mantener el mismo caudal. A la inversa, si el conducto se ensancha, la velocidad del fluido disminuye.

> En términos más generales, si el fluido fuera compresible (como un gas a altas velocidades), la ecuación incluiría la densidad:
>
> $$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$
>
> asegurando la conservación del flujo de masa.

EJEMPLO · MECÁNICA DE FLUIDOS

Manguera y Boquilla: Proyección Horizontal del Agua

Un jardinero utiliza una manguera para llenar con agua un balde de 30 L. El jardinero nota que tarda 1 min en llenar el balde. Luego acopla a la manguera una boquilla con una abertura de 0,50 cm² de área transversal. La boquilla se sostiene de tal modo que el agua se proyecta horizontalmente desde un punto a 1 m sobre el suelo. ¿A qué distancia horizontal de la boquilla llegará el agua?



Caudal

$$Q = \frac{30\ \mathrm{L}}{1\ \mathrm{min}} = 5 \cdot 10^{-4} \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$$

Continuidad

$$5 \cdot 10^{-4} \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} = v \cdot 5 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m}^2 \implies v = 10\ \mathrm{m/s}$$

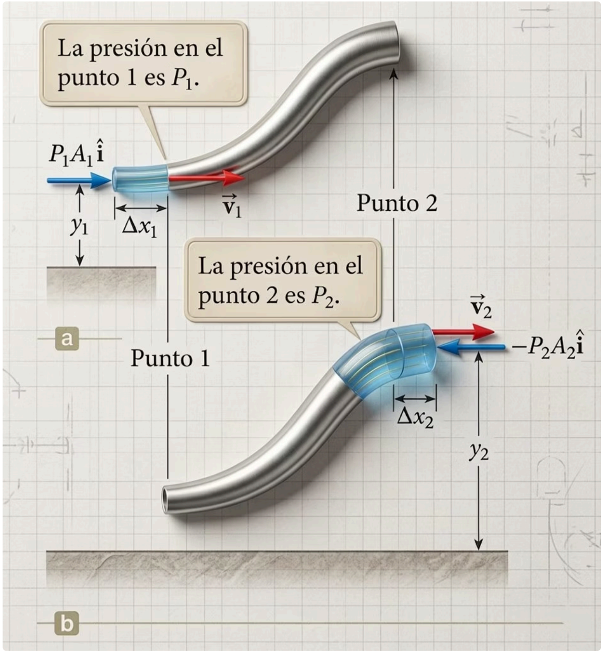
Tiro Oblicuo (caída libre horizontal)

$$0 = 1\ \mathrm{m} - \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot t^2 \implies t = \sqrt{0{,}2}\ \mathrm{s}$$

$$x = 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot \sqrt{0{,}2}\ \mathrm{s} = 4{,}47\ \mathrm{m}$$

NÚCLEO 4 · MECÁNICA DE LOS FLUIDOS

Principio de Bernoulli



Para un fluido ideal, estacionario y de densidad constante, aplicando la conservación de la energía al volumen de control (volumen azul), se obtiene:

$$W = P_1A_1\Delta x_1 - P_2A_2\Delta x_2 = (P_1 - P_2)V$$

$$W = \Delta K + \Delta U_g$$

$$(P_1 - P_2)V = \frac{1}{2}\rho V v_2^2 - \frac{1}{2}\rho V v_1^2 + \rho V g h_2 - \rho V g h_1$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{cte}$$

P — Presión estática

Presión ejercida por el fluido sobre las paredes del conducto.

½ρv² — Presión dinámica

Energía cinética por unidad de volumen del fluido en movimiento.

ρgh — Presión hidrostática

Energía potencial gravitatoria por unidad de volumen.

A lo largo de una línea de corriente, donde la velocidad aumenta, la presión disminuye, y viceversa.

Tubo de Venturi

¿Qué es?

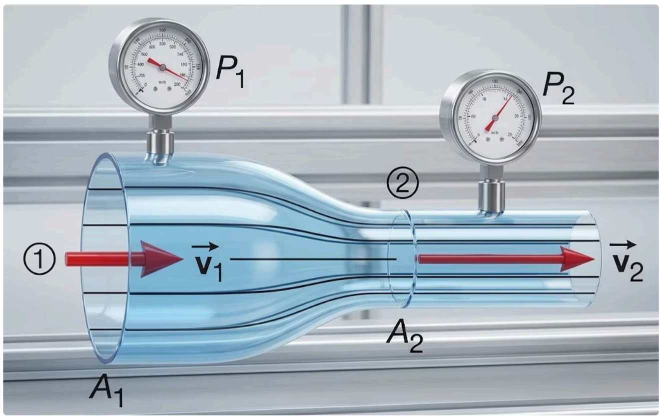
El tubo de Venturi es un dispositivo que consiste en un conducto con una sección estrecha (garganta) intercalada entre dos secciones más anchas. Al pasar el fluido por la garganta, su velocidad aumenta y su presión disminuye, de acuerdo con el Principio de Bernoulli.

Medición de caudal

Midiendo la diferencia de presión entre la sección ancha y la garganta (con manómetros), se puede calcular la velocidad del fluido y, por ende, el caudal volumétrico que circula por la tubería.

Aplicaciones

Se utiliza en sistemas de distribución de agua, gasoductos, carburadores de motores de combustión interna, sistemas de ventilación y en laboratorios para medir flujos de gases y líquidos.



En este caso podemos considerar que $h_1 = h_2$ y por lo tanto:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + P_2$$

Por continuidad sabemos que:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \implies v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1}$$

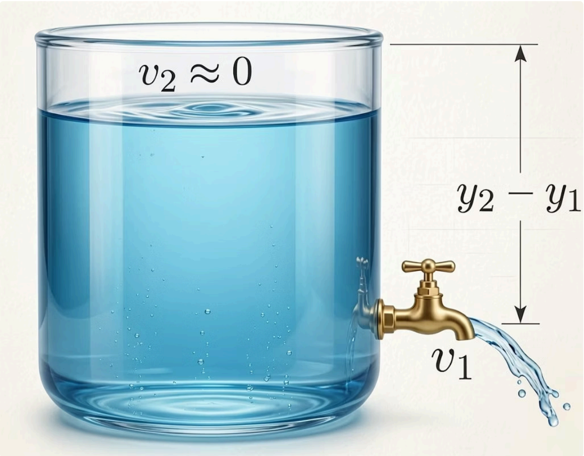
$$\frac{1}{2}\rho\left(\frac{A_2 v_2}{A_1}\right)^2 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + P_2$$

$$\frac{1}{2}\rho\left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right) v_2^2 = P_1 - P_2$$

$$v_2 = A_1\sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

De este modo, midiendo presiones con dos manómetros, se puede determinar la velocidad de salida del fluido.

Ley de Torricelli



La Ley de Torricelli es un caso particular del Principio de Bernoulli aplicado a un tanque abierto a la atmósfera con un orificio pequeño en su pared.

Condiciones

Si el tanque está abierto a la atmósfera, entonces P_1 y P_2 son iguales a P_{atm}. Con $A_1 \lll A_2$ resulta $v_2 \lll v_1$, por lo que asumimos $v_2 \approx 0$.

Desarrollo

Aplicando Bernoulli y simplificando: $P + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$

$$v_1 = \sqrt{2g(y_2 - y_1)} = \sqrt{2gh}$$

donde $h = y_2 - y_1$ es la altura del nivel del agua sobre el orificio.

NÚCLEO 5 · CALOR Y CALORIMETRÍA

Calor y Calorimetría: Sólidos y Líquidos

Temperatura, energía interna, calor sensible y latente, y el calorímetro como instrumento de medición. Mecanismos principales de transferencia de calor.

NÚCLEO 5 · CALOR Y CALORIMETRÍA

Temperatura y Energía Interna

Temperatura

La temperatura es una magnitud escalar que mide, a nivel microscópico, la energía cinética promedio de las partículas (átomos o moléculas) que componen un cuerpo. Está asociada al grado de agitación térmica: a mayor movimiento, mayor temperatura.

Propiedad Intensiva

No depende de la cantidad de materia. Dos cuerpos a la misma temperatura tienen igual agitación térmica, independientemente de su masa.

Energía Térmica Total

Sí depende de la masa. Un vaso de agua y una pileta a la misma temperatura tienen distinta energía térmica total.

Energía Interna (U) en Sólidos y Líquidos

La energía interna es la suma de todas las energías microscópicas del sistema: energía cinética de las partículas y energía potencial de sus enlaces intermoleculares.

En sólidos y líquidos, los cambios de volumen suelen ser despreciables, por lo que el trabajo realizado puede considerarse nulo ($W \approx 0$). Toda la energía transferida como calor entonces se convierte íntegramente en cambio de energía interna:

$$Q = \Delta U$$

NÚCLEO 5 · CALOR Y CALORIMETRÍA

El Calor y la Calorimetría

El Calor como Mecanismo de Transferencia

El calor (Q) es la energía en tránsito que fluye espontáneamente desde un cuerpo de mayor temperatura hacia uno de menor temperatura. El proceso cesa cuando ambos alcanzan el equilibrio térmico (igualan sus temperaturas).

> Los cuerpos 'no tienen calor', pues el calor se refiere al proceso de transferencia de energía entre cuerpos a distinta temperatura entre sí. Lo que 'tienen' los cuerpos (se les puede asociar en el estado de equilibrio térmico) es la magnitud: temperatura.

Calor Sensible

La calorimetría cuantifica las transferencias de energía térmica (lo que denominamos calor). Cuando el calor entregado produce un cambio de temperatura sin alterar el estado de agregación del cuerpo estudiado, hablamos de calor sensible.

Calor Específico (c)

Cantidad de energía necesaria para elevar 1°C la temperatura de 1 g de una sustancia. Es una propiedad característica de cada material. Ejemplo: cagua ≈ 1 cal/g°C

Fórmula del Calor Sensible

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

donde m es la masa, c el calor específico, y (Tf – Ti) la variación de temperatura producida por el calor intercambiado por el cuerpo con el exterior.

Calor Latente

Durante los cambios de fase (fusión, solidificación, vaporización, etc.), se entrega calor a un dado cuerpo pero su temperatura permanece constante. En este caso, la energía no aumenta la agitación térmica, sino que modifica las fuerzas intermoleculares. Para los cambios de fase emplearemos la relación:

$$Q = m \cdot L$$

donde L es el calor latente, una propiedad característica de cada sustancia y tipo de cambio de fase y m es la masa del cuerpo.

NÚCLEO 5 · CALOR Y CALORIMETRÍA

El Calorímetro y el Equivalente en Agua

Un calorímetro es un dispositivo diseñado para aislar térmicamente un sistema y medir los intercambios de calor. En un calorímetro ideal, la suma de todos los calores absorbidos y cedidos por los cuerpos en su interior debe ser cero:

$$\sum Q_i = 0$$

Equivalente en Agua (M_a)

En la práctica, los componentes del calorímetro (vaso, termómetro, agitador) también participan del intercambio de energía. Para simplificar los cálculos, se utiliza el concepto de equivalente en agua.

Definición

El equivalente en agua (M_a) es una masa ficticia de agua que absorbería o cedería la misma cantidad de calor que el calorímetro para una misma variación de temperatura.

Fórmula

$$M_a = \frac{C_{cal}}{c_{agua}}$$

donde Ccal es la capacidad calorífica del calorímetro y cagua el calor específico del agua.

Aplicación en el Balance

Al realizar el balance térmico, el calorímetro se trata como una masa adicional de agua (M_a) que se encuentra inicialmente a la misma temperatura que el líquido contenido en él.

Balance Térmico General

Combinando todos los aportes, el balance en un calorímetro real queda:

$$\sum Q_{cedido} + \sum Q_{absorbido} = 0$$

donde el calorímetro contribuye con un término:

$$Q_{cal} = M_a \cdot c_{agua} \cdot \Delta T$$

Algunos de los usos de la calorimetría incluyen: determinar el contenido calórico de alimentos, evaluar combustibles, determinar calores específicos de sustancias, medir el gasto energético y metabólico de una persona, etc.

EJEMPLO — CALORIMETRÍA

Calorímetro Real: Equivalente en Agua y Calor Específico

En un calorímetro real se introducen 150 g de agua a 100°C y 150 g de agua a 20°C. La temperatura de equilibrio es de 56°C. Luego se vacía y se colocan 150 g de agua a 20°C y una pieza de 200 g a 100°C de un material desconocido, alcanzando el equilibrio a 30°C. Determinar: a) el equivalente en agua del calorímetro, b) el calor específico del material desconocido.

Conversión de Datos (SI)

Agua caliente	Agua fría	c_{agua}
m_h = 150 g = 0,15 kg a 100°C	m_c = 150 g = 0,15 kg a 20°C	$c_{agua} \approx 4186\,\mathrm{J/(kg \cdot {}^\circ C)}$

Parte A : Equivalente en Agua (M_a)

Planteamos el balance térmico. El calor cedido por el agua caliente es absorbido por el agua fría y el calorímetro:

$$Q_{cedido} + Q_{absorbido} = 0$$

Calor cedido por el agua caliente:

$$Q_h = 0{,}15\,\mathrm{kg} \cdot 4186\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot {}^\circ C}} \cdot (56 - 100)\,{}^\circ\mathrm{C} = -27627{,}6\,\mathrm{J}$$

Calor absorbido por el agua fría y el calorímetro:

$$Q_c = (0{,}15\,\mathrm{kg} + M_a) \cdot 4186\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot {}^\circ C}} \cdot (56 - 20)\,{}^\circ\mathrm{C}$$

Igualando y despejando M_a:

$$-27627{,}6 + (0{,}15 + M_a) \cdot 150696 = 0$$

$$0{,}15 + M_a = \frac{27627{,}6}{150696} = 0{,}18333\,\mathrm{kg}$$

$$\boxed{M_a = 0{,}0333\,\mathrm{kg} = 33{,}33\,\mathrm{g}}$$

EJEMPLO — CALORIMETRÍA (CONT.)

Parte B : Calor Específico del Material Desconocido (c_x)

Con M_a = 0,0333 kg ya determinado, analizamos la segunda experiencia. El material cede calor; el agua fría y el calorímetro lo absorben hasta alcanzar 30°C.

Material desconocido (m_x)	Agua fría (m_c)	Calorímetro (M_a)	T equilibrio
0,20 kg a 100°C	0,15 kg a 20°C	0,0333 kg a 20°C	30°C

Balance Térmico

Calor absorbido por el agua fría y el calorímetro:

$$Q_{abs} = (0{,}15 + 0{,}0333)\,\mathrm{kg} \cdot 4186\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^\circ\mathrm{C}} \cdot (30 - 20)\,{}^\circ\mathrm{C} \approx 7674{,}2\,\mathrm{J}$$

Calor cedido por el material:

$$Q_x = 0{,}20\,\mathrm{kg} \cdot c_x \cdot (30 - 100)\,{}^\circ\mathrm{C} = -14\,(\mathrm{kg} \cdot {}^\circ\mathrm{C}) \cdot c_x$$

Igualando y despejando c_x:

$$7674{,}2\,\mathrm{J} - 14\,(\mathrm{kg} \cdot {}^\circ\mathrm{C}) \cdot c_x = 0$$

$$c_x = \frac{7674{,}2\,\mathrm{J}}{14\,\mathrm{kg} \cdot {}^\circ\mathrm{C}}$$

$$\boxed{c_x \approx 548{,}2\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^\circ\mathrm{C}}}$$

Este valor es muy cercano al calor específico del acero o el hierro, materiales con c ≈ 490–500 J/(kg·°C).

RESUMEN · NÚCLEO 5

Resumen de Ecuaciones — Calor y Calorimetría

Energía interna (sólidos y líquidos):

$$Q = \Delta U$$

Calor sensible:

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

Calor latente:

$$Q = m \cdot L$$

Balance en calorímetro ideal:

$$\sum Q_i = 0$$

Equivalente en agua:

$$M_a = \frac{C_{cal}}{c_{agua}}$$

NÚCLEO 5 · CALOR Y CALORIMETRÍA

Los Tres Mecanismos Principales de Transferencia de Calor

Conducción, convección y radiación: cómo la energía térmica se propaga entre cuerpos y sistemas.

Conducción: el Contacto Directo

La conducción es el mecanismo predominante en los sólidos. Se produce por el contacto directo entre las partículas de los cuerpos: las partículas de la zona más caliente vibran con mayor intensidad y, al chocar con sus vecinas más frías, les transfieren parte de su energía cinética. Esta transferencia se propaga como una cadena a lo largo del material.

Conductores

Los metales son excelentes conductores de calor porque poseen electrones libres que facilitan el transporte de energía. El calor se propaga rápidamente a lo largo de su estructura.

Aislantes

Materiales como la madera, el corcho o el aire atrapado son malos conductores. Sus partículas no transmiten la energía con eficiencia, lo que los hace útiles para el aislamiento térmico.

Ejemplo Cotidiano

El extremo de una cuchara de metal que se calienta rápidamente al dejarlo dentro de una taza de café hirviendo. La energía se transfiere desde el café → cuchara → mano, por contacto directo entre partículas.

NÚCLEO 5 · CALOR Y CALORIMETRÍA

Convección: el Transporte por Movimiento

La convección es el mecanismo principal en fluidos (líquidos y gases). A diferencia de la conducción, aquí hay un desplazamiento físico de materia: cuando una porción de fluido se calienta, sus partículas se separan, el fluido se expande y se vuelve menos denso. Por flotabilidad, este fluido caliente sube, mientras que el fluido más frío y denso desciende para ocupar su lugar, generando corrientes de convección.

Convección Natural

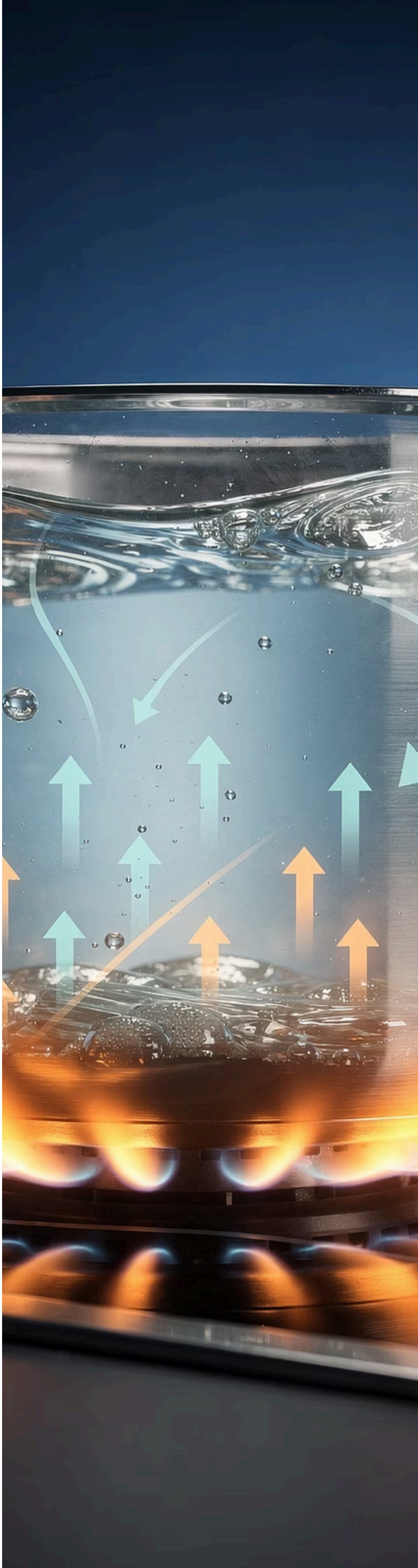
El movimiento ocurre espontáneamente por diferencias de densidad. Ejemplo: el aire caliente que sube de una estufa o radiador, creando corrientes sin ningún agente externo.

Convección Forzada

Se utiliza un agente externo (ventilador, bomba) para mover el fluido. Ejemplo: el sistema de refrigeración de un motor de auto o el aire acondicionado.

Ejemplo Cotidiano

El movimiento del agua en una olla al fuego: el agua del fondo se calienta, sube al volverse menos densa, y el agua fría de la superficie desciende para reemplazarla, creando un ciclo continuo de circulación.



NÚCLEO 5 · CALOR Y CALORIMETRÍA

Radiación: Energía que Viaja en el Vacío

La radiación es el único mecanismo que no requiere un medio material para propagarse. La energía viaja a través de ondas electromagnéticas (principalmente infrarrojas). Todos los cuerpos con temperatura por encima del cero absoluto emiten radiación térmica de forma continua.

Absorción

Cuando las ondas electromagnéticas inciden sobre un cuerpo, parte de la energía es absorbida, elevando su temperatura. Los cuerpos oscuros absorben más radiación.

Reflexión

Parte de la radiación puede ser reflejada sin ser absorbida. Los cuerpos claros o pulidos reflejan más y absorben menos, por eso son mejores para el aislamiento en climas cálidos.

El Vacío no es obstáculo

Es gracias a la radiación que recibimos la energía del Sol, a pesar de los millones de kilómetros de vacío que nos separan.

Ejemplo Cotidiano

El calor que sentimos en la cara al acercarnos a una fogata o a un filamento incandescente, incluso si el aire entre nosotros está quieto.

La energía llega directamente por ondas electromagnéticas.

RESUMEN · NÚCLEO 5

Comparación de los Tres Mecanismos

Conducción

A través de la materia.

Mecanismo: choques moleculares.

Medio: sólidos (principalmente).

Ejemplo: cuchara en café caliente.

Convección

Por movimiento de la materia.

Mecanismo: corrientes de fluido.

Medio: líquidos y gases.

Ejemplo: agua hirviendo en una olla.

Radiación

A través del espacio.

Mecanismo: ondas electromagnéticas.

Medio: no requiere medio material.

Ejemplo: calor del Sol o de una fogata.

En la mayoría de los procesos reales —como el enfriamiento de un motor o el aislamiento de una vivienda— estos tres mecanismos actúan simultáneamente en distintas proporciones.

RECURSOS DE ESTUDIO

Bibliografía Sugerida

Si querés profundizar en los diferentes temas y conceptos desarrollados en este apunte te sugerimos los siguientes recursos:

Serway, R. A. y Vuille, C. (2018). Fundamentos de física (10.ª ed.). Cengage Learning. ISBN: 978-1-285-73702-7

Hewitt, P. G. (2016). Física conceptual (12.ª ed.). Pearson Educación. ISBN: 978-607-32-3822-9

Khan Academy. (s.f.). Física. Recuperado de **https://es.khanacademy.org/science/physics**

University of Colorado Boulder. (s.f.). PhET Interactive Simulations. Recuperado de **https://phet.colorado.edu/es/simulations/filter?subjects=physics**

Las simulaciones PhET permiten explorar de forma interactiva los fenómenos estudiados en este curso: cinemática, dinámica, fluidos, energía y termodinámica.

Licencia y Atribución

Nota sobre las Imágenes

Las imágenes utilizadas en este documento fueron creadas con asistencia de inteligencia artificial, mediante las herramientas Gamma.App y Gemini.