

Mecánica

Tema 1. Conceptos básicos y fundamentos de la mecánica newtoniana

Ing. Eduardo Flores Rivas

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

Semestre 2026-1

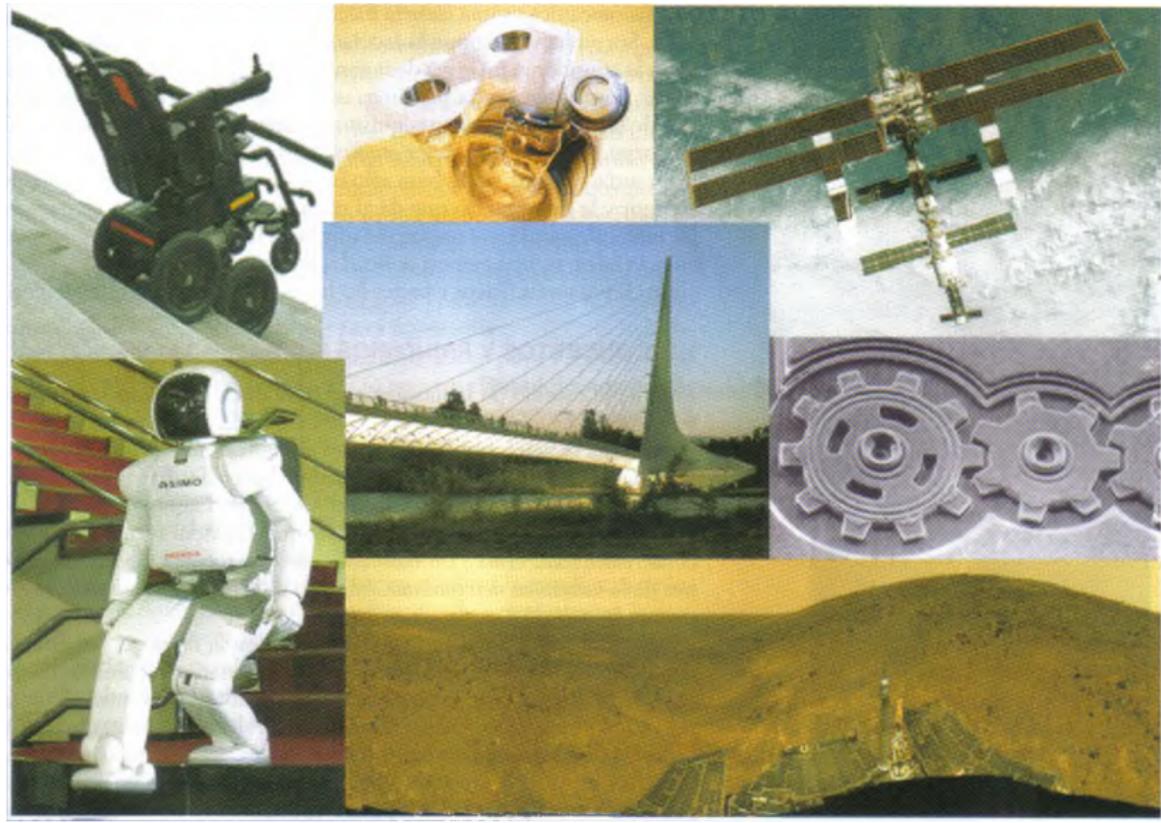


Contenido

- 1 Resumen histórico y descripción de la mecánica clásica
- 2 Conceptos fundamentales de la mecánica
- 3 Leyes de Newton
- 4 Diagrama de Cuerpo Libre
- 5 Fricción
- 6 Contacto
- 7 Referencias



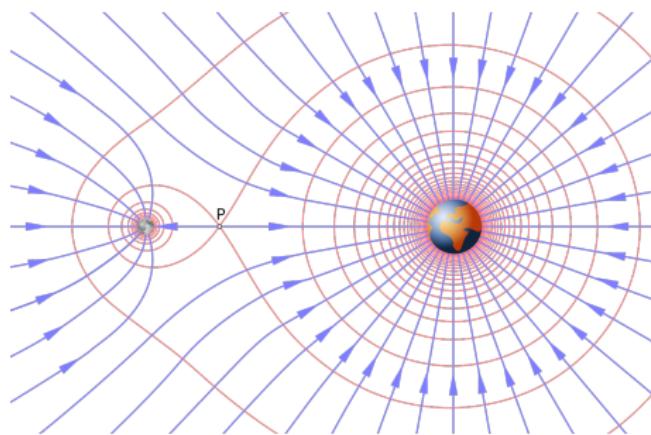
Mecánica



¿Qué es la mecánica?

La mecánica clásica es la ciencia que describe y predice las condiciones de reposo y movimiento de los cuerpos bajo la acción de fuerzas.

Por su naturaleza como ciencia aplicada, la mecánica suele ser asociada tanto a las matemáticas como a la física. Se trata de la base de una buena parte de las ingenierías, pues su objetivo es explicar y predecir los fenómenos físicos.



Ramas de la mecánica clásica

Se divide en:

- **Mecánica de sólidos:**

- **Mecánica de la partícula:** estudia el movimiento de cuerpos ideales sin dimensiones físicas.
 - **Estática:** analiza cuerpos en equilibrio, es decir, sin movimiento.
 - **Cinemática:** estudia el movimiento sin considerar las causas (posición, velocidad, aceleración).
 - **Dinámica:** estudia el movimiento considerando las fuerzas que lo producen.
- **Mecánica del cuerpo rígido:** estudia cuerpos con dimensiones definidas que no se deforman durante el movimiento.
- **Mecánica del cuerpo deformable:** también llamada mecánica de materiales; estudia la respuesta de los cuerpos ante cargas externas, considerando deformaciones y esfuerzos.

- **Mecánica de fluidos:**

- **Fluidos incompresibles:** estudia líquidos, asumiendo que su densidad no varía significativamente.
- **Fluidos compresibles:** estudia gases y vapores, considerando variaciones de densidad y presión.



Ramas de la mecánica

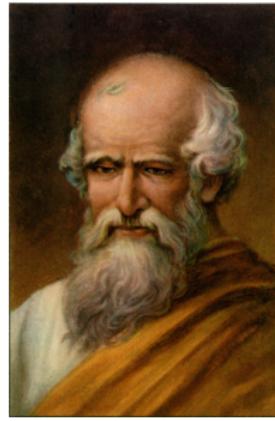
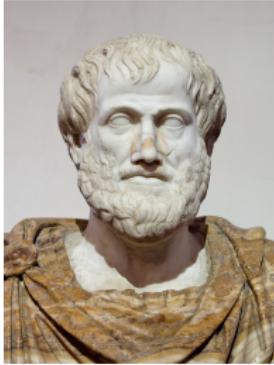
Ejemplos de casos de estudio en la mecánica clásica:

- ① Análisis del movimiento de un proyectil en el vacío, despreciando su tamaño y forma.
- ② Estudio del flujo de agua a través de una tubería.
- ③ Descripción del movimiento de un automóvil a lo largo de una carretera, determinando su posición y velocidad en función del tiempo.
- ④ Estudio del comportamiento del aire en la tobera de un motor a reacción, donde la densidad varía con la velocidad y la presión.
- ⑤ Análisis de una viga en equilibrio soportando una carga distribuida, sin que se desplace ni gire.
- ⑥ Estudio del movimiento rotacional de un disco de inercia girando alrededor de un eje fijo.
- ⑦ Deformación elástica de una columna de acero sometida a una carga axial de compresión.
- ⑧ Análisis del movimiento de un ascensor en función de la fuerza ejercida por el motor y la masa del sistema.



Resumen histórico: Antigüedad

- **Aristóteles (384–322 a.C.)**: fue uno de los primeros en sistematizar ideas sobre el movimiento, aunque con fundamentos erróneos. Sostenía que un cuerpo requería de una fuerza constante para mantenerse en movimiento.
- **Arquímidas (287–212 a.C.)**: realizó contribuciones notables en estática y dinámica de fluidos, introduciendo conceptos de centro de gravedad y principios de flotación.



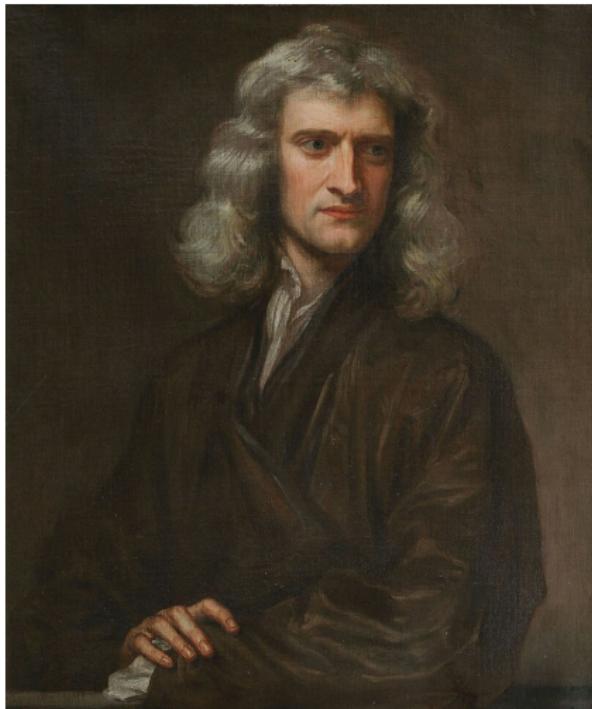
Resumen histórico: Renacimiento

- **Galileo Galilei (1564–1642)**: realizó experimentos sobre el movimiento uniformemente acelerado y formuló el principio de inercia, sentando las bases de la mecánica moderna.
- **Johannes Kepler (1571–1630)**: describió el movimiento planetario mediante leyes empíricas basadas en observaciones astronómicas precisas.



Resumen histórico: Newton

- **Isaac Newton (1642–1727):** formuló los principios fundamentales del movimiento (las tres leyes de Newton) y la ley de gravitación universal en su obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687).



Resumen histórico: Mecánica analítica

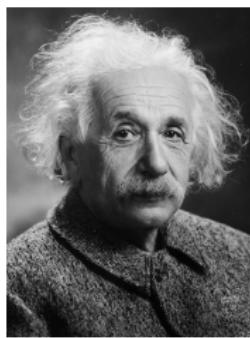
- **Joseph-Louis Lagrange (1736–1813)** desarrolló la *mecánica lagrangiana*, basada en principios variacionales y sin la necesidad explícita de fuerzas.
- **William Rowan Hamilton (1805–1865)** formuló la *mecánica hamiltoniana*, facilitando el análisis de sistemas dinámicos complejos y abriendo camino a la mecánica cuántica.



¿Qué hay más allá de la mecánica clásica?

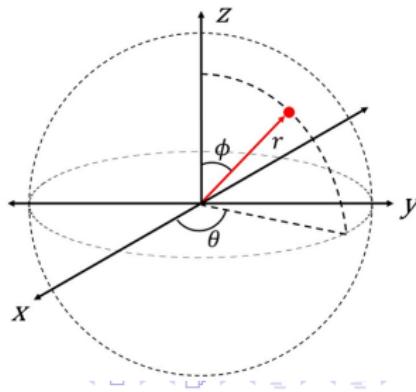
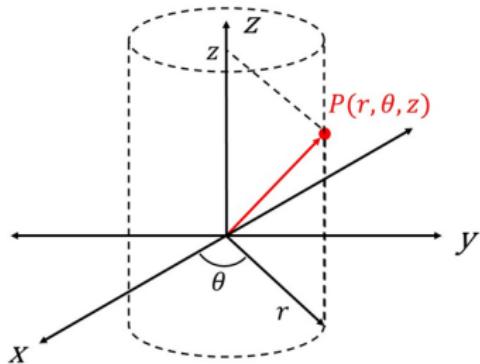
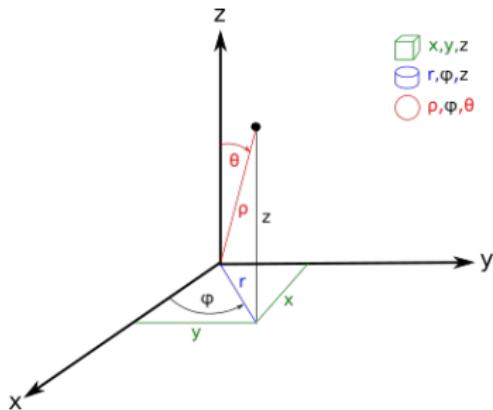
Durante los siglos XIX y XX se desarrollaron teorías complementarias como la mecánica de materiales, la mecánica de cuerpos rígidos y la mecánica de fluidos que permitieron resolver problemas ingenieriles en estructuras, máquinas, vehículos, y sistemas hidráulicos.

Sin embargo, al mismo tiempo el estudio de fenómenos a velocidades cercanas a la de la luz o a escalas atómicas evidenciaron las limitaciones de la mecánica clásica, lo que dio paso al desarrollo de la mecánica relativista (Einstein) y la mecánica cuántica (Planck, Bohr, Heisenberg).



Conceptos fundamentales: Espacio

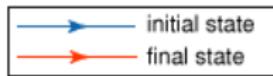
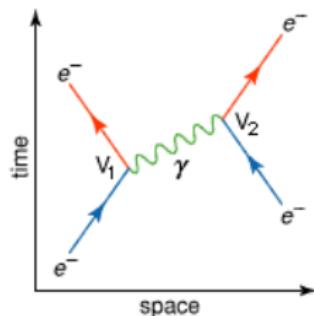
El espacio es el **marco tridimensional** en el cual se localizan y describen los cuerpos. Se relaciona con la noción de la posición de un punto P , esta posición puede definirse por tres longitudes medidas de un sistema de referencia u origen; estas longitudes son conocidas como *coordenadas* de P .



Conceptos fundamentales: Tiempo

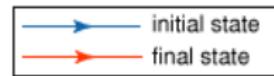
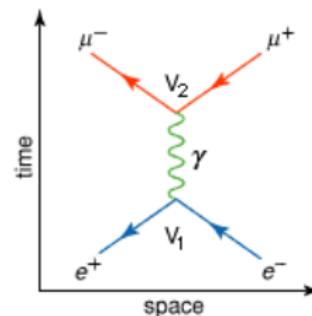
El tiempo es una magnitud escalar que permite ordenar los sucesos y medir la duración entre ellos. En la mecánica clásica, se asume que transcurre de la misma manera para todos los observadores, independientemente de su estado de movimiento. Esta concepción fue válida hasta la formulación de la relatividad especial.

Emisión y absorción de un fotón



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Electrón y muón.

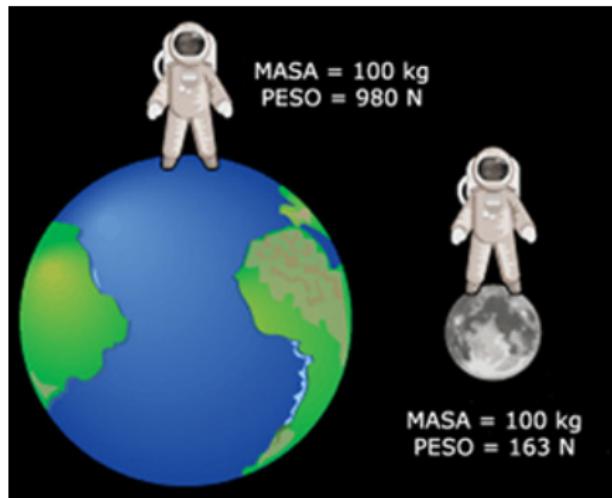


© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.



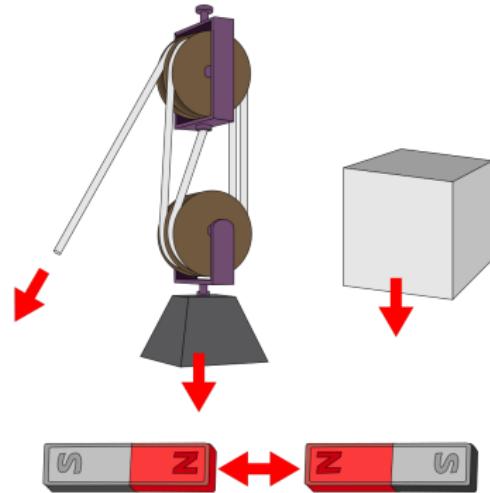
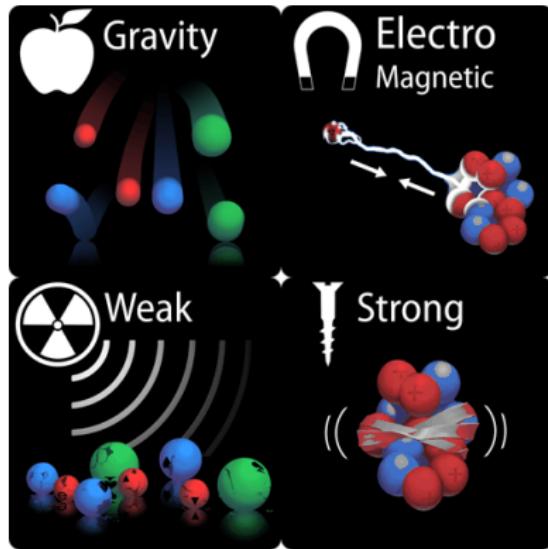
Conceptos fundamentales: Masa

La masa es una propiedad escalar inherente de los cuerpos que mide su inercia, es decir, su resistencia al cambio de estado de movimiento cuando se les aplica una fuerza. Permite establecer una relación proporcional entre la aceleración que va a experimentar un cuerpo al aplicarle una fuerza.



Conceptos fundamentales: Fuerza

La fuerza es una magnitud **vectorial** que representa la interacción entre cuerpos capaz de modificar su estado de movimiento o de deformarlos. En el marco newtoniano, una fuerza neta produce una aceleración proporcional a la masa del cuerpo.



Sistemas de unidades

Para trabajar con un sistema de unidades congruente con la ecuación $\vec{F} = m\vec{a}$, se pueden definir de manera arbitraria tres de las cuatro unidades de longitud, tiempo, masa y fuerza. De esta restricción, surgen dos tipos de sistemas de unidades:

- **Absolutos:** la fuerza se obtiene como una magnitud derivada.
- **Relativos:** la masa se obtiene como una magnitud derivada.



Sistemas de unidades

SISTEMAS DE UNIDADES						
Sistemas absolutos				Sistemas relativos		
Dimensión	Unidad	Símbolo		Dimensión	Unidad	Símbolo
Longitud	Metro	m		Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	Kg		Fuerza	Kilogramo	Kgf
Tiempo	Segundo	s		Tiempo	Segundo	s
Fuerza	Newton	N		Masa	Geokilo	geokilo
Longitud	Centímetro	m	CGS	Longitud	Centímetro	m
Masa	Gramo	Kg		Fuerza	Gramo	gf
Tiempo	Segundo	s		Tiempo	Segundo	s
Fuerza	Dina	dina		Masa	Geogramo	geogramo
Longitud	Pie	ft	FPS	Longitud	Pie	ft
Masa	Libra	lb		Fuerza	Libra	lbf
Tiempo	Segundo	s		Tiempo	Segundo	s
Fuerza	Poundal	poundal		Masa	Slug	slug



Exactitud numérica

La exactitud de una solución depende de la exactitud de dos factores:

- Los datos proporcionados
- Los cálculos desarrollados

La solución solo puede ser tan exacta como el menos exacto de esos dos factores. En ingeniería, rara vez se conocen los datos con una exactitud mayor al 0.2 %; por lo que usaremos como criterio el registrar 4 cifras significativas para los números que empiecen por 1 y 3 cifras para los demás casos.

Por ejemplo, si los cálculos arrojan una fuerza de $32[N]$ deberá anotarse como $32.0[N]$ y una altura de $1.5[m]$ deberá anotarse como $1.500[m]$.



Redondeo simétrico

Complementando la exactitud numérica, se aplicará redondeo simétrico, que consiste en truncar el número de acuerdo al número de cifras significativas (3 o 4), redondeando la última cifra como se explica a continuación:

- **Hacia arriba:** si la cifra siguiente es 5, 6, 7, 8 o 9.
- **Hacia abajo:** si la cifra siguiente es 0, 1, 2, 3 o 4.

Por ejemplo:

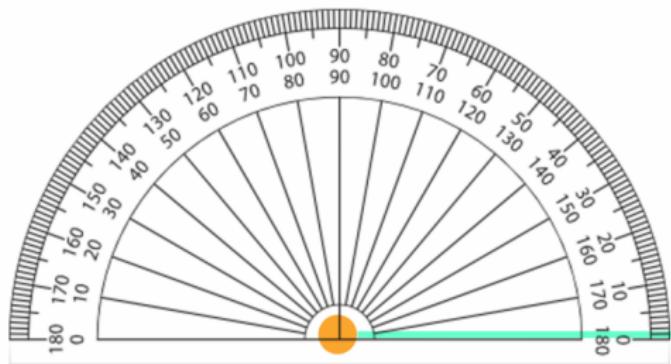
- 123456789 → 123500000
- 5389.77 → 5390
- 3.1416 → 3.14
- 1.77 → 1.770



Cifra significativa: cifra diferente a cero que conforma un número; entre más a la izquierda se encuentre, más significativa es.

Redondeo y exactitud en ángulos

Cuando se trabaje con ángulos medidos en grados, se deberá siempre mantenerlos en un intervalo de $[0, 360)^\circ$, tomando un decimal para el redondeo.



Por ejemplo:

- $744^\circ \rightarrow 24.0^\circ$
- $133.76^\circ \rightarrow 133.8^\circ$
- $0.0234^\circ \rightarrow 0.0^\circ$



Ejercicio 1. Fundamentos del redondeo

Realice los redondeos de los siguientes números con las reglas vistas en clase.

- $3.12569 =$ _____
- $9684.25 =$ _____
- $145293.1 =$ _____
- $0.002589 =$ _____
- $236.5897 =$ _____
- $124123012 =$ _____

- $98978968 =$ _____
- $1000025.3 =$ _____
- $369.2588^\circ =$ _____
- $0.069251^\circ =$ _____
- $1.002891^\circ =$ _____
- $46.38131^\circ =$ _____



Ejercicios. Conversión de unidades

Ejercicio 2. El límite de velocidad en una autopista es de $80[\text{km}/\text{h}]$, ¿A cuánto equivale en $[\text{ft}/\text{s}]$?

Ejercicio 3. ¿Cuántos $[\text{km}]$ equivalen a $275[\text{mi}]$?



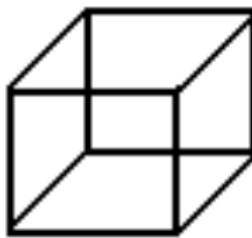
m

Ejercicio 4. Una broca mide $\frac{3}{4}[\text{in}]$, ¿cuál es su medida en milímetros?



m^2

Ejercicio 5. Un terreno tiene un área de $1,344[\text{yd}^2]$. Expresar esta área en $[\text{m}^2]$.



m^3

Ejercicio 6. Un recipiente tiene un volumen de $77[\text{gal}]$. ¿A cuántos litros equivale?



Cantidades escalares y vectoriales

De acuerdo con el tipo de información que se requiere para describirlas, las cantidades físicas se pueden clasificar en:

- **Escalar:** queda completamente definida por un número real acompañado de su unidad de medida. Ejemplos:
 - Masa $m = 5,972 \times 10^{24} [\text{kg}]$
 - Tiempo $t = 2.2 \times 10^{-6} [\text{s}]$
 - Rapidez $v = 299,792.458 [\text{km/s}]$
- **Vectorial:** requiere de magnitud, sentido y dirección para quedar definida. Se representa por medio de un vector (una flecha) en un sistema de coordenadas y se opera mediante álgebra vectorial (suma, resta, producto punto, producto cruz, etc.). Ejemplos:
 - Fuerza $\vec{F} = (4000\hat{i} + 3000\hat{j}) [\text{N}] = 5000(\frac{4}{5}\hat{i} + \frac{3}{5}\hat{j}) [\text{N}]$
 - Velocidad $\vec{v} = -385\hat{k} [\text{km/h}]$
 - Aceleración $\vec{a} = -9.78\hat{k} [\text{m/s}^2]$



Modelos de cuerpos

En mecánica se emplean modelos idealizados que permiten simplificar el análisis. Unos de estos son:

Característica	Partícula	Rígido	Deformable
Dimensiones consideradas	✗	✓	✓
Forma constante	✗	✓	✗
Permite rotación	✗	✓	✓
Permite deformación	✗	✗	✓
Distribución de masa relevante	✗	✓	✓
Análisis interno (esfuerzos)	✗	✗	✓



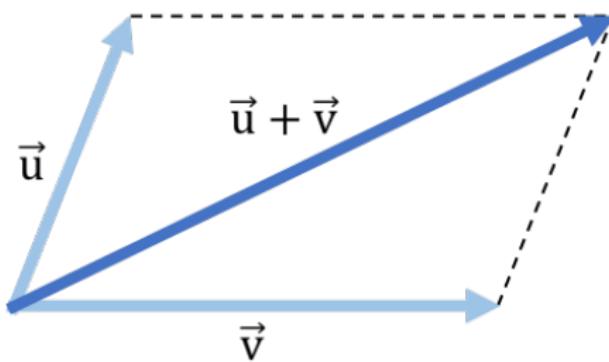
Aplicaciones de los modelos

- ① Análisis de la trayectoria de un proyectil
- ② Estudio de esfuerzos internos en una viga
- ③ Diseño del tren de engranajes de un robot industrial
- ④ Movimiento de un automóvil sin considerar su rotación
- ⑤ Determinación de la rotación de una turbina eólica
- ⑥ Cálculo de la deformación de una barra metálica bajo tracción axial
- ⑦ Estudio del equilibrio de una estructura articulada de múltiples barras
- ⑧ Simulación del movimiento de un satélite alrededor de la Tierra
- ⑨ Evaluación de tensiones en una placa delgada
- ⑩ Cálculo de la aceleración de una masa puntual en caída libre
- ⑪ Análisis de la dinámica de una rueda girando con fricción
- ⑫ Estimación de deformaciones en una prótesis ortopédica



Adición de fuerzas: Ley del paralelogramo

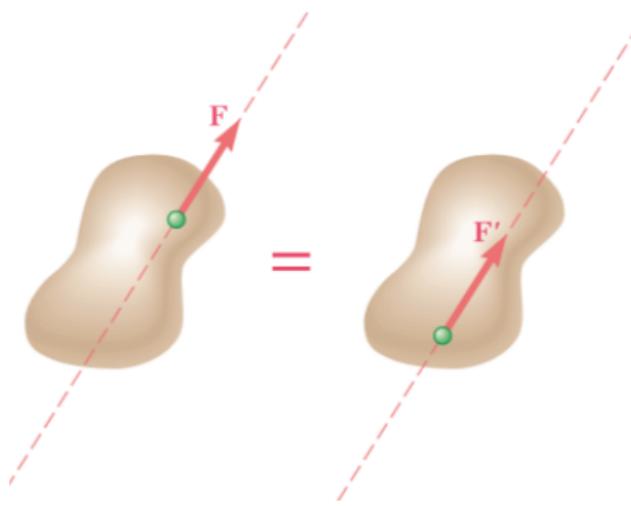
También conocida como "Principio de Stevin", esta ley establece que *Dos fuerzas que actúan sobre una partícula pueden ser sustituidas por una sola fuerza llamada **resultante**, obtenida al trazar la diagonal del paralelogramo que tiene los lados iguales a las fuerzas dadas.*



Adición de fuerzas: Principio de transmisibilidad

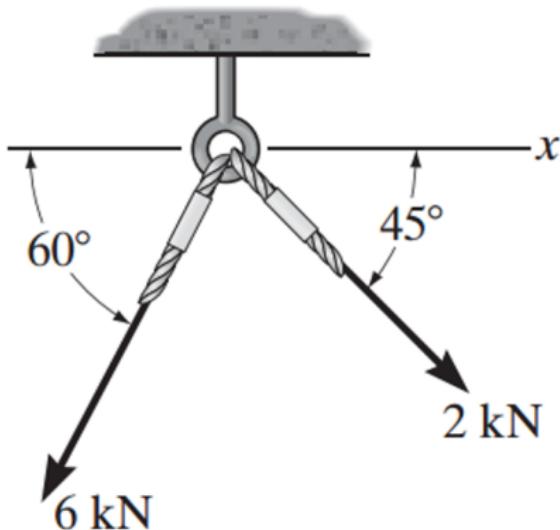
Establece que

Las condiciones de equilibrio o movimiento de un cuerpo rígido permanecen inalteradas si una fuerza que actúa en un punto del cuerpo rígido se sustituye por una fuerza de la misma magnitud y dirección, pero en un punto diferente, siempre y cuando las dos fuerzas tengan la misma línea de acción.



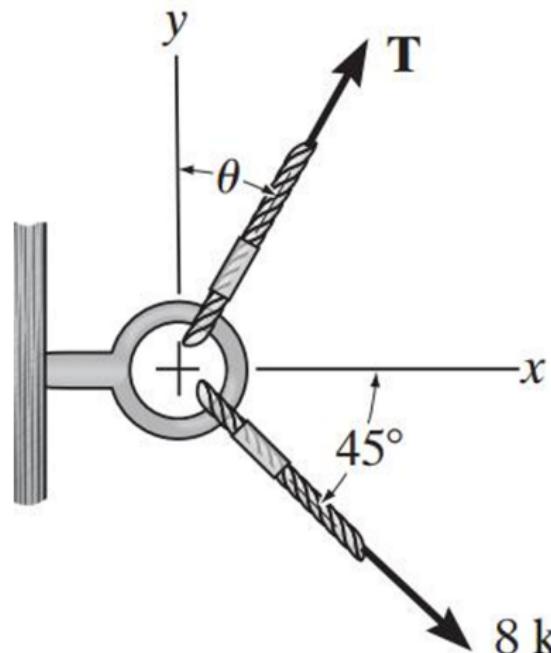
Ejercicio 11. Principio de Stevin

Determine la magnitud de la fuerza resultante que actúa sobre la armella y su dirección medida en el sentido contrario al de las manecillas del reloj desde el eje x.



Ejercicio 12. Principio de Stevin

Considere $\theta = 60^\circ$ y $T = 5[kN]$ y determine la magnitud de la fuerza resultante que actúa sobre la armella y su dirección medida en el sentido contrario al de las manecillas del reloj desde el eje y positivo.



Ley de la inercia

Primera ley de Newton: ley de la inercia

Todo cuerpo persevera su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme, a menos de que se le aplique una fuerza externa que cambie su estado.

Si la fuerza resultante que actúa sobre una partícula es cero, la partícula mantiene su estado de reposo o de movimiento a velocidad constante en línea recta.

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



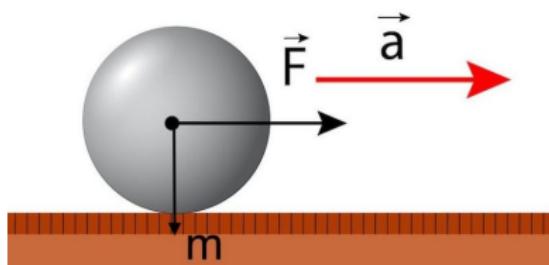
Ley de la dinámica

Segunda ley de Newton: ley de la dinámica

El cambio en la cantidad de movimiento de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza aplicada y ocurre en la misma dirección.

Si la fuerza que actúa sobre una partícula no es cero, la partícula tendrá una aceleración proporcional a la magnitud de la resultante y en la dirección de ésta.

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



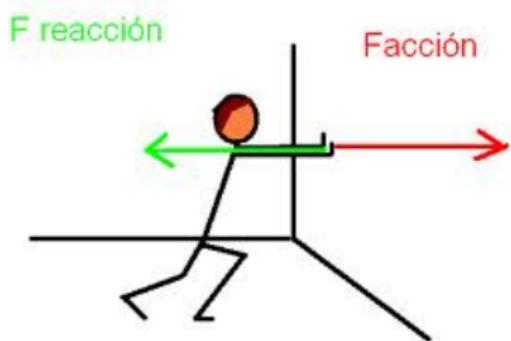
La primera ley es un caso particular de la segunda, cuando $\vec{a} = \vec{0}$

Ley de la acción-reacción

Tercera ley de Newton: acción-reacción

Para toda acción hay una reacción igual y contraria, o bien, las acciones mutuas de dos cuerpos son siempre iguales y de sentido contrario.

Las fuerzas de acción y reacción de cuerpos en contacto tienen la misma magnitud, la misma línea de acción y sentido contrario.



Ley de Gravitación Universal

Observando el movimiento de los astros, Newton introdujo la idea de una acción (fuerza) ejercida a distancia.

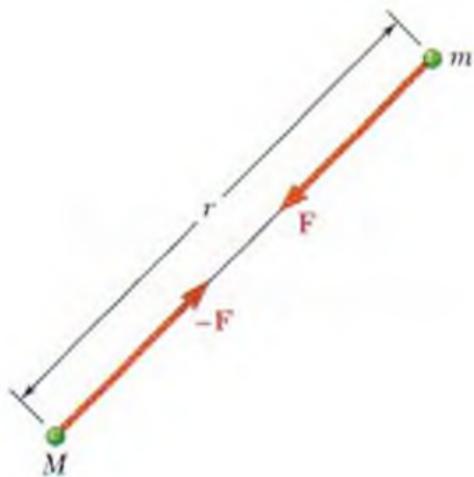
Dos partículas de masa m_1 y m_2 se atraen mutuamente con fuerzas iguales en dirección y magnitud, pero de sentidos opuestos.

La magnitud de las fuerzas \vec{F} y $-\vec{F}$
está dada por

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

Donde:

- r es la distancia entre las dos partículas
- $G = 6,67 \times 10^{-11} [Nm^2/kg^2]$ es la constante de gravedad



Gravedad en la Tierra

Un caso de importancia es el de la acción de la Tierra sobre una partícula en su superficie; aquí la fuerza \vec{F} ejercida sobre la partícula se define como peso \vec{W} .

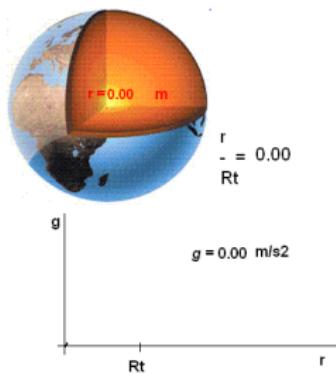
Si se toma como R la distancia entre la partícula y el centro de la Tierra, y M como la masa de la Tierra; se puede calcular una constante conocida como **aceleración por la gravedad**.

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

g varía con la posición de la partícula. Para el curso, es aceptable suponer que $g = 9,81[m/s^2] = 32,2[ft/s^2]$. En el laboratorio tomaremos $g = 9,78[m/s^2]$, pues es la aceleración local por la gravedad para Ciudad Universitaria.

Variación de la gravedad con la altura

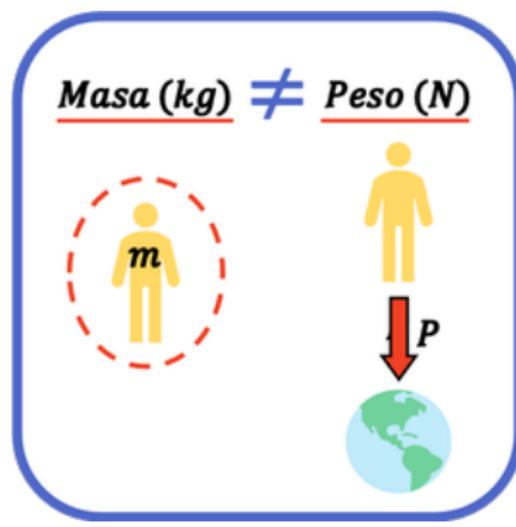
La simulación supone que la densidad de la Tierra es constante



Peso

La fuerza con la que la Tierra atrae una partícula de masa m , es conocida como **peso** \vec{W} y siempre se dirige hacia el centro de la Tierra (normalmente será hacia abajo), puede expresarse como:

$$\vec{W} = m\vec{g}$$



Ejercicios. Ley de Gravitación Universal

7. ¿A qué altura sobre la superficie terrestre el peso de un objeto se reduce 50%? El radio de la Tierra es de 6,370[Km].

TAREA 1

8. ¿A qué altura sobre la superficie terrestre el peso de un objeto se reduce 1%? El radio de la Tierra es de 6,370[Km].

9. Si un cuerpo que pesa de 500[N] sobre la superficie de la Tierra se eleva 2,000[Km], ¿cuánto pesará a esa altura? Considere que el radio de la Tierra es de 6,370[Km].



Ejercicio 10. Ley de Gravitación Universal

10. Sabiendo que la Luna dista de la Tierra una longitud de sesenta radios terrestres ($R = 6370\text{km}$), calcule a qué distancia d del centro de nuestro planeta debe colocarse un cuerpo de masa m para que las fuerzas de atracción que la Tierra y la Luna ejerzan sobre él sean iguales. La masa de la Tierra es seis veces mayor que la de la Luna.

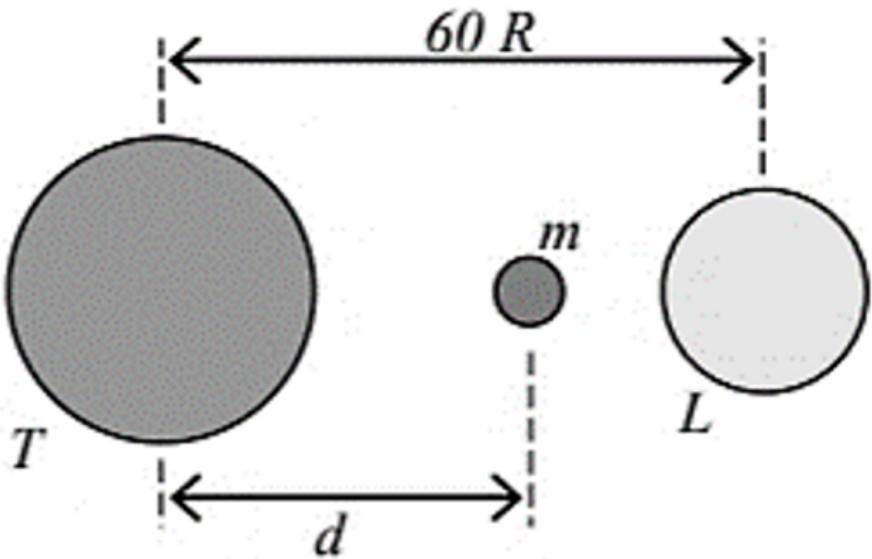


Diagrama de Cuerpo Libre

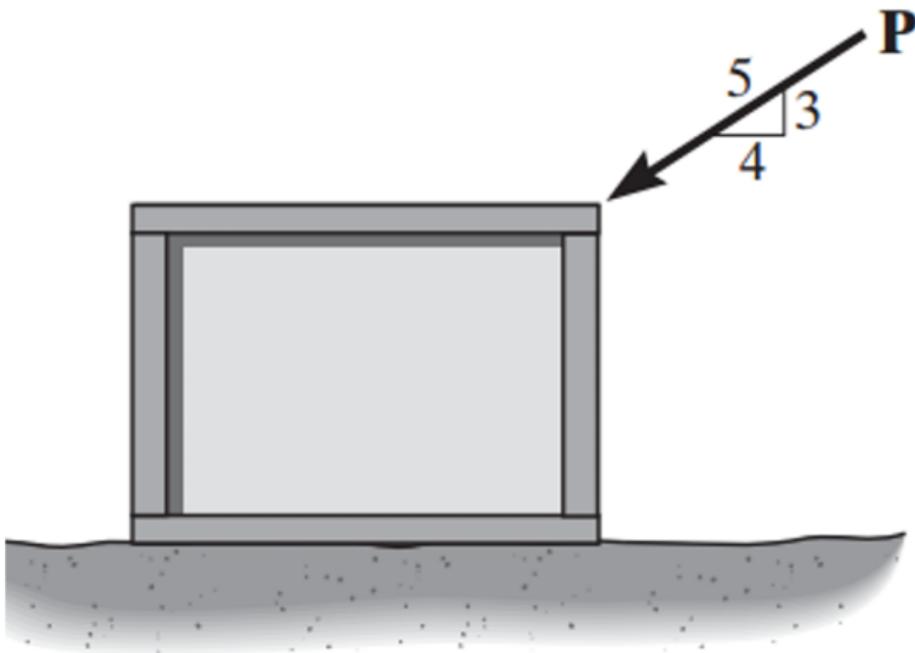
El DCL es un elemento gráfico que nos permite establecer analizar un cuerpo sometido a una o más fuerzas externas.

Para su dibujo se sugiere el siguiente procedimiento:

- ① Dibujar el cuerpo de estudio.
- ② Dibujar cada fuerza externa que actúa sobre el cuerpo como una flecha, y la información que se tenga de ella (dirección, magnitud y sentido). Algunas fuerzas comunes son:
 - Peso W : siempre que haya una masa y gravedad, va hacia el centro de la Tierra (abajo).
 - Normal N : siempre que haya contacto con una superficie, es la reacción que ejerce el contacto.
 - Fricción F_r : aparece cuando hay contacto con superficie rugosas, puede ser estática, estática máxima o cinética; siempre va en dirección contraria al movimiento relativo.
 - Tensión T : cuando hay cuerdas tensas.
- ③ Establecer el sistema de referencia (dirección de los ejes de coordenadas y origen en caso de ser necesario).

Ejercicio 25. Diagrama de Cuerpo Libre

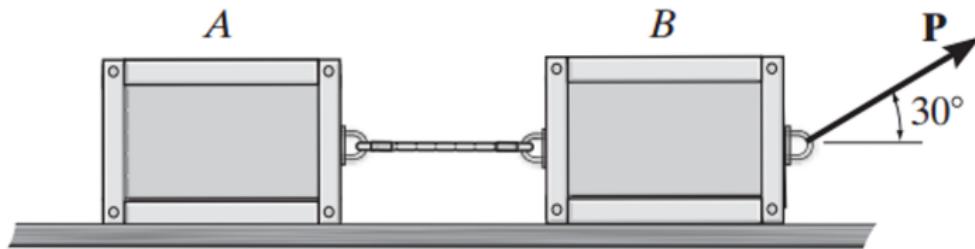
Dibuje el DCL de la caja en la figura si se encuentra sobre una superficie lisa.



Ejercicio 26. Diagrama de Cuerpo Libre

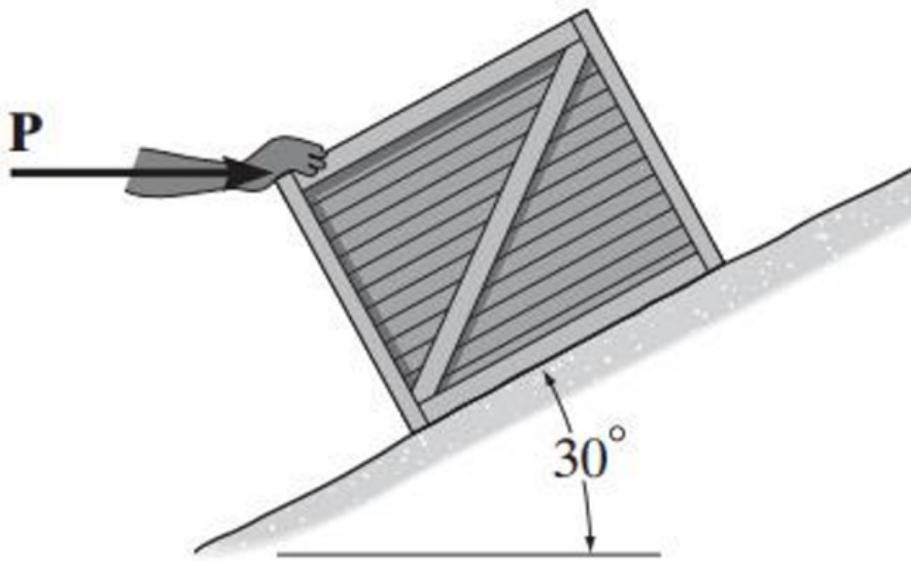
De la figura, considerando superficies lisas, dibuje el DCL de:

- a) la caja A,
- b) la caja B.



Ejercicio 27. Diagrama de Cuerpo Libre

De la figura dibuje el DCL de la caja. Consideré las superficies lisas.

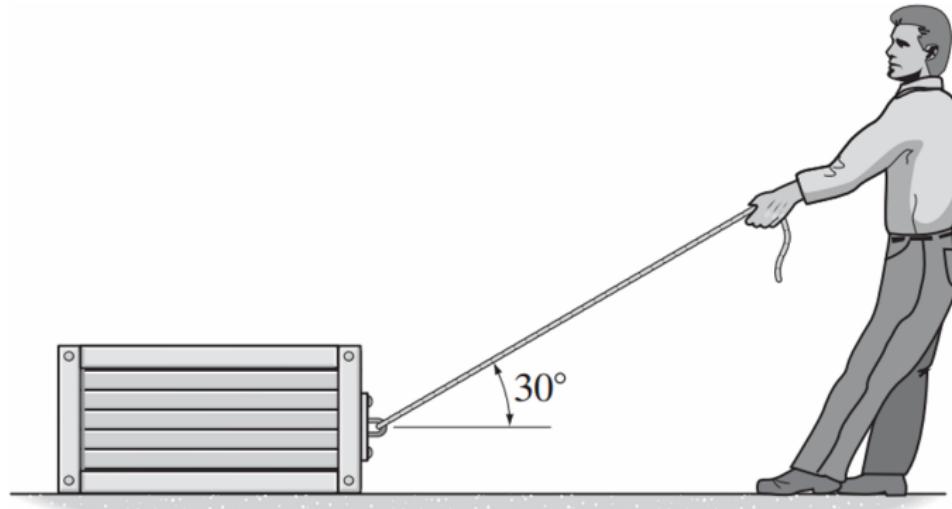


Ejercicio 28. Diagrama de Cuerpo Libre

De la figura dibuje el DCL de:

- a) la caja
- b) el hombre.

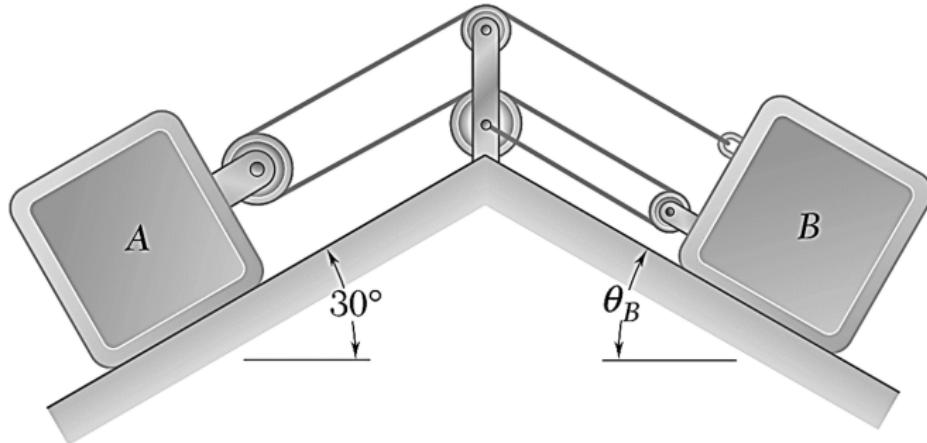
Todas las superficies son lisas.



Ejercicio 29. Diagrama de Cuerpo Libre

De la figura con superficies lisas, dibuje el DCL de:

- a) la caja A
- b) la caja B



Ejercicio 30: Diagrama de Cuerpo Libre

30. En la figura con superficies lisas, dibuje el DCL de: a) la caja A, b) la polea D, c) la polea C, d) la caja B

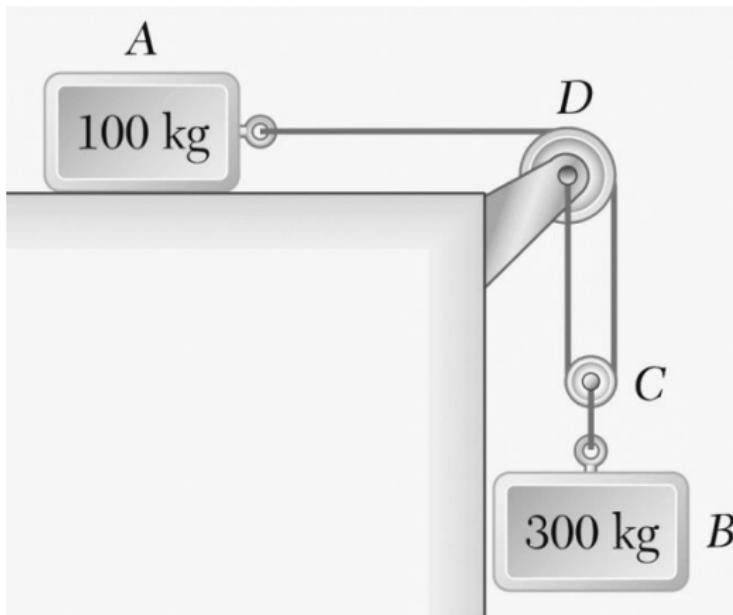
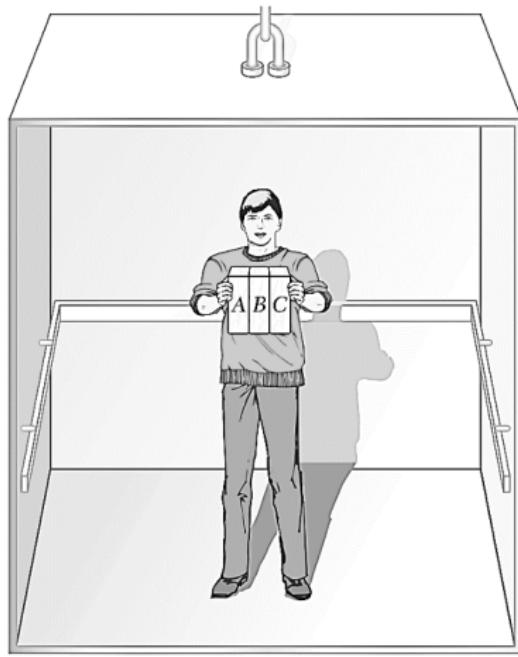


Figura 20

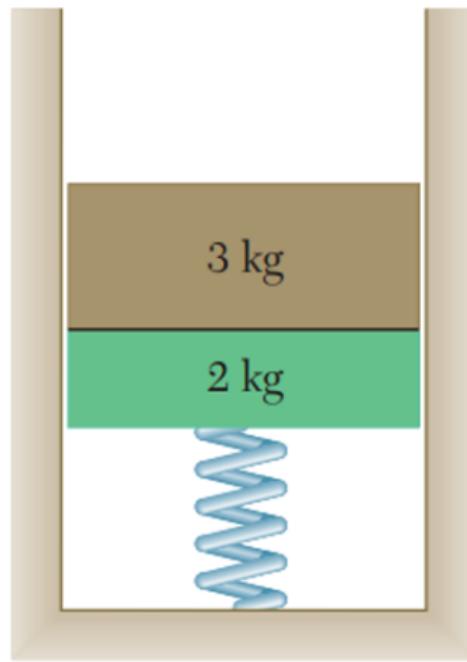
Ejercicio 31: Diagrama de Cuerpo Libre

Dibujar el DCL de: a) el hombre, b) la caja con libros y c) el elevador.



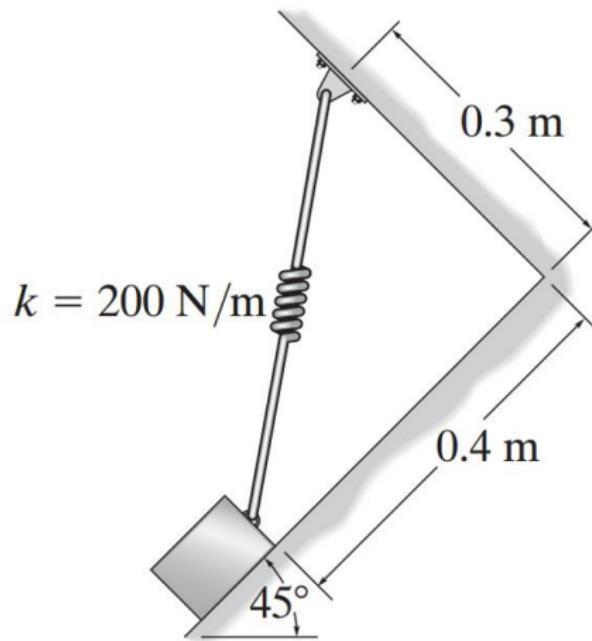
Ejercicio 32: Diagrama de Cuerpo Libre

Dibuje el DCL de: a) la caja de $3[kg]$, b) la caja de $2[kg]$ de la figura.



Ejercicio 33: Diagrama de Cuerpo Libre

Dibuje el DCL de la caja en la figura.



Fuerza de fricción

La fricción es una fuerza de resistencia al movimiento.

Dependiendo del tipo de materiales que entran en contacto, la fricción puede ser:

- **Fricción seca:** también llamada fricción de deslizamiento o de contacto, se opone al movimiento relativo de dos superficies en contacto. Se presenta en dos formas:
 - **Fricción estática (F_s):** actúa cuando no hay movimiento relativo. Tiene un valor máximo dado por:

$$F_{s_{\max}} = \mu_s N$$

- **Fricción cinética (F_k):** actúa cuando las superficies se deslizan una respecto a la otra. Se mantiene aproximadamente constante con un valor de:

$$F_k = \mu_k N$$

- **Fricción fluida:** ocurre cuando un cuerpo se mueve através de un fluido (líquido, vapor o gas). Se estudia en mecánica de fluidos.



Leyes de Coulomb-Morin

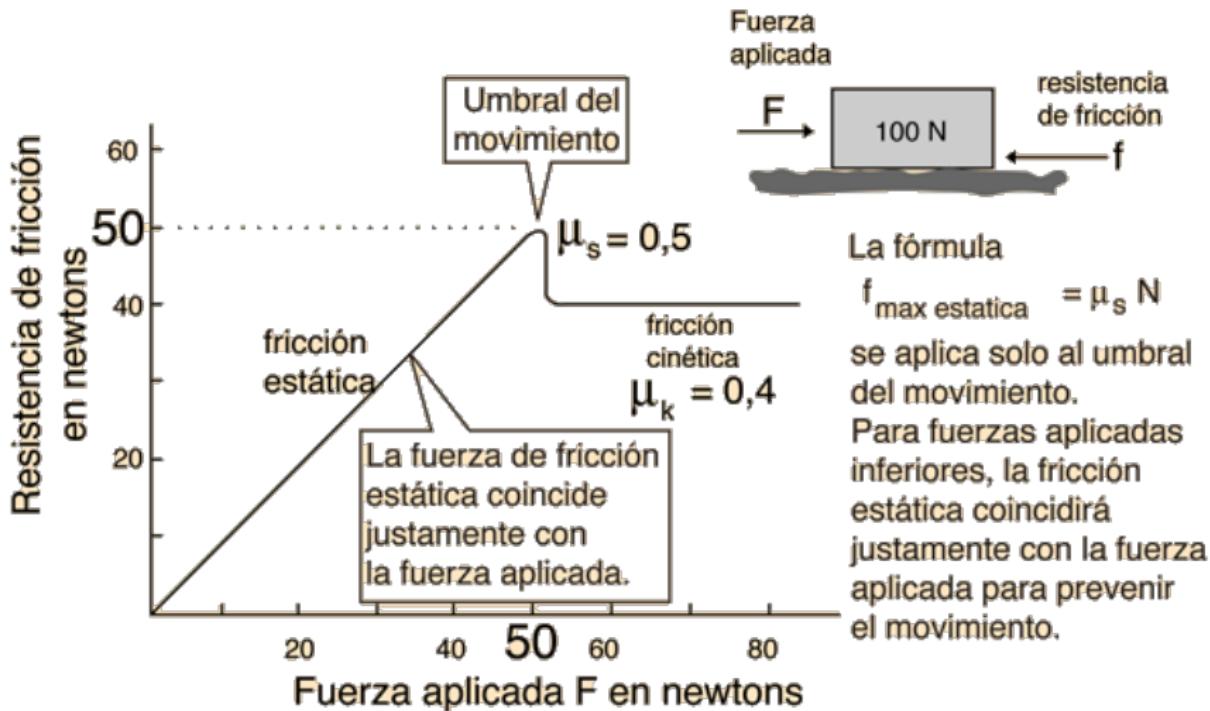
Aunque la fricción surge de procesos moleculares, se puede modelar de manera efectiva por medio de leyes empíricas.

En el siglo XVIII, Charles-Augustin de Coulomb llevó a cabo experimentos que derivaron en leyes, las cuales fueron refinadas por Arthur-Jules Morin, hasta llegar a lo que ahora conocemos como las Leyes de Coulomb-Morin:

- ① La fricción es proporcional a la fuerza normal entre superficies.
- ② La fricción es independiente del área de contacto aparente.
- ③ La fricción cinética es menor que la fricción estática máxima.
- ④ La fricción cinética es aproximadamente constante para velocidades moderadas.



Gráfica de fricción estática y cinética



Contacto

Eduardo Flores Rivas
Ingeniero Mecatrónico
Facultad de Ingeniería, UNAM
eduardo.flores@ingenieria.unam.edu



Referencias

-  BEER, Ferdinand, JOHNSTON, Russell, MAZUREK, David
Mecánica vectorial para ingenieros, estática.
10a. edición. México. McGraw-Hill, 2013.

-  BEER, Ferdinand, JOHNSTON, Russell, CORNWELL, Phillip
Mecánica vectorial para ingenieros, dinámica.
10a. edición. México. McGraw-Hill, 2013.

