

Unidad 8: Dinámica

1- Las fuerzas como medida de la interacción

Fuerza es toda causa que produce como efecto, bien una deformación, bien un cambio en el estado de movimiento de un sistema. Su unidad, en el SI, es el **newton** (N).

Es importante recordar que las fuerzas:

Son magnitudes vectoriales. Así, para definir las hay que proporcionar su punto de aplicación, dirección, sentido y módulo (o intensidad).

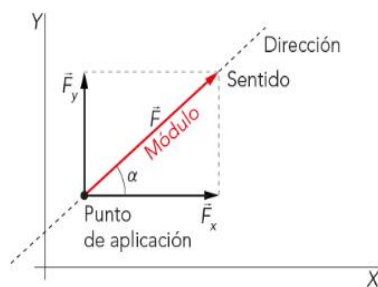
Pueden actuar **por contacto** o **a distancia**.

Al tratarse de interacciones (interacción $\equiv$ acción entre), **nunca se puede observar una fuerza aislada**. Siempre actúan por pares.

Cuando se aplican varias fuerzas sobre un mismo objeto, el efecto es el mismo que si actuara solo una, que llamamos **fuerza resultante**, o **neta**, que resulta de la composición (suma vectorial) de todas las que actúan.

Representación de las fuerzas

Vector fuerza



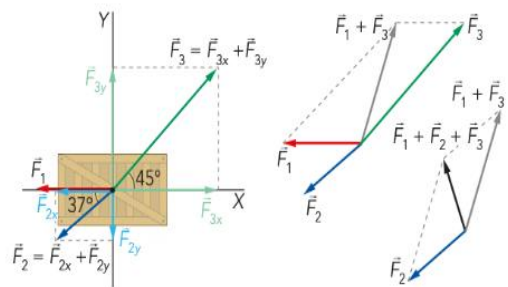
Componentes cartesianas

$$\begin{aligned} F_x &= F \cdot \cos \alpha \\ F_y &= F \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$

Como cualquier magnitud vectorial:

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y = F_x \cdot \vec{i} + F_y \cdot \vec{j}; F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}; \tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$$

Composición de fuerzas



La resultante de varias fuerzas se puede calcular tanto de modo gráfico como a partir de las componentes cartesianas de las fuerzas que actúan. En la separata del libro se explica cómo.

1.1- Fuerzas por contacto y de distancia

De las fuerzas que observamos en la vida cotidiana, solo actúan a distancia las gravitatorias (responsables del peso de los cuerpos) y las electromagnéticas (responsables de los fenómenos eléctricos y magnéticos).

En muchas ocasiones podemos observar cómo caen los objetos, o cómo se atraen, o repelen, dos imanes o dos cuerpos con carga eléctrica (por ejemplo, en la conocida experiencia de atraer trocitos de papel con un bolígrafo previamente frotado con un jersey de lana). Estos fenómenos, algunos de los cuales estudiaremos más adelante, ocurren sin contacto directo entre los cuerpos que interaccionan.

El resto de fuerzas de nuestro entorno (por ejemplo, la fuerza que ejerce la mesa para sostener este libro, o cuando empujamos o cogemos un objeto) son fuerzas de contacto.

2- Principios de la dinámica

Los principios de la dinámica, o leyes de Newton, relacionan el movimiento con la causa que lo produce. Fue Isaac Newton quien, mejorando y sintetizando trabajos anteriores, principalmente de Galileo, los enunció en su obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, publicada en 1687.

2.1- Primera ley. Principio de inercia

Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas aplicadas desde el exterior.

Esta ley encierra algunas cuestiones importantes que conviene aclarar:

- Contiene una **definición cualitativa de la fuerza** como agente capaz de variar el estado de reposo o de movimiento de los cuerpos, esto es, modificar su velocidad. **La fuerza, pues, origina una aceleración.**

- El reposo ($\vec{v} = 0$) y el movimiento rectilíneo uniforme ($\vec{v} = \text{cte}$) son dos estados equivalentes para una partícula material.
- Introduce el concepto de **inercia**, u oposición a los cambios de movimiento. En las figuras de la derecha se representan dos situaciones para clarificarlo.

Inercia



La botella está en reposo (respecto de la mesa). Si tiramos rápidamente del mantel, la fuerza actúa durante tan poco tiempo que prácticamente no altera el estado de reposo.



Si un vehículo frena bruscamente, los pasajeros tienden a mantener su estado de movimiento. Por eso salen despedidos hacia adelante.

2.2- Segunda ley. Principio fundamental de la dinámica

El cambio en el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa sobre él y tiene lugar en la dirección de la fuerza.

Esto significa que la fuerza se puede expresar, matemáticamente, como el producto de una constante por la aceleración. La constante de proporcionalidad es la masa del cuerpo:

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

Cuestiones a considerar de esta ley son:

- En su expresión matemática, la fuerza es la **resultante** de todas las aplicadas sobre el cuerpo.
- La fuerza tiene la misma dirección y sentido que la aceleración.
- Constituye una **definición cuantitativa, o dinámica, de la fuerza**.

- Permite definir el **newton**, unidad de fuerza del SI, como la **fuerza que, aplicada a 1 kg de masa, le comunica una aceleración de 1 m/s².**
- La primera ley introduce el concepto de inercia, y la segunda nos indica su valor. **La masa es la magnitud que mide la cantidad de inercia de un cuerpo.**
- Se trata de una ecuación vectorial, por lo que, en componentes cartesianas:

$$F_x = m \cdot a_x \quad ; \quad F_y = m \cdot a_y$$

2.3- Tercera ley. Principio de acción y reacción

Para toda acción hay siempre una reacción en sentido opuesto e igual en módulo. Las acciones recíprocas de dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas en sentidos contrarios.

Algunas consideraciones de importancia son:

- Podemos llamar acción a cualquiera de ellas. La reacción será la otra fuerza, que actúa sobre el otro cuerpo.
- **Actúan simultáneamente**, cada una sobre uno de los cuerpos que interaccionan. Por tanto, nunca podrán anularse, ya que actúan **sobre cuerpos distintos**.
- Este principio, evidente cuando hay contacto, también **se cumple en las interacciones a distancia**.

3- Cantidad de movimiento o momento lineal

El enunciado original de la segunda ley de Newton no hacía referencia a la aceleración, sino a la variación del movimiento. Lo que Newton llamaba movimiento hoy se llama **cantidad de movimiento**:

*La **cantidad de movimiento**, o **momento lineal**, de una partícula es una magnitud física definida como el producto de la masa de la partícula por su velocidad.*

En el lenguaje matemático:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Se trata de una **magnitud vectorial** que tiene la **misma dirección y sentido que la velocidad** y, como esta, depende del sistema de referencia. El momento lineal es un concepto físico de mucha importancia, pues combina los dos elementos que caracterizan el estado dinámico de una partícula: la masa y la velocidad. Su unidad, en el SI, es kg · m/s.

3.1- Variación del momento dipolar

Con la definición de aceleración, y suponiendo que la masa de la partícula es constante, obtenemos el enunciado original de la segunda ley de Newton:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \cdot (m \cdot \vec{v}) = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Si la fuerza neta que actúa sobre la partícula es constante, esta expresión se puede escribir con incrementos.

Así, para la variación de la cantidad de movimiento producida por una fuerza constante, se obtiene la expresión:

$$\Delta\vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Observa que **una partícula libre de fuerzas ($\vec{F} = 0$) mantiene constante su momento lineal ($\Delta\vec{p} = 0$)**.

3.2- Teorema del impulso mecánico

El efecto de una fuerza sobre un cuerpo depende tanto de su módulo como del intervalo de tiempo durante el que actúa. Para tener en cuenta este hecho, se define otra magnitud:

*El **impulso mecánico** de una fuerza es el producto de la fuerza por el intervalo de tiempo durante el que actúa.*

Matemáticamente:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Se trata de una **magnitud vectorial** que tiene la **misma dirección y sentido que la fuerza**. Su unidad en el SI es $N \cdot s$.

Utilizando esta magnitud se puede enunciar el **teorema del impulso mecánico, o del momento lineal**, que establece que:

El impulso mecánico de la fuerza resultante que actúa sobre una partícula es igual a la variación de su cantidad de movimiento.

Matemáticamente, se expresa como:

$$\vec{I} = \Delta \vec{p}$$

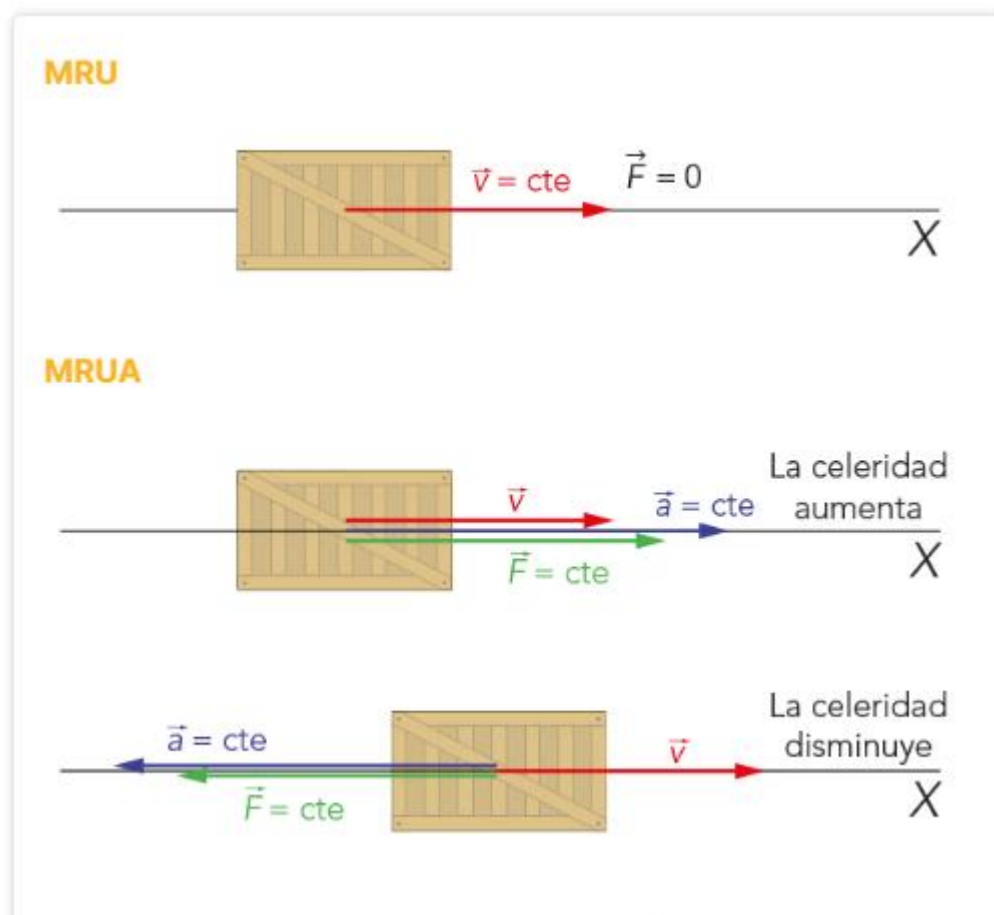
4- Dinámica de algunos movimientos

Para aplicar las leyes de la dinámica a los movimientos estudiados en las unidades anteriores, es importante recordar que **la fuerza que aparece en la expresión matemática de la segunda ley de Newton es la resultante** de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, que se obtiene como suma vectorial de todas ellas.

4.1- Movimiento rectilíneo

En un MRU no existe aceleración, por lo que la fuerza neta que actúa sobre el móvil es nula. Lo habitual es que el cuerpo esté sometido a fuerzas, como el peso, la normal, el rozamiento, la que se aplica para vencerlo, etc., pero la resultante de todas ellas ha de ser cero.

En el MRUA, la aceleración, que solo tiene componente tangencial, es constante y tiene la misma dirección que la velocidad. La fuerza que la origina, según la segunda ley de Newton, debe estar aplicada también en la misma dirección. Si actúa en el mismo sentido que la velocidad, aumentará el módulo de esta; si lo hace en sentido contrario, disminuirá. Además, para producir una aceleración constante, la fuerza que actúa sobre el cuerpo ha de ser, también, constante.



5- Estudio dinámico de situaciones cotidianas

En el estudio de las situaciones que se presentan a continuación, seguiremos el mismo procedimiento:

1. Se identifican las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo, por contacto o a distancia, consecuencia de las interacciones que experimenta.
2. Se dibujan en un diagrama de fuerzas, aplicadas en su centro de masas (recuerda el concepto de partícula material).
3. Utilizando un sistema de referencia adecuado, según lo visto en el apartado anterior, se calculan las componentes de cada fuerza y las de la resultante.
4. Se aplica la segunda ley de Newton.

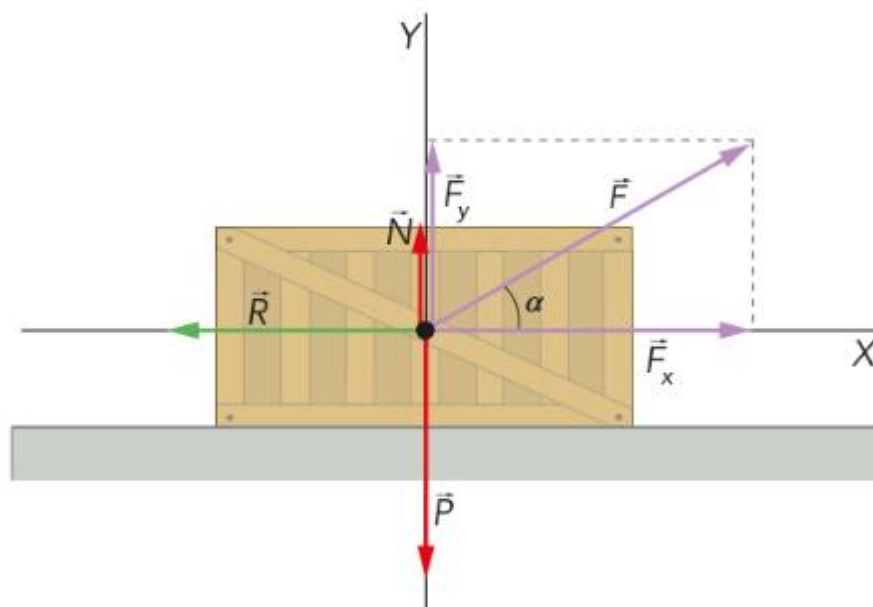
5.1- Movimiento en plano horizontal

Se recomienda utilizar un sistema de referencia en el que el semieje X positivo coincida con la dirección y sentido del movimiento. En el caso más general, la fuerza que lo produce (que puede ser la resultante de varias) forma un ángulo con la horizontal.

La componente X de la resultante es la causa de los cambios en el movimiento, y la componente Y es nula (no hay desplazamiento vertical), lo que nos permite calcular la fuerza normal y, con ella, la fuerza de rozamiento:

Sistema de referencia y fuerzas

Plano horizontal



$$F_x = m \cdot a ; F_y = 0$$

$$F_x - F_R = m \cdot a ; N + F_y = P$$

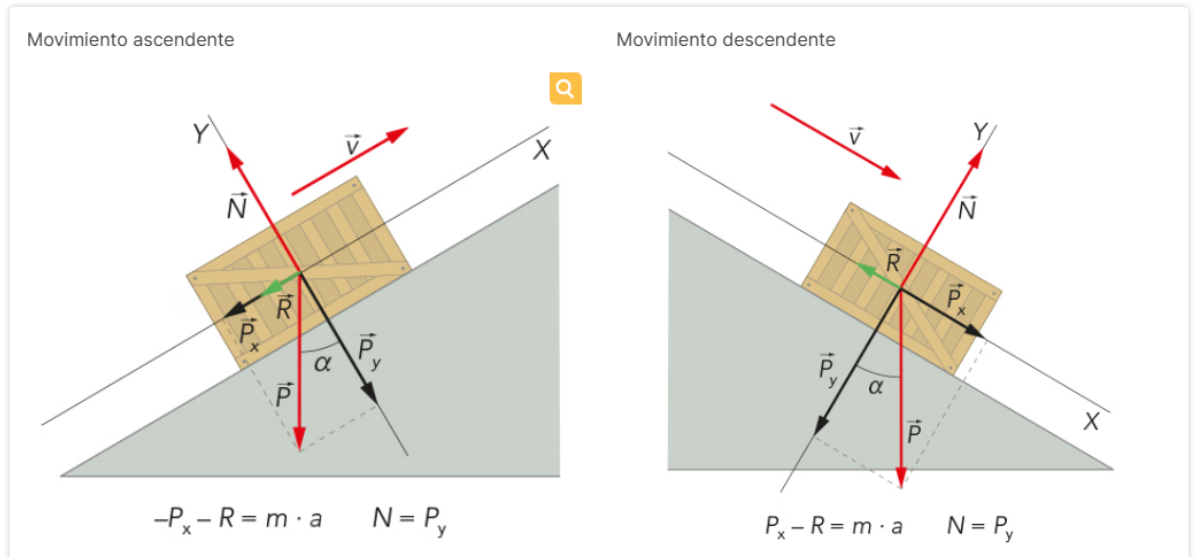
5.2- Movimiento en un plano inclinado

El sistema de referencia adecuado es aquel en el que el semieje X positivo coincide con el sentido del movimiento. Como en el caso del plano horizontal, la componente X de la resultante es la que provoca los cambios en el movimiento, y la componente Y es nula.

$$F_x = m \cdot a \quad ; \quad F_y = 0$$

Debemos tener presente que **la fuerza de rozamiento siempre se opone al movimiento.**

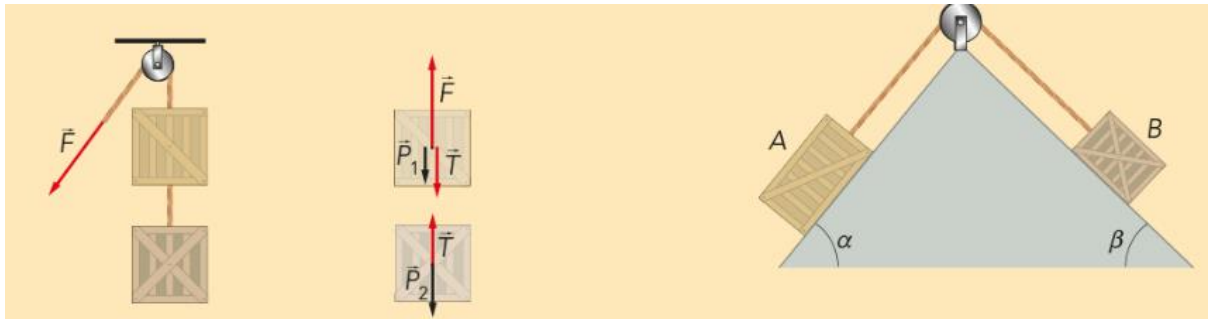
Plano inclinado



5.3- Movimiento de cuerpos enlazados

Para estudiar el movimiento de sistemas de cuerpos unidos por cuerdas y/o poleas se considerará que:

- **La tensión es la misma en todos los puntos de una cuerda tensa.** Esto resulta de considerarlas inextensibles y de masa despreciable.
- **Las poleas solo cambian la dirección de la tensión** (se considera que las poleas tienen masa despreciable).
- **Se pueden utilizar sistemas de referencia distintos para cada cuerpo.** En cada caso, haremos coincidir el sentido del movimiento con el semieje X positivo correspondiente.
- **La velocidad y la aceleración tendrán módulos iguales para todos los cuerpos del sistema,** como resultado de encontrarse unidos por cuerdas inextensibles.



6- Estática

Como habrás observado, en los epígrafes anteriores se ha considerado que todas las fuerzas actúan sobre el centro de masas del cuerpo. Pero ¿qué ocurre cuando actúan sobre otros puntos? Cuando se tiene en cuenta la forma de los cuerpos, estos pueden girar además de desplazarse. Aparece, entonces, el concepto de **equilibrio**.

Antes de estudiar las condiciones de equilibrio debemos entender cómo las fuerzas producen giros, debido a una magnitud que recibe el nombre de **momento**.

6.1- Momento de una fuerza

Se define el **momento de una fuerza** respecto a un punto como el vector que resulta del **producto vectorial de su vector posición por la fuerza**. En lenguaje matemático:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Su módulo es $M = r \cdot F \cdot \sin a$, siendo a el ángulo que forman los dos vectores, y su dirección y sentido vienen determinados por la regla del paralelogramo (figura inferior izquierda). En el SI, se expresa en $N \cdot m$.

Se trata de una magnitud muy frecuente en nuestro entorno, que ocasiona el giro de los cuerpos.

6.2- Momento de un par de fuerzas

Un caso particular es el de dos fuerzas paralelas de sentido contrario, $\vec{F}$ y $-\vec{F}$, que actúan sobre sendas partes de un cuerpo separadas una distancia determinada, d . Se habla, por tanto, del momento ejercido por un par de fuerzas.

En este caso, es sencillo comprobar que el módulo del momento es $M = F \cdot d$, siendo d la distancia que separa los puntos de aplicación de las fuerzas (figura inferior derecha).

Momento de una fuerza

Al definirse el momento como un producto vectorial, su dirección siempre es perpendicular a la del plano que contiene a los vectores $\vec{r}$ y $\vec{F}$. El sentido es el del avance de un tornillo que girase desde $\vec{r}$ hasta $\vec{F}$, antihorario en el caso de la imagen. Si la fuerza actuase en sentido contrario, el momento tendría sentido horario.

