Contenido

¿Qué es la física?

La *física* puede definirse como la ciencia que investiga los conceptos fundamentales de materia, energía y espacio, y las relaciones entre ellos.

Entre una de las ramas de estudio de la física, está la mecánica que estudia lo pertiente a la posición (***estática***) y el movimiento (***dinámica***) de la materia en el espacio.

La *estática* es el estudio de los fenómenos físicos asociados con los cuerpos en reposo, la *dinámica* revisa el movimiento y sus causas. En ambos casos, el ingeniero o técnico debe medir y describir las cantidades físicas en términos de causas y efectos.

¿Qué es la mecánica?

Puede definirse como la ciencia que describe y predice las condiciones de reposo o movimiento de los cuerpos bajo la acción de fuerzas. Es dividida en 3 partes:

- mecánica de los cuerpos rígidos
- mecánica de los cuerpos deformables
- mecánica de los fluidos

La mecánica es la base de la mayor parte de las ciencias y la ingeniería y es prerrequisito indispensable para su estudio. El propósito de la mecánica es explicar y predecir los fenómenos físicos y proporcionar las bases para las aplicaciones en la ingeniería.

Los conceptos básicos empleados en mecánica son: *espacio, tiempo, masa y fuerza.*

- ***Espacio*** se asocia con la noción de la posición de un punto ***P***. para definir un acontecimiento, no es suficiente indicar su posición en el espacio, debe conocerse también el ***tiempo*** en que transcurre.

- ***Masa*** representa la inercia o resistencia del cuerpo a los cambios de estado de movimiento, se utiliza para caracterizar y comparar los cuerpos sobre las bases de ciertos experimentos mecánicos fundamentales. Dos cuerpos de igual masa, por ejemplo, serán atraídos por la Tierra de la misma manera y ofrecerán la misma resistencia al cambio en el movimiento de traslación.

- Una ***fuerza*** representa la acción de un cuerpo sobre otro. Se acepta como definición formal que *fuerza* es una magnitud física que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas. Puede ser ejercida por contacto directo o a distancia, como en el caso de las fuerzas gravitacionales y las magnéticas. Una fuerza se caracteriza por *su punto de aplicación, su magnitud y su dirección, y se representa por un vector*.

1. Mediciones técnicas y vectores

En el proceso de una medición física, el técnico está frecuentemente interesado en la dirección y en la magnitud de una cantidad particular. La ***longitud*** de una viga de madera se determina por el ángulo que forma con la horizontal. La dirección de una ***fuerza*** aplicada determina su eficacia para producir un desplazamiento. La dirección en la cual una banda transportadora se mueve suele ser tan importante como la ***velocidad*** con que lo hace.

Cantidades físicas como *desplazamiento, fuerza y velocidad*, son encontradas con frecuencia en la industria. En esta unidad, el concepto de ***vectores*** es introducido para permitir el estudio de la ***magnitud*** y la ***dirección*** de las cantidades físicas.

1.1. Cantidades físicas

Una cantidad física se mide por comparación contra algún estándar conocido. Por ejemplo, podría ser que necesitáramos conocer la longitud de una barra metálica. Con instrumentos apropiados podríamos determinar que la longitud de la barra es de 12 pies. Esta longitud hubiera podido ser representada también como 3.66 m o 4 yardas, si hubiéramos utilizado otras medidas conocidas.

La *magnitud* de una cantidad física es dada por un ***número*** y una ***unidad*** de medida. Ambos son necesarios porque en sí mismos ni el número ni la unidad tienen significado. Con excepción de los números y las fracciones puros, es necesario incluir la mención de la unidad con la del número cuando se enuncia la magnitud de cualquier cantidad.

La ***magnitud*** *de una cantidad física queda completamente especificada mediante un número y una cantidad, por ejemplo 20 metros o 40 litros*.
Recuérdese que toda cantidad física se define diciendo cómo se mide. Dependiendo de los dispositivos de medición, cada cantidad puede ser expresada en varias unidades diferentes.

Por ejemplo, algunas unidades de *longitud* son metros, kilómetros, millas y pies, y algunas unidades de *velocidad* son metros por segundo, kilómetros por hora, millas por hora y pies por segundo.

Independientemente de las unidades escogidas, la ***distancia*** debe ser una *longitud* y la ***velocidad*** debe ser una *longitud* dividida entre el *tiempo*. Así *longitud* y *longitud/tiempo* son dimensiones de las cantidades físicas *distancia y velocidad*.

Nota: la velocidad se define en términos de dos cantidades más elementales (*longitud y tiempo*). Longitud y tiempo, no pueden ser definidos en términos más elementales. Por tanto se dice que la longitud y tiempo son *cantidades fundamentales* y la velocidad no es una cantidad fundamental.

1.2. El sistema internacional

El sistema internacional de unidades es esencialmente lo mismo que conocemos como *Sistema métrico*. El comité Internacional de Pesos y Medidas ha establecido 7 cantidades fundamentales y les ha asignado unidades básicas oficiales a cada cantidad. Un resumen de estas cantidades, sus unidades básicas y los símbolos de estas unidades se dan en la tabla siguiente:

Tabla de Unidades básicas del SI para cantidades fundamentales y dos complementarias

CANTIDAD	UNIDAD	SÍMBOLO
Unidades Básicas		
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundos	s
Energía eléctrica	ampere	A
Temperatura	kelvin	K
Intensidad luminosa	candela	cd
Cantidad de sustancia	mol	mol
Unidades complementarias		
Ángulo plano	radián	rad
Ángulo sólido	estereorradián	sr

Podemos medir muchas cantidades, como volumen, presión, velocidad y fuerza, que son combinaciones de 2 o más cantidades fundamentales. Sin embargo, nadie ha encontrado nunca una medición que no pueda expresarse en términos de longitud, masa, tiempo, corriente, temperatura, intensidad luminosa o cantidad de sustancia. A las combinaciones de estas cantidades se les llama *cantidades derivadas*, y se miden en cantidades derivadas. Algunas cantidades derivadas comunes están listadas en la tabla siguiente:

Unidades derivadas para cantidades físicas comunes

CANTIDAD	*UNIDAD DERIVADA*	*SÍMBOLO*
Área	metro cuadrado	m^2
Volumen	metro cúbico	m^3
Frecuencia	hertz	Hz, s^{-1}
Densidad de masa	kilometro por metro cúbico	kg/m^3
Velocidad	metro por segundo	m/s
Velocidad angular	radián por segundo	rad/s
Aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s^2
Aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s^2
Fuerza	Newton	N, $kg \cdot m/s^2$
Presión (tensión mecánica)	pascal	Pa, N/m^2
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m^2/s
Viscosidad dinámica	newton-segundo/metro cuadrado	$N \cdot s/m^2$
Trabajo, energía, cantidad de calor	joule	J, N · m
Potencia	watt	W, J/s
Cantidad de electricidad	coulomb	C
Diferencia de potencial, fuerza electromotriz	volt	V, J/C
Resistencia de campo eléctrico	volt por metro	V/m
Resistencia eléctrica	ohm	Ω, V/A
Capacitancia	farad	F, C/V
Flujo magnético	weber	Wb, V · s
Inductancia	henry	H, V · s/A
Densidad de flujo magnético	tesla	T, Wb/m^2
Resistencia de campo magnético	ampere por metro	A/m
Fuerza magneto motriz	ampere	A
Flujo luminoso	lumen	lm, cd · sr
Luminosidad	candela por metro cuadrado	cd/m^2
Iluminación	lux	lx, lm/m^2
Onda número	1 por metro	m^{-1}
Entropía	joule por kelvin	J/K
Capacidad de calor específica	joule por kilómetro kelvin	J(kg · K)
Conducta térmica	watt por metro kelvin	W/(m · K)
Intensidad radiante	watt por estereorradián	W/sr

Actividad (de una fuerza radiactiva)	1 por segundo	s^{-1}

Desgraciadamente, las unidades del SI no han sido totalmente adoptadas en muchas aplicaciones industriales. Por esta razón es necesario familiarizarse con las unidades más antiguas de las cantidades físicas. Las unidades del USCS para varias cantidades importantes se listan en la siguiente tabla:

Sistemas de unidades en Estados Unidos

MAGNITUD	UNIDAD DEL SI	UNIDAD DEL USCS
Longitud	Metro (m)	Pies (ft)
Masa	Kilogramo (kg)	slug (slug)
Tiempo	segundo (s)	segundo (s)
Fuerza (peso)	Newton (N)	libra (lb)
Temperatura	Kelvin (K)	grado rankin (R)

1.3. Medición de la longitud

La unidad estándar del SI para la longitud, el ***metro*** *(m), es la longitud exacta de 1 650 763.73 longitudes de onda de la luz roja-anaranjada del kriptón-86*.

Por supuesto, no necesitamos conocer esta definición para hacer mediciones precisas. Muchas herramientas, como metros simples y calibradores, se ajustan para concordar con la medida estándar. Una ventaja propia del SI con respecto a los otros sistemas de unidades es el uso de prefijos para indicar múltiplos de la unidad básica. La siguiente tabla define los prefijos aceptados y muestra su empleo para indicar múltiplos y subdivisiones del metro.

Múltiplos y submúltiplos para unidades del SI

PREFIJO	SÍMBOLO	MULTIPLICADOR	EJEMPLO
Tera	T	$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	1 terámetro (Tm)
Giga	G	$1\ 000\ 000\ 000 = 10^{9}$	1 gigametro (Gm)
Mega	M	$1\ 000\ 000 = 10^{6}$	1 megametro (Mm)
Kilo	K	$1\ 000 = 10^{3}$	1 kilómetro (Km)
Centi	C	$0.01 = 10^{-2}$	1 centímetro (cm)
Mili	M	$0.001 = 10^{-3}$	1 milímetro (mm)
Micro	µ	$0.000001 = 10^{-6}$	1 micrómetro (µm)
Nano	n	$0.000000001 = 10^{-9}$	1 nanómetro (nm)
-	Å	$0.0000000001 = 10^{-10}$	1 angstrom (Å)
Pico	p	$0.000000000001 = 10^{-12}$	1 pico metro (pm)

De la tabla anterior se puede determinar que:

1 metro (*m)* = 1000 milímetros (*mm*)

1 metro (*m*) = 100 centímetros (*cm*)

1 kilómetro (*km*) = 1000 metros (*m*)

Es recomendable utilizar el prefijo que permita expresar cada número dentro de una escala de 0.1 a 1000. Por ejemplo, 7 430 000 metros deberá expresarse como 7.43 x 10^6 m, y entonces debe presentarse como 7.43 megametros, abreviados 7.43 Mm. Normalmente no sería conveniente escribir esta medida como 7 430 kilómetros (7 430 km) a no ser que esta distancia deba compararse con otras distancias medidas en kilómetros. En el caso de la cantidad 0.00064 amperes, es correcto escribir ya sea 0.64 miliamperios (0.64 mA) o 640 microamperios (640 µA). Normalmente los prefijos se escogen para múltiplos de mil.

La relación entre el centímetro y la *pulgada* está dada por definición, 1 pulgada es exactamente igual a 25.4 milímetros. Está definición y otras definiciones útiles se incluyen en seguida (los símbolos de las unidades están entre paréntesis):

1 pulgada (in)	=	25.4 milímetros (mm)
1 pie (ft)	=	0.3048 metros (m)
1 yarda (yd)	=	0.914 metros (m)
1 milla (mi)	=	1.61 kilómetros (km)
1 metro (m)	=	39.37 pulgadas (in)
1 metro (m)	=	3.281 pies (ft)
1 metro (m)	=	1.094 yardas (yd)
1 kilómetro (km)	=	1.621 millas (mi)

1.4. Conversión de Unidades

A causa de que se requiere gran cantidad de unidades diferentes para diversos trabajos, se hace necesario con frecuencia convertir la medición de una unidad en otra. Por ejemplo, supóngase que un mecánico mide el diámetro exterior de un tubo de 1 3/16 in. Para ordenar un accesorio para el tubo, el mecánico tal vez necesite conocer este diámetro en milímetros. Tales conversiones pueden ser fácilmente realizadas con unidades algebraicas y aplicando el principio de cancelación o eliminación.

En el caso anterior, el mecánico debe convertir primero la fracción en un decimal.

1 1/16 in = 1.19 in

En seguida, el mecánico debe escribir la cantidad a convertir dando tanto el número como la unidad (1.19 in). Aquí recordaremos la definición que relaciona las pulgadas con los milímetros.

1 in = 25.4 mm

Puesto que este planteamiento es una igualdad, podemos formar dos razones, cada una igual a uno. Tales razones son llamadas *factores de conversión*.

$$\frac{1\ in}{25.4\ mm} = 1 \qquad \frac{25.4\ mm}{1\ in} = 1$$

Cualquiera de los factores de conversión arriba indicados puede ser multiplicado por 1.19 in sin cambiar la longitud representada. La multiplicación por la primera razón no da un resultado significativo, nótese que las unidades se tratan como cantidades algebraicas.

$$(1.19\ in)\left(\frac{1\ in}{25.4\ mm}\right)=\left(\frac{1.19}{25.4}\right)\left(\frac{in^2}{mm}\right)\quad ¡Erróneo!$$

Sin embargo, la multiplicación por la segunda razón da el siguiente resultado:

$$(1.19\ in)\left(\frac{25.4\ mm}{1\ in}\right)=\frac{(1.19)(25.4)}{(1)}\ mm=30.2\ mm$$

Por lo tanto, el diámetro exterior del tubo es de 30.2 mm. En la conversión de unidades se utiliza el procedimiento siguiente:

1. Escribir la cantidad a convertir.
2. Definir cada una de las medidas a convertir en términos de las unidades deseadas.
3. Para cada definición, fórmese dos factores de conversión, uno recíproco del otro.
4. Multiplicar la cantidad a convertir por aquellos factores que cancelen todas las unidades, salvo las deseadas.

A veces es necesario trabajar con cantidades que tienen unidades múltiples. Por ejemplo, *velocidad* se define como *longitud* por unidad de *tiempo* y puede tener unidades de *metros por segundo* (m/s), *pies por segundo* (ft/s), u otras unidades. El mismo procedimiento algebraico puede servir para la conversión de unidades múltiples.

Ejemplo:
Convertir la velocidad de 60 km/h en unidades de metro por segundo.
Recordemos dos definiciones que pueden resultar en cuatro posibles factores de conversión.

$$\frac{1000\ m}{1km}=1\quad \frac{1km}{1000\ m}=1\quad \text{y}\quad \frac{1\ h}{3600\ s}=1\quad \frac{3600\ s}{1\ h}=1$$

Escribimos la cantidad a convertir, y escogemos los factores de conversión que eliminan las unidades no deseadas.

$$\left(60\ {}^{km}/_{h}\right)\left(\frac{1000\ m}{1\ km}\right)\left(\frac{1\ h}{3600\ s}\right)=16.7\ {}^{m}/_{s}$$

Cuando se trabaja con fórmulas técnicas, simpre es útil sustituir las unidades tanto como los números. Por ejemplo, la fórmula para la velocidad ***v*** es:

$$v=\frac{s}{t}$$

En donde *s* = distancia recorrida en un tiempo *t*. así un autómovil que recorre 400 m en 10 s, su velocidad será:

$$v=\frac{400m}{10\ s}=40\ {}^{m}/_{s}$$

Cuando la velocidad aparezca en una fórmuladeberá siempre tener unidades de *longitud* dividida por *tiempo*. Se dice que estás son las *dimensiones* de la velocidad. Puede haber muchas unidades diferentes para una cantidad física dada, pero sus dimensiones resultan de una definición y éstas no cambian.

Al trabajar con ecuaciones y fórmulas físicas, será muy útil recordar dos reglas relacionadas con las dimensiones:
Regla 1. *Si dos cantidades han de sumarse o restarse, deberán ser de la misma dimensión.*
Regla 2. *Las cantidades a ambos lados de un signo de igualdad deben ser de la misma dimensión.*

Ejemplo:
Verifique la fórmula:

$$s = v_0 t + \tfrac{1}{2} a t^2$$

Es dimensionalmente correcta si $\boldsymbol{s}$ representa la distancia recorrida en el tiempo $\boldsymbol{t}$ mientras se acelera con una aceleración $\boldsymbol{a}$ a partir de una velocidad inicial $\boldsymbol{v_o}$. Supóngase que la aceleración tiene unidades de *metros por segundo* ala cuadrado (m/s^2).

Dado que las unidades de $\boldsymbol{a}$ se especifican, las unidades de $\boldsymbol{s}$, $\boldsymbol{v_o}$ y $\boldsymbol{t}$ deberán ser *metros, metros por segundo* y *segundos*, para mantener la congruencia. Ignorando el factor ½ que no tiene dimensiones, tenemos:

$$m = \frac{m}{s}(s) + \frac{m}{s^2}(s)^2$$

Que satisfacen tanto la *Regla 1* como la *Regla 2*. Así, la ecuación es dimensionalmente correcta. Podría ser que aun así no fuera una ecuación verdadera, pero el hecho de que las dimensiones sean congruentes es una prueba importante.

1.5. Cantidades vectoriales y escalares

Una ***cantidad escalar*** se específica completamente por su magnitud. Consiste en un número y una unidad. Ejemplos: *rapidez* (15 mi/h), *distancia* (12 km) y *volumen* (200 cm^3)

Las cantidades escalares que se miden en las mismas unidades pueden sumarse o restarse de la manera usual.

Una ***cantidad vectorial*** se específica completamente por su magnitud y su dirección. Consiste en un número, una unidad y una orientación angular. Ejemplos: *desplazamiento* (20 m, norte) y *velocidad* (10 m/s, 30°).

La dirección de un vector puede darse con referencia a las direcciones convencionales de norte, este, oeste y sur. Otro método para especificar la dirección que será especialmente útil es hacer referencia a unas líneas perpendiculares llamadas *ejes*. Estas líneas imaginarias suelen ser horizontal y vertical, la línea imaginaria horizontal usualmente se llama *eje x*, y la línea imaginaria vertical se llama *eje y*. Las direcciones se dan mediante ángulos medidos en el sentido contrario al avance de las manecillas del reloj a partir de la posición del eje *x* positivo.

Cabe recordar que cuando se realizan adiciones vectoriales deben considerarse tanto la magnitud como la dirección. Las adiciones son geométricas en vez de algebraicas. Es posible que la magnitud de un vector cuya suma sea menor que la magnitud de cualquiera de los desplazamientos de sus componentes.

La *magnitud* de un vector es siempre positiva, un signo negativo antes del símbolo de un vector únicamente invierte su dirección; por ejemplo, invierte la dirección de la flecha sin afectar la longitud. Si ***A = 20 m este***, entonces ***–A = 20 m oeste***.

1.6. Adición de vectores por métodos gráficos

El ***método del polígono*** es el más útil ya que puede ser fácilmente aplicado en la suma de más de dos vectores. El ***método del paralelogramo*** es muy útil para la suma de dos vectores cada vez. En ambos casos la magnitud del vector se indica a escala por la longitud de un segmento de recta.

Ejemplo del método del polígono:
Un barco viaja 100 mi hacia el norte en el primer día de su viaje, 60 mi hacia el noroeste en el segundo día y 120 mi al este en el tercer día. Encuéntrese el desplazamiento resultante por el *método del polígono*.

$$R = D_1 + D_2 + \ldots + D_n$$

Una escala apropiada puede ser 20 mi = 1 cm, usando esta escala encontramos que:

$$100\ mi = 100\ mi\ x \frac{1\ cm}{20\ mi} = 5\ cm$$

$$60\ mi = 60\ mi\ x \frac{1\ cm}{20\ mi} = 3\ cm$$

$$120\ mi = 120\ mi\ x \frac{1\ cm}{20\ mi} = 6\ cm$$

Midiendo con una regla, encontramos que la resultante marcada en el diagrama poligonal tiene una longitud de 10.8 cm. Por lo tanto, la magnitud es:

$$10.8\ cm = 10.8\ cm\ x \frac{20\ mi}{1\ cm} = 216\ mi$$

Sin embargo, la Ksuma *vectorial de los desplazamientos* $\mathbf{D_1}$ y $\boldsymbol{D_2}$ debe considerar tanto la dirección como las magnitudes. La cuestión no es ahora la distancia recorrida, sino el desplazamiento resultante. *Midiendo el ángulo ϑ con un transportador*, encontramos que la dirección es de 41°. El dezplazamiento resultante es, por tanto, ***R = (216 mi, 41°)***.

El *método del polígono* puede ser resumido como sigue:

1. Escoger una escala y determinar la longitud de las flechas que correspondan a cada vector.
2. Dibujar a escala una flecha que represente la magnitud y dirección del primer vector.
3. Dibujar la flecha del segundo vector de tal manera que su origen coincida con el extremo del primero.
4. Continuar con el procedimiento de unir el origen de cada nuevo vector con el extremo del vector precedente, hasta que todos los vectores del problema hayan sido dibujados.
5. Dibujar el vector resultante partiendo del origen (que coincide con el origen del primer vector) y terminado en el extremo, que coincide con el extremo del último vector.
6. Medir con regla y transportador la longitud y los ángulos que forman el vector resultante para determinar su magnitud y su dirección.

El ***método del paralelogramo***, que es útil para sumar dos vectores cada vez, consiste en dibujar los dos vectores a escala con sus origenes coincidiendo en un origen en común, los dos vectores forman de esta manera los lados adyacentes de un *paralelogramo*.

Los otros dos lados se construyen dibujando líneas paralelas a los vectores y de igual longitud. La resultante se obtiene dibujando la diagonal del paralelogramo a partir del origen común de las dos flechas que representan los vectores.

Ejemplo del método del paralelogramo:
Una cuerda se enreda alrededor de un poste teléfonico, en un ángulo de 120°. Si de uno de los extremos se tira con una fuerza de 60 lb y del otro con una fuerza de 20 lb, ¿Cuál es la fuerza resultante sobre el poste telefónico?

Usando la escala de 1 cm = 10 lb, obtenemos:

$$60\ lb\ x \frac{1\ cm}{10\ lb} = 6\ cm$$

$$20\ lb\ x \frac{1\ cm}{10\ lb} = 2\ cm$$

Un *paralelogramo* se construye al dibujar las dos fuerzas a escala, como un origen en común y formando un ángulo de 120° entre ellas. Se completa el *paralelogramo* y se dibuja la resultante a partir del origen. Al medir la longitud y el ángulo con regla y transportador, obtenemos valores de 53 lb para la magnitud y 19° para la dirección. Entonces tenemos que:

R = (53 lb, 19°)

1.7. La fuerza y su representación vectorial

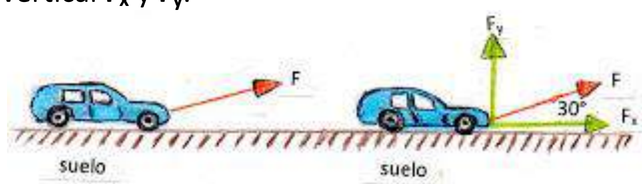
A la acción de empujar o tirar de un cuerpo se le llama *fuerza*. Es probable que la fuerza que nos es más familiar sea la de la atracción gravitacional que la Tierra ejerce sobre cada cuerpo. A esta fuerza se le llama *peso* del cuerpo. El peso es una cantidad vectorial dirigida hacia el centro de la Tierra. El SI de unidades tiene al *newton* (N) como unidad de fuerza. Su relación con la unidad de SUEU, la *libra* (lb), es:

$$1\ N = 0.225\ lb \qquad 1\ lb = 4.45\ N$$

Dos de los efectos producidos por fuerzas y que se pueden medir son:

1. Cambiar las dimensiones o forma de un cuerpo
2. Cambiar el movimiento del cuerpo

Dado que en primer caso no existe desplazamiento resultante del cuerpo, el cambio de forma se denomina ***fuerza estática***. Si una fuerza cambia el movimiento del cuerpo, recibe el nombre de ***fuerza dinámica***. La eficacia de cualquier fuerza depende de la dirección en que actúa. Llegamos así a la idea de los *componentes de una fuerza*, es decir, los valores eficaces de la fuerza en otras direcciones diferentes a la de la fuerza misma, la fuerza **F** ejercida a un ángulo ϑ puede ser remplazada por sus componentes horizontal y vertical $\mathbf{F_x}$ y $\mathbf{F_y}$.



Ejemplo:
Una podadora de césped es empujada hacia abajo con una fuerza de 40 N con un ángulo de 50° con respecto a la horizontal. ¿Cuál es la magnitud del efecto horizontal de esta fuerza?

Primeramente hay que dibujar un diagrama, para traducir el problema expresado en palabras en una imagen. Para dibujar el diagrama con precisión se utiliza una regla y un transportador. Una escala de 1 cm = 10 N es conveniente para este ejemplo. El efecto horizontal de la fuerza de 40 N es la componente *x*, la medición de este segmento de línea nos da:

$$F_x = 2.57\ cm$$

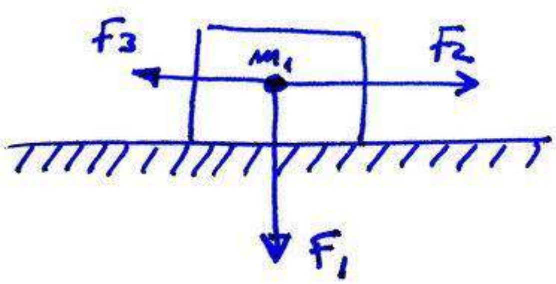
Puesto que un *cm = 10 N* obtenemos:

$$F_X = 2.57\ cm \frac{10\ N}{1\ cm} = 25.7\ N$$

Nótese que la fuerza eficaz es bastante menor que la fuerza aplicada. Como ejercicio adicional, muéstrese que la magnitud de la componente *hacia debajo de* la fuerza de 40 N es $F_y = 30.6\ N$.

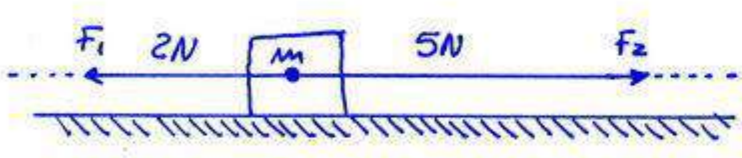
1.8. La fuerza resultante

Cuando dos o más fuerzas actúan en un mismo punto de un objeto, se dice que son *fuerzas concurrentes*. El efecto combinado de tales fuerzas se llama *fuerza resultante*.

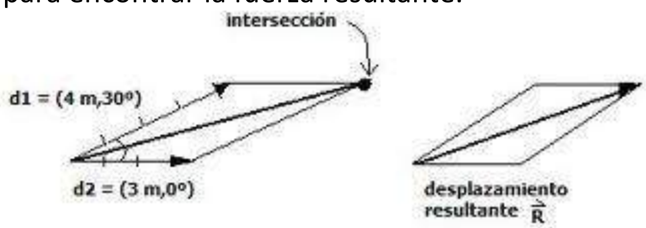


Composición de fuerzas concurrentes

Con frecuencia las fuerzas actúan sobre una misma línea, ya sean juntas o en oposición. Si dos fuerzas actúan sobre un mismo objeto en una misma dirección, la fuerza resultante es igual a la suma de las magnitudes de la fuerza; la dirección de la resultante sería la misma que la de cualquiera de las fuerzas. Si las dos mismas fuerzas actúan en direcciones opuestas, la magnitud de la fuerza resultante es igual a la *diferencia* de magnitudes de las dos fuerzas, y actúan en la dirección de la fuerza más grande.



Si las fuerzas actúan a un ángulo comprendido entre 0° y 180° de una con respecto a la otra, su resultante es el vector suma. El método del polígono o el método del paralelogramo para adición de vectores pueden utilizarse para encontrar la fuerza resultante.

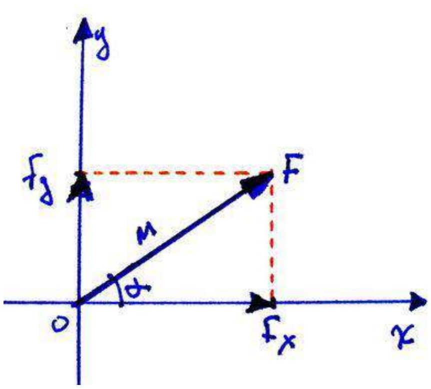


1.9. Trigonometría y vectores

La familiaridad con el *teorema Pitágoras* y alguna experiencia con las funciones *seno, coseno y tangente* es todo lo que se necesita para esta unidad de estudio.

Los métodos trigonométricos pueden mejorar su precisión y velocidad al determinar el vector resultante o al encontrar las componentes de un vector. Cualquier vector puede ser dibujado con su origen en el centro de estas líneas imaginarias. Las componentes del vector pueden verse como efectos a lo largo de los ejes ***x*** o ***y***.

Ejemplo:
¿Cuáles son las componentes ***x*** e ***y*** de una fuerza de 200 N con un ángulo de 60°?
Se dibuja un diagrama colocando el origen del vector 200 N en el centro de los ejes ***x*** e ***y***.



Utilización de la trigonometría para encontrar las componentes de un vector.

Componentes:

$$F_x = F \cos \vartheta$$
$$F_y = F \operatorname{sen} \vartheta$$

Primeramente calculamos la componente ***x***, $\boldsymbol{F_x}$ notando que ésta es el lado adyacente. El vector de 200 N es la hipotenusa. Utilizando la función coseno obtenemos:

$$\cos 60° = \frac{F_x}{200\ N}$$

De la cual:

$F_x = (200\ N) \cos 60° = 100\ N$

Para propósitos de cálculo reconocemos que el lado opuesto al ángulo de 60° es igual en longitud a $\boldsymbol{F_y}$. Así, podemos escribir

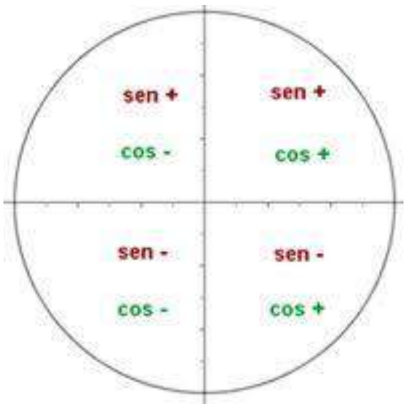
$$\operatorname{sen} 60° = \frac{F_y}{200\ N}$$

O

$$F_y = (200\ N)\ \operatorname{sen} 60° = 173.2\ N$$

Cuando tanto la componente ***x*** como la ***y*** de un vector se expresan en términos del ángulo ***ϑ*** entre el vector y el eje ***x*** positivo. Donde ***ϑ*** es el ángulo entre el vector y la parte positiva del eje ***x*** medido en dirección opuesta a las manecillas del reloj.

El signo de una componente dada puede ser determinando de un diagrama de vectores. Las cuatro posibilidades se muestran en la siguiente figura, la magnitud de la componente puede ser hallada al utilizar el ángulo agudo ***φ*** cuando el ángulo polar ***ϑ*** de la ecuación sea mayor de 90°.



a) En el primer cuadrante, el ángulo ϑ está entre 0° y 90°; tanto $\boldsymbol{F_x}$ como $\boldsymbol{F_y}$ son positivas.
b) En el segundo cuadrante, el ángulo ϑ está entre 90° y 180°; $\boldsymbol{F_x}$ es negativa y $\boldsymbol{F_y}$ es positiva.
c) En el tercer cuadrante, el ángulo ϑ está entre 180° y 270°; tanto $\boldsymbol{F_x}$ como $\boldsymbol{F_y}$ son negativas.
d) En el cuarto cuadrante, el ángulo ϑ está entre 270° y 360°; $\boldsymbol{F_x}$ es positiva y $\boldsymbol{F_y}$ es negativa.

Ejemplo***:***
Encuéntrese el valor de las componentes ***x*** y ***y*** de una fuerza de 400 N que actúa con un ángulo de 220° a partir del eje ***x*** positivo.

Refiérase al inciso c, que describe este problema para ***ϑ*** = 220°. El ángulo agudo ***φ*** se encontró mediante la referencia a 180°.

$$\varphi = 220° - 180° = 40°$$

De la figura, ambas componentes ***x*** e ***y*** son negativas. Por lo que,

$$\boldsymbol{F_x} = -\ |\ F \cos\varphi\ | = -\ (400\ N) \cos 40° = -\ (400\ N)\ (0.766) = \boldsymbol{-\ 306\ N}$$
$$\boldsymbol{F_y} = -\ |\ F \operatorname{sen}\varphi\ | = -\ (400\ N)\ \operatorname{sen} 40° = -\ (400\ N)\ (0.0.643) = \boldsymbol{-\ 257\ N}$$

La trigonometría es también útil para calcular la fuerza resultante. En el caso especial en que dos fuerzas $\boldsymbol{F_x}$ y $\boldsymbol{F_y}$ son perpendiculares entre sí, la resultante (R, ϑ) se puede encontrar así:

$$R = \sqrt{F^2{}_y + F^2{}_x} \quad \tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$

Si $\boldsymbol{F_x}$ o $\boldsymbol{F_y}$ son negativos, generalmente es más fácil determinar el ángulo agudo φ. El signo de las fuerzas determina el cuadrante que se ha de usar, y la ecuación se convierte en:

$$\tan\varphi = \left|\frac{F_y}{Fx}\right|$$

Solamente se necesitan los valores absolutos de $\boldsymbol{F_x}$ y $\boldsymbol{F_y}$. Si se desea, se puede calcular el ángulo ϑ que parte del eje $\boldsymbol{x}$ positivo al conocer el ángulo agudo φ. En cualquiera de los casos se deberá identificar claramente la dirección.
Ejemplo:
¿Cuál es la resultante de una fuerza de 5 N dirigida horizontalmente a la derecha y una fuerza de 12 N dirigida verticalmente hacia abajo?

Márquese las fuerzas $\boldsymbol{F_x}$ = 5 N y $\boldsymbol{F_y}$ = - 12 N (hacia abajo). Dibújese un diagrama de la situación (descrita en el inciso d). La magnitud de la resultante se obtiene de la ecuación:

$$R = \sqrt{F^2{}_y + F^2{}_x} = \sqrt{(5\ N)^2 + \ (-12\ N)^2} = \sqrt{25\ N^2 + \ 144\ N^2} = \sqrt{169\ N^2} = 13\ N$$

Para calcular la dirección, encuéntrese primero el $\boldsymbol{\varphi}$:

$$\tan\theta = \left|\frac{-12\ N}{5\ N}\right| = 2.4$$

$\boldsymbol{\varphi}$ = 67.4° hacia abajo del eje $\boldsymbol{x}$.

E ángulo $\boldsymbol{\vartheta}$ medido contra las manecillas del reloj a partir del eje $\boldsymbol{x}$ positivo es:

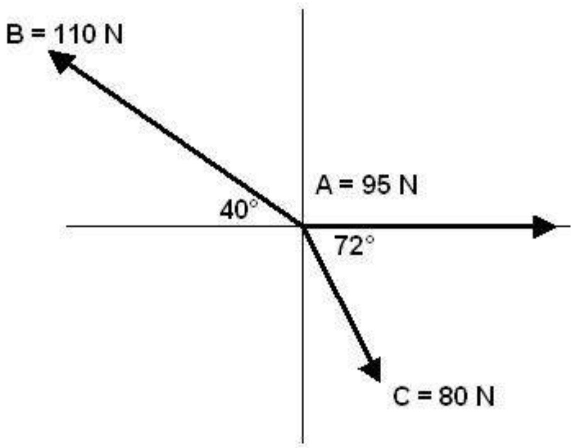
$$\boldsymbol{\vartheta} = 360° - 67.4° = 292.6°$$

La fuerza resultante es de:

13 N a 292.6°

1.10. El método de las componentes para adición de vectores

Las fuerzas que se intersectan en un punto en común o que tienen el mismo punto de aplicación se denominan *fuerzas concurrentes*. Cuando dichas fuerzas no están en ángulo recto una respecto de otra, el cálculo de la resultante puede ser más difícil.
No siempre los vectores caen a lo largo del eje $\boldsymbol{x}$ o del eje $\boldsymbol{y}$, y se necesita utilizar el *método de adición de componentes de vectores*.



Considerándose los vectores ***A***, ***B*** y ***C***, la resultante ***R*** es el vector suma ***A + B + C***, pero ***A*** y ***B*** no se encuentran a lo largo de un eje y no se pueden sumar en la forma usual. Puede utilizarse entonces el procedimiento siguiente:

1. Dibújese todos los vectores a partir del origen en un sistema de ejes coordenados.
2. Resuélvase todos los vectores en sus componentes *x* y *y*.
3. Encuéntrese la componente *x* de la resultante sumando las componentes en *x* de todos los vectores. (las componentes hacia la derecha son positivas y las de la izquierda son negativas)

$$R_x = A_x + B_x + C_x$$

4. Encuéntrese la componente *y* de la resultante sumando las componentes en *y* de todos los vectores. (las componentes hacia arriba son positivas y las componentes hacia abajo son negativas)

$$R_y = A_y + B_y + C_y$$

5. Obténgase la magnitud y la dirección de la resultante a partir de los dos vectores perpendiculares $\boldsymbol{R_x}$ y $\boldsymbol{R_y}$.

$$R = \sqrt{R^2{}_x + R^2{}_y} \qquad \tan\varphi = \frac{R_y}{R_x}$$

Ejemplo. Tres sogas están atadas a una estaca, ejerciéndose las fuerzas siguientes: *A = 20 lb hacia el este; B = 30 lb 30° al noroeste y C = 40 lb 52° al suroeste*. Determínese la fuerza resultante.
Siguiendo los pasos descritos anteriormente.

1. Dibuja un diagrama que represente todas las fuerzas. Dos cosas deben notarse de la figura: 1) todos los ángulos se miden a partir del eje ***x***, y 2) las componentes de cada vector se marcan y se colocan adyacentes u opuestas a los ángulos conocidos.

2. Encuentra las componentes ***x*** y ***y*** de cada vector. Debe tenerse cuidado de obtener el signo correcto para cada componente. Por ejemplo $\boldsymbol{B_x}$, $\boldsymbol{C_x}$ y $\boldsymbol{C_y}$ son negativos, los resultados se listan en la siguiente tabla:

Fuerza	φ_x	Componente x	Componente y
A = 20 lb	0°	$A_x = 20$ lb	$A_y = 0$
B = 30 lb	30°	$B_x = -(30\text{ lb})(\cos 30°) = -26$ lb	$B_y = (30\text{ lb})(\text{sen } 30°) = 15$ lb
C = 40 lb	52°	$C_x = -(40\text{ lb})(\cos 52°) = -24.6$ lb	$C_y = (-40\text{ lb})(\text{sen } 52°) = -31.5$ lb
		$R_x = \sum F_x = -30.6$ lb	$R_y = \sum F_y = -16.5$ lb

3. Añade las componentes en ***x*** para obtener $\boldsymbol{R_x}$.

$$R_x = A_x + B_x + C_x = 20\ lb - 26\ lb - 24.6\ lb = -30.6\ lb$$

4. Añádanse las componentes en ***y*** para obtener $\boldsymbol{R_y}$.

$$R_y = A_y + B_y + C_y = 0 + 15\ lb - 31.5\ lb = -16.5\ lb$$

5. Ahora encontremos $\boldsymbol{R}$ y $\boldsymbol{\vartheta}$ a partir de $\boldsymbol{R_x}$ y $\boldsymbol{R_y}$.

$$R = \sqrt{{R^2}_y + {R^2}_x} = \sqrt{(-30.6)^2 + (-16.5)^2} = \sqrt{936.4 + 272.2} = 34.8\ lb$$

$$\tan\varphi = \left|\frac{R_y}{Rx}\right| = \left|\frac{-16.5}{-30.6}\right| = 0.539$$

$$\varphi = 28.3°\ S\ del\ E\ (208.3°)$$

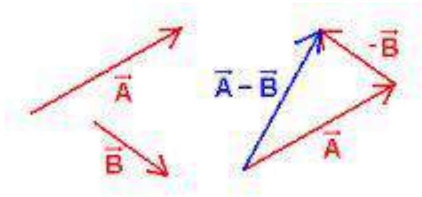
Así, la fuerza resultante es de *34.8 lb a 28.3° al sureste*.

1.11. Diferencia de vectores

La diferencia de dos vectores se obtiene realizando la suma de un vector y el negativo del otro vector (*el vector que es igual en magnitud pero opuesto en dirección*). Por ejemplo, así como en álgebra podemos decir:

$$a - b = a + (-b)$$

En diferencia de vectores podemos escribir que:



$$A - B = A + (-B)$$

El proceso de la resta de vectores se ilustra en la siguiente figura.

2. Leyes de Newton

Cuando uno empieza con la física estas leyes sirven básicamente para resolver ejercicios en el que te dan la masa de un cuerpo y la fuerza que actúa sobre él y, a partir de ahí, calculas la aceleración.

2.1 Primera ley de Newton

A esta ley se le llama a veces ***ley de la inercia***; *los objetos tienden a seguir a la misma velocidad y en la misma dirección*, eso del cambio no va con ellos. Por ejemplo, si se lanza algo lo que se observa siempre es que tiende a pararse; los objetos tienden a seguir a la misma velocidad y en la misma dirección cuando no haya una fuerza actuando sobre ellos.

¿Qué es una fuerza?
Es todo aquello que *tiende a cambiar la velocidad o la dirección en la que se mueve un objeto*. Para calcular la fuerza que actúa sobre un objeto, pasemos a la segunda ley.

2.2 Segunda ley de Newton

La segunda ley de Newton es una fórmula que dice $\boldsymbol{F = m \cdot a}$, F es la fuerza que actúa sobre el objeto, m es la masa del objeto sobre el que actúa la fuerza y a es la aceleración que adquiere el objeto por culpa de la fuerza. Entonces si, como mencionamos antes, una fuerza lo que hace es variar la velocidad y/o dirección de un movimiento, y además es igual *a la masa por la aceleración* ¿Qué es lo que cambia en el objeto para que exista una variación? Una pista, la masa de un objeto suele ser constante, por lo tanto, la variación en la velocidad y/o dirección de los objetos se traduce en una aceleración.

2.3 Tercera ley de Newton

También llamada ***ley de acción – reacción*** y se denota como $\boldsymbol{F_{1 \to 2} = - F_{2 \to 1}}$, lo cual es equivalente a decir que si un objeto *A* ejerce una fuerza contra un objeto *B*, entonces el objeto *B* ejerce exactamente la misma fuerza contra el objeto *A*, pero en sentido contrario. Por ejemplo, nosotros estamos ejerciendo siempre una fuerza contra la Tierra, debido a la fuerza de gravedad. Esta fuerza que ejercemos hacia abajo hace que no salgamos flotando, pero a la vez la Tierra ejerce una fuerza hacia arriba igual, gracias a esta segunda fuerza no estamos en el centro del planeta formando parte del núcleo (nos mantiene en la superficie).

3. Cinemática

La descripción matemática del movimiento constituye el objeto de una parte de la física denominada *cinemática*, tal descripción se apoya en la definición de una serie de magnitudes que son características de cada movimiento o de cada tipo de movimientos. Los movimientos más sencillos son los rectilíneos y dentro de estos los uniformes. Los movimientos circulares son los más simples de los de trayectoria curva.

3.1 El movimiento y su descripción

Se dice que un cuerpo se mueve cuando cambia su posición respecto de la de otros supuestos fijos, o que se toman como referencia. El movimiento es, por tanto, cambio de posición con el tiempo.

De acuerdo con la anterior definición, para estudiar un movimiento es preciso fijar previamente la posición del observador que contempla dicho movimiento, en física hablar de un observador equivale a situarlo fijo con respecto al objeto o conjunto de objetos que definen el *sistema de referencia*. Es posible que un mismo cuerpo esté en reposo para un observador – o visto desde un sistema de referencia determinado – y en movimiento para otro.

El estado de reposo o de movimiento de un cuerpo no es, por tanto, absoluto o independiente de la situación del observador, sino relativo, es decir, depende del sistema de referencia desde el que se observe.

El concepto de cinemática

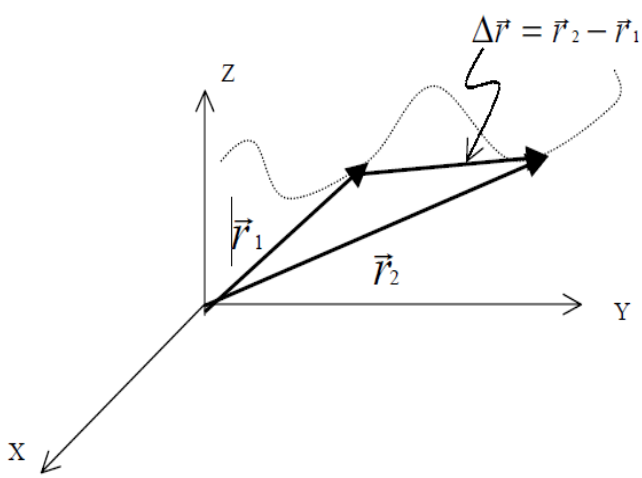
Es posible estudiar el movimiento de dos maneras:

a) Describiéndolo, a partir de ciertas magnitudes físicas, a saber: posición, velocidad y aceleración (cinemática) y;
b) Analizando las causa que originan dicho movimiento (dinámica).

En el primer caso se estudia *cómo* se mueve un cuerpo, mientras que en el segundo se considera por *qué* se mueve. Por lo tanto, la *cinemática* es la parte de la física que estudia cómo se mueven los cuerpos sin pretender explicar las causas que originan dichos movimientos.

3.2 Definiciones de la cinemática

- ***Vector de posición***: es un vector, en general tridimensional, el cual define la posición de una partícula o cuerpo. En coordenadas cartesianas rectangulares, sus componentes ***X***, ***Y*** y ***Z*** pueden ser estudiadas por separado. Generalmente se designa por el vector ***r*** que va desde el origen del sistema de coordenadas hasta el lugar donde se encuentra la partícula.
- ***Trayectoria***: para simplificar el estudio del movimiento, representamos a los cuerpos móviles por puntos geométricos, olvidándonos, por el momento, de su forma y tamaño. Se llama trayectoria a la línea que describe el punto que representa al cuerpo en movimiento, conforme va ocupando posiciones sucesivas a lo largo del tiempo. Según sea la forma de su trayectoria los movimientos se clasifican en rectilíneos y curvilíneos.



- ***Vector desplazamiento***: si una partícula se mueve desde un punto a otro, el vector desplazamiento o desplazamiento de la partícula, representado por ***Δr***, se define como el vector que va desde la posición inicial a la final, es decir:

Nota que en general el desplazamiento no coincide con la trayectoria que sigue la partícula. ¿En qué caso coincide? En el sistema internacional (SI), el desplazamiento se expresa en *m*.

4. La velocidad

La descripción de un movimiento supone el conocer algo más que su trayectoria, una característica que añade una información importante sobre el movimiento es la *velocidad*.

- ***Velocidad media***: en cierto instante t_1, una partícula se encuentra en su posición definida por el vector de posición por $\vec{r}_1$ y luego en el instante t_2, con su posición definida por $\vec{r}_2$. El intervalo de tiempo que ha transcurrido es $\vec{\Delta t} = \vec{t}_2 - \vec{t}_1$ y el desplazamiento que ha efectuado la partícula es $\Delta r = \vec{r}_2 - r_1$. Se denomina velocidad media por **< V >** y queda definida por:

$$< \vec{V} > = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

En el sistema Internacional, la velocidad se expresa en *m/s*. sin embargo, resulta muy frecuente la utilización de una unidad práctica de velocidad, el *kilógramo/hora* [km/hr], que no corresponde al SI. La relación entre ambas es la siguiente:

$$1\left[\frac{km}{hr}\right] = \frac{1km}{1hr} = \frac{1000m}{3600s} = \frac{1}{3.6}\left[\frac{m}{s}\right]$$

- ***Velocidad instantánea***: en general, la velocidad con la que se mueve un coche, un avión o una motocicleta, por ejemplo, varía de un instante a otro. Ello queda reflejado en el movimiento de la aguja de sus respectivos velocímetros. El valor que toma la velocidad en un instante dado recibe el nombre de *velocidad instantánea*.

Si se analiza el movimiento de la partícula en el intervalo de tiempo Δt y se divide ese intervalo en sub-intervalos, por ejemplo, las velocidades medias en esos sub-intervalos no tienen necesariamente que coincidir con la velocidad media del intervalo completo. Esto significa que si bien la velocidad media es representativa del movimiento de la partícula en el intervalo de tiempo considerado como un todo, no da cuenta del movimiento de la partícula instante a instante.

Si el intervalo de tiempo considerado es realmente grande, *usar la velocidad media* para describir el movimiento de la partícula instante a instante nos puede llevar a cometer errores grandes. Sin embargo si los intervalos de tiempo son realmente pequeños, la velocidad media describe de mejor forma el movimiento de la partícula en cada instante durante ese pequeño intervalo. Por lo tanto, se define la *velocidad instantánea* de la partícula como la velocidad media de la partícula en un tiempo muy pequeño, denominado infinitesimal, es decir, el límite cuando Δt tiende a cero.

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \to 0} < \vec{V} > = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

En lenguaje diferencial:

$$< \vec{V} >= \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Observaciones:

1. Nota que a medida que el intervalo de tiempo Δt se hace cada vez más pequeño, el vector $\vec{\Delta r}$ se aproxima a la trayectoria, que en el caso infinitesimal, el vector instantánea queda tangente a la trayectoria.
2. La *rapidez*, en física, se usa para presentar la ***magnitud*** del *vector velocidad*.

- ***Aceleración media***: consiste que en los instantes $\vec{t}_1$ y $\vec{t}_2$, las velocidades instantáneas de la partícula son $\vec{V}_1$ y $\vec{V}_2$. Es decir, en el intervalo de tiempo $\vec{\Delta t}$, la partícula sufre una variación de velocidad $\Delta V = V_2$ y V_1. Por lo tanto, la aceleración media o variación temporal media de la velocidad es dada por:

$$\langle a \rangle = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$$

En el sistema Internacional la aceleración se expresa en:

$$\left[\frac{m/s}{s}\right], es\ decir, \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

Por otro lado, una de las características que definen la "*potencia*" de un automóvil es su capacidad para ganar velocidad. Un modelo que emplea 5.4 *s* en conseguir los 100 *km/hr* habrá desarrollado una aceleración que puede calcularse del siguiente modo:

$$\frac{100km/hr}{5.4\ s} = \frac{100 \cdot 1/3.6\ m/s}{5.4\ s} = 5.1\ m/s^2$$

Lo que significa que ha aumentado su velocidad en *5.1 m/s* en cada segundo.

- ***Aceleración instantánea***: a partir del mismo criterio usado para definir el concepto de velocidad instantánea, se define la aceleración instantánea como:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \langle a \rangle = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$$

5. Segunda ley de Newton

De acuerdo con la primera ley de Newton sobre el movimiento, un objeto experimentará un cambio en su estado de reposo o movimiento solamente cuando sea accionado por una fuerza resultante no equilibrada. Ahora ya se sabe que un cambio en el movimiento, por ejemplo un cambio en la velocidad, produce una aceleración. En este capítulo se estudian las relaciones entre fuerza, masa y aceleración.

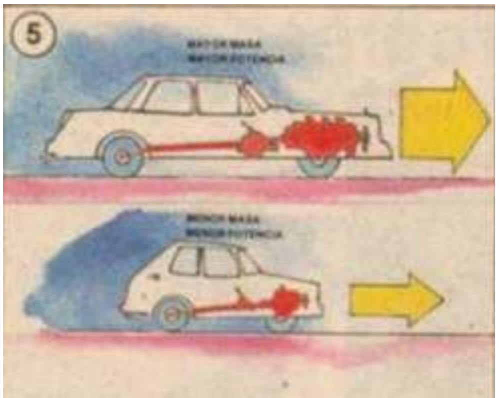
La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza aplicada y en la misma dirección de esa fuerza. Esto significa que la relación de fuerza a aceleración es siempre constante:

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = constante$$

Más adelante veremos que esta relación constante puede ser considerada como una propiedad del cuerpo denominada su masa **m**, donde:

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

Siempre que haya una fuerza no equilibrada actúe sobre un cuerpo, se produce una aceleración en la dirección de la fuerza que es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.



Ejemplo: Si queremos darle la misma aceleración, o sea, alcanzar la misma velocidad en un determinado tiempo, a un automóvil grande y a uno pequeño, necesitaremos mayor fuerza y potencia para acelerar el grande, por tener mayor masa que el más chico. Siempre que la masa permanezca constante, un aumento en la fuerza aplicada resultará en un aumento similar de la aceleración producida. Por otro lado, si la fuerza permanece sin cambio, un aumento en la masa del cuerpo resulta en una disminución proporcional de la aceleración. Si se escogen las unidades apropiadas, se puede escribir esta proporción como una ecuación:

Fuerza resultante = masa x aceleración

F = ma *Segunda le de Newton*

Debido a que en la segunda ley de Newton se utilizan unidades derivadas, es importante conocer las unidades concordantes para cada cantidad.

1. La unidad fundamental de masa en SI es el *kilógramo* (kg), y la unidad de aceleración es el *metro por segundo por segundo* (m/s^2). La unidad de fuerza derivada de estas unidades recibe el nombre de ***Newton*** (N), que es la fuerza resultante requerida para imprimir a una masa de 1 kg una aceleración de 1 m/s^2. Así, las unidades que aseguran concordancia son:

   Fuerza (N) = masa (kg) x aceleración (m/s^2)

2. En el sistema británico gravitacional (sbg) o sistema inglés, la unidad de masa se deriva de las unidades elegidas para fuerza que es la *libra* (lb) y para la aceleración que es el *pie por segundo por segundo* (ft/s^2). Esta unidad derivada de masa recibe el nombre de *slug* y se define como la masa a la que una fuerza de una libra imprimirá una aceleración de 1 ft/s^2. Las unidades concordantes en este sistema son:

   Fuerza (lb) = masa (slugs) x aceleración (ft/s^2)

La unidad de fuerza SI es menor que la unidad del Sistema usual de los EU (SUEU), y la masa de un *slug* es mucho mayor que la masa de un kg. Los siguientes factores de conversión pueden ser útiles:

1 lb = 4.448 N y *1 slug = 14.59 kg*

Es importante reconocer que la fuerza ***F*** en la segunda ley de Newton representa una *resultante* o fuerza no equilibrada. Si más de una fuerza actúa sobre un objeto, será necesario determinar la fuerza resultante *a lo largo de la dirección del movimiento*, puesto que es la causa de la aceleración. Todas las componentes de las fuerzas que sean perpendiculares a la aceleración se equilibrarán. Si el eje ***x*** se escoge a lo largo de la dirección del movimiento, se podrá determinar la componente ***x*** de cada fuerza y escribir:

$$\Sigma F_x = ma_x$$

Se puede escribir una ecuación similar para los componentes en ***y*** si el eje fuera escogido a lo largo de la dirección del movimiento.

5.1. La relación entre masa y peso

En química se le dice que el peso se mide en kilogramos; en Termodinámica, la masa algunas veces se expresa en libras, mientras que en Mecánica decimos que la unidad "libra" se reserva para uso exclusivo del peso y la fuerza. Estas aparentes inconsistencias resultan del hecho de que existen cuatro diferentes sistemas de unidades que se utilizan para describir la masa y el peso: el sistema métrico absoluto (SI), el británico absoluto, el métrico gravitacional y el británico gravitacional (sbg). En este caso *la libra siempre se refiere al peso y el kilogramo siempre se refiere a la masa de un cuerpo*.

El peso de cualquier cuerpo es la fuerza con la que tal cuerpo es atraído verticalmente hacia abajo por la gravedad. Cuando un cuerpo cae libremente hacia la Tierra, la única fuerza que actúa sobre él es su peso ***W***.

Esta fuerza neta produce una aceleración *g*, que es la misma para todos los cuerpos que caen, así, de la segunda ley de Newton podemos encontrar la relación entre la masa y el peso de un cuerpo:

$$W = mg \text{ o } m = W/g$$

En cualquier sistema de unidades, la masa de una partícula es igual a su peso dividido por la aceleración de la gravedad; el peso tiene las mismas unidades que la unidad de fuerza; y la aceleración de la gravedad tiene las mismas unidades que la aceleración. Por lo tanto, podemos resumir como sigue:

$$SI: W (N) = m (kg) \times g (9.8 m/s^2)$$
$$USCS: W (lb) = m (slug) \times g (32 ft/s2)$$

Se deben recordar dos cosas para comprender completamente la diferencia entre masa y peso:

- ***Masa*** es una constante universal igual a la relación del peso de un cuerpo a la aceleración gravitacional debida a ese peso.
- ***Peso*** es la *fuerza* de atracción gravitacional y es muy dependiente de la aceleración gravitacional.

Por lo tanto, la masa de un cuerpo es sólo una medida de su inercia y no depende de la gravedad. En unidades del *sbg*, el peso ***W*** de un cuerpo se describe en *libras*. Su masa, si se desea, se calcula a partir de este peso y tiene como unidad es *slug*. En el SI, la masa de un cuerpo se especifica en *kilogramos*. El peso, si se desea, se calcula a partir de esta masa y tiene como unidad al *newton*.

Ejemplos:

1. Encuéntrese la masa de una persona cuyo peso es de *150 lb*.

$$m = W/g = 150\ lb/32\ ft/s^2 = 4.69\ slugs$$

2. Encuéntrese el peso de un bloque de *18 kg*.

$$W = mg = 18\ kg\ (9.8\ m/s^2) = 176\ N$$

3. Encuéntrese la masa de un cuerpo cuyo peso es de *100 N*.

$$m = W/g = 100\ N/9.8\ m/s^2 = 10.2\ kg$$

3.5. Aplicaciones de la segunda ley de Newton a problemas de un cuerpo

La diferencia principal entre los problemas analizados es que existe una fuerza neta, no equilibrada que está actuando para producir una aceleración. Los siguientes ejemplos nos servirán para demostrar la relación entre fuerza, masa y aceleración.

Ejemplos:

1. ¿Qué aceleración imprimirá una fuerza de 20 N a un objeto de 10 kg?

Solamente hay una fuerza que actúa sobre el cuerpo, por lo que:

$$F = ma \quad \therefore \quad a = F/m = 20\ N / 10\ kg = 2\ m/s^2$$

2. ¿Qué fuerza resultante imprimirá una aceleración de 5 ft/s^2 a un cuerpo de 32 lb?

Para encontrar la fuerza resultante debemos primero determinar la masa del cuerpo a partir del peso dado.

$$m = W/g = 32\ lb/32\ ft/s^2 = 1\ slug$$

Entonces:

$$F = ma = (1\ slug)\ (5\ ft/s^2) = 5\ lb$$

3. ¿Cuál es la masa de un cuerpo si una fuerza de 60 N le da una aceleración de 4 m/s^2?

Despejando *m* de la ley de Newton, tenemos:

$$m = F/a = 60\ N/4\ m/s^2 = 15\ kg$$

De acuerdo con la *segunda ley de Newton*, una fuerza resultante siempre produce una aceleración *en la dirección de la fuerza resultante*. Esto significa que la fuerza neta y la aceleración por ella producida son del mismo signo y además poseen la misma línea de acción. Por lo tanto, si la dirección del movimiento (aceleración) se considera positiva, se introducirán menos factores negativos en la ecuación ***F = ma***. Por ejemplo;

$$P - \mathcal{F}_x = ma \quad \textit{es preferible a la ecuación} \quad \mathcal{F}_x - P = -ma$$

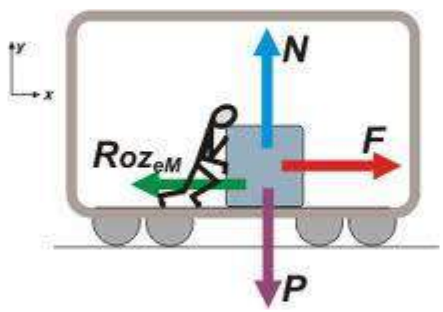
Se debe elegir una dirección positiva para la aceleración. Otra consideración que se desprende de lo anterior es que las fuerzas que actúan normalmente a la línea del movimiento deberán estar en equilibrio para que la fuerza resultante sea constante. En resumen, se aplican las siguientes ecuaciones a los problemas de aceleración:

$$\sum F_x = ma_x \qquad \sum F_y = ma_y = 0$$

Donde $\sum F_x$ y a_x se toman como positivas y a lo largo de la línea del movimiento, y $\sum F_y$ y a_y se toman normales a la línea del movimiento.

Ejemplo:
Una fuerza de *100 lb* tira de un bloque de *64 lb* horizontalmente por el piso. Si $\mu_k = 0.1$, encuéntrese la aceleración del bloque.

Diagrama de cuerpo libre



Se escogerá la derecha como positivo. Para evitar confundir el peso del bloque con su masa, se puede calcular cada uno por adelantado. El peso (*64 lb*) está dado y la masa se encuentra de ***m = W/g***.

$$m = 64\ lb/32\ ft/s^2 = 2\ slugs$$

La fuerza resultante a lo largo del piso es de 100 lb, menos la fuerza de fricción $\mathcal{F}_k$. Si se aplica la segunda ley de Newton, se obtendrá:

Fuerza resultante = masa x aceleración

$$100\ lb - \mathcal{F}_k \mathcal{N} = ma$$

Dado que no hay ningún movimiento en dirección vertical, se nota en la figura que:

$$\mathcal{N} = W = 64\ lb$$

Si se sustituye $\mathcal{N} = 64$, $\mu_k = 0.1$ y $m = 2\ slugs$ se tiene:

$$100\ lb - (0.1)\ (64\ lb) = (2\ slugs)\ a$$

Si se simplifica y resuelve ***a***, se obtiene:

$$100\ lb - 6.4\ lb = (2\ slugs)\ a \quad \therefore \quad a = 93.6\ lb/\ 2\ slugs = 46.8\ ft/s^2$$

Se debe verificar que *libras por slugs* equivale a *pie por segundo cuadrado*.

5.2 Técnicas para la solución de problemas

A continuación se describe una secuencia lógica de operaciones para los problemas relacionados con la segunda ley de Newton.

1. Leer cuidadosamente el problema para una comprensión general.
2. Dibujar un bosquejo y anotar la información dada.
3. Dibujar un diagrama de cuerpo libre con un eje a lo largo de la dirección del movimiento.
4. Indicar la dirección positiva de la aceleración.
5. Determinar la masa y el peso de cada objeto.

$$W = mg \quad \therefore \quad m = W/g$$

6. Del diagrama de cuerpo libre, determinar la fuerza resultante a lo largo de la dirección del movimiento.
7. Determinar la masa total ($m_1 + m_2 + m_3 + \ldots$).
8. *Igualar la fuerza resultante* $\sum F$ con la masa total (m_t) por la aceleración a:

$$\sum F = m_t\, a$$

9. Resolver para la cantidad desconocida.

Ejemplos:

1. Un ascensor de *2000 lb* es levantado con una aceleración de $4\ ft/s^2$. ¿Cuál es la tensión en el cable de soporte?

Lee el problema. Nota que la dirección positiva de la aceleración (hacia arriba) está indicada en el diagrama de cuerpo libre. Ahora, determina la masa y el peso del ascensor de *2000 lb*. El peso, por supuesto, es de *2000 lb*. La masa debe calcularse de ***m = W/g***.

$$W = 2000\ lb \quad \text{y} \quad m = 2000/32\ ft/s^2 = 62.5\ slugs$$

Puesto que el ascensor es el único objeto en movimiento, los *62.5 slugs* representan la masa total $\boldsymbol{m_t}$.
La fuerza resultante del diagrama de cuerpo libre es:

$$\sum F = T - 2000\ lb$$

De la segunda ley de Newton, se puede escribir:

$$\text{Fuerza resultante} = \text{masa total x aceleración}$$
$$T - 2000\ lb = (62.5\ slugs)\ (4\ ft/s^2)$$
$$T - 2000\ lb = 250\ lb$$

Finalmente, se resuelve para la ***T*** desconocida y se agregan *2000 lb* a ambos lados de la ecuación.

$$T - 2000\ lb + 2000\ lb = 250\ lb + 2000\ lb$$

$$T = 2250\ lb$$

2. Una bola de *100 kg* es descendida por medio de un cable con una aceleración hacia debajo de $5\ m/s^2$. ¿Cuál es la tensión en el cable?

Al igual que en el problema anterior se hace un esbozo y un diagrama de cuerpo libre. Nota que la dirección hacia abajo se escoge como positiva, puesto que esa es la dirección del movimiento.

Esta vez la *masa* es dada y el *peso* se debe calcular de ***W = mg***.

$$m = 100\ kg \quad \text{y} \quad W = (100\ kg)\ (9.8\ m/s^2) = 980\ N$$

La fuerza resultante es *la fuerza neta* hacia abajo, o:

$$\sum F = W - T$$

De la segunda ley de Newton, se puede escribir:

Fuerza neta hacia abajo = masa total x aceleración hacia abajo

$$W - T = ma$$

Al sustituir las cantidades conocidas, se obtiene:

$$980\ N - T = (100\ kg)\ (5\ m/s^2)$$
$$980\ N - T = 500\ N$$

De las cuales se resuelven para *T*, se agrega *T* a ambos lados y sustraen *500 N* de ambos lados:

$$980\ N - T + T - 500\ N = 500\ N + T - 500\ N$$
$$980\ N - 500\ N = T$$
$$T = 480\ N$$

3. Una máquina de Atwood consiste en una polea simple con masas suspendidas a ambos lados. Es una versión simplificada de muchos sistemas industriales en los cuales se emplean contrapesos para equilibrar. Supóngase que la masa de la derecha es de *10 kg* y que la de la izquierda es de *2 kg*. a) ¿Cuál es la aceleración del sistema? b) ¿Cuál es la tensión en la cuerda?

a) Primero se dibuja un bosquejo y un diagrama de cuerpo libre para cada masa. Se determina el peso y la masa de cada objeto.

$m_1 = 2\ kg$ $\qquad$ $W_1 = m_1\, g = (2\ kg)\ (9.8\ m/s^2)$ o $W_1 = 19.6\ N$

$m_2 = 10\ kg$ $\qquad$ $W_2 = m_2\, g = (10\ kg)\ (9.8\ m/s^2)$ o $W_1 = 98\ N$

Ahora el problema radica en determinar la fuerza neta desequilibrada en el sistema completo. Nótese que la polea únicamente cambia la dirección de las fuerzas. La fuerza desequilibrada es, por tanto, sólo la diferencia de los pesos.

Esto es justamente lo que se podría esperar de acuerdo con la experiencia. Nótese que la tensión ***T*** es la misma de cada lado, puesto que sólo hay cuerda; entonces la tensión se cancela y no figura en la fuerza resultante, que puede escribirse como sigue:

$$\sum F = W_2 - T + T - W_1$$
$$\sum F = W_2 - W_1$$

La masa total del sistema es simplemente la suma de todas las masas en movimiento.

$$m_t = m_1 + m_2 = 2\ kg + 10\ kg = 12\ kg \quad masa\ total$$

De la segunda ley de Newton sobre el movimiento se tiene:

Fuerza resultante = masa total x aceleración

$$W_2 - W_1 = (m_1 + m_2)\ a$$

Se sustituye por $\boldsymbol{W_2}$, $\boldsymbol{W_1}$, $\boldsymbol{m_1}$ y $\boldsymbol{m_2}$, se tiene:

$$98\ N - 19.6\ N = (2\ kg + 10\ kg)\ a$$

De donde se puede resolver para ***a*** como sigue:

$$78.4\ N = (12\ kg)\ a$$

$$a = 78.4\ N/12\ kg = 6.53\ m/s^2$$

b) Para resolver el problema de la tensión en la cuerda, se debe considerar cualquiera de las masas por sí mismas, puesto que al considerar el sistema como un todo, la tensión en la cuerda no intervendría. Supóngase que se consideran las fuerzas que actúan en $\boldsymbol{m_1}$:

Fuerza resultante = masa x aceleración

$$T - W_1 = m_1\ a$$

Pero $a = 6.53\ m/s^2$ y la masa y el peso se conocen; por lo tanto, se tiene:

$$T - 19.6\ N = (2\ kg)\ (6.53\ m/s^2)$$

$$T - 19.6\ N = 13.06\ N$$

$$T = 32.7\ N$$

Se obtendría el mismo valor para la tensión si se aplica la ley de Newton a la segunda masa. Se debe demostrar este hecho en un ejercicio adicional.

4. Un bloque de *64 lb* descansa sobre una mesa sin fricción. Se ata a él un cordel que pasa sobre una polea sin fricción y que está atado en su otro extremo a un peso ***W***. a) ¿Cuál debe ser el valor de ***W*** para dar al sistema una aceleración de $16\ ft/s^2$? b) ¿Cuál será la tensión en el cordel?

a) Dibuja un diagrama de cuerpo libre para cada uno de los cuerpos del sistema. Dado que las fuerzas verticales sobre el bloque de *64 lb* están equilibradas, la fuerza neta de todo el sistema es simplemente el peso ***W***. por tanto, al aplicar la segunda ley de Newton obtenemos:

Fuerza resultante = masa total x aceleración

$$W = \left(\frac{64\ lb}{g} + \frac{W}{g}\right) a = \frac{64\ lb + W}{g}\ a$$

$$W = (64\ lb + W)\ a/g = (64\ lb + W)\ (16\ ft/s^2/32\ ft/s^2)$$

$$W = 64\ lb + W\ /\ 2$$

$$2W = 64\ lb + W$$

$$2W - W = 64\ lb$$

$$W = 64\ lb$$

b) Para obtener la tensión en el cordel, la mejor elección es la *fuerza neta* sobre el bloque de *64 lb*, ya que es la propia tensión ***T***. Así;

$$\textit{Fuerza resultante = masa x aceleración}$$
$$T = 64\ lb/32\ ft/s^2\ (16\ ft/s^2) = 32\ lb$$

5. Considera la masa $\mathbf{m_1} = 20\ kg$ y $\mathbf{m_2} = 18\ kg$. Si el coeficiente de fricción cinética es de 0.1 y el ángulo de inclinación $\boldsymbol{\vartheta}$ es de *30°*, encuéntrese a) la aceleración del sistema y b) la tensión en el cordel que une las dos masas.

Podemos aplicar la segunda ley de Newton al sistema:

$$\textit{Fuerza resultante en el sistema = masa total x aceleración}$$
$$W_2 - W_{1x} - F_k = (m_1 + m_2)\ a$$

Los símbolos del primer miembro se encuentran como sigue:

$$W_2 = m_2\ g = (18\ kg)\ (9.8\ m/s^2) = 176\ N$$
$$W_{1x} = m_1\ g\ sen\ \vartheta = (20\ kg)\ (9.8\ m/s^2)\ (sen\ 30°) = 98\ N$$
$$W_{1y} = m_1\ g\ cos\ \vartheta = (20\ kg)\ (9.8\ m/s^2)\ (cos\ 30°) = 170\ N$$
$$\mathcal{F}_k = \mu_k\ \mathcal{N} = \mu_k\ W_{1y} = (0.1)\ (70\ N) = 17\ N$$

Al sustituir en la ecuación del movimiento obtenemos:

$$176\ N - 98\ N - 17\ N = (20\ kg + 18\ kg)\ a$$

De la cual resulta:

$$a = 1.61\ m/s^2$$

b) para encontrar la tensión en el cordel, aplicamos la ley de Newton a la masa de *18 kg*.

$$\textit{Fuerza resultante = masa x aceleración}$$
$$m_2\ g - T = m_2\ a$$
$$T = m_2\ g - m_2\ a = m_2\ (g - a)$$
$$T = (18\ kg)\ (9.8\ m/s^2 - 1.61\ m/s^2) = 147\ N$$