Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén

SEMINARIO DE INGRESO A INGENIERÍA

Guía de estudio de Física

Estructura Universitaria

Autoridades UTN:

Rector: Ing. Héctor Broto
Vicerrector: Ing. Pablo Andrés Rosso
Secretario Académico: Ing. Rudy Omar Grether
Secretario de Extensión Universitaria: Ing. Juan Carlos Gomez
Secretario de Ciencia Técnica y Posgrado: Dr. Walter E. Legnani
Secretario Administrativo: Dr. Rogelio Antonio Gómez

Autoridades Facultad Regional del Neuquén:

Decano: Ing. Pablo Oscar Liscovsky.
Secretaria Académica: Ing. Patricia González.
Secretario de Extensión Universitaria: Lic. Alejandro Torres.
Secretario de Ciencia y Tecnología: Ing. Luís Felipe Sapag.
Secretaria Administrativa: Cdra. Noemí Díaz.
Secretaria de Gestión Universitaria: Prof. Vázquez, Ailén
Secretaría de Vinculación: Ing. Mardones, Walter

Introducción:

Con el objetivo de brindar al alumno ingresante una guía con la cual poder organizar el aprendizaje y a la vez hacer un seguimiento continuo del desarrollo de las clases, se presenta un cuadernillo impreso o digitalizado en el momento de la inscripción.

La modalidad para el desarrollo de las clases y para el mejor aprovechamiento del tiempo requiere de parte del alumno el compromiso del estudio previo del material.
En la clase se desarrollaran algunos conceptos esenciales que servirán de herramienta básica para usar la mayor carga horaria en la resolución de situaciones problemáticas.

Al final del cuadernillo encontrarás modelos de evaluación tomados en años anteriores y al acercarse a las instancias evaluativas, para evacuar dudas, se asiste al alumno con clases de consultas impartidas por alumnos tutores.

Es necesario decir que el carácter del siguiente material no es de ningún modo puramente informativo, sino que recopila los conocimientos útiles y necesarios para aumentar el entusiasmo de los futuros alumnos de esta casa de altos estudios.

Invita a los mismos a ampliar sus conocimientos con la bibliografía tan rica y basta acerca de las *Matemáticas*, el *Cálculo y, la Física.*

Por lo que queda abierta una gran puerta al conocimiento para todos aquellos dispuestos a atravesarla.

Por ello insistimos en la actitud de trabajo responsable que el estudiante debe asumir, sumando entusiasmo, voluntad, creatividad, apertura para superar limitaciones y espíritu crítico para avanzar con compromiso hacia un desarrollo nacional, provincial y local sustentable.

"Todo debe hacerse tan sencillo como sea posible, pero sin excederse en ello"

Albert Einstein

Objetivos:

Al finalizar el estudio y evaluación del seminario de ingreso Ud. será capaz de:

- Utilizar los contenidos brindados en el curso, que sumados a sus aprendizajes previos, le permitirán abordar los conocimientos de las asignaturas de la carrera elegida.

- Afianzar la destreza resolutiva en temas básicos como aplicación de conceptos teóricos.

- Resolver situaciones problemáticas valorando la creatividad del alumno en el planteo del problema.

Esquema conceptual del contenido del curso Física:

Unidad 1: Unidades, Cantidades Físicas y Vectores.

Unidad 2: Cinemática

Unidad 3: Dinámica

Unidad Nº 1: Unidades, Cantidades Físicas y Vectores.

1. Sistemas de Unidades
2. MKS CGS TÉCNICO
3. Conversión de unidades
4. Notación Científica
5. Magnitudes Escalares (Propiedades)- Magnitudes Vectoriales (Propiedades)
6. Descomposición de Vectores
   Guía de Problemas

Unidad Nº 2: Cinemática

1. Clasificación de Movimientos
2. MRU, MRUV
3. Caída Libre, Tiro Vertical
4. Representación Gráfica
   Guía de Problemas

Unidad Nº 3: Dinámica

1. Concepto de Fuerza. Peso, Masa
2. 1er.Ley de Newton (Principio de inercia)
3. 2da. Ley de Newton (Principio de Masa)
4. 3ra. Ley de Newton (Principio de Acción y de Reacción)
5. Fuerza de Rozamiento
6. Plano Inclinado
   Guía de Problemas

Bibliografía Recomendada:

- Sears Zemansky, Yong, Fredman. Física Universitaria. Volumen 1 Ed. PEARSON EUCUACION. Novena Edición.
- Apuntes Física UTN – Facultad Regional Rosario
- Apuntes Profesor Marcelo Gauna
- Tipler, Física. Tomo I.
- Alonso. Finn. Física General.
- Resnik, Halliday. Física. Tomo I.

Unidad 1:
Unidades, Cantidades Físicas y Vectores

1.1 LA NATURALEZA DE LA FÍSICA

La física es una ***ciencia experimental***. Los físicos observan los fenómenos naturales y tratan de encontrar los patrones y principios que los relacionen. Dichos patrones se denominan ***teorías físicas*** o, si están bien establecidos y se usan ampliamente, ***leyes o principios físicos***.

Decir que una idea es una teoría no implica que se trate de una divagación o de un concepto no comprobado. Más bien, una teoría es una explicación de fenómenos naturales basada en observaciones y en los principios fundamentales aceptados. Un ejemplo es la evolución biológica, que es el resultado de extensas investigaciones y observaciones de varias generaciones de biólogos.

El desarrollo de la teoría física exige creatividad en todas sus etapas. El físico debe aprender a hacer las preguntas adecuadas, diseñar experimentos para tratar de contestarlas y deducir conclusiones apropiadas de los resultados.

Según la leyenda, Galileo Galilei (1564/1642) dejó caer objetos ligeros y pesados desde la torre Inclinada de Pisa para averiguar si sus velocidades de caída eran iguales o diferentes. Galileo sabía que sólo la investigación experimental podría darle la respuesta. Examinando los resultados de sus experimentos, dedujo la teoría de que ***"la aceleración de un cuerpo que cae es independiente de su peso"***.

El desarrollo de teorías físicas como la de Galileo siempre es un proceso bidireccional que comienza y termina con observaciones y experimentos. El camino a menudo es indirecto, con callejones sin salida, equivocaciones y el abandono de teorías infructuosas en favor de otras más prometedoras. Ninguna teoría se considera como la verdad final o definitiva; siempre cabe la posibilidad de que nuevas observaciones obliguen a modificarla o desecharla. Podemos demostrar la falsedad de una teoría física al encontrar comportamientos no congruentes en ella, pero nunca podemos probar que una teoría es siempre correcta.

Volviendo a Galileo, supongamos que dejamos caer una pluma y una bala de cañón. Sin duda ***no*** caen a la misma velocidad. Esto no significa que Galileo estuviera errado, sino que su teoría era incompleta. Si soltamos esos objetos ***en un vacío*** para eliminar los efectos del aire, sí caerán a la misma velocidad. La teoría de Galileo tiene un ***intervalo de validez***: sólo es válida para objetos cuyo peso es mucho mayor que la fuerza ejercida por el aire (debido a su resistencia y a la flotación del objeto). Los objetos como las plumas y paracaídas obviamente se salen del intervalo. Concluimos entonces que toda teoría física tiene un intervalo de validez fuera del cual no es aplicable.

Modelos Idealizados

En física, un ***modelo*** es una versión simplificada de un sistema físico demasiado complejo como para analizarse con todos sus pormenores. Por ejemplo, supongamos que no interesa analizar el movimiento de una pelota de béisbol lanzada al aire. La pelota no es perfectamente esférica ni perfectamente rígida, tiene costuras y está girando. El viento y la resistencia del aire afectan su movimiento, la Tierra gira, el peso de la pelota varía un poco al cambiar su distancia respecto al centro de la Tierra, etc. Si tratamos de incluir todo esto, la complejidad del análisis nos abrumará. En vez de ello, inventamos una versión simplificada del problema. Omitimos el tamaño y la forma de la pelota y la representamos como un objeto puntual, o ***partícula***. Omitimos la resistencia del aire haciendo que la pelota se mueva en el vacío, nos olvidamos de la rotación terrestre y suponemos unos pesos constantes. Ahora sí tendremos un problema manejable.

Para crear un modelo idealizado del sistema, debemos pasar por alto muchos efectos menores y concentrarnos en las características más importantes. Necesitamos criterio y creatividad para lograr un modelo que simplifique lo suficiente un problema, sin omitir sus características esenciales.

Al usar un modelo para predecir el comportamiento de un sistema, la validez de la predicción está limitada por la validez del modelo. La predicción de Galileo respecto a la caída de los cuerpos corresponde a un modelo idealizado que no incluye los efectos de la resistencia del aire. El modelo funciona bien para una bala de cañón, pero no para una pluma.

El concepto de modelos idealizados es muy importante en física y en todas las tecnologías.

El proceso de la medición

Hemos visto que la física es una ciencia experimental y los experimentos requieren mediciones cuyos resultados suelen describirse con números. Un número empleado para describir cuantitativamente un fenómeno físico es una *cantidad física*. Dos cantidades físicas que describen a una persona son su peso y estatura. Algunas cantidades físicas son tan básicas que sólo podemos definirlas describiendo la forma de medirlas, es decir, con una *definición operativa*. Ejemplos de ello son medir una distancia con una regla, o un lapso de tiempo con un cronómetro. En otros casos definimos una cantidad física describiendo la forma de calcularla a partir de otras cantidades *medibles*. Así, podríamos definir la velocidad media de un objeto como la distancia recorrida (medida con una regla) dividida el tiempo empleado en recorrerla (medido con un cronómetro).

Al medir una cantidad, siempre la comparamos con un estándar de referencia. Si decimos que un automóvil tiene 4,25 m de longitud, queremos decir que es 4,25 veces más largo que una vara de metro, que por definición tiene 1 m de largo. Este estándar define una *unidad* de la cantidad. El metro es una unidad de distancia, y el segundo, de tiempo. Al describir una cantidad física con un número, siempre debemos especificar la unidad empleada; describir una distancia como “4,25” no significa nada.

Las mediciones exactas y confiables exigen unidades inmutables que los observadores puedan duplicar en distintos lugares. El sistema de unidades empleado por los científicos e ingenieros en todo el mundo es el llamado *Sistema Internacional (SI),* que veremos en el tema siguiente.

1.2 UNIDADES Y PATRONES

En la República Argentina están vigentes la Ley Nacional de Metrología Nº 19511/72 y su Decreto Modificatorio Nº 878/89, por los cuales se establece el **Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)** para todo el territorio de la Nación.

El SIMELA está constituido por las unidades, múltiplos y submúltiplos, prefijos y símbolos del **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, recomendado por la 14ª sesión de la Conferencia General de Pesas y Medidas realizada en París (Francia). El mismo es de uso obligatorio y exclusivo en todos los actos públicos o privados de cualquier orden o naturaleza.

Unidades de Base

El SI tiene siete unidades básicas o fundamentales, que son las siguientes:

Magnitud	**Unidad**	**Símbolo**
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	ampère (amperio)	A
temperatura termodinámica	kelvin	K
intensidad luminosa	candela	cd
cantidad de materia	mol	mol

A continuación se definen las tres primeras, que son las que se utilizan en Mecánica:

Metro: longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío en un intervalo de tiempo igual a
1/299.792.458 segundos.

Masa: es la masa de un cilindro de aleación platino-iridio guardado en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas en Sèvres, cerca de París (Francia).

Segundo: duración de 9.192.631.770 ciclos de la radiación que estimula la transición entre los dos niveles energéticos más bajos del átomo de Cesio 133.

Unidades Suplementarias

Magnitud	**Unidad**	**Símbolo**
Ángulo plano	radián	rad
Ángulo sólido	estereorradián	sr

Unidades Derivadas

Son 77 en total. Las siguientes son las que se utilizan en Mecánica:

Magnitud	Unidad	Símbolo
Superficie	metro cuadrado	m^2
Volumen	metro cúbico	m^3
Frecuencia	hertz (hercio)	Hz
Densidad	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
Velocidad	metro por segundo	m/s
Velocidad angular	radián por segundo	rad/s
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m/s2
Aceleración angular	radián por segundo al cuadrado	rad/s2
Fuerza	newton	N
Presión	pascal	Pa (N/m2)
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m2/s
Viscosidad dinámica	newton-segundo por metro	N.s/m2
Trabajo, energía, cantidad de calor	joule (julio)	J (N.m)
Potencia	watt (vatio)	W (J/s)

Sinonimias

Litro: nombre especial que puede darse al decímetro cúbico (dm^3) en tanto y en cuanto no exprese resultados de medidas de volumen de alta precisión.

Grado Celsius: cuando no es necesario considerar temperaturas termodinámicas (a partir del cero absoluto), puede usarse para expresar un intervalo de temperatura (en esto es equivalente al kelvin).

Formación de múltiplos y submúltiplos

Factor	Prefijo	Símbolo
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	kilo	k
10^{2}	hecto	h
10^{1}	deca	da

Factor	Prefijo	Símbolo
10^{-1}	deci	dD
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	µ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

En el caso particular del kilogramo, sus múltiplos y submúltiplos se forman tomando como base la unidad auxiliar **gramo (g)**, igual a 10^{-3} kg. Por ejemplo: miligramo (mg), microgramo (µg), etc.

Unidades fuera del SI

Magnitud	Unidades
Tiempo	minuto, hora y día
Ángulo plano	grado, minuto y segundo

Sistema de unidades MKS, CGS, TECNICO

Unidad	Sistema Técnico	M.K.S	C.G.S.
Longitud	m	m	cm
Tiempo	s	s	s
Aceleración	m/s^2	m/s^2	cm/s^2
Masa	U.T.M.= $\vec{Kg} \cdot s^2 / m$	kg	gr
Fuerza	$\vec{Kg}$	N(Newton)=$kg.m / s^2$	Dinas=$gr.cm / s^2$

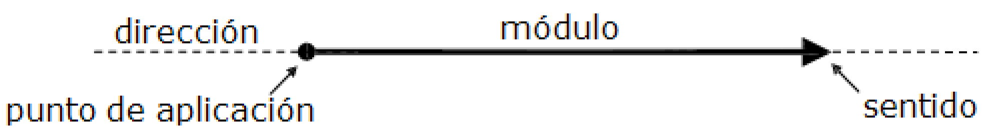
Conversión de Unidades

1 $\vec{Kg}$ =9,8 N
1N = 10^5 Dinas
1 $\vec{Kg}$ = 9,8 . 10^5 Dinas
1 U.T.M. = 9,8 kg

1.3 MAGNITUDES VECTORIALES Y ESCALARES

Magnitudes escalares: quedan determinadas únicamente por su ***valor*** representado por ***un número*** y ***su correspondiente unidad*** (de volumen, de superficie, de longitud, etc.).

Magnitudes vectoriales: son aquellas que pueden representarse gráficamente mediante ***un vector.*** Un vector tiene las siguientes características:



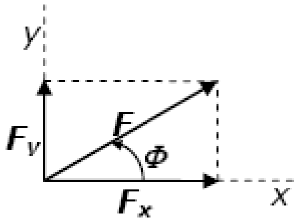
Ejemplos de magnitudes vectoriales: ***fuerza,*** velocidad, aceleración, intensidad de los campos eléctricos y magnéticos, los fasores (vectores giratorios) de las corrientes alternas, etc.

Algunas magnitudes vectoriales, una de las cuales es la ***fuerza*** como se indico anteriormente, no quedan *completamente* determinadas si no consideramos también su ***línea de acción*** y su ***punto de aplicación***. La línea de acción es una recta de longitud indefinida paralela a la dirección del vector. El punto de aplicación de una fuerza dada que actúa sobre un cuerpo rígido puede ser trasladado a otro punto cualquiera de la línea de acción sin alterar el efecto de la fuerza. Así, ***una fuerza aplicada a un cuerpo rígido puede suponerse que actúa en cualquier punto a lo largo de su línea de acción***

Componentes de un vector

Para definir las componentes de un vector partimos de un sistema de coordenadas rectangulares (ejes cartesianos). Podemos representar cualquier vector en el plano ***xy*** como la suma de un vector paralelo al eje ***x*** con otro paralelo al eje ***y***. Rotulamos esos vectores como $\boldsymbol{F_X}$ y $\boldsymbol{F_y}$ y son los ***vectores componentes*** del vector ***F***.

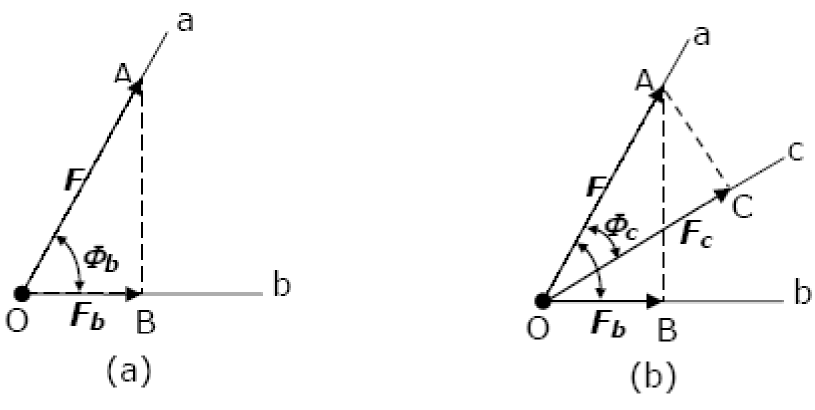
En símbolos: $\boldsymbol{F = F_x + F_y}$



Cada vector componente tiene la dirección de uno de los ejes de coordenadas. $\boldsymbol{F_X}$ y $\boldsymbol{F_y}$ son las **componentes** de ***F***.

Las <u>componentes de una fuerza</u> en dos direcciones coordenadas, son los valores efectivos de esa fuerza en ésas direcciones.

Las componentes de una fuerza, en cualquier dirección, pueden encontrarse por un método gráfico. Representamos a continuación, una fuerza dada por el vector ***F*** desde *O* hasta *A*.

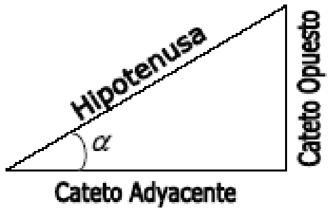


Para encontrar la componente de ***F*** en la dirección de la recta Ob, trazamos desde A una perpendicular a ésta que la corta en el punto B.

El vector $\boldsymbol{F_b}$, desde O hasta B, en la misma escala que la utilizada para el vector ***F***, representa la componente de ***F*** en la dirección Ob, o el valor efectivo de la fuerza ***F*** en esta dirección.

Análogamente, la fuerza $\boldsymbol{F_c}$ de O a C, representa la componente de la fuerza ***F*** en la dirección Oc.

RECORDAMOS



seno del ángulo α $\Rightarrow$ $\operatorname{sen}\hat{\alpha} = \dfrac{\text{cat. opuesto}}{\text{hipotenusa}}$

coseno del ángulo α $\Rightarrow$ $\cos\hat{\alpha} = \dfrac{\text{cat. adyacente}}{\text{hipotenusa}}$

tangente del ángulo α $\Rightarrow$ $\operatorname{tg}\hat{\alpha} = \dfrac{\text{cat. opuesto}}{\text{cat. adyacente}}$

La componente de un vector en cualquier dirección puede calcularse como sigue. En el

triángulo OAB de la Fig. a), es:

$$\cos\theta_b = \frac{OB}{OA} = \frac{F_b}{F} \qquad \Rightarrow \qquad F_b = F\cos\theta_b$$

Si F = 10 N y θ_b = 60º, $\cos\theta_b$ = 0,5 y F_b = 10 N × 0,500 = 5 N

Del mismo modo, en la Fig. b):

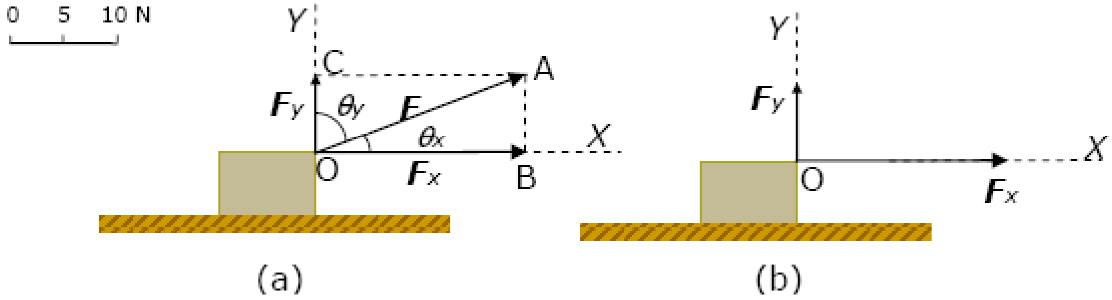
$$\cos\theta_c = \frac{OC}{OA} = \frac{F_c}{F} \qquad \Rightarrow \qquad F_c = F\cos\theta_c$$

Si θ_c = 30º, $\cos\theta_c$ = 0,866 y F_b = 10 N × 0,866 = 8,66 N

En general, la componente de un vector ***F*** en cualquier dirección que forme un ángulo θ con la del vector, es igual a ***F*** $\cos\theta$.

Si θ = 90º, $\cos\theta$ = 0 y la componente de ***F*** es nula (cero).

Si θ = 0º, $\cos\theta$ = 1 y la componente de ***F*** es igual a ***F***.



La Fig. superior se representa una caja sobre la cual se ejerce una fuerza ***F***. Los vectores $\boldsymbol{F_x}$ y $\boldsymbol{F_y}$ son las componentes de ***F*** en las direcciones ***x*** e ***y***, perpendiculares entre sí, y se denominan ***componentes rectangulares de F según estas dos direcciones***. Pero, puesto que un vector no tiene componente perpendicular a su propia dirección, $\boldsymbol{F_x}$ no tiene componente a lo largo de ***y***, y $\boldsymbol{F_y}$ no tiene componente a lo largo de ***x***. No es, por tanto, posible ninguna descomposición ulterior de la fuerza en componentes según ***x*** e ***y***. Físicamente, esto significa que las dos fuerzas $\boldsymbol{F_x}$ y $\boldsymbol{F_y}$, actuando simultáneamente como en la Fig. (b), son equivalentes en todos los aspectos a la fuerza inicial ***F***. ***Por lo tanto cualquier fuerza puede ser reemplazada por sus componentes rectangulares.***

Ejemplo numérico:

Sean $F = 10$ N, $\theta_x = 30º$ y $\theta_y = 60º$

Resultan:

$F_x = 8{,}66$ N y $F_y = 5$ N

Se encuentra que estas dos fuerzas aplicadas simultáneamente como en la Fig. (b), producen exactamente el mismo efecto que la fuerza única de 10 N (OA) de la Fig. (a).

Es con frecuencia cómodo expresar ambas componentes de un vector según los ejes ***x*** e ***y***, en función del ángulo que forma el vector con el ***eje x***.

En la Fig (a) se puede apreciar que:

$$\boxed{\operatorname{sen}\theta_x = \frac{BA}{OA} = \frac{OC}{OA} = \frac{F_y}{F} \quad \Rightarrow \quad F_y = F \operatorname{sen}\theta_x}$$

Por consiguiente, **con el convenio de que θ se refiere al ángulo formado por el vector *F* con el eje *x*,** en general podemos decir que:

$$F_x = F\cos\theta$$
$$F_y = F\,sen\,\theta$$

Finalmente concluimos que, **la aplicación simultánea de las componentes F_X y F_Y de una fuerza F produce el mismo efecto que la aplicación de la fuerza F.**

1.4 RESULTANTE O VECTOR SUMA

Un cuerpo puede estar sometido simultáneamente a un cierto número de fuerzas, que tienen distintos módulos, direcciones, sentidos y puntos de aplicación.

Consideremos un conjunto de fuerzas que se encuentran en el mismo plano (fuerzas coplanarias) y que tiene el mismo punto de aplicación (fuerzas concurrentes).

Se encuentra experimentalmente que, ***cualquier conjunto de fuerzas coplanarias concurrentes puede reemplazarse por una sola fuerza, cuyo efecto es el mismo que el de las fuerzas dadas.*** Esta fuerza suplente se denomina ***resultante***.

La construcción de la siguiente figura se denomina **método del paralelogramo** y nos permite encontrar la resultante de dos vectores.

En la Fig. (a), un cuerpo está sometido a dos fuerzas $\boldsymbol{F_1}$ y $\mathbf{F_2}$, ambas aplicadas en el mismo punto *O*. Para encontrar su resultante, se construye el paralelogramo *OACB*, del cual los vectores $\boldsymbol{F_1}$ y $\boldsymbol{F_2}$ forman dos lados contiguos; la diagonal concurrente del paralelogramo, ***el vector R*** determinado por los puntos O y C, se denomina ***vector suma de los vectores*** $\boldsymbol{F_1}$ ***y*** $\boldsymbol{F_2}$ y se comprueba experimentalmente que ***representa la fuerza resultante en intensidad, dirección y sentido***.

En el caso especial de dos fuerzas $\boldsymbol{F_1}$ y $\boldsymbol{F_2}$ perpendiculares entre sí, como en la Fig. (b), el triángulo *OAC* es rectángulo y sus catetos son las fuerzas $\boldsymbol{F_1}$ y $\boldsymbol{F_2}$. El valor y dirección de la resultante están dados por

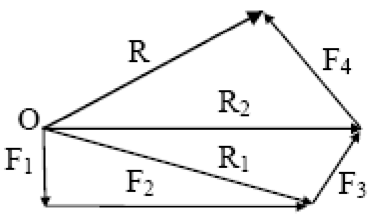
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \qquad tg\,\theta = \frac{F_2}{F_1}$$

Otro caso especial es el de dos fuerzas que tienen la misma recta de acción y el mismo sentido, o de sentido opuesto, como se muestra a continuación (Fig. a y b respectivamente).

(a) (b)

Si son **del mismo sentido**, el valor de la resultante ***R* *es igual a la suma de los valores de* $\boldsymbol{F_1}$ *y* $\boldsymbol{F_2}$.** Si son de ***sentido opuesto***, el valor de la resultante ***R*** **es igual a la** ***diferencia entre los valores de*** $\boldsymbol{F_1}$ ***y*** $\boldsymbol{F_2}$.

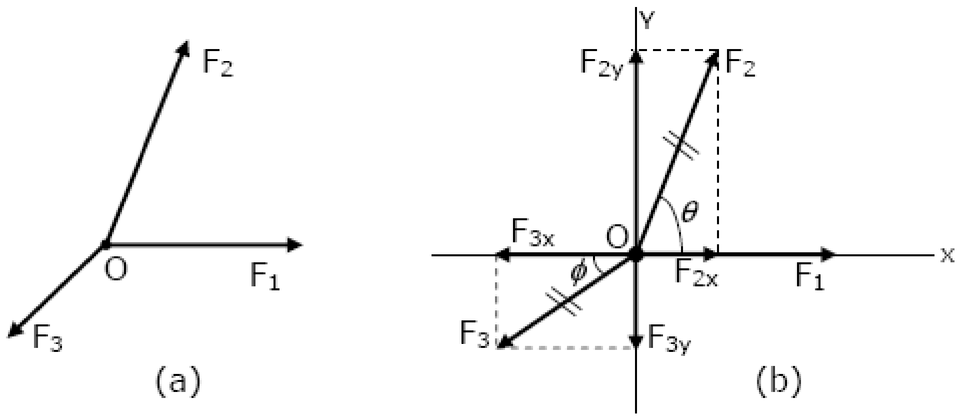
El **método del polígono**, el cual es un procedimiento gráfico satisfactorio para encontrar la resultante de un cierto número de fuerzas (pero presenta dificultades para el cálculo numérico). En la siguiente Figura, $\boldsymbol{F_1}$, $\boldsymbol{F_2}$, $\boldsymbol{F_3}$ ***y*** $\boldsymbol{F_4}$ son un conjunto de fuerzas concurrentes y coplanarias. $\boldsymbol{R_1}$ es la resultante de $\boldsymbol{F_1}$ y $\boldsymbol{F_2}$. $\boldsymbol{R_2}$ es la resultante de $\boldsymbol{R_1}$ y $\boldsymbol{F_3}$.
R es la resultante de $\boldsymbol{R_2}$ y $\boldsymbol{F_4}$ (***R*** es las resultante del conjunto).



1.5 COMPOSICIÓN DE FUERZAS DADAS POR SUS COMPONENTES RECTANGULARES

En las siguientes Figs. se representan tres fuerzas concurrentes $\mathbf{F_1}$, $\mathbf{F_2}$ y $\mathbf{F_3}$, cuya resultante se desea encontrar. Para ello construimos un par de ejes rectangulares de dirección arbitraria. Se obtiene una simplificación si uno de los ejes coincide con una de las fuerzas, lo que es siempre posible.

En la Fig. (b), el eje ***x*** coincide con la fuerza $\mathbf{F_1}$.

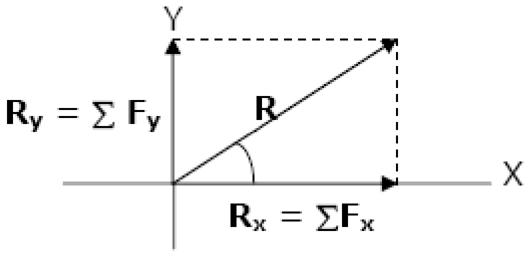


En primer lugar, debemos descomponer cada una de las fuerzas dadas en sus componentes según los ejes ***x*** e ***y***. De acuerdo con los convenios habituales de la geometría analítica, se consideran positivas las componentes según el eje ***x*** dirigidas hacia la derecha y, negativas, las dirigidas hacia la izquierda. Además, las componentes según el eje ***y*** dirigidas hacia arriba se consideran positivas y las dirigidas hacia abajo negativas. La fuerza $\mathbf{F_1}$ coincide con el eje ***x*** y no necesita ser descompuesta.

Las componentes de $\mathbf{F_2}$ son $\mathbf{F_{2x}} = \mathbf{F_2}\ \mathbf{cos}\,\theta$ y $\mathbf{F_{2y}} = \mathbf{F_2}\ \mathbf{sen}\,\theta$; ambas son positivas ($\mathbf{F_{2x}}$ ha sido desplazada ligeramente hacia arriba para representarla con mayor claridad). Las componentes de $\mathbf{F_3}$ son $\mathbf{F_{3x}} = \mathbf{F_3}\ \mathbf{cos}\,\varphi$ y $\mathbf{F_{3y}} = \mathbf{F_3}\ \mathbf{sen}\,\varphi$; ambas son negativas.

Imaginemos ahora que suprimimos $\mathbf{F_2}$ y $\mathbf{F_3}$ y que las reemplazamos por sus componentes rectangulares (para indicar esto, se han cruzado ligeramente los vectores $\mathbf{F_2}$ y $\mathbf{F_3}$). Todas las componentes según el eje ***x*** pueden componerse ahora en una sola fuerza $\mathbf{R_x}$, cuyo valor es igual a la suma algebraica de las componentes según ***x***, o sea $\sum \mathbf{F_x}$; y todas las componentes según el eje ***y*** pueden componerse en una sola fuerza $\mathbf{R_y}$, de valor $\sum \mathbf{F_y}$. Es decir:

$$\boxed{\mathbf{R_x} = \sum \mathbf{F_x} \qquad \mathbf{R_y} = \sum \mathbf{F_y}}$$



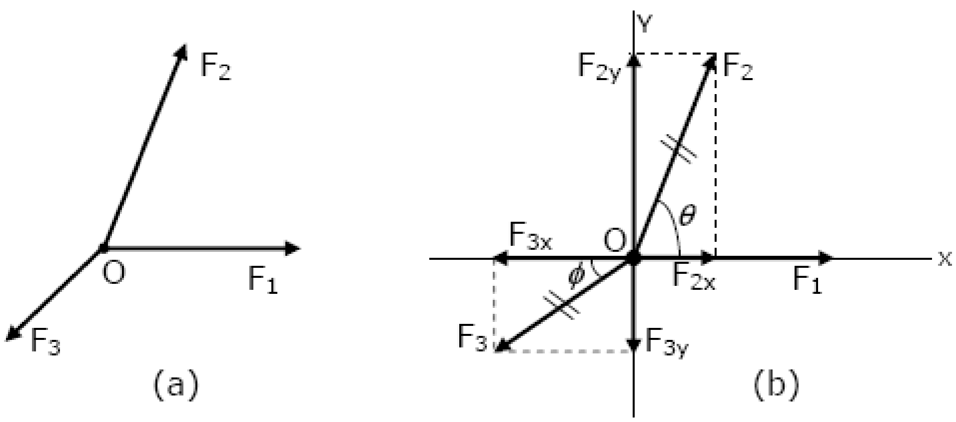
Finalmente, éstas pueden componerse como se indica en la Fig. superior, para formar la resultante **R**, cuyo valor, puesto que $\mathbf{R_X}$ y $\mathbf{R_Y}$ son perpendiculares entre sí, es

$$\boxed{R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}}$$

El ángulo α que forma **R** con el eje ***x*** puede calcularse ahora mediante una cualquiera de sus funciones trigonométricas:

$$\boxed{tg\ \alpha = \frac{R_y}{R_x}}$$

<u>Ejemplo</u>: Para la siguiente Fig.:



Donde:

F_1 = 120 N

F_2 = 200 N

F_3 = 150 N

θ = 60º y φ = 45º

Los cálculos pueden disponerse en forma sistemática como sigue:

Fuerza	Ángulo	Componente *x*	Componente *y*
F_1 = 120 N	0º	+120 N	0
F_2 = 200 N	60º	+100 N	+173 N
F_3 = 150 N	45º	- 106 N	- 106 N
		$\sum F_x$ = + 114 N	$\sum F_y$ = + 67 N

Por lo tanto la Resultante del sistema de Fuerzas será:

$$R = \sqrt{(114\ N)^2 + (67\ N)^2} = 132\ N$$

$$\alpha = \text{arc tg}\ \frac{67\ N}{114\ N} = \text{arc tg}\ 0{,}588 = 30{,}4^{o}$$

Unidad 2:
Cinemática

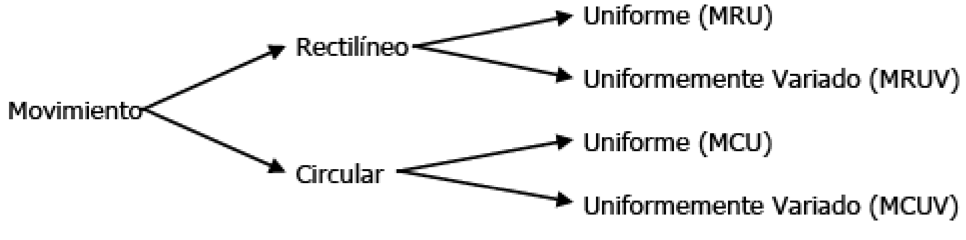
Es la parte de la Física donde se estudia el movimiento de los cuerpos, independientemente de las causas que provocan dicho movimiento. Es decir, se analizan las características de los movimientos, a lo largo de su recorrido, pero no se plantean las causas que generan dicho movimiento.

Llamamos **móvil** a toda partícula (objeto puntual) en movimiento. Hablamos de objeto puntual pues en estas ecuaciones no consideramos un factor muy importante que afecta al movimiento como es el rozamiento con el aire. En otras palabras, trabajaremos con móviles cuyo coeficiente aerodinámico es el valor más alto. Un cuerpo está en movimiento cuando su posición varía a través del tiempo. Estos movimientos son siempre relativos pues para un observador en la tierra, un edificio sería un objeto carente de movimiento, mientras que para un observador en el espacio, dicho edificio estará animado de movimiento rotacional y trasnacional. Por eso hablamos de movimiento relativo, dependiendo de la ubicación del sistema de referencia (centro de coordenadas).

Todos los movimientos que analizaremos estarán referidos a un sistema de ejes en reposo con respecto al observador.

Denominamos **trayectoria** a la línea que une las distintas posiciones de un móvil. Pueden ser rectilíneas, circulares, elípticas, parabólicas, etc. El espacio es la longitud de camino recorrido a partir de un punto tomado como origen.

2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS:



2.2 MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME (M.R.U.)

En el movimiento rectilíneo uniforme los cuerpos se mueven en línea recta y siempre con la misma velocidad, es decir mantiene la velocidad sin modificarla. Ahora bien, ¿cuál será la función matemática que, a partir de las características del M.R.U., describa el desplazamiento de los cuerpos en función del tiempo?

Deduciendo que la velocidad media es el cambio de posición en un intervalo de tiempo, tenemos la siguiente expresión:

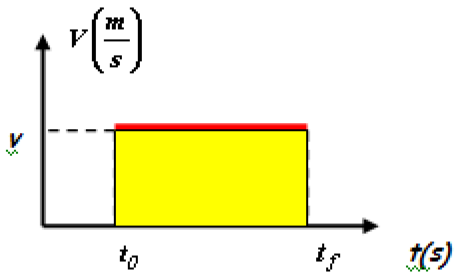
$$V_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

y debido a que la velocidad se mantiene constante durante todo el período de tiempo, podemos decir que la velocidad media es igual a la velocidad, $V_m = V$. Al relacionar las dos expresiones obtenemos que:

$$\boxed{V = \frac{\Delta x}{\Delta t}}$$

Esta expresión nos permite calcular el desplazamiento Δx que cada cuerpo realiza en cada intervalo Δt de tiempo.

Al llevar las condiciones del M.R.U. a un gráfico que relacione la velocidad con el tiempo (a éste gráfico lo llamaremos velocidad en función del tiempo), observamos:



Teniendo en cuenta el gráfico de v(t) podemos deducir que el producto $v \cdot \Delta t$ corresponde al área bajo la línea dentro del intervalo de tiempo. Es un área muy especial que no se mide en m^2 o en cm^2, sino que al multiplicar las unidades de la velocidad con las unidades de tiempo obtenemos: $\frac{m}{s} \cdot s = m$ es decir, éste área tiene unidades de longitud y representa el desplazamiento que realiza el móvil, en un determinado tiempo.

La ecuación general (también llamada horaria) del M.R.U. se puede obtener a partir de la fórmula de velocidad:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$v \cdot \Delta t = \Delta x$$

$$v \cdot (t_f - t_0) = x_f - x_0$$

$$v \cdot (t_f - t_0) + x_0 = x_f$$

$$\boxed{x_f = v \cdot (t_f - t_0) + x_0}$$

v es la velocidad del móvil
x_f es la posición final del móvil
x_0 es la posición inicial del móvil, es el punto de partida del móvil
t_f es el instante en el que llega a la posición final
t_0 es el instante en el que comienza a moverse.

2.2.1 LEYES DEL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

1ra Ley: La velocidad es constante.

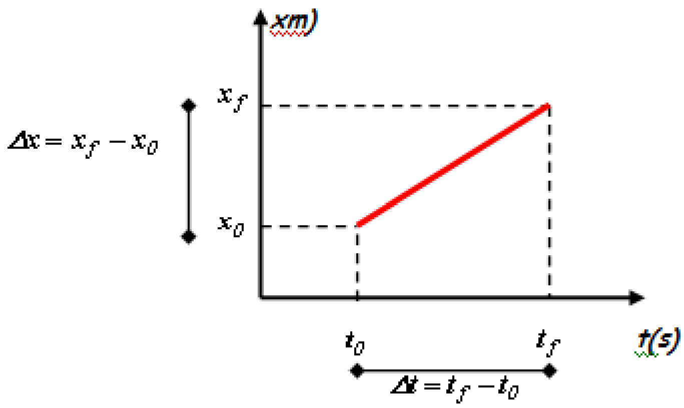
v = cte.

2da Ley: El espacio recorrido es proporcional al tiempo siendo la constante de proporcionalidad, la velocidad.

x = v . t

2.2.2 REPRESENTACIÓN GRAFICA DEL MRU

Si representamos gráficamente la ecuación horaria en un gráfico de espacio en función del tiempo, podemos observar que se obtiene una línea recta:



Si analizamos la ecuación horaria podemos llegar a la ecuación de una recta. Para facilitar los cálculos, suponemos que el móvil comienza su movimiento en $t_0 = 0s$, si reemplazamos éste valor en la ecuación horaria tenemos:

$$x_f = v \cdot (t_f - 0s) + x_0$$

$x_f = v \cdot t_f + x_0$ Esta expresión coincide con la ecuación de una recta

$$y = m \cdot x + b$$

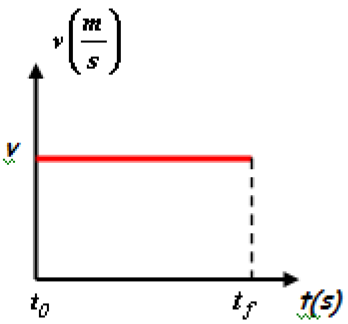
Se tendrá en cuenta en la resolución de problemas que todo móvil que avanza o se desplaza hacia la derecha o hacia arriba tiene velocidad positiva. Por lo tanto establecemos nuestro sistema de referencia para la velocidad y la posición de los móviles como el empleado en matemática, con los ejes de coordenadas cartesianas, habitualmente llamados eje X y eje Y.

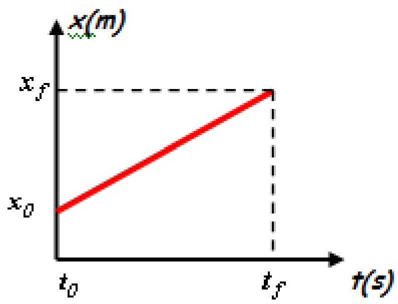
Recordando que la pendiente de una recta es constante, podemos deducir que la velocidad es el valor de la pendiente de la ecuación horaria.

De éste análisis podemos deducir que para iguales intervalos de tiempo el cuerpo se desplaza en longitudes iguales.

Análisis de gráficos de x(t) y v(t)

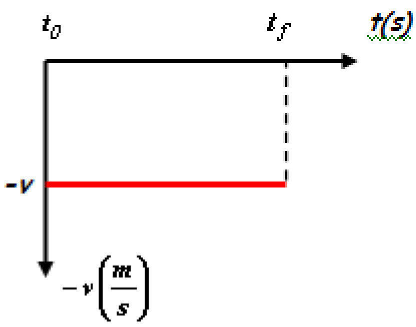
a) Si el móvil avanza (es decir si se desplaza a favor del sentido positivo del eje de referencia), se considera que la velocidad es positiva, por lo tanto los gráficos de x(t) y v(t) son:

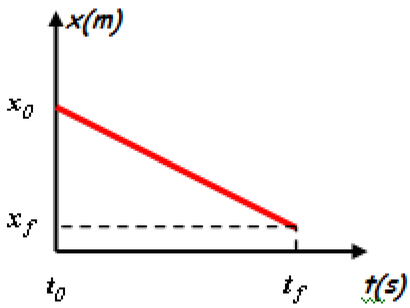




El gráfico de x(t) representa a un móvil que AVANZA, manteniendo constante su velocidad, por tal motivo la pendiente de la recta debe ser POSITIVA (recordemos que la pendiente corresponde a la velocidad).

b) Si el móvil retrocede (es decir si se desplaza en sentido contrario al sistema positivo del eje de referencia), se considera que la velocidad es negativa, por lo tanto los gráficos de x(t) y v(t) son:





El gráfico de x(t) representa a un móvil que RETROCEDE, manteniendo constante su velocidad, por tal motivo la pendiente de ésta recta debe ser NEGATIVA (recordemos que la pendiente corresponde a la velocidad). Cuando el móvil retrocede Δx, también ES NEGATIVO

<u>Velocidad Instantánea</u>

Es la velocidad de un móvil en un cierto instante, o en determinado punto de su trayecto. La velocidad instantánea en un punto P de un trayecto puede definirse como el valor del límite de la velocidad media cuando nos acercamos al punto P, Su expresión matemática es:

$$\boxed{V_i = lim_{t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}}$$

Cuando la velocidad instantánea de un móvil es constante y, por lo tanto, igual a su velocidad media, se dice que el movimiento es rectilíneo uniforme.

<u>Unidades y equivalencias:</u>

[V] = m/s ; cm/min ; km/h

1 Km = 1000 m

1 hora = 3600 seg

2.3 MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (M.R.U.V.)

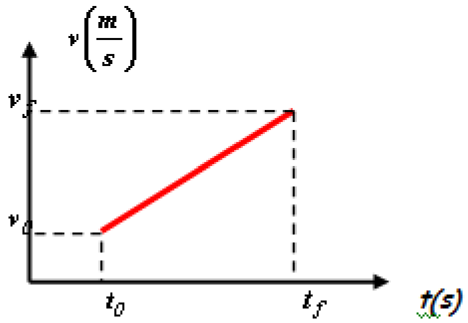
En el movimiento rectilíneo uniformemente variado los cuerpos se mueven en línea recta y modifican su velocidad, pero en forma gradual, ya sea aumentándola o disminuyéndola. En éste movimiento aceleración permanece constante. La aceleración surge porque la velocidad cambia. Siempre que la velocidad se modifique aparecerá una aceleración.

Sabiendo que la aceleración que adquiere un móvil es la variación de la velocidad con relación al tiempo empleado en cambiar dicha velocidad, matemáticamente se puede escribir que:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

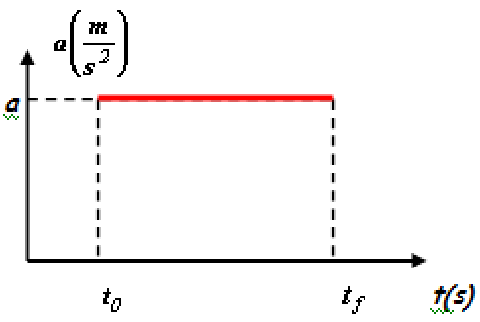
$$\boxed{a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}}$$

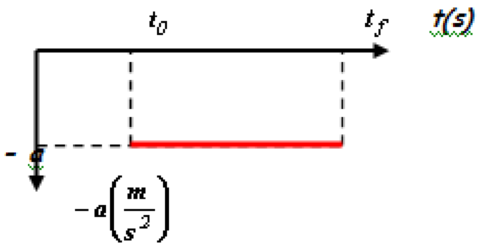
Si representamos gráficamente la v(t) podremos analizar la ecuación de la aceleración



A partir de la representación gráfica podemos deducir que la pendiente de la recta es la aceleración y por lo tanto se puede asegurar que para iguales intervalos de tiempo la velocidad cambia en cantidades iguales.

La representación gráfica de la aceleración en el M.R.U.V. siempre es un segmento paralelo al eje del tiempo, debido a que permanece constante (sin modificarse) durante todo el trayecto.

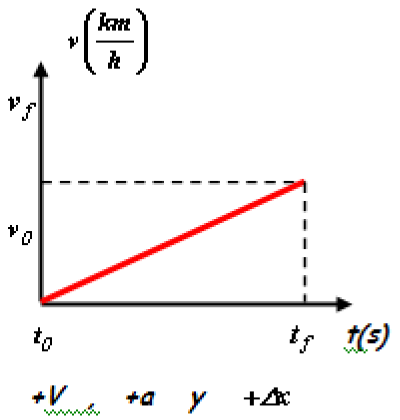


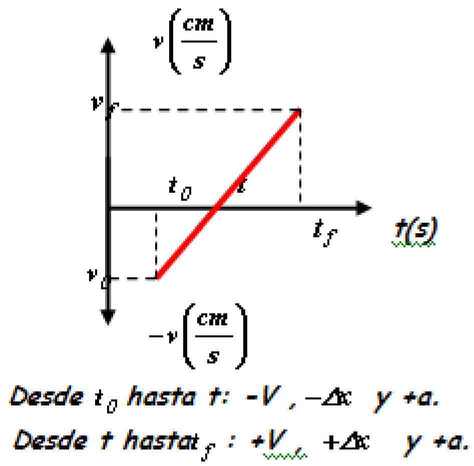


El signo de la aceleración depende de la inclinación de la recta que se obtiene al relacionar la v(t). Éste signo no nos aclara si el móvil avanza o retrocede, y no nos alcanza para saber si el móvil aumenta o disminuye su velocidad.

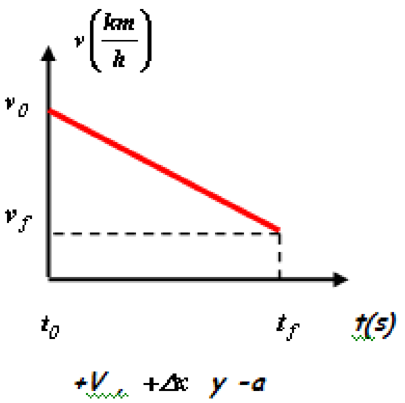
Utilizando las propiedades de pendiente de una recta podemos deducir que:

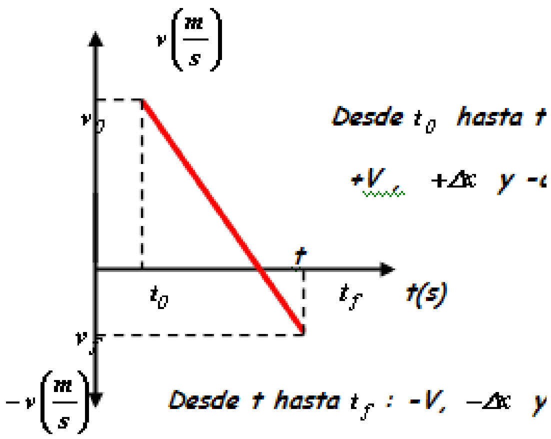
a) si un móvil avanza aumentando su velocidad o retrocede disminuyendo la velocidad, la aceleración es POSITIVA, porque la recta que se obtiene al representar gráficamente v(t) es CRECIENTE.





b) si un móvil avanza disminuyendo su velocidad o retrocede aumentando su velocidad, la aceleración es NEGATIVA, porque la recta que se obtiene al representar gráficamente v(t) es DECRECIENTE.





En la resolución de problemas se debe tener en cuenta los signos de la velocidad, de la aceleración, desplazamiento del móvil y de su posición. Si un móvil se encuentra delante del punto de referencia su posición es POSITIVA, pero si se encuentra detrás del punto de referencia, su posición es NEGATIVA.

Se considerará que todo móvil que avanza, es decir, se desplaza hacia la derecha del sistema de referencia, tiene velocidad POSITIVA. Y todo móvil que retroceda, es decir, se desplaza hacia la izquierda del sistema de referencia, tiene velocidad NEGATIVA

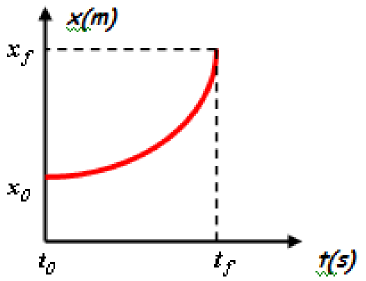
La aceleración es POSITIVA cuando el móvil avanza aumentando la velocidad o cuando retrocede disminuyendo la velocidad.

La aceleración es NEGATIVA cuando el móvil avanza disminuyendo la velocidad o cuando retrocede aumentando la velocidad. (Recordemos que los signos de la aceleración surgen de la pendiente de la recta cuando se grafica la v(t), no nos indica si el móvil avanza o retrocede).

Cuando un móvil avanza su Δx (distancia recorrida) ES POSITIVO y cuando retrocede su Δx ES NEGATIVO.

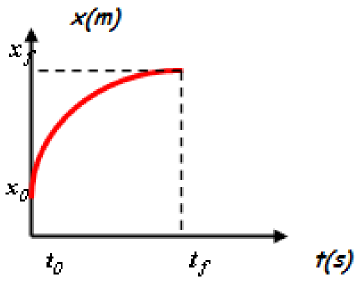
Cuando un móvil avanza la gráfica de la posición en función del tiempo puede tener las siguientes características:

a) avanza aumentando la velocidad



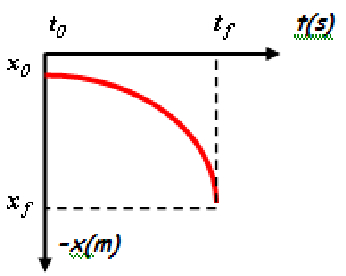
Su velocidad, aceleración y desplazamiento son positivos

b) avanza disminuyendo la velocidad



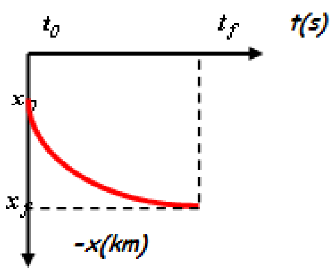
Su velocidad y desplazamiento son positivos y su aceleración negativa

c) retrocede aumentando la velocidad



Su velocidad, aceleración y desplazamiento son negativos

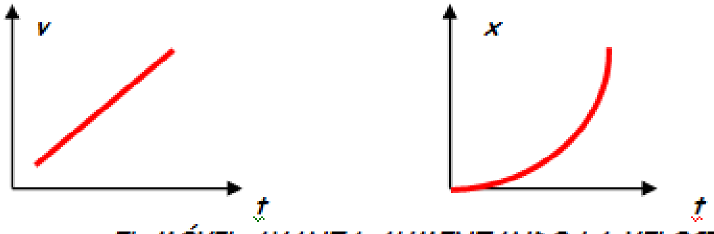
d) retrocede disminuyendo la velocidad



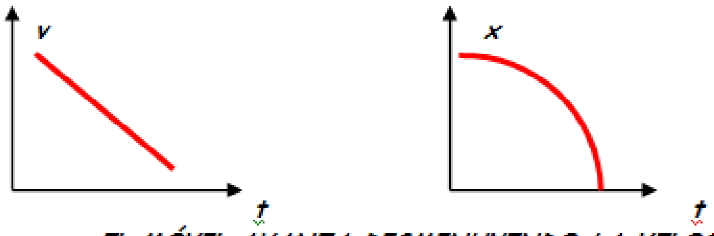
Su velocidad y desplazamiento son negativos y su aceleración positiva

Resumen de Gráficos del M.R.U.V.

a) El móvil avanza por lo tanto la $v > 0$ y $\Delta x > 0$

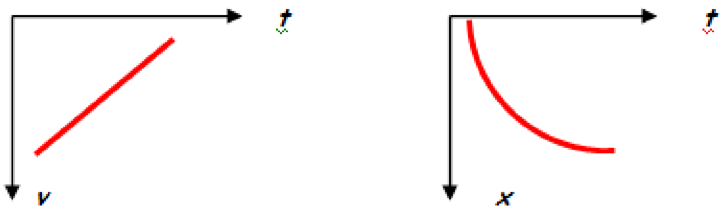


EL MÓVIL AVANZA AUMENTANDO LA VELOCIDAD, POR LO TANTO a>0

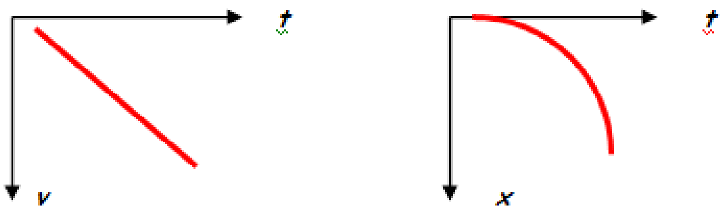


EL MÓVIL AVANZA DISMINUYENDO LA VELOCIDAD, POR LO TANTO a<0

b) el móvil retrocede, por lo tanto $v < 0$ y $\Delta x < 0$



EL MÓVIL RETROCEDE DISMINUYENDO LA VELOCIDAD, POR LO TANTO a>0



EL MÓVIL RETROCEDE AUMENTANDO LA VELOCIDAD, POR LO TANTO a<0

Las ecuaciones que se podrán utilizar en el M.R.U.V. son las siguientes:

$$\boxed{a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}}$$

$$\boxed{x_f - x_0 = v_0 \cdot (t_f - t_0) + \frac{1}{2} \cdot a \cdot (t_f - t_0)^2}$$

$$\boxed{v_f^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x}$$

Unidades:

[a] = m/s^2 ; cm/min^2 ; km/h^2

2.4 CAÍDA LIBRE Y TIRO VERTICAL

El filósofo Aristóteles (300 años a.C.) pensó que, al dejar caer simultáneamente 2 cuerpos de diferente peso, desde una misma altura, el más pesado llegaría primero al suelo.
Este razonamiento se mantuvo hasta que en 1590, el físico Galileo Galilei llegó a la conclusión que tanto el cuerpo pesado como el liviano deben caer de igual forma y llegar al suelo simultáneamente, al soltarlos desde la misma altura.
En la actualidad sabemos que es el aire y no el peso de los cuerpos el que influye en su caída. El aire se opone al movimiento de caída de los cuerpos.
Por tal motivo se establece que todos los trabajos de caída libre y tiro vertical se realizarán en el vacío o sin tener en cuenta la influencia del aire. Por lo tanto en ausencia de aire, todos los cuerpos:

a) caen en línea recta

b) cuando se los deja caer o se los tira hacia abajo, aumentan su velocidad en forma proporcional a medida que van cayendo

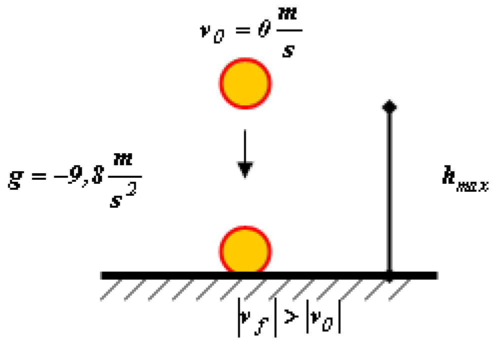
c) caen con la misma aceleración, esta aceleración se denomina aceleración de la gravedad, suele simbolizarse con la letra g y su valor varía de acuerdo con los distintos lugares de la Tierra. Nosotros consideraremos que la aceleración de la gravedad tiene un valor de +/- 9,8 m/s^2.

d) llegan al suelo en el mismo instante cuando se los suelta de una misma altura, sin importar el peso o la forma de los cuerpos.

Características de Caída Libre

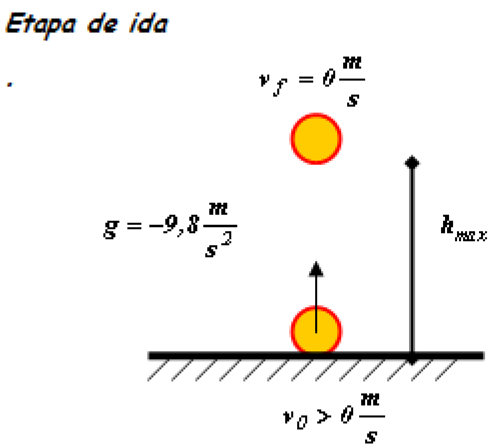
Si analizamos las características de los cuerpos que caen libremente veremos que tiene las mismas características del M.R.U.V. . Los cuerpos se desplazan en línea recta y aumentan su velocidad en forma proporcional, por lo tanto mantienen una aceleración constante durante todo el trayecto.

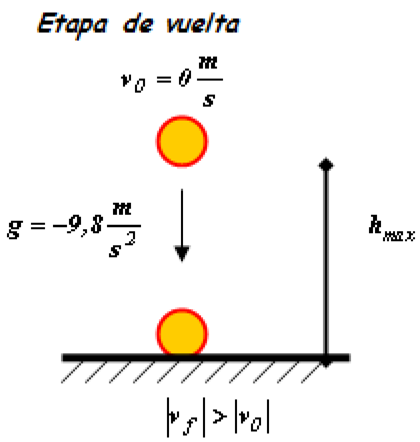
La única diferencia se establece en la caída libre donde todos los cuerpos tienen la misma aceleración (g).



Características del Tiro Vertical

Para facilitar el análisis del movimiento de los cuerpos en el tiro vertical consideraremos dos etapas, una etapa es cuando el cuerpo sube y la otra es cuando el cuerpo baja.





Etapa de ida:

a) para que un cuerpo suba es necesario que tenga una velocidad mayor a cero, un cuerpo no sube si su velocidad es igual a cero.
b) cuando un cuerpo sube su velocidad tiene signo POSITIVO.
c) a medida que sube su velocidad va disminuyendo, por tal motivo la aceleración de la gravedad es negativa.
d) cuando se detiene alcanza una velocidad igual a cero, en éste punto, llega a su altura máxima; por lo tanto podemos decir que en la altura máxima la velocidad es igual a cero.
e) el desplazamiento es POSITIVO.

En la etapa de vuelta:

Se cumplen las mismas características que poseen los cuerpos en la caída libre:
a) la velocidad de partida es igual a cero.
b) cuando el cuerpo baja la velocidad tiene signo NEGATIVO.
c) a medida que baja, su velocidad va aumentando, pero como tiene signo negativo, la aceleración de la gravedad es NEGATIVA.
d) el desplazamiento es NEGATIVO.

Si relacionamos la etapa de ida con la etapa de vuelta podemos establecer que:

a) el tiempo que tarda en subir es el mismo tiempo que tarda en volver al mismo lugar del punto de partida.
b) la velocidad de partida en la etapa de ida es igual a la velocidad de llegada en la etapa de vuelta, siempre que llegue al mismo lugar del punto de partida.
c) cuando el cuerpo deja de subir, alcanza su altura máxima, es decir, cuando la velocidad de ida es igual a cero, el cuerpo alcanza su máxima altura.

Formulas de Caída Libre y Tiro Vertical

Recordando que la caída libre y el tiro vertical cumplen con las condiciones del M.R.U.V. sus fórmulas deben ser similares. Si las comparamos obtenemos:

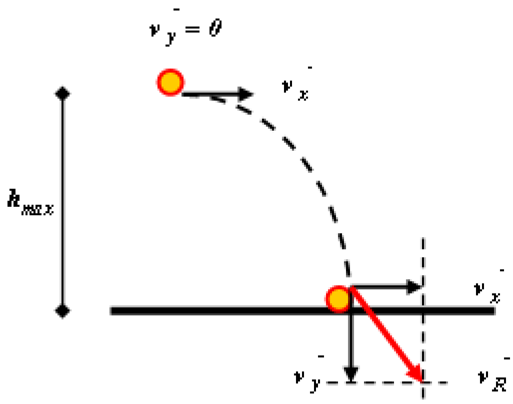
M.R.U.V.	**Caída Libre y Tiro Vertical**
$a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$	$g = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$
$x_f = v_0 \cdot (t_f - t_0) + \frac{1}{2} \cdot a \cdot (t_f - t_0)^2 + x_0$	$h_f = v_0 \cdot (t_f - t_0) + \frac{1}{2} \cdot g \cdot (t_f - t_0)^2 + h_0$
$v_f^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$	$v_f^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot \Delta h$

2.5 MOVIMIENTO PARABÓLICO

PRIMER CASO

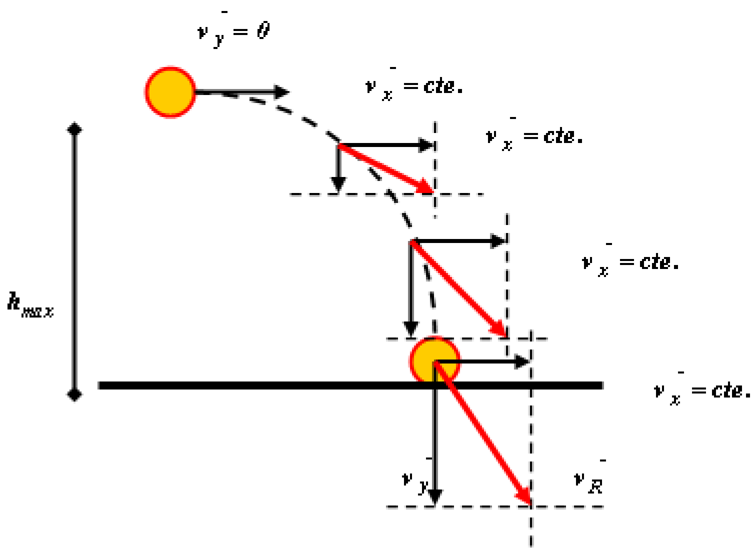
Cuando a un cuerpo que se encuentra a cierta altura y se le aplica una velocidad constante y horizontal hasta llegar al suelo, observaremos que sigue un recorrido correspondiente a la mitad de una parábola.

En este caso a un cuerpo que esta a cierta altura y se lo deja caer al mismo tiempo que se le aplica una velocidad horizontal a lo largo de todo el trayecto que realizará. Esta velocidad horizontal siempre mantiene el mismo valor, es decir se mantiene constante.



Como resultado de la combinación de la caída libre del cuerpo y de la velocidad horizontal se obtiene un movimiento denominado parabólico.

A medida que el cuerpo cae la velocidad vertical ($\overrightarrow{v_y}$) va aumentando, por lo tanto la velocidad resultante ($\overrightarrow{v_R}$) también aumenta.

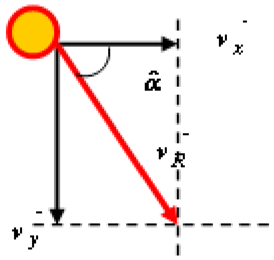


Si queremos calcular la velocidad resultante en cualquier punto del trayecto, se aplica el teorema de Pitágoras, debido a que las velocidades que intervienen siempre son perpendiculares.

La fórmula que se emplea para el cálculo de la velocidad resultante es la siguiente:

$$\boxed{v_R^{\,2} = v_x^{\,2} + v_y^{\,2}}$$

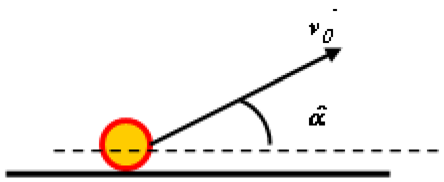
Si queremos calcular el ángulo de inclinación de la velocidad resultante, aplicamos la teoría de las razones trigonométricas:

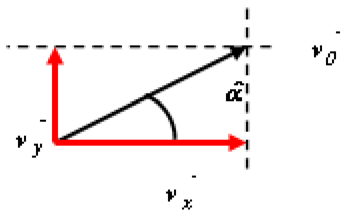


$$arctg\,\hat{\alpha} = \frac{\vec{v}_y}{\vec{v}_x}$$

SEGUNDO CASO

Cuando a un cuerpo le aplicamos una velocidad que tiene un ángulo de elevación, veremos que realiza un movimiento parabólico. Para analizar dicho movimiento es necesario descomponer la velocidad original en dos componentes, una horizontal y otra vertical.





Para obtener el valor de cada componente, en la descomposición de vectores, se utilizan las razones trigonométricas, debido a que entre ellos forman un ángulo recto, y al sumar vectorialmente las componentes obtenemos un triángulo rectángulo.

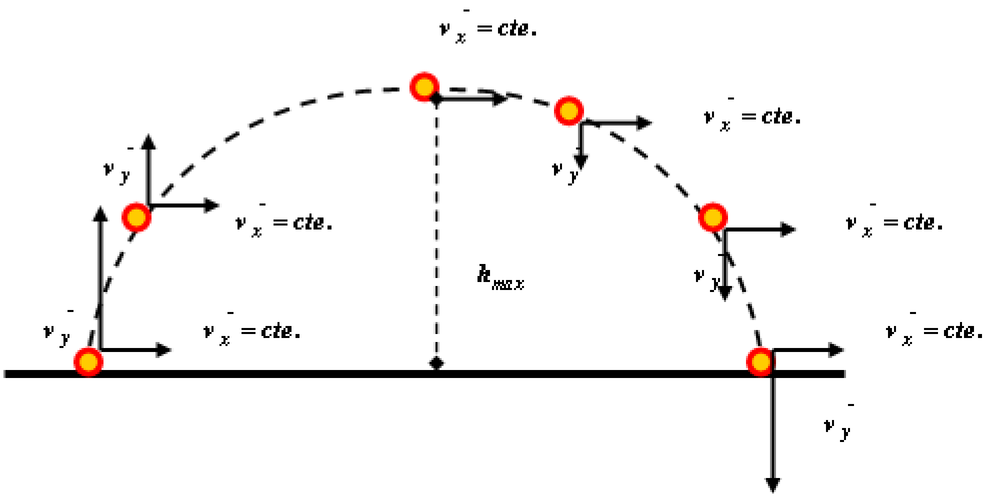
Fórmula para calcular la COMPONENTE HORIZONTAL de la velocidad inicial

$$v_x = v_0 \cdot cos\,\hat{\alpha}$$

Fórmula para calcular la COMPONENTE VERTICAL de la velocidad inicial

$$v_y = v_0 \cdot sen\,\hat{\alpha}$$

Si recordamos como varía la velocidad en el tiro vertical y mantenemos constante la velocidad horizontal obtendremos el movimiento parabólico.



Se puede interpretar el movimiento parabólico como un tiro vertical combinado con una velocidad horizontal constante. Es decir a medida que el cuerpo sube y luego baja, en todo instante, se le aplica una velocidad horizontal que no cambia su módulo. Como combinación de estos dos movimientos se obtiene el movimiento parabólico.

Para resolver los problemas del movimiento parabólico se aplica toda la teoría del tiro vertical en la componente vertical ($\overrightarrow{v_y}$) de la velocidad dada originalmente y la teoría del M.R.U. en la componente horizontal ($\overrightarrow{v_x}$) de la velocidad original.

Es decir se aplican las fórmulas del tiro vertical y del M.R.U. SI DESCOMPONEMOS INICIALMENTE la velocidad original.

Basándonos en la teoría del tiro vertical, podemos aplicarla en el movimiento parabólico y tenemos:

a) la velocidad de partida es igual a la velocidad de llegada, siempre que llegue a un punto que esté a la misma altura que el punto de partida.
b) el tiempo de ida es igual al tiempo de vuelta, siempre que llegue a un punto que esté a la misma altura que el punto de partida.
c) a un mismo nivel o altura, la velocidad de subida es igual a la velocidad con que baja el cuerpo.
d) en la altura máxima la componente vertical de la velocidad es igual a cero.
e) el ángulo de elevación es igual al ángulo de depresión en la misma altura
f) se denomina alcance a la mayor distancia horizontal recorrida por el cuerpo.
g) en la etapa de ida, la velocidad real es POSITIVA, lo mismo que la componente vertical.
h) en la etapa de vuelta, la velocidad real es NEGATIVA, lo mismo que la componente vertical.

Una fórmula para calcular el alcance de un cuerpo donde el punto de partida y el punto de llegada SE ENCUENTRAN A UN MISMO NIVEL O ALTURA es:

$$\boxed{a = \frac{v_0^{\,2}}{g} \cdot sen2 \cdot \hat{\alpha}}$$

Otra fórmula empleada para calcular la altura máxima de un cuerpo donde el punto de partida ESTÁ AL MISMO NIVEL O ALTURA que el punto de llegada es:

$$\boxed{h_{max} = \frac{v_0^{\,2} \cdot sen^2 \hat{\alpha}}{2 \cdot g}}$$

En ambas fórmulas se utiliza el valor POSITIVO de la aceleración de la gravedad.

Unidad 3:
Dinámica

Es la parte de la Física que se encarga de estudiar las causas que generan el movimiento en los cuerpos y la relación entre dichas causas y el movimiento generado. En base a nuestra experiencia podemos comprender que para mover un cuerpo es necesario aplicar una o más de una fuerza.

La mecánica se basa en tres leyes naturales, enunciadas por primera vez de un modo preciso por Isaac Newton (1643-1727). No debe deducirse, sin embargo, que la mecánica como ciencia comenzó con Newton. Muchos le habían precedido en estos estudios, siendo el más destacado Galileo Galilei (1564-1642), quien, en sus trabajos sobre el movimiento acelerado, había establecido los fundamentos para la formulación por Newton de sus tres leyes.

3.1 FUERZA

La **mecánica** es la rama de la física y de la ingeniería que **se ocupa del movimiento de los cuerpos materiales** y de las **causas que provocan dicho movimiento**.

Cuando empujamos un cuerpo o tiramos de él, decimos que ejercemos una *fuerza* sobre el mismo. Esta fuerza está en contacto con el cuerpo empujado o atraído por la misma. ***Fuerza*** **es toda causa capaz de sacar un cuerpo de su posición de equilibrio o alterar su estado de movimiento.**

Las fuerzas pueden ser ejercidas también por objetos inanimados: un resorte tenso ejerce fuerzas sobre los cuerpos atados a sus extremos; el aire comprimido ejerce una fuerza sobre las paredes del recipiente que lo contiene; una locomotora ejerce una fuerza sobre el tren que está arrastrando.


Un resorte tenso ejerce fuerzas sobre los cuerpos atados a sus extremos


El aire comprimido ejerce una fuerza sobre las paredes del recipiente que lo contiene

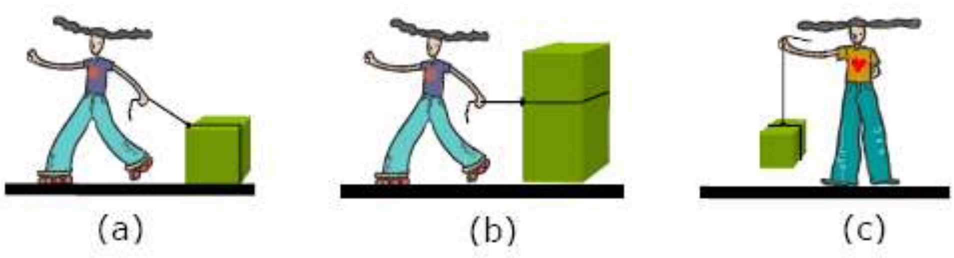

Una locomotora ejerce una fuerza sobre el tren que está arrastrando

La fuerza que mejor conocemos en nuestra vida diaria es la **fuerza de atracción gravitatoria ejercida sobre todo cuerpo por la Tierra, y que denominamos *peso* del cuerpo**. Las **fuerzas gravitatorias** (así como las fuerzas eléctricas y magnéticas) pueden actuar a través del vacío sin tener contacto con el cuerpo.

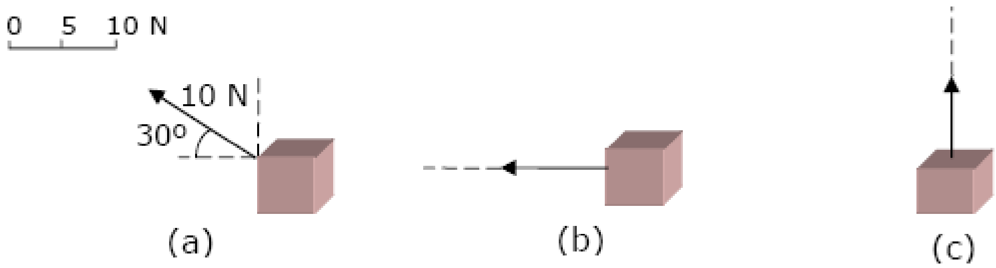
Un instrumento frecuentemente utilizado para medir fuerzas es la **balanza de resorte** (conocida como **dinamómetro**).

Representación gráfica de las fuerzas: Vectores

Supongamos que se mover u n a hacia adelante o levantarla separándola del suelo, tal como se muestra a continuación:



El diagrama de fuerzas que correspondiente a las figuras superiores (hay otras fuerzas que actúan sobre la caja, no indicadas en la figura, como por ejemplo: la fuerza de gravedad) sería el siguiente:



Siendo el valor del empuje o de la tracción de 10 N, escribir simplemente "10 N" sobre el esquema no determinará completamente la fuerza, puesto que no indicará la dirección y el sentido en la cual está actuando. Se debe escribir "10 N y 30º por encima de la horizontal, hacia la izquierda".

Por lo tanto de se adopta el convenio de representar:

- **Fuerza**: por una ***flecha***,
- **Módulo o Intensidad**: por la ***longitud de la flecha*** a una cierta escala elegida (indica el ***valor de la fuerza*** mediante ***un número*** y ***su unidad***),
- **Dirección**: ***recta*** a la cual pertenece el vector,
- **Sentido**: el ***sentido en que apunta la flecha*** muestra el ***sentido de la fuerza***,
- **Punto de aplicación**: punto que ***pertenece al cuerpo*** y es ***donde se ha aplicado la fuerza***.

3.2 PESO DE CUERPO

La masa de un cuerpo es una propiedad intrínseca del cuerpo, o sea, invariable con respecto a su velocidad, posición, etc. Debido a que la gravedad en la Tierra varía, se puede deducir que el peso de un cuerpo no es una propiedad intrínseca del mismo, o sea que varía según el lugar en que nos encontramos. También es importante tener en cuenta que si bien la aceleración de la gravedad varía muy poco en el planeta Tierra, varía notablemente de un planeta a otro.

El principio de masa (que se vera más adelante) se puede aplicar al caso particular del peso de un cuerpo. Teniendo en cuenta que el peso es la fuerza con la que la Tierra atrae los cuerpos. Como la aceleración que adquieren los cuerpos sometidos a su peso, es igual para todos ($g = 9{,}8 \frac{m}{s^2}$), podemos escribir que, si F = m . a , entonces:

$$\boxed{P = m \cdot g}$$

3.3 PRINCIPIO DE INERCIA – PRIMERA LEY DE NEWTON

Un efecto de las fuerzas es alterar las dimensiones o la forma del cuerpo sobre el que actúan; otro consiste en modificar su estado de movimiento. **El movimiento de un cuerpo** puede considerarse compuesto de su **movimiento como conjunto**, o **movimiento de traslación**, y de cualquier **movimiento de rotación** que el cuerpo pueda tener.

En el caso más general, **una fuerza única** actuando sobre un cuerpo produce a la vez ***cambios en sus movimientos de traslación y de rotación***.

Cuando **varias fuerzas** actúan simultáneamente sobre un cuerpo, sus efectos pueden compensarse entre sí, dando como resultado que no haya cambio en su movimiento de traslación ni en el de rotación. Cuando sucede esto, se dice que ***el cuerpo está en*** **equilibrio**, lo que significa:

1. *que el cuerpo en conjunto o permanece en reposo o se mueve en línea recta con velocidad constante*;

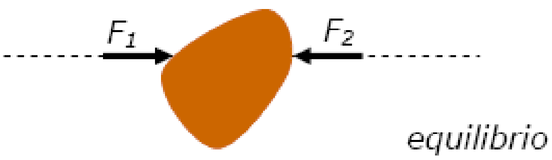
2. *que el cuerpo no gira o que lo hace con velocidad angular constante*.

Analicemos algunas experiencias (idealizadas a partir de las cuales podamos deducir las leyes del equilibrio:

Si representamos un objeto rígido y plano de forma arbitraria colocado sobre una superficie horizontal de rozamiento despreciable y le aplicamos una fuerza única $\boldsymbol{F_1}$ (figura siguiente), estando inicialmente el objeto en reposo, observaremos que comienza a la vez a moverse y a girar en el sentido de las agujas de un reloj.

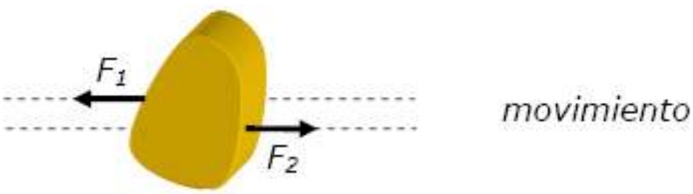
Si el cuerpo está inicialmente en movimiento, el efecto de la fuerza es cambiar el movimiento de traslación en magnitud o en dirección (o ambas cosas a la vez) y aumentar o disminuir su velocidad de rotación. Es decir, en todo caso el cuerpo no permanece en equilibrio.

El equilibrio se restablece aplicando una segunda fuerza $\boldsymbol{F_2}$ (figura siguiente) que sea de igual valor que $\boldsymbol{F_1}$ y actúe en su misma línea de acción, pero en sentido opuesto. La resultante de $\boldsymbol{F_1}$ y $\boldsymbol{F_2}$ es en consecuencia nula.

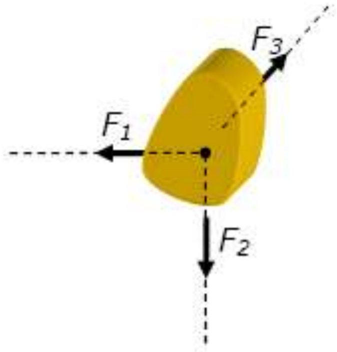


$$\boxed{\begin{aligned} F_2 &= -F_1 \\ R &= F_1 + F_2 = F_1 + (-F_1) = 0 \end{aligned}}$$

Si las líneas de acción de ambas fuerzas no coinciden (figura siguiente), el cuerpo mantendrá su equilibrio de traslación pero no el de rotación.

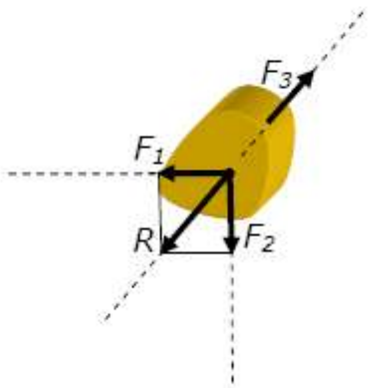


En la siguiente figura, un cuerpo está sometido a tres fuerzas coplanarias no paralelas: F_1, F_2 y F_3. Cualquier fuerza aplicada a un cuerpo rígido, puede suponerse actuando en un punto arbitrario de su línea de acción.



Por lo tanto, traslademos dos cualesquiera de las fuerzas, F_1 y F_2 por ejemplo, a la intersección de sus líneas de acción y obtengamos su resultante R (Fig. que se muestra a continuación). Las fuerzas quedan reducidas ahora a R y F_3. Para que exista equilibrio, éstas deben cumplir las siguientes condiciones:

1. ser iguales en intensidad
2. ser de sentido opuesto
3. tener la misma línea de acción



De las dos primeras condiciones se deduce que la resultante de las tres fuerzas es nula. La tercera condición se cumple sólo si la línea de acción de F_3 pasa por el punto de intersección de las líneas de acción de F_1 y F_2. Por lo tanto, ***las tres fuerzas han de ser concurrentes.***

Para una **solución analítica**, hemos visto que **las componentes rectangulares** de la resultante R de cualquier conjunto de fuerzas coplanarias, son:

$$\boxed{R_x = \Sigma F_x \qquad\qquad R_y = \Sigma F_y}$$

Cuando un cuerpo está en equilibrio, la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él es nula. Ambas componentes rectangulares son entonces nulas, y, por tanto, para un cuerpo en equilibrio se verifica:

$$\boxed{\sum F_x = 0 \qquad \sum F_y = 0}$$ ***1º condición de equilibrio***

La expresión de que un cuerpo está en equilibrio completo cuando quedan satisfechas ambas condiciones es la esencia de la **<u>primera ley del movimiento de Newton</u>***:*

"Todo cuerpo continúa en su estado de reposo, o de movimiento uniforme y rectilíneo, a menos que sea impulsado a cambiar dicho estado por fuerzas ejercidas sobre él"

3.4 PRINCIPIO DE MASA – SEGUNDA LEY DE NEWTON

Todo cuerpo sometido a la acción de una o varias fuerzas, adquiere una aceleración, y ésta aceleración tendrá la misma dirección y sentido que la fuerza aplicada o la resultante de las fuerzas aplicadas. También podemos decir que la aceleración depende del valor de las fuerzas y de la masa del cuerpo. Es decir que adquiere una aceleración que es directamente proporcional a las fuerzas aplicadas, es decir si aumenta el valor de la o las fuerzas, también aumenta el valor de la aceleración, si disminuye el valor de la o las fuerzas, también disminuye el valor de la aceleración; e inversamente proporcional a la masa del cuerpo, es decir, si la masa del cuerpo aumenta, la aceleración disminuye y si la masa del cuerpo disminuye, su aceleración aumenta. Por tal motivo se puede definir a la masa de un cuerpo como la resistencia que opone el mismo a los cambios de movimiento. Dicha resistencia está relacionada con la cantidad de materia que posee el cuerpo.

La expresión matemática del segundo principio es:

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

3.5 PRINCIPIO DE ACCIÓN Y REACCIÓN – TERCERA LEY DE NEWTON

Cualquier fuerza dada es sólo un aspecto de una acción mutua entre dos cuerpos. ***Siempre que un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el segundo ejerce sobre el primero una fuerza igual en magnitud, de sentido opuesto y que tiene la misma línea de acción.*** No es posible, por tanto, la existencia de una fuerza única, aislada. Las dos fuerzas que intervienen se denominan ***acción*** y ***reacción***. *La tercera ley del movimiento de Newton* dice*:*

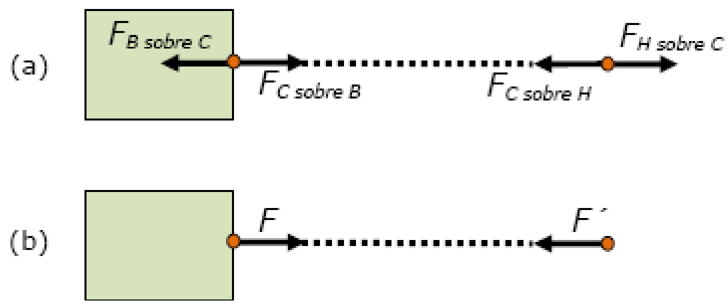
> ***"A cada acción se opone siempre una reacción igual; o sea, las acciones mutuas entre dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias".***

Un hombre arrastra un bloque de mármol sobre un piso tirando de una cuerda atada al bloque (tal como se muestra en la siguiente figura). El bloque puede estar o no en equilibrio. ¿Qué reacciones hay entre las diversas fuerzas? ¿Cuáles son los pares acción-reacción?

Para responder a estas preguntas, representamos las fuerzas horizontales que actúan sobre cada cuerpo: el bloque (B), la cuerda (C) y el hombre (H). Para mayor claridad, usamos subíndices en todas las fuerzas.

El vector $\boldsymbol{F}_{H\ SOBRE\ C}$ representa la fuerza ejercida *por* el hombre *sobre* la cuerda; su reacción es la fuerza igual y opuesta $\boldsymbol{F}_{C\ SOBRE\ H}$ ejercida *por* la cuerda *sobre* el hombre. $\boldsymbol{F}_{C\ SOBRE\ B}$ es la fuerza ejercida por la cuerda sobre el bloque; su reacción es la fuerza igual y opuesta $\boldsymbol{F}_{B\ SOBRE\ C}$ ejercida por el bloque sobre la cuerda:

$$\boldsymbol{F}_{C\ SOBRE\ H} = -\boldsymbol{F}_{H\ SOBRE\ C} \quad y \quad \boldsymbol{F}_{C\ SOBRE\ B} = -\boldsymbol{F}_{B\ SOBRE\ C}$$



Las fuerzas $\boldsymbol{F}_{B\ SOBRE\ C}$ y $\boldsymbol{F}_{H\ SOBRE\ C}$ no son un par de fuerzas de acción y reacción, puesto que ambas actúan sobre el mismo cuerpo (la cuerda) y una acción y su reacción <u>*siempre*</u> actúan sobre <u>*cuerpos distintos*</u>. Además, dichas fuerzas no son necesariamente de igual magnitud, ya que si el bloque y la cuerda se mueven hacia la derecha con velocidad creciente, la cuerda no estará en equilibrio y $\boldsymbol{F}_{B\ SOBRE\ C} < \boldsymbol{F}_{H\ SOBRE\ C}$. Entonces, estas fuerzas serán de igual magnitud únicamente en el caso de que la cuerda permanezca en reposo o se mueva con velocidad constante; pero esto es un ejemplo de la primera ley, no de la tercera.

Sin embargo, aún cuando la velocidad de la cuerda esté cambiando, las fuerzas de acción y reacción $\boldsymbol{F}_{B\ SOBRE\ C}$ y $\boldsymbol{F}_{C\ SOBRE\ B}$ son iguales entre sí, tal como ocurre con las fuerzas de acción y reacción $\boldsymbol{F}_{C\ SOBRE\ H}$ y $\boldsymbol{F}_{H\ SOBRE\ C}$ (aunque $\boldsymbol{F}_{B\ SOBRE\ C} \neq \boldsymbol{F}_{H\ SOBRE\ C}$).

En el caso especial de que la cuerda está en equilibrio, $\boldsymbol{F}_{B\ SOBRE\ C}$ es igual a $\boldsymbol{F}_{H\ SOBRE\ C}$ en virtud de la primera ley de Newton. Puesto que $\boldsymbol{F}_{B\ SOBRE\ C}$ es siempre igual a $\boldsymbol{F}_{C\ SOBRE\ B}$ en virtud de la tercera ley de Newton, entonces en este caso $\boldsymbol{F}_{C\ SOBRE\ B}$ es igual a $\boldsymbol{F}_{H\ SOBRE\ C}$. Puede considerarse por tanto, que la cuerda transmite al bloque, sin variación, la fuerza ejercida sobre ella por el hombre.

Si adoptamos el punto de vista precedente, tenemos el esquema de fuerzas más sencillo de la Fig. (b), en donde se considera que el hombre ejerce una fuerza ***F*** directamente sobre el bloque. La reacción es la fuerza ***F’*** ejercida directamente por el bloque por el hombre. El único efecto de la cuerda es transmitir estas fuerzas de un cuerpo al otro.

Un cuerpo como la cuerda, que está sujeto a tracciones en sus extremos, decimos que está en **tensión**. La tensión en cualquier punto es igual a la fuerza ejercida en dicho punto. Así, en la Fig.(a), la tensión en el extremo derecho de la cuerda es igual al valor de ***FH SOBRE C*** (o ***FC SOBRE H***) y la tensión en el extremo izquierdo es igual al valor de ***FC SOBRE B*** (o ***FB SOBRE C***).

Si la cuerda está en equilibrio y no hay más fuerzas que las de sus extremos, como en la Fig.(b), la tensión es la misma en ambos extremos y en cualquier punto intermedio. Si por ejemplo, en la Fig.(b), los valores de ***F*** y ***F'*** son de 50 N cada uno, la tensión en la cuerda es de 50 N (no 100 N).

Ejemplos de equilibrio:

Para la resolución de problemas de equilibrio, el procedimiento que puede servir de norma es el siguiente:

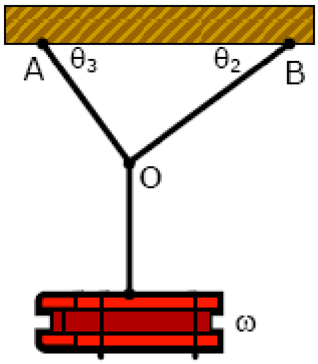
1. Hacer un esquema claro del aparato o estructura.
2. Elegir algún cuerpo del esquema que esté en equilibrio y representar todas las fuerzas que actúen sobre él. Esto se llama *aislar* el cuerpo elegido y el diagrama se denomina ***diagrama de fuerzas o diagrama del cuerpo libre***. Sobre éste se escriben los valores numéricos de todas las fuerzas dadas, ángulos y distancias, asignando letras a todas las magnitudes desconocidas (cuando una estructura se compone de varios miembros, se construye un diagrama de fuerzas separado para cada uno).
3. Se dibuja un sistema de ejes rectangulares y se indican sobre cada diagrama de fuerzas, las componentes rectangulares de todas las fuerzas inclinadas.
4. Se obtienen las ecuaciones algebraicas y trigonométricas necesarias a partir de la condición de equilibrio:

$$\boxed{\sum F_x = 0 \qquad \sum F_y = 0}$$

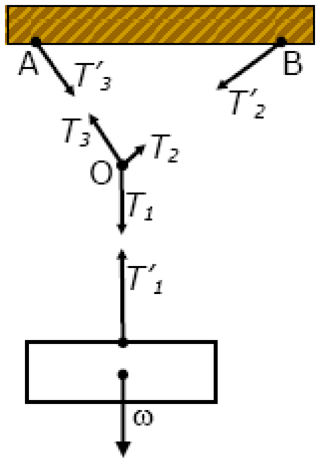
Una fuerza que encontraremos en muchos problemas es el **peso** de un cuerpo: la fuerza de atracción gravitatoria ejercida sobre el cuerpo por la Tierra. Veremos en los ejercicios de la Guía de Practica, la línea de acción de esta fuerza pasa siempre por un punto denominado ***centro de gravedad*** del cuerpo.

Ejemplo 1: En la Fig. siguiente, un bloque de peso ω cuelga de una cuerda que está anudada en *O* a otras dos cuerdas fijas al techo. Se desea calcular las tensiones en estas tres cuerdas.

Los pesos de las cuerdas se consideran despreciables. Con objeto de utilizar las condiciones de equilibrio para calcular una fuerza desconocida, tenemos que considerar algún cuerpo que esté en equilibrio y sobre el cual actúe la fuerza deseada. El bloque suspendido es uno de tales cuerpos y la tensión en la cuerda vertical que soporta el bloque es igual al peso del mismo.



(a)



(b)

Las cuerdas inclinadas no ejercen fuerzas sobre el bloque, pero actúan sobre el nudo en *O*. Consideremos el <u>*nudo*</u>, por consiguiente, como un pequeño cuerpo en equilibrio cuyo propio peso es despreciable.

Los diagramas de fuerzas para el bloque y el nudo están indicados en la Fig. (b), donde T_1, T_2 y T_3 representan las fuerzas ejercidas <u>*sobre el nudo*</u> por las tres cuerdas, y T'_1, T'_2 y T'_3, las reacciones a estas fuerzas.

Consideremos en primer lugar el bloque suspendido. Puesto que está en equilibrio,

$$T'_1 = \omega \qquad \text{(1ª Ley)}$$

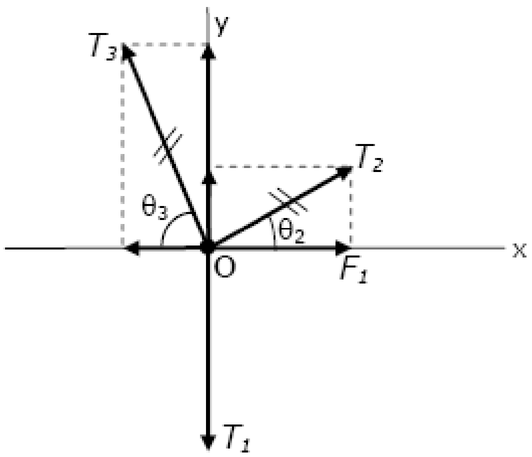
Como T_1 y T'_1 forman una pareja de acción y reacción,

$$T'_1 = T_1 \qquad \text{(3ª Ley)}$$

Por tanto,

$$T_1 = \omega$$

Para encontrar T_2 y T_3, descompongamos estas fuerzas (siguiente Fig.) en sus componentes rectangulares. Entonces, en virtud de la <u>primera ley de Newton</u>:



$$\sum F_x = T_2 \cos\theta_2 - T_3 \cos\theta_3 = 0$$

$$\sum F_y = T_2 \operatorname{sen}\theta_2 + T_3 \operatorname{sen}\theta_3 - T_1 = 0$$

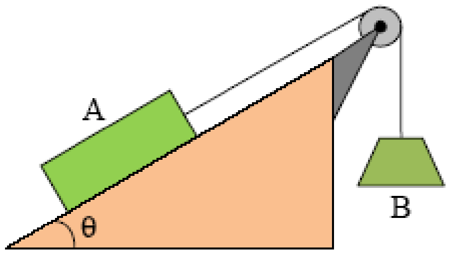
Sea por ejemplo, ω = 50 N, θ3 = 30º y θ2 = 60º. Entonces, T1 = 50 N y, en virtud de las dos ecuaciones precedentes,

T_2 = 25 N T_3 = 43,3 N

Finalmente, sabemos por la *tercera ley de Newton* que las cuerdas inclinadas ejercen sobre el techo fuerzas *T'2* y *T'3* iguales y opuestas respectivamente, a *T2* y *T3*.

Ejemplo 2:

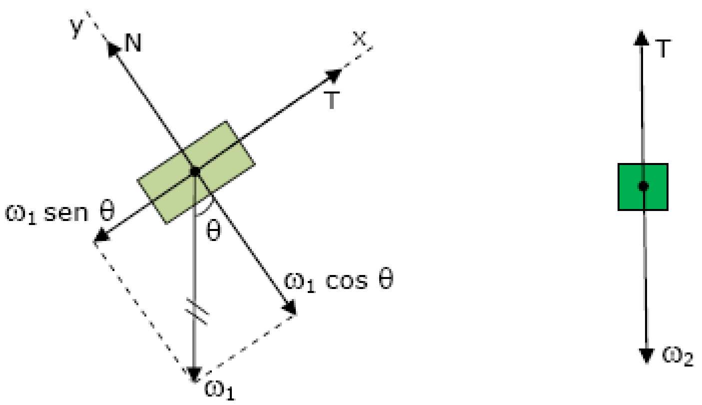
En la siguiente Fig., el bloque **A** de peso ω**1** se encuentra en reposo sobre un plano inclinado sin rozamiento, de pendiente θ. El centro de gravedad del bloque se encuentra en su centro geométrico. Una cuerda flexible atada al centro de la cara derecha del bloque pasa por una polea lisa y se une a un segundo bloque **B** de peso ω**2**. Se desprecian el peso de la cuerda y el rozamiento en la polea.



Conocidos ω1 y θ, calcular el peso ω**2** para el cual sistema está en equilibrio, o sea que, permanece en reposo o se mueve en cualquier sentido a velocidad constante.

Los diagramas de fuerza para ambos bloques se representan en la que se detalla a continuación. Las fuerzas sobre el bloque **B** son su peso ω**2** y la fuerza **T** ejercida por la cuerda sobre él. Como está en equilibrio:

$$T = \omega_2$$



El bloque A está sometido a su peso ω**1**, a la fuerza **T** ejercida por la cuerda y a la fuerza **N** ejercida por el plano. Podemos utilizar el mismo símbolo **T** para la fuerza ejercida sobre cada bloque por la cuerda porque, como se explicó anteriormente, estas fuerzas son equivalentes a una pareja de acción y reacción y tienen el mismo valor. La fuerza **N**, si no hay rozamiento, es perpendicular o *normal* a la superficie del plano. Dado que las líneas de acción de ω**1** y **T** se cortan en el centro de gravedad del bloque, la línea de acción de **N** pasa también por este punto. Lo más sencillo es elegir los ejes **x** e **y** paralelo y perpendicular a la superficie del plano, porque entonces sólo es necesario descomponer en sus componentes el peso ω**1**. Las condiciones de equilibrio dan:

$$\left.\begin{aligned} \sum F_x &= T - \omega_1 \operatorname{sen} \theta = 0 \\ \sum F_y &= N - \omega_1 \cos \theta = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (1^a \text{ ley})$$

Así, si $\omega 1 = 100$ N y $\theta = 30º$, se tiene, por las ecuaciones

$$\omega_2 = T = \omega_1 \operatorname{sen} \theta = 100 \text{ N} \times 0{,}5 = 50 \text{ N}$$

y según la ecuación dada:

$$N = \omega_1 \cos \theta = 100 \text{ N} \times 0{,}866 = 86{,}6 \text{ N}$$

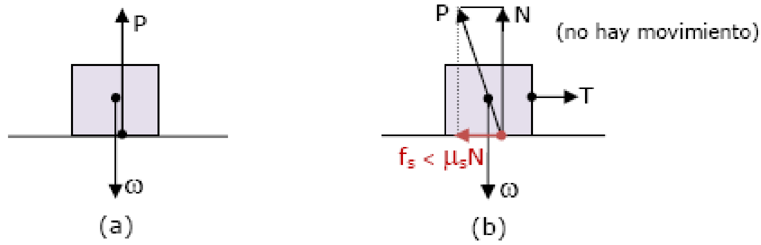
Obsérvese atentamente que, *en ausencia de rozamiento*, el mismo peso ω**2** de 50 N se requiere si el sistema permanece en reposo que si se mueve a velocidad constante en cualquier sentido. Ello no sucede cuando hay rozamiento.

3.6 FUERZAS DE FRICCIÓN

Un cuerpo descansa o se desliza sobre una superficie que ejerce fuerzas sobre el mismo. Para describir éstas, usamos los términos ***fuerza normal*** y ***fuerza de fricción***. Siempre que dos cuerpos interactúan mediante fuerzas que se ejercen directamente entre sus superficies, las mismas se denominan *fuerzas de contacto*. Las fuerzas normal y de fricción son de contacto.

La fricción es una fuerza importante en la vida diaria; por ejemplo, el aceite del motor de un auto minimiza la fricción entre piezas móviles, pero sin fricción entre las ruedas y el camino, el coche no podría avanzar. Sin fricción, los clavos se saldrían, las lámparas se desenroscarían y no podríamos andar en bicicleta.

En la siguiente Fig. a), un bloque que descansa sobre una superficie horizontal se encuentra en equilibrio bajo la acción de su peso ω y de la fuerza **P** dirigida hacia arriba (ejercida sobre el cuerpo por la superficie). Supongamos ahora que se ata una cuerda al bloque y que se aumenta gradualmente la tensión **T** de la cuerda [Fig.(b)].



Mientras la tensión no sea demasiado grande, el bloque permanece en reposo. La fuerza **P** ejercida sobre el bloque por la superficie está inclinada hacia la izquierda, puesto que las tres fuerzas **P**, ω y **T** han de ser concurrentes. La componente de **P** paralela a la superficie se denomina ***fuerza de rozamiento estático*** **fs**. La otra componente es la **fuerza normal N** ejercida sobre el bloque por la superficie. Por las condiciones de equilibrio, la fuerza de rozamiento estático **fs** es igual a la fuerza **T**, y la fuerza normal **N** es igual al peso ω.

Cuando se incrementa la fuerza **T**, se llega a alcanzar un valor límite para el cual el bloque se despega de la superficie y comienza a moverse. En otras palabras, La fuerza de rozamiento estático **fs** no puede pasar de un cierto valor máximo.

La siguiente Fig.(a) es el diagrama de fuerzas cuando **T** está alcanzando justamente este valor límite y el movimiento se hace inminente. Cuando **T** excede este valor límite, el bloque no permanece ya en equilibrio.

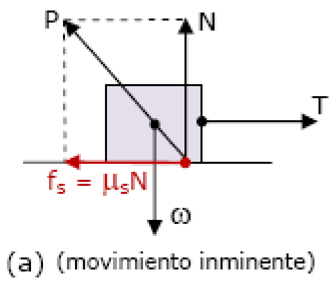
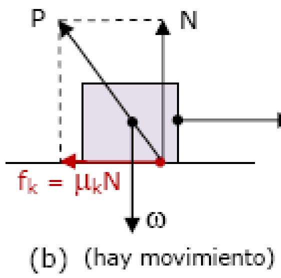


Fig. 2.11



Para dos superficies dadas, el valor máximo de **fs** es proporcional, aproximadamente, a la fuerza normal **N**. La fuerza real de rozamiento estático puede tener, por consiguiente, cualquier valor comprendido entre cero (cuando no hay ninguna fuerza aplicada a la superficie) y un valor máximo proporcional a la fuerza normal **N**, o sea igual a μ**s N**. El factor μ**s** se denomina ***coeficiente de rozamiento estático***:

$$\boxed{f_s \leq \mu_s N}$$

El signo de igualdad sólo es válido cuando la fuerza aplicada **T**, paralela a la superficie, tiene un valor tal que el movimiento está pronto a iniciarse. Cuando **T** es inferior a ese valor, es válido el signo de desigualdad, y el valor de la fuerza de rozamiento ha de calcularse mediante las condiciones de equilibrio.

Tan pronto como el deslizamiento comienza, se observa que la fuerza de rozamiento disminuye. Para dos superficies dadas, esta nueva fuerza de rozamiento es también aproximadamente proporcional a la fuerza normal. El coeficiente de proporcionalidad se denomina ***coeficiente de rozamiento cinético* μk**. Así, cuando el bloque está en movimiento, la ***fuerza de rozamiento cinético* fk** [fig. (b)], está dada por:

$$\boxed{f_k = \mu_k N}$$

Los coeficientes de rozamiento estático y cinético dependen principalmente de la naturaleza de ambas superficies en contacto, siendo relativamente grandes si las superficies son ásperas y pequeñas si son pulidas. El coeficiente de rozamiento cinético *varía algo con la velocidad relativa*, pero para simplificar supondremos que es independiente de ella. También es *aproximadamente independiente del área de contacto*. Sin embargo, puesto que en realidad dos superficies físicas sólo se tocan en un número relativamente pequeño de partes salientes, la verdadera superficie de contacto difiere mucho del área total.

Ejemplo:

En la siguiente Fig., supongamos que el bloque pesa 20 Newton, que la tensión **T** puede aumentarse hasta 8 Newton antes que el bloque comience a deslizar, y que para mantener el bloque en movimiento, una vez que éste se ha iniciado, es necesaria una fuerza de 4 Newton. Calcular los coeficientes de rozamiento estático y cinético.

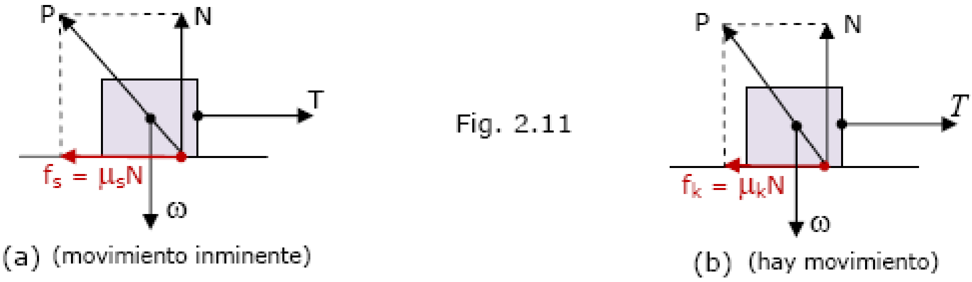


Fig. 2.11

Según la Fig. (a) y los datos anteriores, se tiene:

$$\left.\begin{aligned} \sum F_y &= N - \omega = N - 20 \text{ Newton} = 0 \\ \sum F_x &= T - f_s = 8 \text{ Newton} - f_s = 0 \end{aligned}\right\} \quad (1^{a} \text{ ley})$$

$$f_s = \mu_s N \qquad \text{(movimiento inminente)}$$

Según la Fig. (b), resulta:

$$\left.\begin{array}{l}\sum F_y = N - \omega = N - 20 \text{ Newton} = 0 \\ \sum Fx = T - f_k = 4 \text{ Newton} - f_k = 0\end{array}\right\} \quad (1^a \text{ ley})$$

$$f_k = \mu_k N \quad \text{(hay movimiento)}$$

Por lo tanto:

$$\mu_k = (f_k/N) = (4 \text{ New}/20 \text{ New}) = 0{,}20$$