



CAPITULO .05

Estática.

Trabajo. Potencia

y Máquinas

Simplees

CONCEPTO GENERAL DE ESTÁTICA

Fuerza - Peso - Masa (unidades)

Designación de Fuerza

Leyes de Newton

Concepto de Diagrama de cuerpo libre

TIPOS DE FUERZAS

Fuerza Normal

Fuerza de Rozamiento o Roce

Equilibrio de los Cuerpos

Condiciones de Equilibrio

Condiciones de Informabilidad

SISTEMAS DE FUERZAS

Principios Fundamentales de la Estática

Gráfica

Composición de Fuerzas Colineales

Composición de Fuerzas Concurrentes

TRABAJO - POTENCIA TRABAJO MECÁNICO

Unidades

MÁQUINAS SIMPLES

Clasificación

Géneros de Palanca

Poleas

Engranajes

CONCEPTO GENERAL DE ESTÁTICA

Como se dijo anteriormente, la Estática es la parte de la física que estudia los cuerpos sobre los que actúan fuerzas y momentos cuyas resultantes son nulas, de forma que permanecen en reposo o en movimiento no acelerado. Su objeto es determinar la fuerza resultante y el momento resultante de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo para establecer sus condiciones de equilibrio.

Fuerza - Peso - Masa (Unidades)

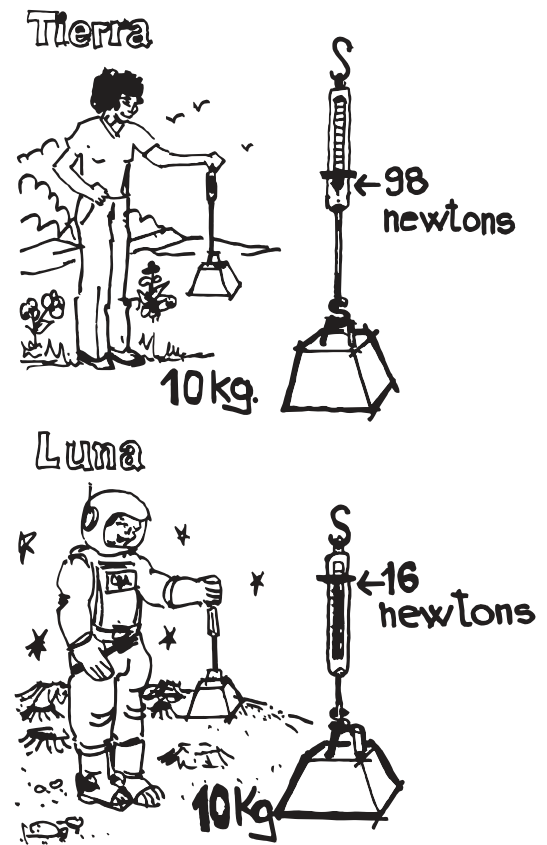
Se denomina fuerza a cualquier acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo, es decir, de imprimirle una aceleración modificando su velocidad.

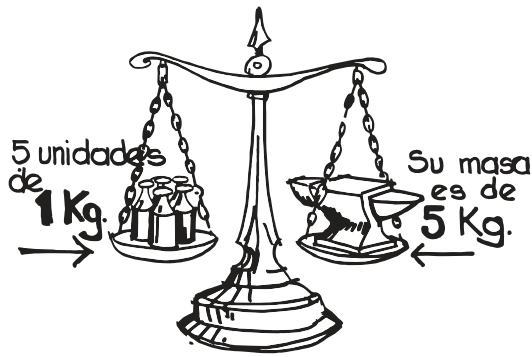
Cuando levantamos un cuerpo, empujamos un objeto, detenemos a un niño que cae por un tobogán o nos sentamos sobre una silla, estamos ejerciendo una fuerza. Si se suspende un cuerpo del extremo de un hilo, éste se pone tenso; si el hilo se corta, el cuerpo cae por acción de la fuerza de gravedad. La primera idea de fuerza nace del esfuerzo muscular realizado para sostener o levantar un cuerpo.

Designación de fuerza en los diferentes sistemas:

- a. Sistema Internacional de Unidades (SI) Newton
- b. Sistema Técnico de Unidades Kilogramo fuerza o Kilopondio (Kgf) Gramo fuerza (gf)
- c. Sistema Cegesimal de Unidades Dina

En la física, se denomina peso a la medida de la fuerza que ejerce la gravedad sobre un cuerpo. Cotidianamente, el término “peso” se utiliza como sinónimo de masa. Como la intensidad de la gravedad varía según la posición - en los polos es igual a $9,83 \text{ m/s}^2$, en la línea ecuatorial es igual a $9,79 \text{ m/s}^2$ y en latitud de 45° es igual a $9,8 \text{ m/s}^2$ -,





el peso depende de la ubicación en donde se mida. Si no se especifica lo contrario, se entiende que se trata del peso provocado por una intensidad de la gravedad definida como normal, de valor $9,81 \text{ m/s}^2$.

El peso se mide con un dinamómetro y su unidad en el sistema internacional es el newton (N). El newton se define como la fuerza necesaria para proporcionar una aceleración de 1 m/s^2 a un objeto de 1 kg de masa. El dinamómetro está formado por un resorte con un extremo libre y posee una escala graduada en newton. Para saber el peso de un objeto sólo se debe colgar del extremo libre del resorte, el que se estirará; mientras más se estire, más pesado es el objeto.

Masa es la medida de la inercia de un cuerpo. Aunque es frecuente que se defina como la cantidad de materia contenida en un cuerpo, esta última definición es incompleta. Es un concepto central en la química, la física y disciplinas afines. En el Sistema Internacional de Unidades se mide en kilogramos.

Diferencia entre masa y peso: La masa se diferencia del peso, ya que éste último depende de la posición relativa que tenga el objeto o de su distancia a la Tierra, y de la aceleración con que se mueve. También depende del planeta u otro cuerpo masivo que actúa sobre el objeto. En las proximidades de la Tierra, y mientras no haya una causa que lo impida, todos los objetos caen animados de una aceleración de la gravedad, g , por lo que están sometidos a una fuerza constante, que es el peso. Los objetos diferentes son atraídos por fuerzas gravitatorias de magnitud distinta. La fuerza gravitatoria que actúa sobre un objeto de masa (x), es decir, el peso, es igual a:

$$P = m \cdot g$$

Por lo tanto, no se debe confundir el peso con la masa ya que, según la ecuación expresada en la parte superior, la masa es igual a:

$$m = P/g$$

P = peso

m = masa

**g = aceleración de la gravedad
(aproximadamente $9,81 \text{ metros}$
sobre segundo al cuadrado)**

LEYES DE NEWTON 1-2-3

Se denomina Leyes de Newton a tres leyes concernientes al movimiento de los cuerpos. La formulación matemática fue publicada por Isaac Newton en 1687 en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

1ª Ley de Newton o ley de la inercia:

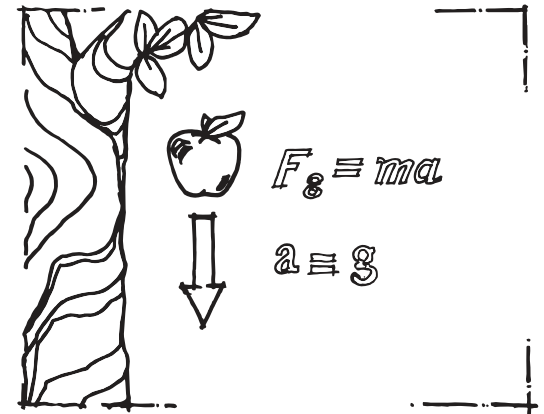
Un cuerpo permanecerá en un estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que una fuerza externa actúe sobre él.

La primera ley de Newton nos dice que si sobre un cuerpo en movimiento no actúa ninguna fuerza o actúan varias que se anulan entre sí, el cuerpo permanecerá en reposo (con velocidad cero) o en movimiento rectilíneo uniforme.

Como sabemos, el movimiento es relativo, es decir, depende de cuál sea el observador que describa el movimiento. Así, por ejemplo: El pasajero de un tren va caminando lentamente por el pasillo del tren; sin embargo, para alguien que ve pasar el tren desde el andén de una estación, ese pasajero se está moviendo a una gran velocidad. Se necesita, por tanto, un sistema de referencia al cual referir el movimiento.

La primera ley de Newton sirve para definir un tipo especial de sistemas de referencia conocidos como Sistemas de referencia inerciales, que son aquellos sistemas de referencia desde los que se observa que un cuerpo sobre el que no actúa ninguna fuerza neta se mueve con velocidad constante.

En realidad, es imposible encontrar un sistema de referencia inercial, puesto que constantemente hay algún tipo de fuerzas actuando sobre los cuerpos, pero siempre es posible encontrar un sistema de referencia en el que el problema que estemos estudiando se pueda



tratar como si estuviésemos en un sistema inercial. En muchos casos, por ejemplo, suponer a un observador fijo en la Tierra, es una buena aproximación de sistema inercial.

2ª Ley de Newton

Siempre que una fuerza actúe sobre un cuerpo produce una aceleración en la dirección de la fuerza que es directamente proporcional a la fuerza pero inversamente proporcional a la masa.

Recordemos que la Primera ley de Newton nos dice que para que un cuerpo altere su movimiento es necesario que exista algo que provoque dicho cambio. Ese algo es lo que conocemos como fuerzas. Éstas son el resultado de la acción de unos cuerpos sobre otros.

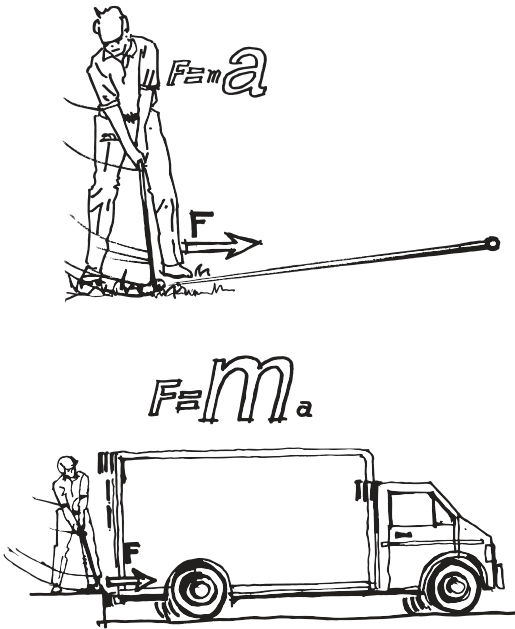
La Segunda ley de Newton se encarga de cuantificar el concepto de fuerza. Nos dice que la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo. La constante de proporcionalidad es la masa del cuerpo, de manera que podemos expresar la relación de la siguiente manera:

$$F = m \cdot a$$

Tanto la fuerza como la aceleración son magnitudes vectoriales, es decir, tienen, además de un valor, una dirección y un sentido. La unidad de fuerza en el Sistema Internacional es el Newton y se representa por N. Un Newton es la fuerza que hay que ejercer sobre un cuerpo de un kilogramo de masa para que adquiera una aceleración de 1 m/s^2 , o sea,

$$1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

En el Sistema Técnico equivale aproximadamente a 102 gf o bien $0,102 \text{ Kg}$. La expresión de la Segunda ley de Newton que hemos dado es válida para cuerpos cuya masa sea constante. Si la masa varía, como por ejemplo un cohete que va quemando combustible, no es



válida la relación $F = m \cdot a$. Vamos a generalizar la Segunda ley de Newton para que incluya el caso de sistemas en los que pueda variar la masa.

Para ello primero vamos a definir una magnitud física nueva. Esta magnitud física es la cantidad de movimiento que se representa por la letra p y que se define como el producto de la masa de un cuerpo por su velocidad, es decir: $p = m \cdot v$

La cantidad de movimiento también se conoce como momento lineal. Es una magnitud vectorial y, en el Sistema Internacional se mide en $\text{Kg} \cdot \text{m/s}$. En términos de esta nueva magnitud física, la Segunda ley de Newton se expresa de la siguiente manera:

La Fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual a la variación temporal de la cantidad de movimiento de dicho cuerpo, es decir,

$F = dp / dt$ (la letra d simboliza la variación, p cantidad de movimiento, t Tiempo)

De esta forma incluimos también el caso de cuerpos cuya masa no sea constante. Para el caso de que la masa sea constante, recordando la definición de cantidad de movimiento y que como se deriva un producto tenemos:

$$F = d(m \cdot v) / dt = m \cdot dv / dt + dm / dt \cdot v$$

Como la masa es constante: **$dm / dt = 0$**

Y recordando la definición de aceleración, nos queda

$$F = m \cdot a$$

Tal y como habíamos visto anteriormente.

Otra consecuencia de expresar la Segunda ley de Newton usando la cantidad de movimiento es lo que se conoce como Principio de conservación de la cantidad de movimiento. Si la fuerza total que

(1) La derivada de una función en un punto representa el valor de la pendiente de la recta tangente en dicho punto.

actúa sobre un cuerpo es cero, la Segunda ley de Newton nos dice

$$0 = dp / dt$$

Es decir, que la derivada (1) de la cantidad de movimiento con respecto al tiempo es cero. Esto significa que la cantidad de movimiento debe ser constante en el tiempo (la derivada de una constante es cero). Esto es el Principio de conservación de la cantidad de movimiento:

Si la fuerza total que actúa sobre un cuerpo es nula, la cantidad de movimiento del cuerpo permanece constante en el tiempo.

3ª Ley de Newton

A toda acción corresponde una reacción en igual magnitud y dirección pero de sentido opuesto.

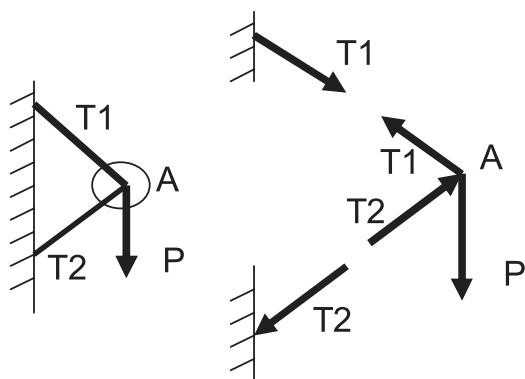
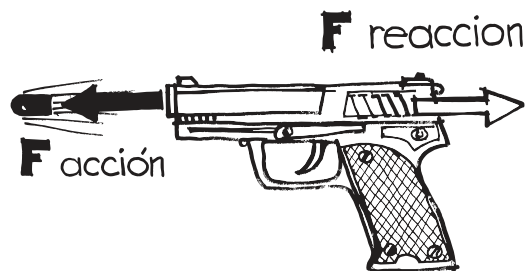
Tal como comentamos al principio de la Segunda ley de Newton las fuerzas son el resultado de la acción de unos cuerpos sobre otros.

La tercera ley, también conocida como Principio de acción y reacción, nos dice que si un cuerpo A ejerce una acción sobre otro cuerpo B, éste realiza sobre A otra acción de igual módulo y dirección y de sentido contrario. Esto es algo que podemos comprobar a diario en numerosas ocasiones. Por ejemplo, cuando nos apoyamos en la pared, empujamos la pared con nuestro cuerpo. La reacción de la pared es igual y contraria a la de nuestro cuerpo, logrando de esa manera la estabilidad. Hay que destacar que, aunque los pares de acción y reacción tengan el mismo valor y sentidos contrarios, no se anulan entre sí, puesto que actúan sobre cuerpos distintos.

ESTÁTICA

Concepto de diagrama de cuerpo libre (Estática)

Este concepto es muy importante en la solución de problemas. La idea es que si un cuerpo está en equilibrio, cualquier parte aislada del



$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{P} = 0$$

resto también lo está, siempre y cuando se incluyan todas las fuerzas de interacción entre esa porción y el resto del cuerpo. Por ejemplo:

Si aislamos en la figura el punto A de encuentro de las tres fuerzas T_1 , T_2 y P , y lo consideramos como una partícula, las tensiones sobre los elementos de sostén deben mantener en equilibrio la partícula. La T_1 tira del apoyo hacia abajo. Por el principio de acción y reacción en el punto A tira hacia arriba con una fuerza de igual módulo pero sentido contrario.

La tensión T_2 en el apoyo empuja hacia abajo y en la partícula A tira hacia arriba. Como puede verse, por la tercera ley de Newton acción y reacción son iguales y opuestas, y se encuentran aplicadas sobre distintos cuerpos, la pared y la partícula A.

TIPOS DE FUERZAS

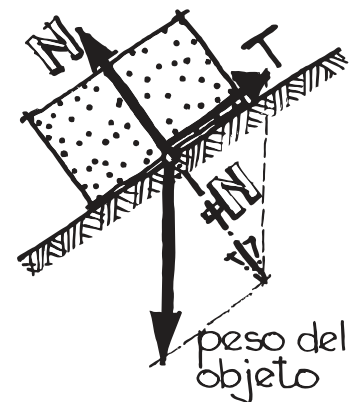
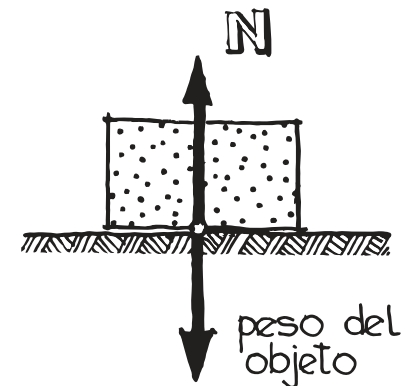
Fuerza Normal en Plano horizontal, Plano Inclinado

Cuando un cuerpo está apoyado sobre una superficie ejerce una fuerza sobre ella cuya dirección es perpendicular a la superficie. De acuerdo con la Tercera ley de Newton, la superficie debe ejercer sobre el cuerpo una fuerza de la misma magnitud y dirección, pero de sentido contrario. Esta fuerza es la que denominamos Normal y la representamos con N .

En la figura se muestra hacia dónde está dirigida la fuerza normal en los dos ejemplos. Como ya hemos dicho: La fuerza normal siempre es perpendicular a la superficie de contacto y está dirigida hacia arriba, es decir, hacia fuera de la superficie de contacto.

Fuerza de rozamiento o Roca:

El rozamiento, generalmente, actúa como una fuerza aplicada en sentido opuesto al del movimiento de un objeto. En el caso de deslizamiento en seco de un objeto sobre una superficie, sin lubricación, la fuerza de rozamiento es casi independiente de la





velocidad. La fuerza de rozamiento tampoco depende del área aparente de contacto entre un objeto y la superficie sobre la cual se desliza. El área real de contacto, esto es, la superficie en la que las rugosidades microscópicas del objeto y de la superficie de deslizamiento se tocan realmente, es relativamente pequeña. Cuando un objeto se arrastra sobre una superficie de deslizamiento, las minúsculas rugosidades del objeto y la superficie chocan entre sí, y se necesita fuerza para hacer que se sigan moviendo.

El área real de contacto depende de la fuerza perpendicular entre el objeto y la superficie de deslizamiento. Frecuentemente, esta fuerza no es sino el peso del objeto que se desliza. Si se empuja el objeto formando un ángulo con la horizontal, la componente vertical de la fuerza dirigida hacia abajo se sumará al peso del objeto. Por lo tanto, la fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza perpendicular total. Cuando un objeto se desplaza a través de un fluido, el valor del rozamiento depende de la velocidad. En la mayoría de los objetos que se mueven en agua o aire (a velocidades menores que la del sonido), la fricción es proporcional al cuadrado de la velocidad.



La constante de proporcionalidad k es característica de los dos materiales antes mencionados y depende del área de contacto entre ambas superficies, y de la forma más o menos aerodinámica del objeto en movimiento. La fuerza de rozamiento es una fuerza que aparece cuando hay dos cuerpos en contacto y es una fuerza muy importante cuando se estudia el movimiento de los cuerpos. Es la causante, por ejemplo, de que podamos caminar. Cuesta mucho más caminar sobre una superficie con poco rozamiento, hielo por ejemplo, que por una superficie con alto rozamiento como un suelo rugoso. La experiencia nos muestra que la fuerza de rozamiento entre dos cuerpos no depende del tamaño de la superficie de contacto entre los dos cuerpos, pero sí depende de cuál sea la naturaleza de esa superficie de contacto, es decir, de qué materiales

la formen y si es más o menos rugosa.

La magnitud de la fuerza de rozamiento entre dos cuerpos en contacto es proporcional a la normal entre los dos cuerpos, es decir:

$$F_r = m \cdot N$$

Donde **m** es lo que conocemos como coeficiente de rozamiento.

Hay dos coeficientes de rozamiento: el estático, m_e , y el cinético, m_c , siendo el primero mayor que el segundo:

$$m_e > m_c$$

EQUILIBRIO DE LOS CUERPOS

Definición matemática: El centro de gravedad de un cuerpo es el punto de aplicación de la resultante de todas las acciones de la gravedad sobre las moléculas del cuerpo. El punto **G** de aplicación de la resultante **g** se llama baricentro del cuerpo dado. Ejemplo: Supongamos un cuerpo constituido por 10 moléculas

iguales. Sus fuerzas gravíticas particulares son 1, 2, 3, ..., 9, 10. La fuerza gravítica general es **g**, resultante del sistema 1, 2, 3, ..., 9, 10.

Equilibrio: El equilibrio es el estado de reposo de un cuerpo. Un cuerpo está en equilibrio cuando en su centro de gravedad está aplicada una fuerza de igual módulo y dirección que su peso y de sentido contrario.

Un cuerpo puede estar en equilibrio de dos modos:

1° si está suspendido

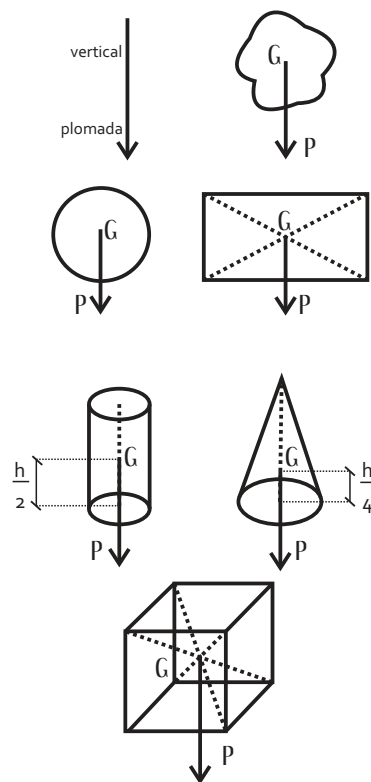
2° si descansa en una base.

Condición de equilibrio de un cuerpo suspendido, móvil alrededor de un punto fijo.

Para que un cuerpo móvil alrededor de un punto fijo esté en equilibrio, es menester que la vertical que pasa por el centro de

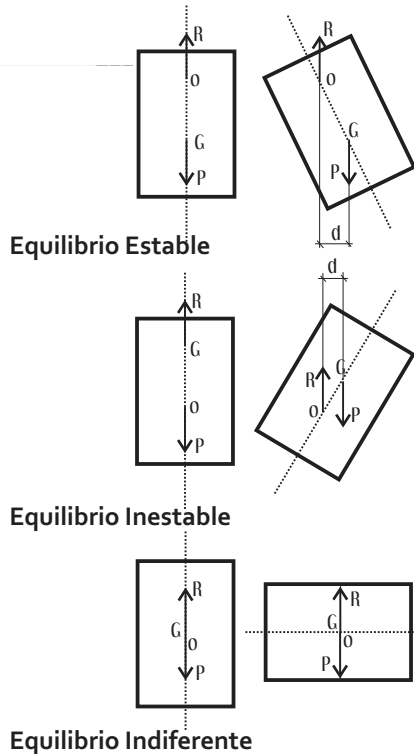


PESO DE UN CUERPO. CENTRO DE GRAVEDAD



Si el cuerpo es homogéneo (es decir su densidad es la misma en todas las partículas) el centro de gravedad coincide con el centro geométrico, como en el cubo y en el cilindro de la figura.

CUERPOS SUSPENDIDOS



gravedad pase también por el punto de suspensión. Con esta condición, el equilibrio puede ser: estable, inestable o indiferente.

1. El equilibrio es estable si el cuerpo, siendo apartado de su posición de equilibrio, vuelve al puesto que antes tenía, por efecto de la gravedad. En este caso, el centro de gravedad está debajo del punto de suspensión. Ejemplo: El péndulo, la plomada, una campana colgada.

2. El equilibrio es inestable si el cuerpo, siendo apartado de su posición de equilibrio, se aleja por efecto de la gravedad. En este caso el centro de gravedad está más arriba del punto o eje de suspensión.

3. El equilibrio es indiferente si el cuerpo siendo movido, queda en equilibrio en cualquier posición. En este caso el centro de gravedad coincide con el punto de suspensión.

Condición de equilibrio de un cuerpo que descansa sobre un plano.

Para que un cuerpo que descansa sobre un plano esté en equilibrio es preciso que la vertical del centro de gravedad pase por el interior de la base de sustentación. Se llama base de sustentación la superficie de apoyo del cuerpo o también el polígono que se forma al unir los diversos puntos de apoyo, cuando son varios (una silla, por ejemplo).

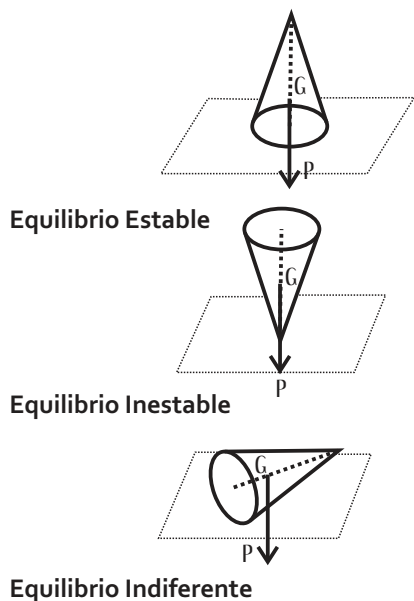
Un cuerpo colocado en un plano horizontal, puede presentar, como el caso precedente, tres clases de equilibrio:

1. El equilibrio será estable, si el centro de gravedad está más bajo que cualquier otra posición. Ejemplo: Una pirámide que descansa sobre su base.

2. El equilibrio será inestable, si el centro de gravedad se halla más alto que cualquiera otra posición. Ejemplo: una pirámide regular cuyo vértice descansa sobre el plano de sustentación.

3. Se hallará en Equilibrio indiferente, si su centro de gravedad no

CUERPOS APOYADOS



sube ni baja con las posiciones que pueda tomar. Ejemplo: una esfera perfecta y homogénea.

Condiciones de Equilibrio. Momento de una fuerza

Muchas veces confundimos entre Estática y Dinámica. Antes de empezar con el estudio del equilibrio de cuerpos, es necesario recordar la diferencia entre dichas ramas de la Mecánica. La Estática estudia el equilibrio de los cuerpos, es decir, aquellos cuerpos que se encuentran tanto en reposo como en movimiento con velocidad constante; mientras que la Dinámica estudia los cuerpos acelerados, aunque se puede establecer el equilibrio dinámico mediante la introducción de las fuerzas de inercia.

Un cuerpo está en equilibrio estático si no se le perturba, si no sufre aceleración de traslación o de rotación. La suma de todas las fuerzas o la suma de todos los momentos que actúan sobre él es cero.

Matemáticamente se expresa con las ecuaciones de equilibrio:

$$\Sigma F_y = 0$$

(La sumatoria de las fuerzas que actúan en dirección y es igual a cero)

$$\Sigma F_x = 0$$

(La sumatoria de las fuerzas que actúan en dirección x es igual a cero)

$$\Sigma M = 0$$

(La sumatoria de los momentos producido por todas las fuerzas actuantes es igual a cero)

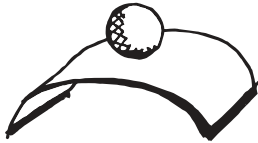
La primera ecuación nos garantiza que el cuerpo no se traslada según la dirección y. La segunda que no se traslada según la dirección x. La tercera, que el cuerpo no rota.

Sin embargo, si el cuerpo se desplaza ligeramente, son posibles tres resultados:

TIPOS DE EQUILIBRIO



Indiferente



Inestable



Estable

(1) el objeto regresa a su posición original, en cuyo caso se dice que está en equilibrio estable;

(2) el objeto se aparta más de su posición, en cuyo caso se dice que está en equilibrio inestable; o bien

(3) el objeto permanece en su nueva posición, en cuyo caso se dice que está en equilibrio neutro o indiferente.

En la mayor parte de los casos, como en el diseño de estructuras y en trabajos con el cuerpo humano, nos interesa mantener equilibrio estable o balance. En general un objeto cuyo centro de gravedad esté debajo de su punto de apoyo, como por ejemplo una pelota colgada de un hilo, estará en equilibrio estable. Si el centro de gravedad está arriba de la base o soporte, tenemos un caso más complicado. Por ejemplo, un prisma alargado que se apoya sobre su cara menor, si se inclina ligeramente regresará a su estado original, pero si se inclina demasiado, caerá. El punto crítico se alcanza cuando la normal a la superficie de apoyo que pasa por su centro de gravedad ya no cae sobre la base de soporte. En general, un cuerpo cuyo centro de gravedad está arriba de su base de soporte estará en equilibrio estable si una línea vertical que pase por su centro de gravedad pasa dentro de su base de soporte. Esto se debe a que la fuerza ejercida hacia arriba sobre el objeto, la cual equilibra a la gravedad, sólo se puede ejercer dentro del área de contacto, y entonces, si la fuerza de gravedad actúa más allá de esa área, habrá un momento neto que volteará el objeto. Entonces la estabilidad puede ser relativa. Un ladrillo que yace sobre su cara más amplia es más estable que si yace sobre su cara más fina, porque se necesitará más esfuerzo para hacerlo voltear. En el caso extremo del objeto de la figura, la base es prácticamente un punto y la menor perturbación lo hará caer. En general, mientras más grande sea la base y más abajo esté el centro de gravedad, el objeto será más estable.

Momento de una fuerza

Se denomina momento de una fuerza respecto de un punto, al producto vectorial del vector por la distancia desde el punto centro de rotación) a la recta donde esta incluida la fuerza.

$$MF = F \cdot d$$

La analogía de la llave y el tornillo, nos ayuda a entender el significado físico de la magnitud momento, y a determinar correctamente el módulo, la dirección y el sentido del momento de una fuerza:

El módulo del vector momento es el producto de la fuerza por su brazo (la distancia desde el punto O a la recta de dirección de la fuerza). $M = F \cdot d$

La dirección del vector momento es perpendicular al plano que contiene la fuerza y el punto, la que marca el eje del tornillo.

El sentido viene determinado por el avance del tornillo cuando hacemos girar a la llave.

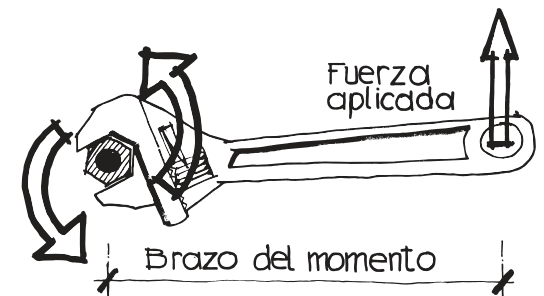
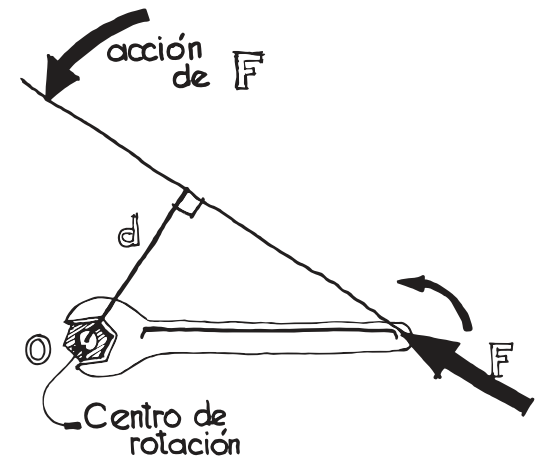
También podemos decir que:

Se llama momento estático de una fuerza con respecto a un punto, denominado centro de momentos, al producto de la intensidad de dicha fuerza por la distancia del centro a la misma.

Si la rotación se produce en el sentido horario, el momento será negativo, de lo contrario, se considerará positivo.

Un sistema de fuerzas que actúa sobre un cuerpo puede ser reemplazado por una fuerza resultante y por un momento resultante que produzcan sobre el cuerpo el mismo efecto que todas las fuerzas y todos los momentos actuando conjuntamente.

Como la fuerza resultante provoca un movimiento de traslación en el





Ejemplo del momento que debe soportar la estructura de un voladizo para estar en equilibrio

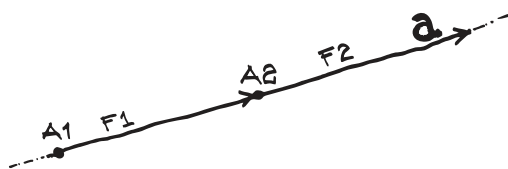


FIG.1 - Fuerzas Colineales

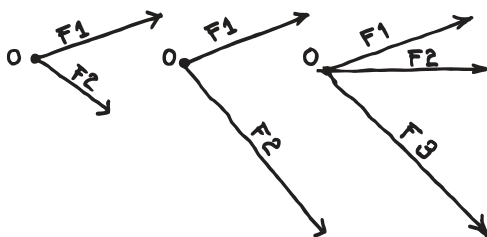


FIG.2 - Fuerzas Concurrentes

cuerpo y el momento resultante un movimiento de rotación, para que el cuerpo se encuentre en equilibrio debe cumplirse, simultáneamente, que la fuerza resultante y el momento resultante sean nulos.

No obstante, equilibrio no es sinónimo de reposo, ya que una fuerza resultante nula y un momento resultante nulo implican una aceleración lineal y angular nula, respectivamente, pero el cuerpo puede encontrarse en reposo o tener un movimiento rectilíneo y uniforme. Así, un cuerpo está en equilibrio cuando se encuentra en reposo o cuando se mueve con movimiento rectilíneo y uniforme.

Esta condición de equilibrio implica que una fuerza aislada aplicada sobre un cuerpo no puede producir por sí sola equilibrio y que, en un cuerpo en equilibrio, cada fuerza es igual y opuesta a la resultante de todas las demás. Así, dos fuerzas iguales y opuestas, actuando sobre la misma línea de acción, sí producen equilibrio.

Condiciones de Indeformabilidad de los Cuerpos o Sistemas (Estudiados en la Estática Gráfica)

La Estática Gráfica sólo estudia el equilibrio de las fuerzas exteriores, ya sean directamente aplicadas o fuerzas de reacción de vínculo y no le interesa lo que sucede dentro de dicho cuerpo. Es una ciencia que hace abstracción de la materia que constituye el sólido cuyo equilibrio se estudia y lo considera rígido e ilimitadamente resistente.

El considerar a un cuerpo como rígido es suponer que bajo la acción de las fuerzas, el cuerpo no se Deforma, es decir, que la distancia y la posición relativa entre las diferentes partículas que lo constituyen, permanece invariable y al considerarlo ilimitadamente resistente admitimos que, cualquiera sea la intensidad de las fuerzas que actúan sobre nuestro sólido ideal, no puede sobrevenir la ruptura. Como se comprende, este sólido ideal, no existe en la Naturaleza y todos los cuerpos se deforman bajo la acción de las fuerzas y pasado cierto

límite se rompen.

Sin embargo, en los casos tratados por la Estática, la variación de posición relativa de las partículas del cuerpo, carece de importancia y puede despreciarse.

Clasificación de las Fuerzas según su Recta de Acción

1. Fuerzas Colineales: Son las que tienen la misma recta de acción.

F_1 y F_2 aplicadas en los puntos A_1 y A_2 respectivamente, son colineales.

2. Fuerzas concurrentes: Son aquellas cuyas rectas de acción se encuentran en un punto. Dicho punto puede coincidir con uno, dos o varios puntos de aplicación de fuerzas o con ninguno. En los 3 casos de la figura 2, todas las fuerzas se dicen concurrentes a los puntos O . En realidad las fuerzas pueden no ser coincidentes en origen, sino sus rectas de acción. A propósito de esto vamos a hacer notar que, considerando lo dicho en Estática Gráfica, con respecto a que los cuerpos ideales que tratamos son absolutamente rígidos, las fuerzas pueden desplazarse según sus rectas de acción, sin variar en absoluto las condiciones de equilibrio del cuerpo o sistema sobre el que actúan.

Nota: Si en el cuerpo C , libre en el espacio y rígido, se encuentra aplicada en punto A una fuerza F , según la recta de acción a , las aceleraciones que sufre el cuerpo C , serán las mismas si trasladamos el punto de aplicación a lo largo de a , por ejemplo, al punto A_1 (Fig 3)

3. Fuerzas Paralelas: Sus rectas de acción son paralelas (tienen la misma dirección) siendo la recta a paralela a la b , en el caso de la fig. 4, se dice que F_1 es paralela a F_2 . Igualmente, F_3 y F_4 son fuerzas paralelas, aunque su sentido sea contrario. En este caso se dice también que las fuerzas son antiparalelas.

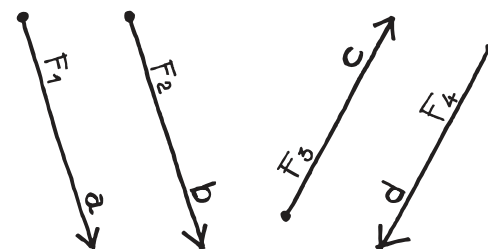
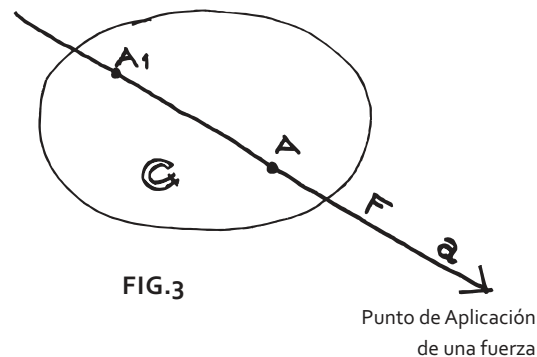
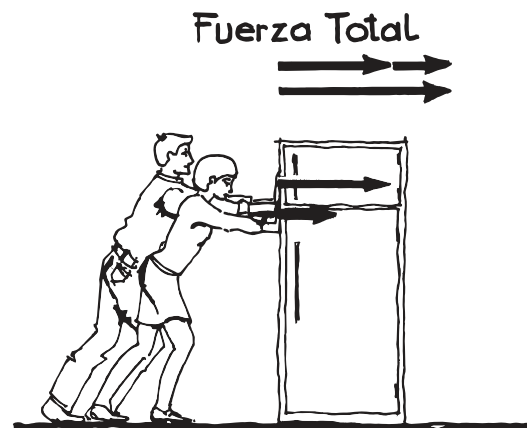


FIG.4 - Fuerzas Paralelas



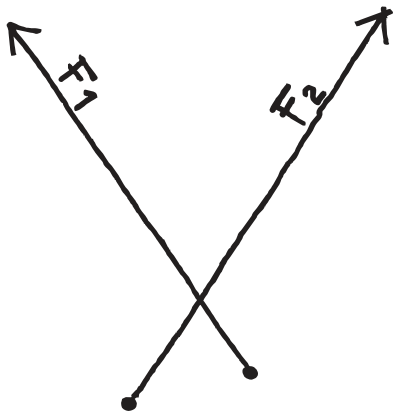


FIG.5 - Fuerzas Arbitrarias

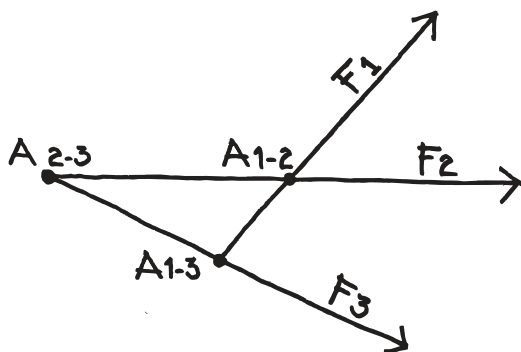


FIG.6 - Puntos de Concurrencia

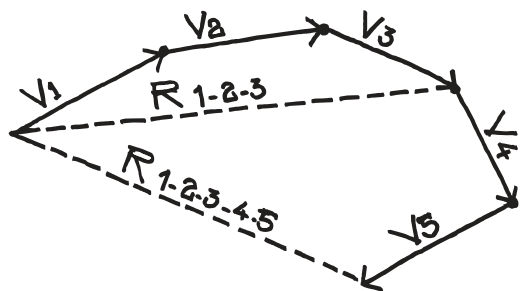


FIG.7- Vector Resultante

4. Fuerzas Cualesquiera o Arbitrarias: Dentro de este caso general quedan comprendidos los anteriores y también aquellas fuerzas cuyas rectas de acción no se encuentran en ningún punto ni son paralelas. En este caso las fuerzas F_1 y F_2 (figura 5) si son arbitrarias no pueden ser coplanares, pues dos fuerzas coplanares son siempre concurrentes.

Nota: Como hemos indicado en la figura 6, llamamos A_{1-2} al punto de concurrencia de las fuerzas F_1 y F_2 ; A_{2-3} al de F_2 y F_3 , etc.

Se sobreentiende que al tratarse de fuerzas, las consideramos como vectores. Cuando en particular se trabaja solamente con el módulo del vector, se escribirá la letra minúscula correspondiente o se hará notar en cada caso, con el agregado de la palabra módulo con su abreviación, mód.

Sistemas de Fuerzas. Sistemas Iguales. Sistemas Equivalentes. Componentes. Resultantes. Equilibrante. Composición y Descomposición de Fuerzas.

Se denomina sistema de fuerzas a un conjunto determinado de fuerzas que actúan sobre un cuerpo o sistema de cuerpos. Según hemos estudiado al tratar los vectores, es posible reemplazar, salvo en casos especiales que estudiaremos más adelante cuando abordemos los pares o cuplas de fuerzas, dicho conjunto de fuerzas por una única, que se denomina resultante del sistema de fuerzas. Su efecto sobre el cuerpo (teniendo siempre en cuenta que es, por hipótesis, rígido) es el mismo que el de dicho conjunto.

Dos sistemas de fuerzas son:

a.- equivalentes cuando ambos tienen la misma resultante. Por lo tanto, los efectos que dichos dos sistemas de fuerzas pueden producir en el cuerpo sobre el cual actúan, serán iguales.

b.- iguales, cuando las fuerzas que los constituyen son iguales 2 a 2;

éste es el único sentido de la igualdad, no sucediendo lo mismo con el sentido de equivalencia que se refiere solamente a los efectos provocados en el cuerpo.

La operación de reemplazar un sistema de fuerzas por otros, cada vez más sencillos, consiste en sustituir grupos de fuerzas del primero por sus resultantes parciales, hasta llegar a la resultante final única. Se denomina composición de fuerzas. Claro está que hay procedimientos, que veremos más adelante, que nos permiten obtener directamente la resultante final, sin pasar por las resultantes parciales.

Como ya hemos visto, las fuerzas son vectores aplicados y por ello el problema de la composición de fuerzas es algo más complejo. Entonces, en el caso de los vectores libres, la resultante total o las resultantes parciales se obtienen efectuando la suma geométrica de los vectores, llevándolos uno a continuación del otro.

En la fig. 7, $R_{1, 2, 3}$, es el vector resultante o suma geométrica parcial de los vectores libres V_1, V_2, V_3 , que se han llevado uno a continuación del otro.

$R_{1, 2, 3, 4, 5}$ es la resultante total, que es también la resultante de las 3 fuerzas $R_{1, 2, 3}, V_4$ y V_5 (propiedad asociativa). La operación inversa o sea reemplazar una fuerza por 2 ó varias capaces de producir el mismo efecto que la primera única, sobre el cuerpo en el que actúan, se denomina descomposición de fuerzas. Cada una de las fuerzas del nuevo sistema equivalente a aquella, se designa con el nombre de fuerza componente.

En la figura 8, las fuerzas del sistema F_1, F_2, F_3, F_4 , son componentes de la fuerza K , quien, a su vez, es la resultante de las mismas.

Se llama **equilibrante** de un sistema, a una fuerza única cuya acción sobre el cuerpo en que actúa, es igual y de sentido opuesto a la

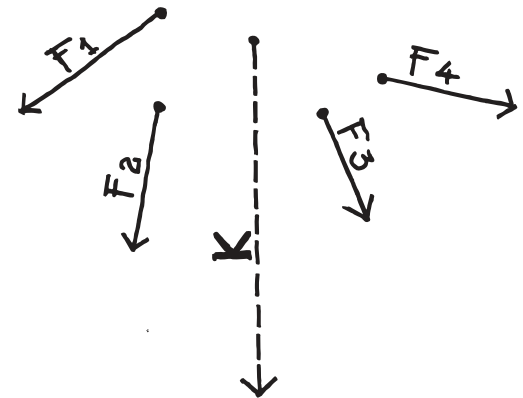
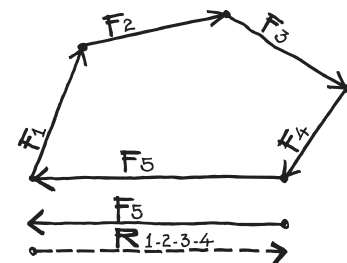


FIG.8- Fuerza Resultante



$$F_5 = R_{1-2-3-4} = -E$$

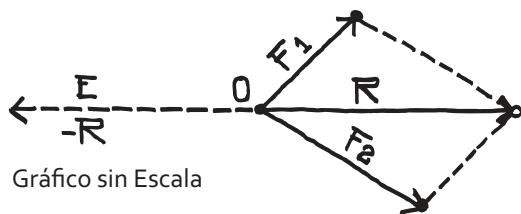


Gráfico sin Escala

FIG.9

producida por el sistema de fuerzas primitivo. Por esta causa, aplicada esa fuerza simultáneamente al sistema de fuerzas primitivo, el cuerpo permanece en equilibrio o en movimiento rectilíneo y uniforme, según sea su estado inicial.

La **fuerza equilibrante E** de un sistema dado de fuerzas, tiene igual módulo, recta de acción y punto de aplicación que la resultante del sistema dado, pero su sentido es opuesto.

Se tendrá pues:

$$E = - R$$

En el sistema en equilibrio de la figura 9, cada una de las fuerzas, si se invierte su sentido, es equilibrante del conjunto de todas las demás.

Por ejemplo: F_5 , es equilibrante del sistema F_1, F_2, F_3, F_4 : es igual y de sentido contrario a $R_{1, 2, 3, 4}$, que sería la resultante del sistema de 4 fuerzas.

Principios Fundamentales de la Estática Gráfica

Los principios fundamentales de la Estática Gráfica son una serie de condiciones admitidas sin demostración (postulados) que cumplen las fuerzas actuantes sobre los cuerpos.

1- Toda fuerza que actúa sobre un cuerpo puede desplazarse a lo largo de su recta de acción, sin que su efecto sobre el mismo varíe. El punto de aplicación de F_1, A_1 puede trasladarse a lo largo de a , por ejemplo al punto A'_1 . Mód. $F'_1 = \text{mód. } F_1$ (Fig. 10)

2- Dos fuerzas iguales y de sentido contrario, aplicadas en puntos de una misma recta de acción, se equilibran y, por efecto de ellas, el cuerpo no modifica su condición de equilibrio.

3- Si sobre un cuerpo o sistema de cuerpos en equilibrio, agregamos o suprimimos un sistema de fuerzas que se encuentre en equilibrio de por sí (su resultante es O y además cumple la otra

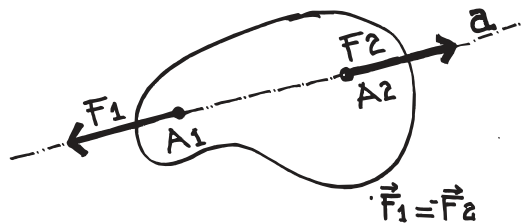
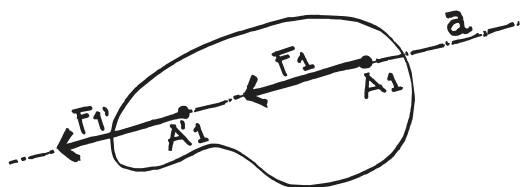


FIG.10

condición que estudiaremos más adelante de no reducirse a un par), el equilibrio subsiste.

4- Como hemos visto al hablar de fuerza resultante y fuerza componente, un sistema de fuerzas puede ser reemplazado por una única fuerza llamada resultante (salvo que se reduzca a un par). Todo sistema no tiene más que una sola resultante.

5- Recíprocamente una fuerza puede ser reemplazada por dos o varias llamadas componentes, de las cuales aquella es su resultante.

6- Según el principio de la física, de la acción y de la reacción, si un cuerpo ejerce sobre otro, una cierta acción o fuerza actuante, éste ejercerá sobre el primero una fuerza de igual módulo y recta de acción, pero de sentido contrario.

Composición de Fuerzas Colineales

Como hemos dicho, dos fuerzas son **colineales**, cuando tienen la misma recta de acción. También hemos indicado que el efecto de una fuerza sobre un cuerpo rígido, no varía si ésta se desplaza a lo largo de su recta de acción. Las fuerzas F_1 y F_2 son **colineales y del mismo sentido**. Para componerlas o sea sumarlas geométricamente, hacemos coincidir el punto A_2 con el extremo de F_1 : el vector fuerza resultante, tendrá la misma recta de acción y su módulo es igual a la suma de los módulos de F_1 , y F_2 . Su punto de aplicación podrá ser cualquiera de la recta a , considerándolo siempre **vinculado rígidamente al cuerpo**.

Si las fuerzas F_1 y F_2 son colineales, pero de sentido contrario, el vector fuerza resultante tendrá la misma recta de acción, pero su módulo es igual a la diferencia de los módulos de las dos fuerza, en este caso $|F_2| - |F_1|$ siendo el sentido de dicha resultante, el de la mayor de las dos fuerzas.

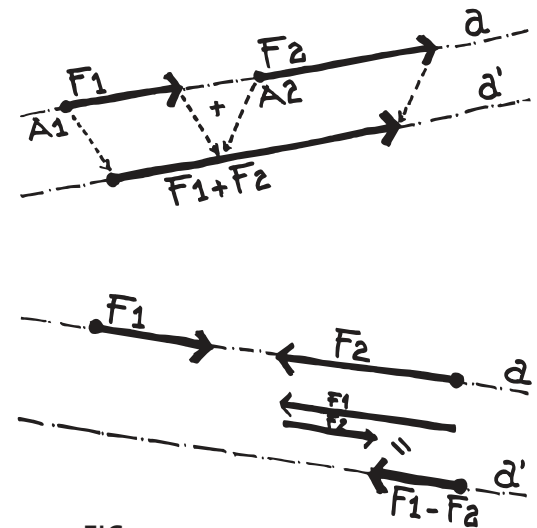


FIG.11

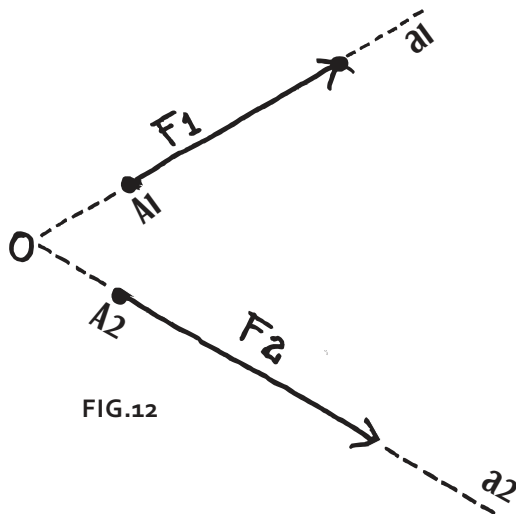


FIG.12

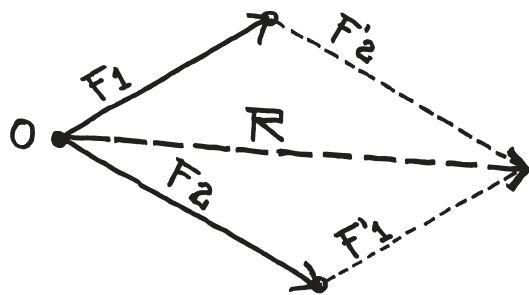


FIG.13

Composición de dos Fuerzas Concurrentes: Triángulo y Paralelogramo de Fuerzas

Sean 2 fuerzas F_1 y F_2 de rectas de acción a_1 y a_2 aplicadas en A_1 y A_2 (Fig. 12). Según lo dicho anteriormente, podemos trasladar su punto de aplicación hasta el punto O de encuentro de a_1 y a_2 sin modificar el estado de equilibrio. Tenemos reducido el caso al de 2 fuerzas concurrentes, con el mismo punto de aplicación O (Fi. 13) Para efectuar su composición podemos seguir dos procedimientos:

1- Llevando F_2 a partir del extremo de F_1 ; el vector resultante será el que va de A_1 al extremo de F_2 quedando determinada la dirección, el sentido y el módulo; el punto de aplicación es el punto O de encuentro de a_1 y a_2 o cualquier punto de la recta r . La resultante la obtenemos como tercer lado de un triángulo cuyos otros dos lados son las fuerzas dadas a componer (**Triángulo de las fuerzas**).

2- Trazando el paralelogramo de las fuerzas dadas F_1 y F_2 la resultante R está dada por la diagonal de dicho paralelogramo, cuyo origen es el punto O intersección de las rectas de acción de las fuerzas.

Este procedimiento constituye la tan nombrada **Regla del paralelogramo** para la composición de fuerzas.

Composición de Varias Fuerzas Concurrentes a un Punto. Polígono de Fuerzas

Todas las rectas de acción pasan por dicho punto (punto O), al que podemos trasladar todos los orígenes de las fuerzas a componer. Podemos resolver el problema aplicando la regla del paralelogramo, tomando las fuerzas de 2 en 2, hallando las resultantes parciales. Estas resultantes parciales pueden determinarse en el orden que se desee, componiendo luego las mismas entre sí, hasta obtener la **resultante total**. Por ejemplo: a) componemos F_1 y F_2 obteniendo la resultante parcial $R_{1,2}$.

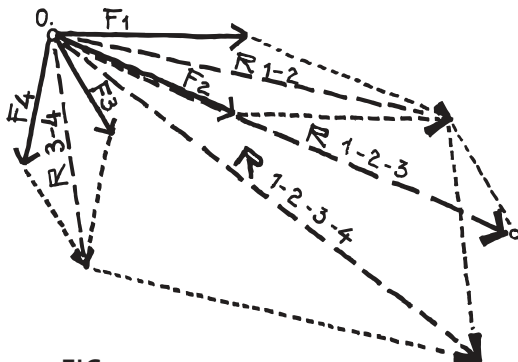


FIG.14

Comp. de Fuerzas Concurrentes

b) componemos $R_{1, 2}$ con F_3 obteniendo la $R_{1, 2, 3}$, resultante de F_1 , F_2 y F_3 y luego, $R_{1, 2, 3}$ con F_4 obteniendo la resultante total = $R_{1, 2, 3, 4} = R$. Podemos también componer F_1 y F_2 obteniendo $R_{1, 2}$ y a F_3 y F_4 obteniendo $R_{3, 4}$. Componiendo ahora $R_{1, 2}$ con $R_{3, 4}$ obtenemos la resultante total. Puede procederse también efectuando la composición en otro orden cualquiera.

Polígono de fuerzas: La composición de las fuerzas del caso anterior, puede efectuarse trazando el polígono de las fuerzas dadas, es decir siguiendo el procedimiento general de llevar una fuerza a continuación de la otra.

Como siempre el vector resultante será el que une el origen de la primera fuerza con el extremo de la última. El polígono de fuerzas permite obtener también las resultantes parciales de fuerzas sucesivas, como se indica en la figura 15. Por O pasa la recta de acción de R .

Si el polígono de fuerzas resulta cerrado, o sea, si en nuestro caso A_5 coincidiera con A_1 , la resultante es nula y hay equilibrio de fuerzas.

Descomposición de una Fuerza en dos Direcciones dadas. Casos en que es posible

Para poder efectuar la descomposición de una fuerza en otras dos de direcciones dadas, es necesario que el punto de intersección de dichas dos direcciones, se encuentre sobre la fuerza dada.

Sea dada la fuerza R y las 2 direcciones F_1 y F_2 cuyo punto de intersección es A que se encuentra sobre la recta de acción de $A.B$.

Podemos seguir 2 procedimientos.

a) Por la regla del paralelogramo por el extremo del vector R trazamos 2 rectas paralelas a F_1 y F_2 . Donde estas paralelas encuentran a las rectas F_1 y F_2 respectivamente, tenemos los puntos A_2 y A_1 , que con el A nos determinan los vectores componentes:

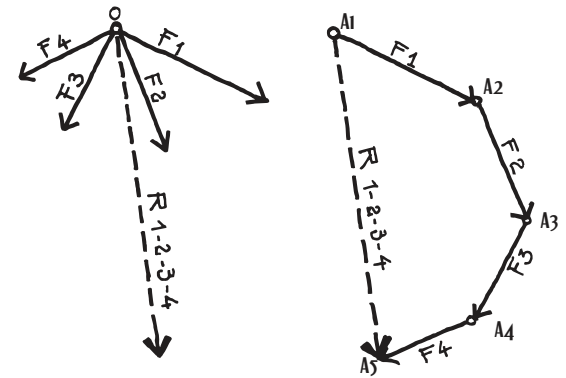


FIG.15
Polígono de Fuerzas

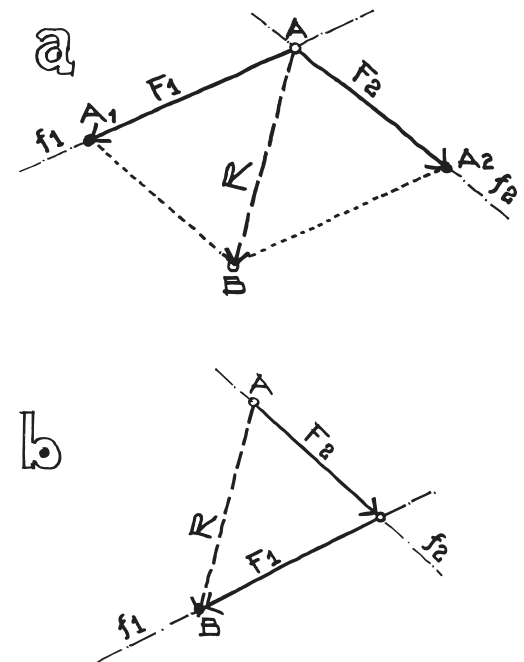


FIG.16
Descomposición de una fuerza

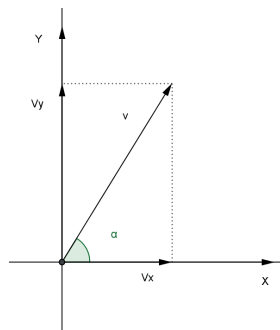
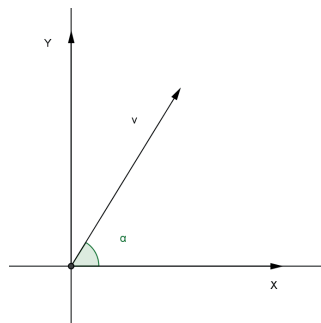


FIG.17

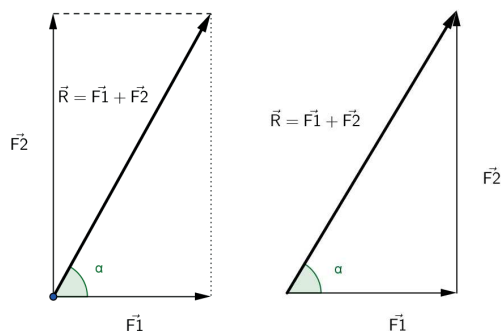
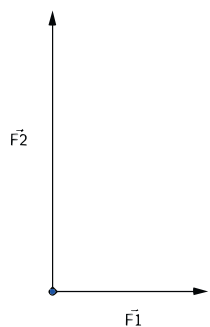


FIG.18

$$Aa1 = F1 \quad ; \quad Aa2 = F2$$

b) Por medio del polígono de fuerzas: (en este caso el polígono se reduce al triángulo de fuerzas) por el origen A del vector **R**, llevamos una paralela a **F2** y por el extremo de **R** llevamos una paralela a **F1**. Queda determinado el punto **M** y con él los vectores fuerzas componentes.

$$F2 = AM \quad ; \quad F1 = MB$$

Descomponer una fuerza en dos direcciones equivale a encontrar dos vectores que sumados entre sí nos den como resultado la fuerza original. El caso más simple, y que estudiaremos, consiste en descomponer dos fuerzas en direcciones perpendiculares entre sí, es decir, descomponer sobre los ejes de un plano cartesiano: Conociendo solamente el módulo o medida del vector **V** que representa una fuerza y el ángulo α que forma con el sentido positivo del eje de las abscisas, vemos cómo se calculan sus componentes perpendiculares **Vx**, **Vy**. (Fig. 17)

Por trigonometría sabemos que $\text{sen } \alpha = Vy/V$ y que $\text{cos } \alpha = Vx/V$, por lo tanto las componentes o proyecciones del vector sobre los ejes cartesianos son:

$$Vx = V \cdot \text{cos } \alpha \quad Vy = V \cdot \text{sen } \alpha$$

Cálculo analítico de la suma o resultante de 2 fuerzas.

Comenzaremos con el caso más elemental, en el que las fuerzas son perpendiculares.

En primer lugar observamos que gráficamente podemos resolverlo tanto por el método del paralelogramo como por el método de la poligonal, siendo ambos equivalentes. El módulo del vector resultante se calcula por el Teorema de Pitágoras como , mientras que $\text{tg } \alpha = F2/F1$, entonces $\alpha = \text{arctg } (F2/ F1)$.

Si las fuerzas no son perpendiculares y forman entre sí un cierto ángulo α , se resuelve de un modo general aplicando los teoremas del coseno y del seno.

En la primera figura se encuentran los vectores a sumar (F_1 , F_2 concurrentes que forman un ángulo α), en la segunda está la resultante graficada por el método del paralelogramo y en la última vemos la resultante según el método de la poligonal.

Aplicando el teorema del coseno en este último triángulo sabemos que: $R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos (180^\circ - \alpha)$

Dado que $\cos (180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$ resulta:

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot (-\cos \alpha) = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha$$

Con lo que el módulo de la Resultante es:

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha$$

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \delta$$

$$2\delta = 360^\circ - 2\alpha = 180^\circ - \alpha$$

$$\delta = 180^\circ - \alpha$$

Aplicando el teorema del seno, se pueden calcular los ángulos β y φ :

$$\frac{R}{\sin (180^\circ - \alpha)} = \frac{F_1}{\sin \phi} = \frac{F_2}{\sin \beta}$$

δ debido a que contamos con F_1 , F_2 , R y el ángulo α

SUMATORIA DE FUERZAS PARALELAS- RELACIÓN DE STEVIN

Para encontrar la resultante de dos fuerzas paralelas basta con sumar algebraicamente estas fuerzas, esto es respetando el signo que le corresponde según el sentido que tengan.

Para encontrar el punto por donde pasa la recta que contiene a la resultante se aplicara la relación de Stevin

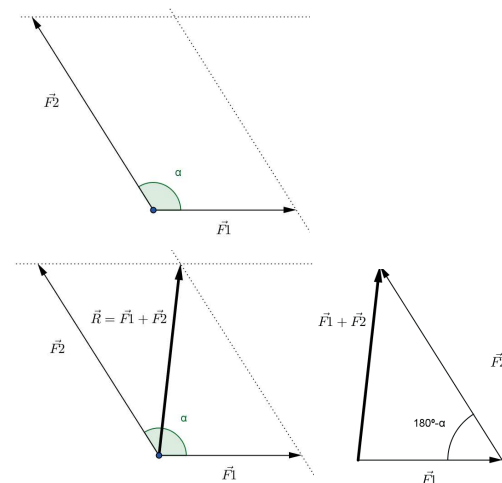


FIG.19

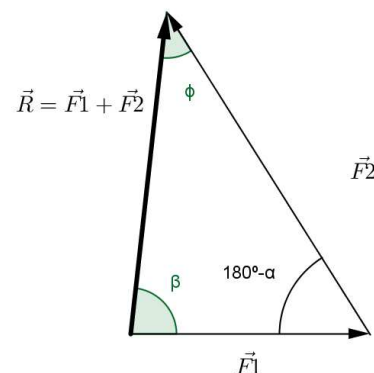


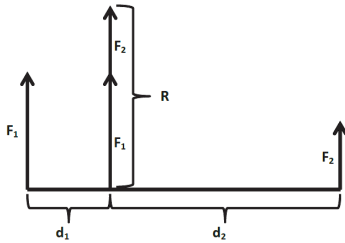
FIG.20

Donde :

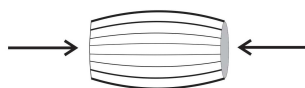
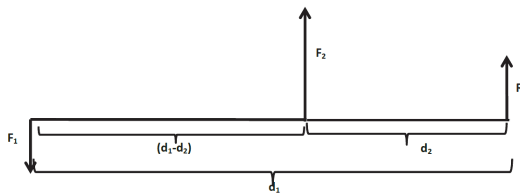
d_1 es la distancia entre la fuerza F_1 y la resultante R

d_2 es la distancia entre la fuerza F_2 y R .

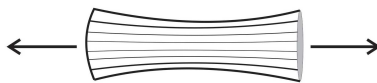
$d_1 + d_2$ es la distancia entre F_1 y F_2 .



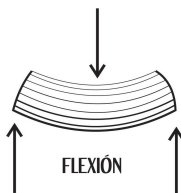
En el caso de que las fuerzas paralelas entre sí sean de distinto sentido:



COMPRESIÓN



TRACCIÓN



FLEXIÓN

$$\frac{F_1}{d_2} = \frac{F_2}{d_1} = \frac{R}{d_1 + d_2}$$

Suponiendo un valor para $F_1 = 40\text{ N}$ y un valor para $F_2 = 60\text{ N}$ siendo $d_1 = 4,80\text{ m}$. ¿Cuáles serán los valores de d_2 y R ?

$$\frac{F_1}{d_2} = \frac{F_2}{d_1} = \frac{R}{d_1 + d_2} \quad \frac{40\text{ N}}{d_2} = \frac{60\text{ N}}{4,80\text{ m}} \quad d_2 = 3,20\text{ m}$$

Las fuerzas externas también actúan en la materia (Material) provocando en el interior del cuerpo reacciones (a las que llamamos esfuerzos) que tienden a equilibrarlas. En estos casos se dice que el cuerpo está sometido a esfuerzos internos (deformaciones elásticas). Se presentan diversas clases de esfuerzos, según sea la forma en que se encuentra aplicada la fuerza externa sobre el cuerpo: tracción, compresión, flexión, torsión, corte, pandeo, choque y fatiga.

Tracción: En el cálculo de estructuras se denomina tracción al estado de tensión donde el esfuerzo al que está sometido un cuerpo está dado por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

Se considera que las tensiones que surgen en cualquier sección perpendicular a dichas fuerzas, son normales a esa sección; están uniformemente repartidas en toda la superficie de la misma y son de sentidos opuestos a las fuerzas que intentan alargar el cuerpo.

Compresión: Es un estado de tensión en el cual las partículas se aprietan entre sí por efecto de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto y en la misma línea de acción. Una columna sobre la cual se apoya una carga, se halla sometida a compresión.

Flexión: Esfuerzo a que está sometido un cuerpo cuando las fuerzas externas tienden a curvarlo: Es una combinación de tracción y

Torsión: Es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como pueden ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, aunque es posible encontrarla en situaciones diversas.

Corte: es el estado de tensión en el cual las partículas del material pertenecientes a dos secciones próximas entre sí, se deslizan en direcciones opuestas, según un plano que corta el cuerpo.

Otros casos particulares son:

Pandeo: tiene lugar cuando un cuerpo, de sección reducida con respecto a su longitud, está sometido a un esfuerzo de compresión, en el sentido de su eje longitudinal, que produce un cambio brusco de forma (se curva).

Choque: es la aplicación de una fuerza repentina, más o menos grande. Un formón, golpeado por un martillo, está sometido a un esfuerzo de choque; lo mismo sucede con el martillo.

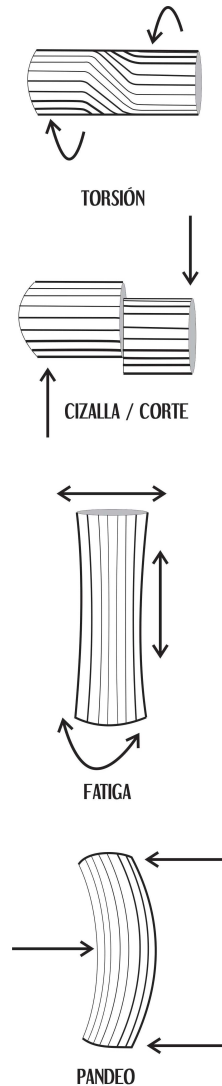
Fatiga: es la deformación (que puede llegar a la rotura) de un material sometido a cargas repetitivas y variables, inferiores a la de rotura, cuando actúan un cierto tiempo o un número determinado de veces.

Ley de Elasticidad - Ley de Hooke

En física, la **ley de elasticidad de Hooke o ley de Hooke**, originalmente formulada para casos de estiramiento longitudinal, establece que la deformación ϵ de un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada F Donde:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{AE}$$

La ley se aplica a materiales elásticos hasta un límite denominado límite de elasticidad. Esta ley recibe su nombre de Robert Hooke,



ΔL : alargamiento longitudinal,

L : Longitud original,

E : módulo de Young o módulo de elasticidad,

A : sección transversal de la pieza estirada.

físico británico contemporáneo de Isaac Newton. Ante el temor de que alguien se apoderara de su descubrimiento, Hooke lo publicó en forma de un famoso anagrama, ceiiinossttuv, revelando su contenido un par de años más tarde. El anagrama significa Ut tensio sic vis ("como la extensión, así la fuerza").

Trabajo – Potencia Trabajo Mecánico:

En Física, la palabra "trabajo" se emplea en un sentido diferente y restringido. Diremos que un hombre, o una máquina, realizan un trabajo, cuando vence una resistencia a lo largo de un camino.

Ej.: para subir un mueble hasta el piso alto hay que vencer una resistencia, el peso P , a lo largo de un camino, la altura d . El trabajo T realizado es el producto de la fuerza P , por la distancia recorrida d :

$$\text{Trabajo} = \text{Fuerza} \cdot \text{distancia} \quad T = F \cdot d$$

La unidad de trabajo es Kgm en el sistema técnico (Kilográmetro).

Consecuencia:

- 1- El trabajo realizado es proporcional a la fuerza aplicada.
- 2- El trabajo realizado es proporcional a la altura o espacio recorrido.

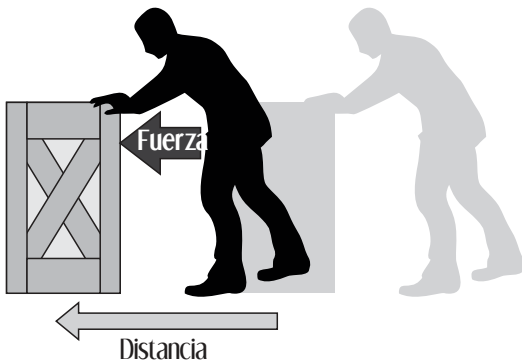
En el caso en que la dirección de la fuerza no coincida con la dirección del camino recorrido:

Puede ocurrir que el espacio recorrido no tenga igual dirección que el de la fuerza aplicada; por ejemplo: observemos al jardinero de la figura. Para empujar la máquina de cortar pasto aplica una fuerza F . Supongamos que recorra una distancia d .

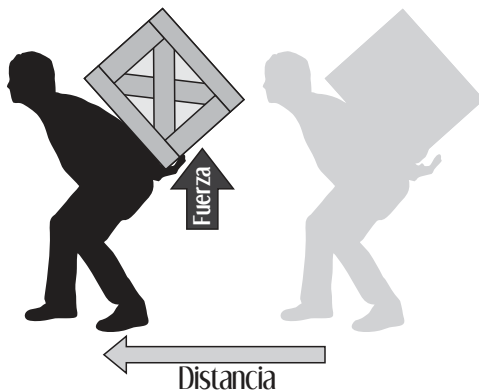
¿Valdrá $F \cdot d$ el trabajo realizado por el? No.

La fuerza F aplicada por el jardinero tiene dos efectos:

- a) Hace avanzar la máquina.



Se realiza trabajo mecánico cuando se vence una resistencia a lo largo de una distancia.



No se realiza trabajo mecánico cuando la fuerza que se aplica para vencer la resistencia es perpendicular a la distancia.

b) La aprieta contra el suelo. Descomponemos F en F_1 y en F_2 en donde: $T_1 = F_1 \times d$; $T_2 = F_2 \times 0$, no hay recorrido, no hay trabajo. La única fuerza que trabaja es F_1 : $T = T_1$

$$T = F_1 \cdot d$$

$F_1 = F \cdot \cos y$; reemplazando

$$T = F \cdot d \cdot \cos y$$

El trabajo realizado por una fuerza F al mover a un cuerpo una distancia d , que forma con su recta de acción un ángulo α , es igual al producto de la fuerza por la distancia y por el coseno del ángulo.

Unidades de trabajo:

En el sistema M.K.S. y en el SIMELA Unidad M.K.S. de trabajo = Newton x metro. La unidad M.K.S. de trabajo se llama Joule

$$\text{Joule} = \text{Newton} \times \text{metro} \quad J = N \times m$$

En el sistema c.g.s. llamado ERGIO.

Unidad c.g.s. de trabajo = dina x centímetro **erg** = dina x cm

Ergio es la unidad de trabajo en el sistema **c.g.s.**, es el trabajo de una dina de fuerza aplicada que se desplaza en el espacio de 1cm.

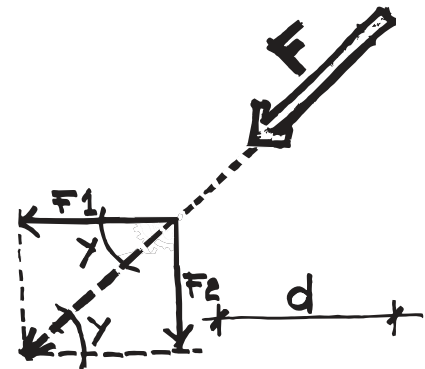
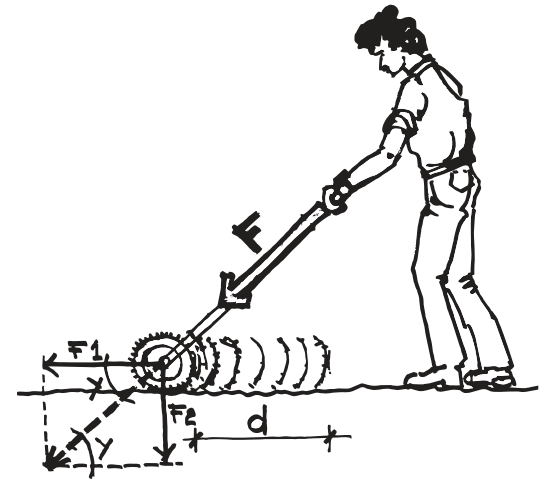
Julio o Joule es la unidad de trabajo en el **SIMELA**, o sea, es el trabajo realizado al aplicar una fuerza de 1 newton en el espacio de un metro.

Kilográmetro es la unidad de trabajo en el **Sistema Técnico**, o sea es el trabajo realizado al aplicar una fuerza de un kilogramo en el espacio de un metro.

Equivalencias entre:

$$Kgm \sim \text{Julio o Joule} \sim \text{ergio}$$

$$1 \text{ kgm} = 9,8 \text{ J} = 98.000.000 \text{ ergios}$$



Unidades de Potencia		
c.g.s.	SIMELA	Técnico
ergio/seg	vatiojulio/seg	Kgm/seg
	1000w = 1kw	75kgm/seg = 1CV

Potencia:

Potencia es el trabajo realizado en la unidad de tiempo, o sea, es el cociente entre el trabajo realizado y el tiempo empleado en realizarlo

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo realizado}}{\text{tiempo empleado}} = \frac{T}{t} = \frac{\text{Kgm}}{\text{seg}}$$

1- Unidad de potencia = Kilográmetro / segundo si el trabajo es de 75 kgm resulta: **1HP = 75 kgm/1seg = 1CV (caballo vapor)** en el sistema técnico

2- Unidad de potencia en el sistema c.g.s. **P = ergio / seg.**

3- Unidad de potencia en el SIMELA **P = Julio / seg. = vatio (w)**

Vatio (w) es la **unidad de Potencia** en el SIMELA; se desarrolla una potencia de un vatio al efectuar el trabajo de un Julio en el tiempo de un segundo.

Equivalencia entre Unidades:

1 Kgm = 9,8 Julios; por lo tanto 75 Kgm = 9,8 Julios x 75 y como

1CV = 75 kgm / 1 seg. = 9,8 Julios x 75 / 1 seg. Resulta 1CV = 735 w = 0,735 Kw

Podríamos también expresar la potencia como el producto de la fuerza por la velocidad.

En efecto: $P = T / t$ pero $T = F \cdot d$ tenemos que $P = F \cdot d / t$

y como $d / t = \text{velocidad (v)}$ resulta $P = F \times \text{velocidad}$

El Kilovatio hora, es una unidad de trabajo y equivale a 3.600.000 julios. Sabemos que $P = T / t$ y $T = P \times t$ o sea,

Trabajo = 1 Kw. h = 1000 w x 3600 seg

en consecuencia 1 kw. h = 3600 Julio/seg. x 3600 seg.

es decir $1 \text{ Kw} \cdot h = 3.600.000 \text{ julios}$.

MÁQUINAS SIMPLES

Se denomina con este nombre a todos los dispositivos en los que tanto la energía que se les suministra como la que producen se encuentran en forma de trabajo mecánico y cuyas partes están formadas por componentes sólidos rígidos.

Las funciones que cumplen son las siguientes:

- Una Palanca es un elemento físico capaz de convertir un trabajo mecánico (fuerza por una distancia) en otro equivalente.
- Una Polea permite elevar un objeto hasta una altura, sólo tirando de una cuerda desde un plano inferior al que se desea elevar ese objeto.

El fin de las máquinas simples es lograr con una pequeña fuerza continuada producir el trabajo necesario, que requeriría de una fuerza mayor.

Clasificación de las máquinas simples

Las máquinas simples suelen clasificarse en los siguientes tipos:

Palanca - balanza

Poleas

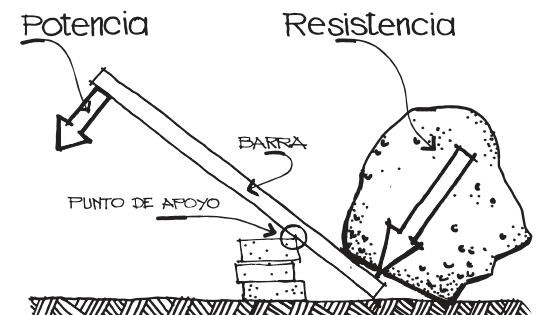
Ruedas y ejes

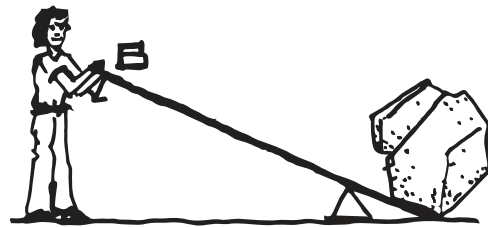
Planos inclinados

Tornillos

Cuñas

Existen otras máquinas más complejas, como los tornos mecánicos o las esmeriladoras de superficies, que son combinaciones de estos seis tipos antes enumerados.





Desarrollo

De lo observado de la imagen, es fácil deducir que:

1. A mayor distancia del apoyo, menor fuerza(F). Caso B
2. A menor distancia del apoyo, mayor fuerza(F) Caso A

Este concepto es en el cual se basa la palanca.

Brazo de la fuerza: Es la distancia del punto a la fuerza o a su recta de acción.

Momento de Giro: Es el producto de la fuerza por su brazo $M = F \cdot d$

Como hemos visto anteriormente se produce un momento. Los momentos pueden ser positivos y negativos, consecuentemente estos nos dan perfectamente la idea de rotación, de giro y de desplazamiento respecto a un punto.

Palanca

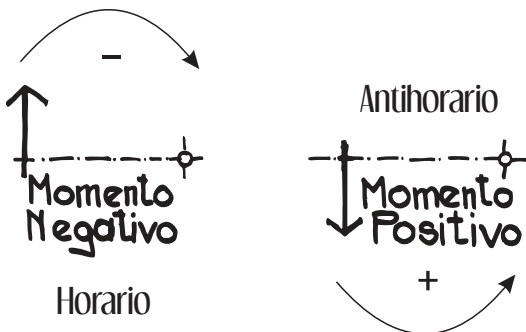
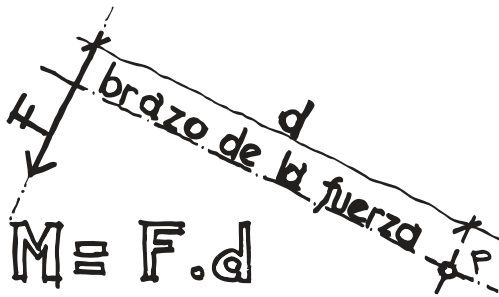
Una palanca está formada por una barra que se mueve sobre un punto de apoyo.

1. **Punto de apoyo:** Punto alrededor del cual gira la palanca.
2. **Esfuerzo:** Fuerza ejercida para levantar la carga.

Condiciones de equilibrio

En la palanca actúan dos fuerzas: el esfuerzo (P) y el peso de la carga o resistencia a levantar (R). Si el punto de apoyo está en el centro de la Palanca, el esfuerzo que se aplica en uno de los extremos de la barra debe ser igual al peso de la carga para lograr el equilibrio.

La distancia comprendida entre el punto de apoyo y el lugar donde se aplica el esfuerzo, se llama brazo de fuerza motriz. La distancia comprendida entre el punto de apoyo y el lugar donde se ubica la carga, se llama brazo de resistencia.



Una palanca está en equilibrio, respecto del punto de apoyo, cuando el momento de la potencia (fuerza motriz) es igual al momento de la resistencia.

En síntesis, en una palanca en equilibrio el producto de la resistencia por su brazo es igual al producto de la potencia por el suyo.

$$MP = MR$$

Géneros de palanca

Las palancas teniendo en cuenta la ubicación de su punto de apoyo y su resistencia se clasifican en:

Palancas de Primer Género:

El punto de apoyo está situado entre la potencia y la resistencia.

La balanza, aparato destinado a comparar pesos de cuerpos, es una palanca de primer género.

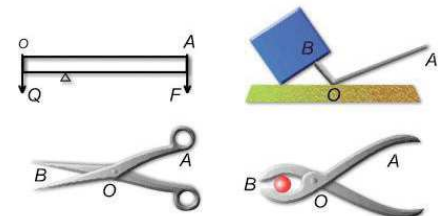
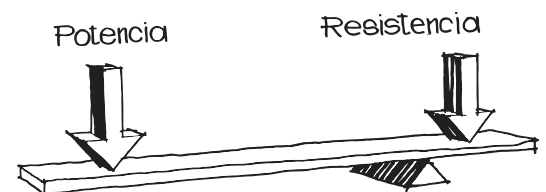
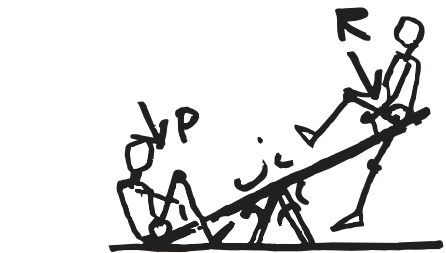
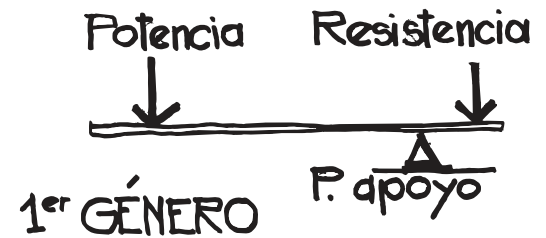
El objeto que se pesa es la carga y los contrapesos realizan la fuerza para equilibrar el mecanismo. Ambos pesos son iguales y se encuentran a la misma distancia del punto de apoyo.

Hay diferentes tipos de balanzas

1. Balanza romana: Es una palanca de primer género, de brazos desiguales. En uno de sus extremos se coloca el cuerpo cuyo peso se desea conocer. Y en el otro el peso conocido, el que se usa como testigo.

2. Balanza de Roberbal: Consiste en un paralelogramo articulado, de modo que sus platillos permanecen siempre horizontales. Sus brazos son iguales y la acción de los cuerpos y pesas colocados se realiza verticalmente.

3. Pesacartas: Está destinada a pesar cargas livianas. La acción del peso colocado en el platillo es equilibrada por un contrapeso (M) que



se desplaza según el mayor o menor peso aplicado, el que es indicado en una escala graduada.

Otros ejemplos de palancas de primer género son:

- **Los Alicates:** son una palanca combinada (una pareja de palancas unidas en un punto de apoyo). La carga es la resistencia que el objeto opone al cierre de la herramienta.

- **Las Tijeras:** Son palancas combinadas de primer género.

Realizan una fuerte acción de corte cerca del punto de apoyo. La carga es la resistencia del material a la acción de corte de las hojas de la tijera.

Palancas de segundo Género

La resistencia está entre el punto de apoyo y la potencia

Palancas de Tercer Género:

La potencia está entre el punto de apoyo y la resistencia.

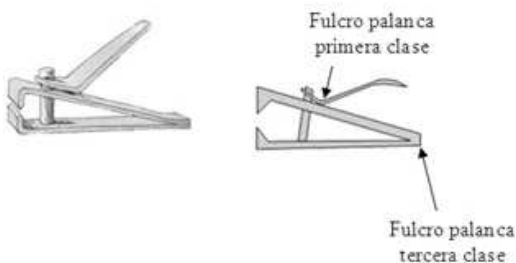
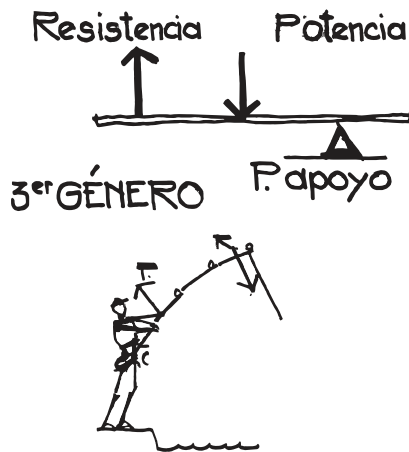
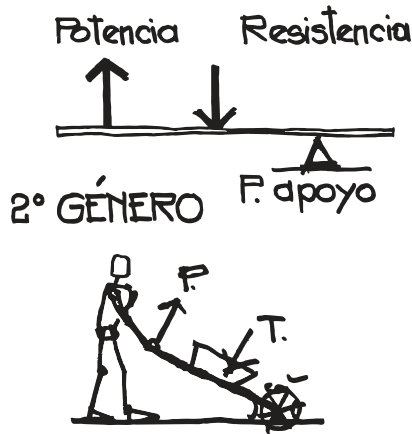
Nota: En cualquiera de los géneros de palanca, el brazo de potencia es el segmento que se encuentra entre el punto de apoyo y el punto de aplicación de la potencia (bp), y el brazo de resistencia es el segmento que se encuentra entre el punto de apoyo y el punto de aplicación de la resistencia (br).

$$P.(bp) = R.(br)$$

Palancas Múltiples

Algunos artefactos usan palancas de más de un tipo en su funcionamiento, son las palancas múltiples. Por ejemplo, el cortaúñas, es una palanca de tercer tipo pero también lo es de primer tipo.

Otro tipo de palancas múltiples se tiene en el caso de una máquina retroexcavadora, que tiene movimientos giratorios (un tipo de



palanca), de ascenso y descenso (otra palanca) y de avanzar o retroceder (otra palanca).

POLEAS

Se denomina polea a una máquina simple que consta de un disco o rueda acanalada, que permite que se le adapte una soga o cadena. A un extremo de la cadena o soga se le sujeta un cuerpo - la resistencia-, mientras que en el otro se aplica una fuerza llamada potencia. El desplazamiento de la soga o cadena, hace girar el disco sobre su eje el que se encuentra en el centro y que descansa en un soporte en forma de horquilla dotada de un gancho, la que se llama armadura de la polea.

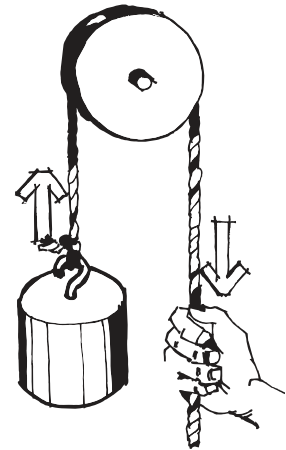
Existen tres tipos de poleas: - Simples - Móviles - Compuesta

Poleas simples

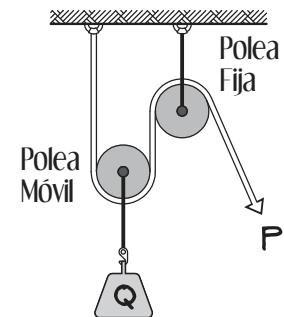
Sólo con una cuerda y una rueda se puede arreglar el cambio de dirección. Se fija la rueda a un soporte y se pasa una cuerda por la rueda hasta alcanzar la carga. Al tirar desde el otro extremo de la cuerda, se puede elevar la carga hasta la altura en que se halla fija la polea. El propio peso del cuerpo de la persona que tira se constituye en una ayuda. Una rueda utilizada de esta manera, se convierte en una polea, y el sistema de elevación que realiza es una simple guía. Las poleas simples se usan en máquinas en las que se debe cambiar la dirección del movimiento, como por ejemplo un ascensor.

En este artefacto, el movimiento ascendente de la cabina debe estar conectado con el movimiento

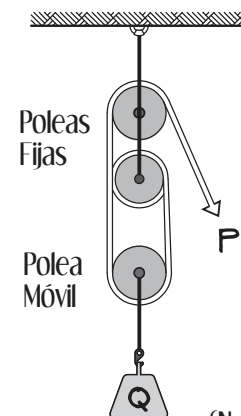
descendente de un contrapeso. En una polea ideal, la fuerza que se aplica para tirar de la cuerda es igual al peso de la carga. En la práctica, la fuerza es siempre un poco mayor, ya que tiene que vencer la fuerza de fricción en la rueda de la polea y elevar la carga. Por ello, la fricción induce la eficacia de todas las máquinas.



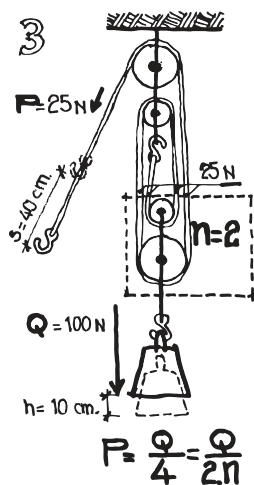
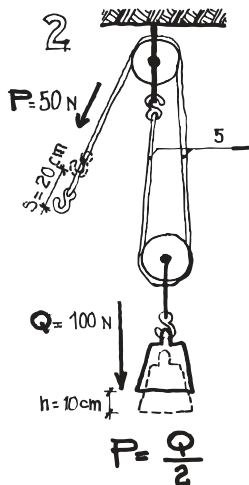
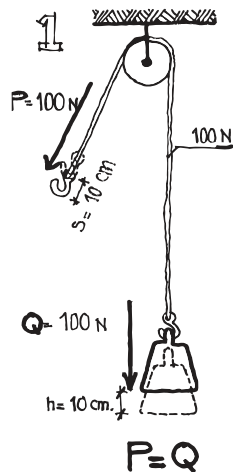
Polea simple $P=Q$



$$(N=1) \quad P = \frac{Q}{2}$$



$$(N=1) \quad P = \frac{Q}{2}$$



En la polea simple la carga que se desea mover representa el peso o la fuerza de gravedad. Este tipo de polea se utiliza para sacar agua de un pozo, o para levantar una carga en una grúa.

Una polea simple es una palanca de primera clase. Sirve únicamente para cambiar de dirección o el sentido de la fuerza, ya que es más fácil ejercer tirando la cuerda hacia abajo que hacia arriba. Condición de equilibrio: **$P = Q$ (Potencia = Resistencia)**

Poleas móviles

Esta polea se une a la carga y no a la viga. Una polea móvil simple es una palanca de segunda clase que multiplica la fuerza ejercida. La carga es soportada en igual magnitud por ambos segmentos de cuerda. Esto hace que la fuerza que es necesario aplicar disminuya a la mitad. Sin embargo, se debe tirar la cuerda a una distancia mayor. Al deslizarse la sogá o cadena se produce simultáneamente un desplazamiento de la polea. Experimentalmente se comprueba que en toda polea móvil la potencia es igual a la mitad de la resistencia.

$$P = Q / 2$$

Poleas Compuestas

Las poleas compuestas son aquellas donde se usan más de dos poleas en el sistema, y puede ser una fija y una móvil, o dos fijas y una móvil etc., tirar una cuerda de arriba hacia abajo resulta más fácil que hacerlo desde abajo hacia arriba. Para cambiar la dirección del esfuerzo, a la polea móvil se agrega una polea fija, proporcionando una ventaja mecánica. La ventaja mecánica es la disminución del esfuerzo.

Esta ventaja mecánica la determinamos contando los segmentos de cuerda que llegan a las poleas móviles que soportan el esfuerzo.

La fuerza para levantar el cuerpo se va reduciendo proporcionalmente a la cantidad de segmentos de cuerda que

soporta directamente la fuerza.

También podemos agregar a una polea otra polea fija o una o varias móviles para obtener una combinación de poleas que disminuya el esfuerzo.

Existen muchas combinaciones de poleas que se pueden usar, de acuerdo al trabajo que se deba realizar y la ventaja mecánica que se desea conseguir.

Ambas clases de poleas presentan características distintivas:

Fijas:

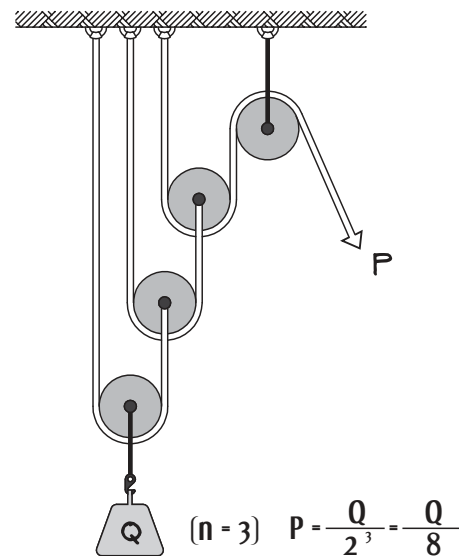
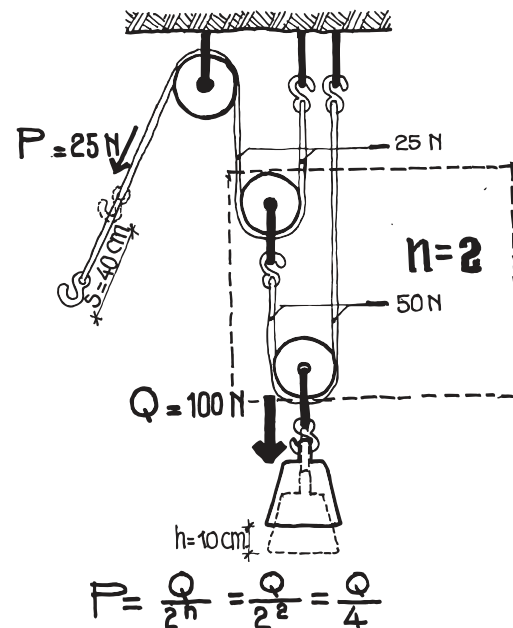
1. La resistencia se suspende de la cuerda.
2. Tienen movimiento de rotación.
3. El camino recorrido por la potencia es igual al recorrido por la resistencia.
4. En equilibrio, $P = Q$

Móviles:

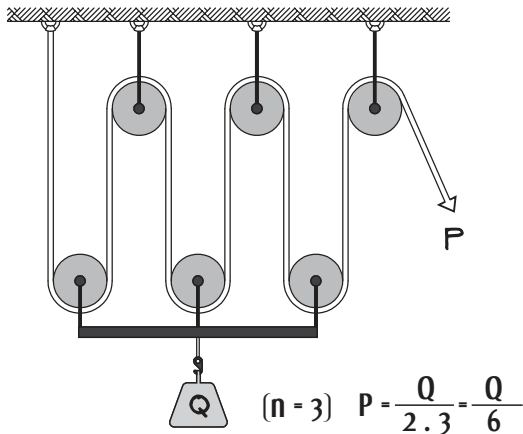
1. La resistencia se suspende del gancho.
2. Tienen movimiento de rotación y de traslación.
3. El camino recorrido por la potencia es igual al duplo del recorrido por la resistencia. El equilibrio, $P = Q / 2$

Aparejo potencial: Es el conjunto de dos o más poleas móviles y una fija dispuestas consecutivamente. $P = Q / 2^n$, siendo P la potencia, Q la carga y n el número de poleas móviles, que tienen cada una su anclaje a la superficie soporte.

Aparejo potencial de 3 poleas móviles ($n = 3$). La polea pequeña es fija, y la resistencia se divide por 2 en cada polea, yendo de abajo hacia arriba. La potencia es en este caso 8 veces menor que la



Aparejo Potencial



Aparejo Factorial

resistencia según la fórmula:

$$P = \frac{Q}{2^n} = \frac{Q}{2^3} = \frac{Q}{8}$$

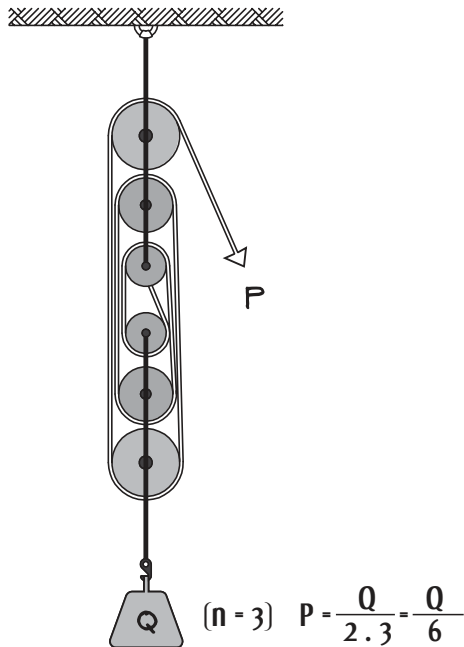
Aparejo factorial: Es el sistema formado por dos o más poleas móviles, reunidas en una sola armadura, y un número igual de poleas fijas, también en una sola armadura. (depende de los grupos de poleas móviles) $P=Q/2n$, siendo n el número de poleas móviles

Aparejo factorial de 3 poleas móviles (n = 3). Las poleas de arriba se consideran fijas. La potencia es en este caso 6 veces menor que la resistencia según la fórmula:

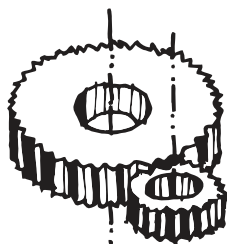
$$P = \frac{Q}{2 \cdot n} = \frac{Q}{2 \cdot 3} = \frac{Q}{6}$$

ENGRANAJES

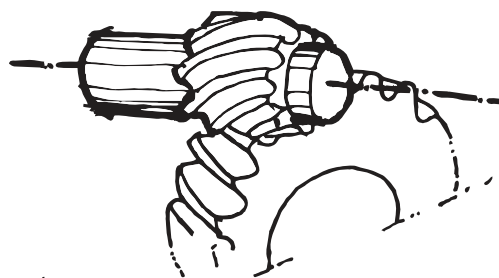
Los engranajes son ruedas dentadas que sirven para transmitir movimiento, cambiar velocidad y la dirección de la rotación. Esto lo hacen al encajar directamente un engranaje en otro o bien a través de una cadena. Si a un engranaje pequeño se le encaja uno grande, el resultado será disminución en la velocidad de giro del sistema. Al conectar un engranaje pequeño a uno grande, se produce un aumento en la velocidad de giro del sistema.



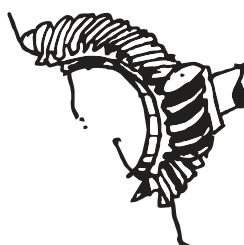
Aparejo Factorial



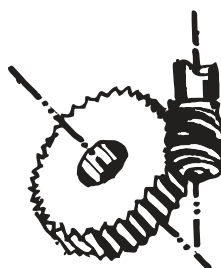
Engranajes de
dientes rectos



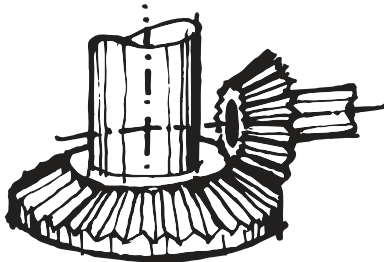
Engranajes
Helicoidales



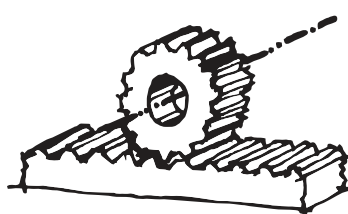
Engranaje cónico
de dientes curvos



Engranaje de
tornillo tangente



Engranaje cónico
recto



Engranaje de
piñón y cremallera



CAPÍTULO .05

Síntesis

E S T Á T I C A

Estudia la situación de equilibrio de fuerzas y momentos que actúan sobre un cuerpo rígido independientemente de lo que sucede en el cuerpo. Se considera que un cuerpo o sistema está en equilibrio estático si se cumple simultáneamente que debe cumplirse que la sumatoria de las fuerzas sea igual a cero y que la sumatoria de momentos sea también igual a cero.

FUERZA

Es la magnitud vectorial que resulta del producto de la masa por la aceleración de la gravedad.

MOMENTO

Es la magnitud vectorial que resulta del producto de la fuerza por la distancia al centro de momentos.

TIPOS DE FUERZAS

Normales:

Plano Horizontal,
Plano inclinado.

De Rozamiento:

Estático, Dinámico,
Por rodamiento.

CLASIFICACIÓN DE LAS FUERZAS SEGÚN SU RECTA DE ACCIÓN

- Colineales
- Concurrentes
- Paralelas
- Arbitrarias

CENTRO DE GRAVEDAD

El centro de gravedad es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre cada una de las partículas de materia que componen un cuerpo.

E Q U I L I B R I O

Se dice que un cuerpo se encuentra en equilibrio cuando el mismo se halla en estado de reposo. Existen tres tipos de equilibrio, a saber, **ESTABLE, INESTABLE Y NEUTRO**. Para analizar la situación de equilibrio de un cuerpo, es fundamental determinar previamente si el mismo se encuentra **SUSPENDIDO O APOYADO**.

EQUILIBRIO DE CUERPOS SUSPENDIDOS

El cuerpo suspendido estará en equilibrio si la vertical que pasa por el centro de gravedad del cuerpo pasa también por el centro de suspensión del cuerpo.

EQUILIBRIO DE CUERPOS APOYADOS

El cuerpo suspendido estará en equilibrio si la vertical que pasa por el centro de gravedad del cuerpo pasa también por la base de sustentación del cuerpo.

SISTEMAS DE FUERZAS

- Se denomina sistema de fuerzas a un conjunto determinado de fuerzas que actúan sobre un cuerpo o sistema de cuerpos.
- Todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, pueden, en general ser reemplazadas por una única fuerza llamada RESULTANTE.
- A su vez la fuerza colineal con la resultante que tiene su mismo módulo, recta de acción y punto de aplicación pero sentido opuesto se conoce como EQUILIBRANTE del sistema.

SISTEMAS DE FUERZAS EQUIVALENTES

- Son sistemas formados por distintas fuerzas, pero que al sumarlas dan las mismas resultantes, cada una en su sistema.
- En este caso, las fuerzas, pueden ser disímiles en módulo, dirección, sentido incluso en número, lo fundamental es que las resultantes de ambos sistemas sean idénticas en todos sus atributos.

SISTEMAS DE FUERZAS IGUALES

- Son sistemas formados por idénticas fuerzas, que al sumarlas dan las mismas resultantes, cada una en su sistema.
- En este caso, las fuerzas, deben ser iguales en módulo, dirección, sentido incluso en número, lo que hace que las resultantes de ambos sistemas sean idénticas en todos sus atributos.

SUMATORIA DE FUERZAS: MÉTODOS GRÁFICOS

FUERZAS CONCURRENTES

- POLÍGONO DE FUERZAS
- TRIANGULO DE FUERZAS
- PARALELOGRAMO DE FUERZAS

FUERZAS COLINEALES

- La resultante se obtiene sumando algebraicamente los módulos de las fuerzas.
- La resultante se encontrará en la misma recta de acción de las fuerzas que se suman, y tendrá el sentido que resulte de la suma algebraica.

FUERZAS PARALELAS

- Si tienen distinto sentido e igual módulo, generan una CUPLA, es decir un giro o momento.
- Si se trata de dos o más fuerzas cuyas rectas de acción son paralelas y no generan una cupla, la resultante tendrá un módulo igual a la suma algebraica de los módulos de las fuerzas y su recta de acción será paralela a aquellas de las fuerzas.

SUMATORIA DE FUERZAS: MÉTODOS ANALÍTICOS

SI LAS FUERZAS SON PERPENDICULARES ENTRE SI:

Utilizo el Teorema de Pitágoras

SI LAS FUERZAS no SON PERPENDICULARES ENTRE SI:

Utilizo los teoremas del seno y del coseno

DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS

- La descomposición de una fuerza en sus componentes se puede hacer sobre cualquier dirección. Sin embargo, lo más frecuente es descomponer una fuerza en direcciones perpendiculares coincidentes con aquellas de los ejes coordenados cartesianos ortogonales.
- Para ello, la fuerza dada se coloca en el origen de unos ejes coordenados y desde el extremo (flecha) de la fuerza se trazan líneas perpendiculares a los ejes X e Y.
- Los segmentos así definidos sobre los ejes y comprendidos entre el punto de proyección de la fuerza y el origen del sistema coordenado, son las componentes ortogonales de la fuerza.

ACCIONES DEL SISTEMA DE FUERZAS SOBRE EL MATERIAL-ESFUERZOS

- **TRACCIÓN:** El material está sometido a la acción de dos fuerzas colineales de sentido opuesto y tienden a estirarlo.
- **COMPRESIÓN:** El material está sometido a la acción de dos fuerzas colineales de sentido opuesto y tienden a acortarlo.
- **FLEXIÓN :** Es una combinación de esfuerzos de tracción y compresión.
- **TORSIÓN:** Es un esfuerzo que se produce cuando se aplica un momento sobre el eje material de un objeto tal como una viga por ejemplo.
- **CORTE :** Este esfuerzo provoca el desplazamiento en sentido opuesto de partículas de material pertenecientes a secciones muy próximas entre si.
- **PANDEO:** Se produce en cuerpos esbeltos sometidos a compresión en sentido de su eje longitudinal.
- **CHOQUE:** Se produce al aplicarse una fuerza repentina de importante módulo.
- **FATIGA :** Deformación del material sometido a cargas repetidas y variables en el tiempo.

TRABAJO MECÁNICO- POTENCIA- MÁQUINAS SIMPLES

TRABAJO MECÁNICO

-Es el trabajo realizado por una fuerza F al mover un cuerpo una cierta distancia.

Si la distancia(d) forma con la recta de acción de la fuerza(F) un ángulo (α) diremos que:

$$\text{Trabajo} = F \times d \times \cos \alpha$$

Si $\alpha = 0$ entonces,

$$\text{Trabajo} = F \times d$$

POTENCIA

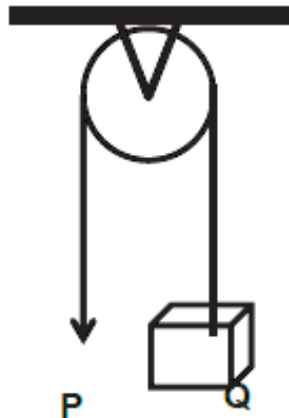
-Es el trabajo realizado por una fuerza en la unidad de tiempo:

$$\text{Potencia} = \text{Trabajo} / \text{Tiempo}$$

MÁQUINAS SIMPLES:

Son todos los dispositivos (formados por componentes sólidos y rígidos) en los que, tanto la energía que se les suministra, como la que producen se encuentran en forma de trabajo mecánico.

☐ Su finalidad es lograr que utilizando una pequeña fuerza continua, se puedan obtener los mismos resultados que se obtendrían al aplicar una fuerza mayor.



MÁQUINAS SIMPLES: CLASIFICACIÓN

PALANCA-POLEA-PLANOS INCLINADOS-CUÑAS-RUEDAS Y EJES- ENGRANAJES-TORNILLOS

PALANCA

Está formada por una barra que se mueve alrededor de un punto de apoyo.

Según la posición del punto de apoyo respecto de la carga aplicada (R) y el esfuerzo necesario (P) para equilibrar la palanca esta puede ser:

-1er Género: El punto de apoyo esta entre P y R. Ej.: balanza romana.

-2do Género: La R esta entre el punto de apoyo y la P. Ej.: carretilla.

-3er Género: La P esta entre el punto de apoyo y la R. Ej.: caña de pescar.

-PALANCAS MÚLTIPLES: Combinación de dos o más de las anteriores

POLEAS

Está formada por un disco o rueda acanalada, que permite se le adapte una rueda o cadena. A un extremo de la soga se sujeta un cuerpo (R) y en el otro extremo se aplica la fuerza necesaria para elevar la carga (Q)

Las poleas se clasifican en:

SIMPLES: Solo facilitan el trabajo pero no reducen la fuerza requerida ya que:

$$Q=R$$

MÓVIL: Esta polea se une a la carga y no a la viga y en este caso:

$$Q/2=R$$

COMPUESTAS:

Es el caso donde se usan más de dos poleas en el sistema combinando fijas y móviles

1.APAREJO POTENCIAL: Es el conjunto de dos o más poleas móviles y una fija dispuestas consecutivamente.

$$P=Q/2^n \text{ (n: número de poleas móviles).}$$

2.APAREJO FACTORIAL: Es el sistema formado por dos o más poleas móviles, reunidas en una sola armadura y un número igual de poleas fijas, también reunidas en una sola armadura de la que se suspende la carga a levantar.

$$P=Q/2 \times n \text{ (n: número de poleas móviles).}$$

PLANOS
INCLINADOS

CUÑAS

RUEDAS
Y EJES

ENGRANAJES

TORNILLOS