

# LA MECÁNICA

La mecánica surgida como resultado de la actividad práctica se desarrolla enlazada indestructiblemente con la técnica. El nacimiento de la Estática, que tuvo lugar en tiempos muy antiguos, se debió al auge de la construcción. Luego, un impulso nuevo vino dado por el fomento de la navegación, del arte militar y de la astronomía y, en consecuencia, en los siglos XV - XVII aparecieron la Cinemática y la Dinámica.

Los grandes avances de los últimos años, la introducción de la automatización en diferentes campos de la técnica, la creación de satélites artificiales de la Tierra y el lanzamiento de los cohetes espaciales y laboratorios interplanetarios dan lugar a que se desarrolle una nueva y moderna mecánica creada como resultado de los esfuerzos de una gran cantidad de científicos geniales.

La **Mecánica** estudia el movimiento en general, así como las fuerzas que lo producen y su equilibrio. Entre las numerosas ramas que pueden considerarse en Mecánica se hace una clasificación fundamental: *cinemática, dinámica y estática*.

La **Cinemática** estudia las condiciones geométricas del movimiento de los cuerpos, es decir, el movimiento de los cuerpos independientemente de las causas que lo producen.

Cuando el cuerpo que se mueve es un punto material, el conjunto de las distintas posiciones ocupadas por el cuerpo en movimiento forma una línea llamada *trayectoria*. Esta trayectoria puede ser *rectilínea* o *curvilínea*. En este último caso puede tener infinitas formas; por ejemplo, puede ser *elíptica*, como la de los planetas cuando giran alrededor del Sol; *circular*, como la que describen los puntos de un cuerpo que gira alrededor de un eje; o *parabólica*, como la que describe una piedra al ser lanzada no verticalmente.

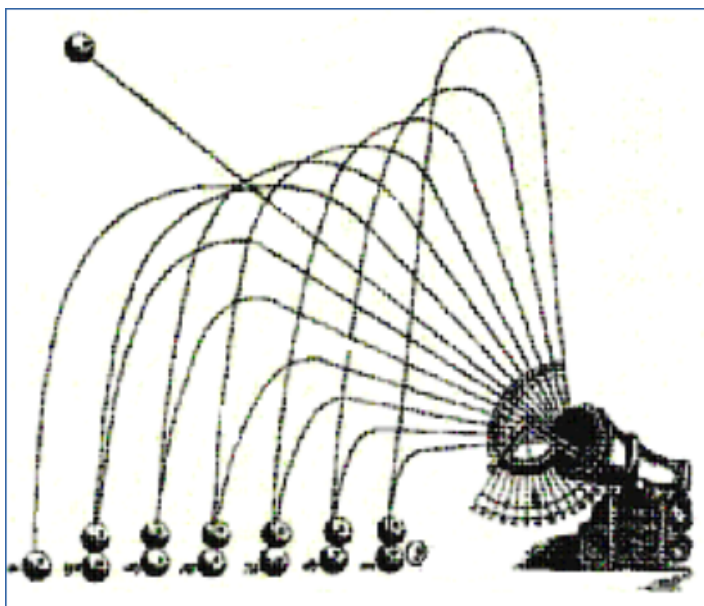
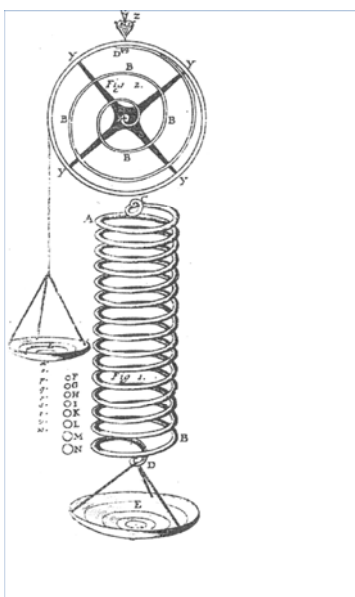
La **Dinámica** trata de las leyes del movimiento de los cuerpos materiales sometidos a la acción de fuerzas externas, teniendo en cuenta la masa de los mismos.

A diferencia de la Cinemática, que trata de explicar la posición y el movimiento de los objetos mediante una serie de ecuaciones matemáticas que representan su posición, velocidad y aceleración en cada instante, la dinámica pretende explicarlo desde el punto de vista del conjunto de fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

Por último, la **Estática** comprende las leyes de la composición de fuerzas y las condiciones de equilibrio de los cuerpos sobre los que actúan. Es de importancia fundamental para la arquitectura y la construcción.

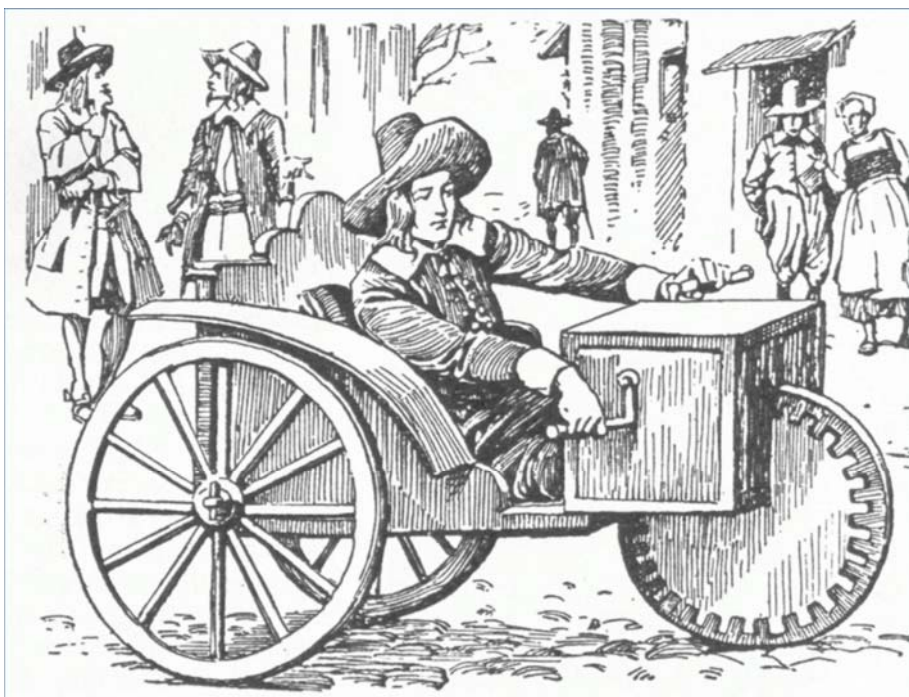
Por lo que se refiere a los cuerpos que intervienen en los movimientos, se habla de **Mecánica de sólidos** y **Mecánica de fluidos**. En ésta se hace una distinción entre **Mecánica de líquidos** y **Mecánica de gases**.

# 2.1



Dinamómetro

Estudio sobre el lanzamiento de proyectiles



1680. El relojero Stephan Farfler de Altdorf, cerca de Nuremberg, impedido de ambas piernas, construye un vehículo triciclo accionado por la fuerza muscular, que 8 años más tarde transforma en uno de 4 ruedas.

Gracias a ello puede ir los domingos a la iglesia

## GIROSCOPIO

Las tensiones o fuerzas que un cuerpo ejerce al girar sobre el eje de rotación, debidas a las fuerzas centrífugas de los distintos puntos, son tales a veces que dos a dos se equilibran: entonces el eje no sufre acción alguna y conserva invariable su posición inicial; por consiguiente, si no hay fuerzas externas que al actuar sobre el cuerpo alteren su movimiento, éste se conservará uniforme alrededor del mismo eje, que se mantendrá siempre en la misma dirección.

A un eje de esta clase se le llama *eje permanente de rotación*, y es evidente que, por razón de simetría, el eje geométrico de un sólido homogéneo de revolución goza de dicha propiedad. En Mecánica se demuestra que un cuerpo cualquiera admite por lo menos tres ejes permanentes, que se cortan en ángulo recto en el centro de gravedad (baricentro).

Para demostrar que un eje permanente conserva la misma dirección, se utiliza el **giroscopio**, aparato inventado por el alemán *Johann von Bohnenberger* en 1817 y perfeccionado después por *León Foucault* en 1852.

Se llama giróscopo o giroscopio todo cuerpo de simetría que gira alrededor de su eje con una gran velocidad angular. Está formado esencialmente por un disco circular que gira sobre un eje libre y que sirve para demostrar el movimiento de rotación de la Tierra. El disco está montado de forma que puede girar libremente alrededor del eje de acero que pasa por su centro. El modo de suspensión del aparato, permite darle una posición cualquiera más o menos inclinada, en la cual se mantiene el eje si arrollándole una cuerda se tira fuertemente para que gire con suficiente rapidez, y la tendencia del disco a conservar su plano de rotación resiste a la atracción terrestre.



*Nº inv.: 02.1 / 28*

*Fecha desconocida*

*Fabricante: Sogeresa (Madrid)*

*Metal*

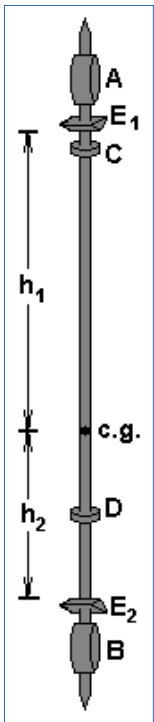
*8,5 x 11 x 16 cm*

## PÉNDULO DE KATER

Para determinar el valor de la gravedad en un punto se utiliza el **péndulo reversible de Kater**.

Está formado por una barra metálica con dos cuchillas  $E_1$  y  $E_2$  que sirven de centros de suspensión. Más allá de las cuchillas hay dos cilindros iguales A y B. Dos cilindros pequeños iguales, están colocados entre las cuchillas y se pueden mover a lo largo de la barra.

Si hacemos oscilar el péndulo suspendiéndolo de cada una de las cuchillas, de forma que los períodos  $T_1$  y  $T_2$  sean iguales, aplicando la fórmula del péndulo compuesto, tenemos:



$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{k^2 + h_1^2}{gh_1}}$$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{k^2 + h_2^2}{gh_2}}$$

siendo  $h_1$  y  $h_2$  las distancias de los centros de suspensión al centro de gravedad, por lo tanto si  $T_1 = T_2$  tendremos que:

$$(k^2 + h_1^2)h_2 = (k^2 + h_2^2)h_1 \quad \text{o sea:} \quad h_1 \cdot h_2 = k^2 \quad \text{y}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{h_1 + h_2}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

siendo  $l$  la longitud del péndulo simple equivalente, igual, en este caso, a la distancia entre las cuchillas, de esta forma podemos calcular  $g$ :

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$



Nº inv.: 02.1 / 29

Fecha: 1874

Fabricante desconocido

Madera, latón, acero

133 x 3,5 x 5 cm



## MOVIMIENTO ONDULATORIO

Son numerosos los fenómenos físicos que tienen su explicación gracias al modelo de movimiento vibratorio, es decir las ondas.

Un punto material tiene un **movimiento periódico** cuando recorre la misma trayectoria un número indefinido de veces, sucesivamente, empleando en cada una el mismo tiempo.

Un **movimiento ondulatorio** es una perturbación, producida en un punto del espacio, que se propaga a través de la materia por medio de ondas mecánicas, (sonido, oleaje,...), o en el vacío por medio de ondas electromagnéticas (luz, radio,...).

En el primer caso, las partículas transmiten a energía y la cantidad de movimiento unas a otras sin traslación. En el segundo caso se trata de un movimiento periódico, sin necesidad de movimiento de traslación de las partículas. Es importante no confundir perturbación con propagación. La *perturbación* es la variación en la posición de equilibrio de una o varias de las partículas y la *propagación* el efecto que esta perturbación tiene en las partículas que rodean a las perturbadas.

Según sea la propagación de la perturbación se pueden distinguir dos clases de ondas: longitudinales y transversales. **Ondas longitudinales** son aquellas en las que el desplazamiento de las partículas y la propagación de la perturbación tienen la misma dirección. Este tipo de ondas es la que se obtiene al deformar un resorte. Las ondas sonoras son longitudinales. **Ondas transversales** son las que se propagan perpendicularmente a la vibración de las partículas. Por ejemplo las cuerdas de una guitarra. Las ondas electromagnéticas son transversales.

El movimiento ondulatorio se mide por la *frecuencia* ( $f$ ), es decir, por el *número de ciclos u oscilaciones que tiene por segundo*. La unidad de frecuencia es el hercio, que equivale a un ciclo por segundo. Se denomina *longitud de onda* ( $\lambda$ ) a la *distancia que hay entre dos puntos consecutivos que se encuentran en el mismo estado de perturbación*. Si llamamos  $v$  a la *velocidad de propagación* de la onda, se verifica que:

Para mostrar los fenómenos de propagación de las ondas transversales estacionarias, además de ayudar a comprender conceptos como la frecuencia o la longitud de onda se utiliza el **modelo de representación de ondas**.



Nº inv.: 02.1 / 30

Fecha: 1950

Fabricante desconocido

Madera y metal

53 x 9 x 19 cm

## **COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTOS**

Sabemos que en el Universo no hay modo de apreciar el movimiento absoluto de un cuerpo, puesto que cualquier punto de referencia forma parte de un sistema que se mueve; pero, hasta donde es posible, se llega a determinar en ocasiones el movimiento absoluto, considerándole como resultante de otros movimientos simultáneos.

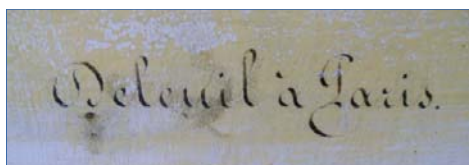
La expresión de la trayectoria y la velocidad del movimiento resultante constituye un problema de **composición de movimientos**, análogo al de composición de fuerzas, que puede ofrecer distintos casos, según las condiciones de los *movimientos componentes*.

Los casos más sencillos de composición de movimientos son:

*1º Composición de movimientos rectilíneos uniformes y simultáneos:* el movimiento resultante es rectilíneo y uniforme, y su velocidad está determinada en magnitud y dirección por la diagonal del paralelogramo construido sobre las rectas que representan las velocidades de los movimientos componentes (*paralelogramo de velocidades*).

*2º Composición los movimientos simultáneos, rectilíneos y uniformemente acelerados:* Suponiendo, para mayor sencillez, que el móvil no tenía velocidad inicial, el movimiento resultante es rectilíneo y uniformemente acelerado.

Para observar la composición de movimientos se suele utilizar un instrumento que nos permite mostrar dos movimientos simultáneos, uno horizontal y otro vertical. Va provisto, en su parte superior, de un carrito que se desliza por dos barras horizontales, movido por una cuerda con un peso que pasa por una polea lateral. Una segunda cuerda, fija al otro extremo de las barras, también con un peso, pasa por la polea unida al carrito. Cuando el carrito se desplaza horizontalmente, el giro de su polea hace que el peso que cuelga de él se eleve, describiendo una trayectoria diagonal en el tablero, que representa la suma de los dos movimientos perpendiculares.



*Nº inv.: 02.1 / 31*

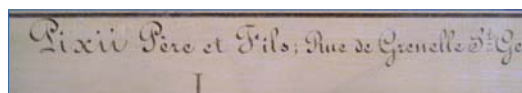
*Fecha: 1835 - 1855*

*Fabricante: DELEUIL (PARÍS)*

*Madera, latón y cuerda*

Si los movimientos componentes son de distinto género, podrá ocurrir que las distintas posiciones del móvil, en vez de estar en línea recta, formen una curva determinada. Por ejemplo, el caso en que un cuerpo se ve sometido a una velocidad horizontal de partida y a un movimiento vertical acelerado (con aceleración negativa) donde está actuando la gravedad terrestre.

La trayectoria descrita por el móvil, en este caso, es una parábola, que se pone de manifiesto mediante el aparato ideado por *Willem 's Gravesande*. Dicho aparato consiste en una tabla vertical que tiene un canal curvo por donde se deja caer una pequeña bolita. Al llegar al final de la curva queda libre, con una cierta velocidad horizontal. En ese instante comienza a actuar la aceleración de la gravedad y le obliga a describir una parábola que está marcada por unos anillos que debe atravesar la bolita en su caída.



*Nº inv.: 02.1 / 32*

*Fecha: 1874*

*Fabricante: Pixii Père et Fils (Paris)*

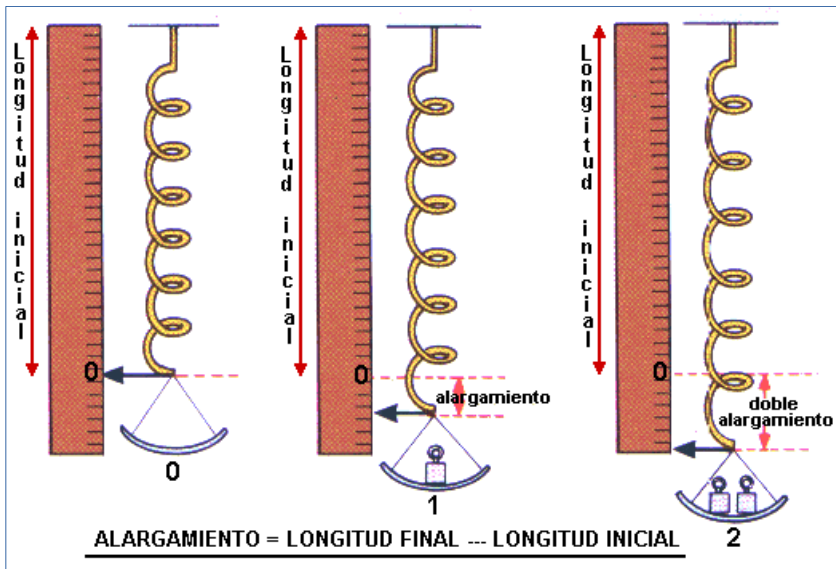
*Madera y latón*

*67 x 48 x 50 cm*

## DINAMÓMETROS

El inglés *Robert Hooke*, en 1678, fue el primero que estudió el comportamiento de un resorte al ser sometido a la acción de una fuerza: la constante recuperadora de un muelle. Observó que si se aplicaba mayor fuerza, el alargamiento resultaba ser mayor. Llegó a la conclusión de que: *“El alargamiento producido es proporcional a la fuerza aplicada”*.

$$F = -k\Delta x$$



El signo que aparece nos indica que la fuerza y el alargamiento son de sentido contrario. Si estiramos el muelle tenderá a comprimirse, en el momento que cese de actuar la fuerza aplicada. La constante  $k$  nos indica la mayor o menor dureza del muelle, se denomina *constante de elasticidad*.

Los **dinamómetros** son aparatos destinados a medir las intensidades de las fuerzas. Fundamentalmente están constituidos por un muelle o resorte, cuyo estiramiento puede apreciarse fácilmente. La deformación se aprecia mediante una escala y un índice que se mueve sobre ella.

El modelo más frecuente es el de *Leroy*, que consiste en un tubo metálico sostenido por un anillo. En el interior del tubo hay un resorte, terminado en un gancho al que se aplica la fuerza a medir. Al estirarse el muelle nos indica el valor de la fuerza aplicada gracias a la graduación que lleva. La escala se gradúa sometiendo el resorte a sucesivas deformaciones, producidas por pesos conocidos.



Nº inv.: 02.1 / 33  
 Fecha desconocida  
 Fabricante: Phywe  
 Metal y papel  
 Para valores entre 0 y 1200 Kp  
 De 23 a 26 cm de largo

## DIRECCIÓN DE LA GRAVEDAD

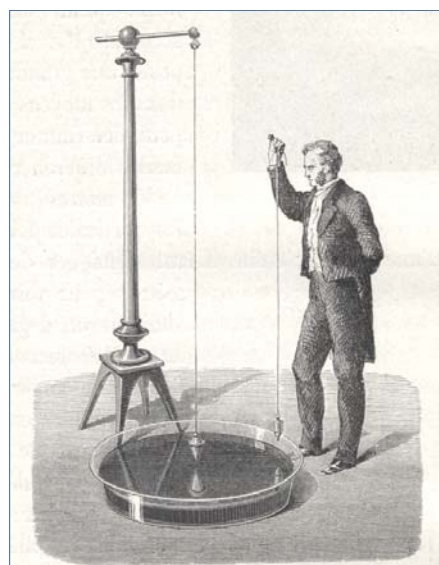
El **peso de un cuerpo** es la fuerza con que la Tierra atrae a ese cuerpo. La dirección de la gravedad en cualquier punto sería la recta que uniera éste con el centro de la Tierra, si nuestro planeta fuese una esfera homogénea o formada por capas concéntricas homogéneas, puesto que en estas condiciones el efecto de atracción de la Tierra sería el mismo que si toda la masa estuviese concentrada en su centro. En realidad, aparte de la influencia de su rotación, la Tierra no tiene dichas condiciones; pero, en relación con su gran masa, pueden despreciarse las causas de error, que sólo influyen de modo sensible en las inmediaciones de las montañas muy elevadas y extensas, por lo cual la línea que describiría cada punto de un cuerpo que se moviese por la acción única de la gravedad, se admite que sería la recta que le une con el centro terrestre.

Para apreciar experimentalmente la dirección de la gravedad, puede emplearse cualquier objeto, suficientemente pesado, pendiente de un hilo sujeto a un punto fijo. Se usa con este objeto el instrumento llamado **plomada**, o *hilo de plomo*, formado por un cordón del cual pende ordinariamente un cilindro metálico, cuya base inferior termina en un cono.

Cuando el cuerpo está en reposo, la dirección del hilo es la vertical. Esta dirección es perpendicular a la superficie de un líquido en equilibrio. La dirección que marca la plomada se denomina *línea vertical*; todo plano que pasa por una vertical, se llama *plano vertical*, y el perpendicular a ella, *plano horizontal*.



Nº inv.: 02.1 / 34  
Fecha desconocida  
Fabricante desconocido  
Latón y cuerda  
 $\Phi = 2,5 \text{ cm}$   $h = 7,5 \text{ cm}$



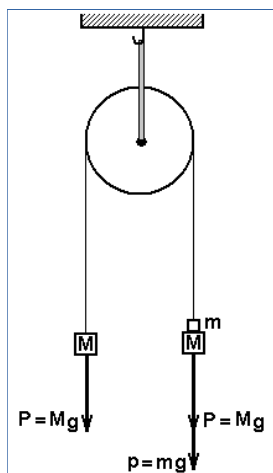
## MÁQUINA DE ATWOOD

Cuando *Galileo* se propuso demostrar experimentalmente las leyes de la caída de los cuerpos, tropezó con la dificultad de la considerable velocidad que llevan los cuerpos desde los primeros momentos de su caída.

Para realizar ese experimento se idearon distintos procedimientos de bastante precisión: La máquina de *Atwood*, el cilindro giratorio de *Morin*, el aparato de *Bourbouce*, y otros.

El fundamento de la **máquina de Atwood** es que: “*las aceleraciones que una fuerza constante comunica a varias masas, son inversamente proporcionales a las mismas masas*”.





La máquina está constituida esencialmente por una polea fija. La cuerda que pasa por la garganta de la polea sostiene dos pesos iguales  $P$ , que deben equilibrarse, por tanto, en cualquier posición; basta agregar a uno de ellos otro pequeño  $p$ , para que éste los arrastre en su movimiento según la vertical, si bien disminuyendo la caída libre a medida que crece la desproporción de pesos entre el cuerpo pequeño y las dos masas grandes que estaban en equilibrio. Con esta disposición, habiendo una regla vertical para medir los espacios recorridos, y un péndulo (o un cronómetro) para contar los segundos, pueden comprobarse las leyes del movimiento uniformemente acelerado en el descenso de graves.

La verdadera aceleración del sistema de cuerpos puede hallarse fácilmente aplicando las leyes de la Dinámica, obteniéndose un movimiento hacia el lado donde se ha colocado la pequeña masa, como era de esperar:

$$a = \frac{m}{2M + m} g$$

Vemos que se puede conseguir por éste método una caída tan lenta como se quiera, pues la aceleración disminuye según la relación de  $m$  a  $2M + m$ . Así, por ejemplo, si hacemos  $m = 2$  g y  $M = 49$  g se obtendría una aceleración de: ; es decir, el cuerpo caería con una velocidad 50 veces menor que si se abandonara libremente.

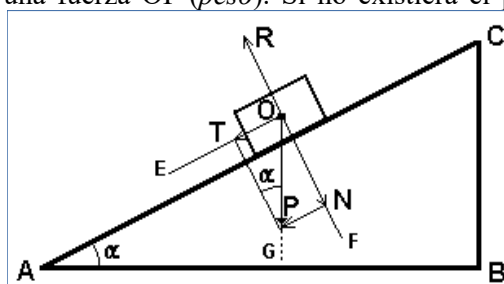


Nº inv.:02.1/35  
 Fecha: 1874  
 Fabricante: Bretón (París)  
 61 x 61 x 220 cm

## PLANO INCLINADO

Recibe el nombre de **plano inclinado** todo plano que forma un ángulo  $\alpha$  menor de  $90^\circ$  con la horizontal. Se llama *longitud* del plano a la línea de máxima pendiente AC; *base* su proyección AB sobre el plano horizontal; *altura* su proyección BC sobre el plano vertical.

Colocado un cuerpo en O, se haya sometido a la acción de la gravedad en la dirección OG, por una fuerza OP (*peso*). Si no existiera el plano, el cuerpo caería en esa dirección; debido a la resistencia del plano, el cuerpo sigue la dirección de OE, lo cual indica que su peso, representado por P, se ha descompuesto en otras dos fuerzas: la T (*tangencial*) paralela al plano inclinado, y otra N (*normal*) según la dirección OF que se anulará con la R (*fuerza de reacción*) del plano. La fuerza normal N deberá tenerse en cuenta si existe rozamiento.



Por tanto, el cuerpo se deslizará sobre el plano debido a la fuerza T. Dicha fuerza tiene un valor que viene dado por: con lo que el cuerpo se ve sometido a un movimiento acelerado con una aceleración:

Para comprobar esto se utiliza un modelo de plano inclinado, cuyo ángulo con la base horizontal puede

variar elevándolo a voluntad. El ángulo elegido quedará indicado en un cuadrante vertical. Se coloca sobre el plano un cuerpo sujeto a una cuerda (un pequeño carrito que puede cargarse con pesas); la cuerda pasa por la garganta de una polea y en su extremo cuelga un platillo donde se colocarán las pesas necesarias para realizar el experimento.

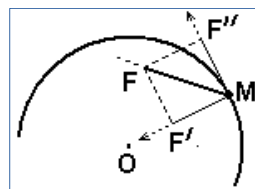


Nº inv.: 02.1 / 36  
Fecha: 1877  
Fabricante desconocido  
Madera, metal y cuerda  
38 x 15 x 38 cm

## MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME

Cuando un cuerpo se mueve por efecto de una sola fuerza o un sistema equivalente, no puede tener más que movimiento rectilíneo, puesto que la dirección del movimiento será siempre la de la fuerza. Para que la trayectoria sea curvilínea, tendrá que actuar sobre el móvil, por lo menos, una fuerza continua en dirección distinta a la que él trata de seguir, capaz de modificarla sin cesar; si dejase de actuar esta fuerza, quedando libre el móvil, ya no podrá cambiar su dirección por sí solo, y la trayectoria volvería a ser rectilínea y tangente a la curva anterior en el punto que ocupaba aquél en dicho momento.

Consideremos el caso más sencillo: el movimiento circular y uniforme. El punto  $M$  describe con ese movimiento la circunferencia  $O$ ; la fuerza constante que le impide abandonarla tiene que actuar en una dirección que pase por el centro; porque si actuase en otra cualquiera, como  $MF$ , se podría descomponer en dos: una normal a la trayectoria, como  $MF'$ , y otra tangente a ella en  $M$ , como  $MF''$ ; ésta aumentaría o disminuiría la velocidad, y por tanto, el movimiento no podrá ser uniforme mientras dicha componente no se anule, actuando sola la dirigida según  $MO$ .



Para que el móvil conserve invariable la distancia al centro, hay que admitir que a dicha fuerza se opone una reacción igual y opuesta; de modo que aquella impulsa al punto  $M$  hacia  $O$ , y ésta le separa, originando constantemente un equilibrio dinámico.

Luego en el movimiento circular uniforme, intervienen, además de la causa inicial, dos fuerzas constantes, iguales y opuestas, en la dirección del radio, que se llaman FUERZAS CENTRALES: la que tiende a aproximar el cuerpo hacia el centro, se llama *centrípeta*; la reacción opuesta, *centrífuga*, y no puede existir la una sin la otra. Ambas fuerzas serán iguales y de signo contrario.

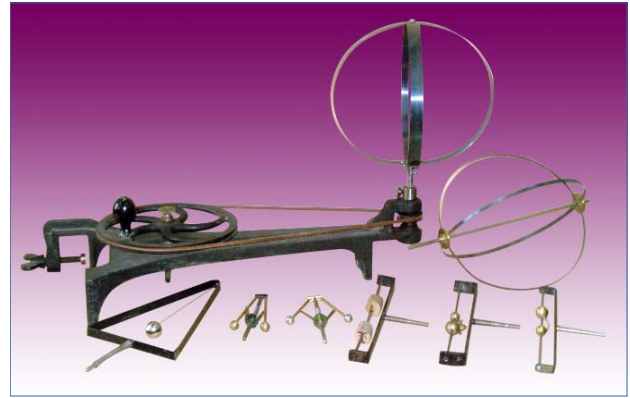
El valor de la fuerza centrípeta (o centrífuga) viene dado por: donde  $m$  representa la masa del cuerpo,  $\omega$  es la velocidad angular con que gira y  $R$  el radio de la circunferencia descrita.

Para comprobar experimentalmente los efectos de la fuerza centrífuga sobre los cuerpos en rotación se utiliza este aparato que figura a continuación. Está compuesto de un eje vertical, al que se le transmite su movimiento rotatorio mediante una rueda, provista de un manubrio y enlazada con aquél mediante un cordón, o cualquiera disposición mecánica conveniente para aumentar a voluntad la velocidad de giro, estando el conjunto sobre un tablero o soporte adecuado.

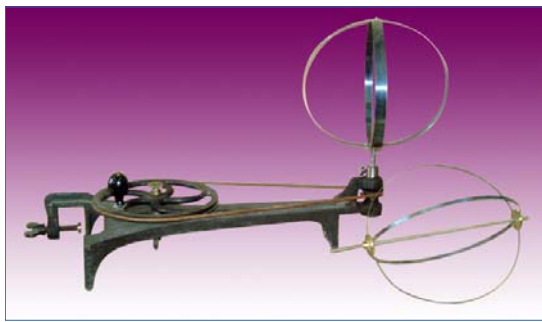
## APARATO PARA VER LOS EFECTOS DE LA FUERZA CENTRÍFUGA



*Nº inv.: 02.1 / 37*  
*Fecha: 1877*  
*Fabricante: Salleron (París)*  
*Metal, madera, cristal*  
*48 x 33 x 40 cm*

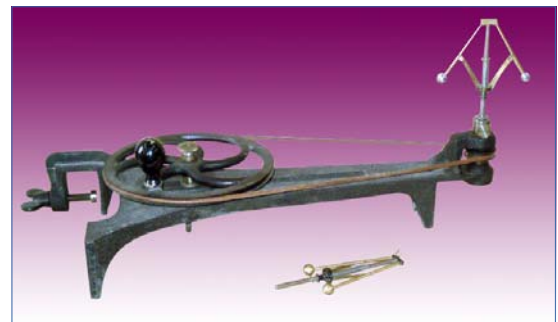


*Nº inv.: 02.1 / 38*  
*Fecha desconocida*  
*Fabricante: Arthur Utz (Berna, Suiza)*  
*Metal, cuerda, corcho*  
*70 x 30 x 15 cm*

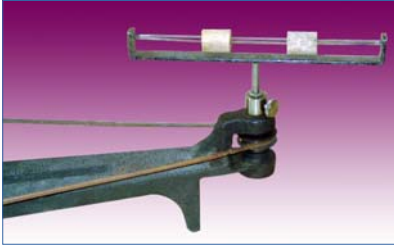


Mediante este dispositivo se simula la deformación del Globo Terrestre en relación con su movimiento de rotación. Está constituido por varias láminas flexibles unidas entre sí, simulando una esfera. Los extremos superiores terminan en un anillo que puede resbalar. Al hacerlo girar se pone de manifiesto la fuerza centrífuga y hace que se produzca una deformación en el cuerpo, observándose que se produce un achatamiento en los polos.

Este accesorio era usado en las máquinas de vapor, para regular automáticamente la apertura de las válvulas y así controlar la salida de vapor en función de la velocidad de rotación de la máquina. Es conocido con el nombre de *regulador de Watt*, en homenaje a su inventor.



Este otro montaje está formado por dos esferas de masas diferentes, unidas entre sí mediante un hilo, que pueden moverse libremente a lo largo de un alambre horizontal. Si están equidistantes del eje, la mayor arrastra a la menor cuando reciben suficiente velocidad de rotación que ocasiona el aumento correspondiente de la fuerza centrífuga.



Si se colocan esferas de la misma masa a distancias desiguales del centro, la que dista más arrastrará a la otra, ya que la fuerza centrífuga es directamente proporcional al radio de la circunferencia descrita.

Para probar que los líquidos también están sometidos a la influencia de la fuerza centrífuga, se coloca un tubo que contiene mercurio, agua, aceite y también pedacitos de corcho, etc., sustancias de distintas densidades. En estado de reposo, las más densas ocupan el fondo y las menos densas, como el aceite y el corcho, se sitúan más altos. Cuando se haga girar veremos que la fuerza centrífuga actúa con más intensidad en las sustancias que tienen mayor densidad, y por consiguiente el mercurio es rechazado hacia los extremos, quedando en la parte más baja el aceite y el corcho, como menos densos; precisamente en orden inverso al que tenían en el estado de reposo.



La persistencia del plano de oscilación de un péndulo, debida a la inercia, se puede girar haciendo girar suavemente un soporte que contiene un péndulo en movimiento oscilatorio. Veremos que éste no participa del movimiento, si se hace con precaución.

## EL ROZAMIENTO

Se entiende por rozamiento la resistencia, debido a las asperezas y rugosidades, que presenta un cuerpo al movimiento de otro sobre él.

Debe distinguirse entre *rozamiento estático*, o de partida, que es el que opone un cuerpo para ponerse en movimiento, y el *rozamiento dinámico* que es el que presenta cuando ya está en movimiento el cuerpo.

Es imposible anular por completo el rozamiento, por la sencilla razón de que todas las superficies son porosa, y en los poros de uno de los cuerpos se introducen los puntos salientes o relieves del otro. Si aumentan las rugosidades de las superficies de contacto de los cuerpos, aumentará también el rozamiento; disminuyendo esas rugosidades, también disminuirá el rozamiento. Pulimentando, o utilizando sustancias adecuadas podremos disminuir esa resistencia al avance de los cuerpos.

## TRIBÓMETRO DE COULOMB



Nº inv.: 02.1 / 39  
Fecha: 1877  
Fabricante desconocido  
Madera y cuerda  
73 x 31 x 71 cm



Nº inv.: 02.1 / 36  
Fecha: 1877  
Fabricante desconocido  
Madera, metal y cuerda  
38 x 15 x 38 cm

Coulomb dedujo, por medio de su **tribómetro** (del griego *tribo* = rozamiento, *metro* = medida) algunas leyes concernientes al rozamiento. Se trata de una especie de mesa alargada, por cuyo tablero se desliza una caja o prisma, que puede recargarse con pesas. La tracción se ejerce mediante una cuerda que pasa por la garganta de una polea, y sostiene en su extremo un platillo donde se colocan las pesas que producen el movimiento.

Experimentando con este sencillo aparato puede variarse, ya la carga de la caja, ya la naturaleza de las superficies en contacto y su extensión.

Los resultados de los experimentos nos indican lo siguiente:

- a) *El rozamiento es mayor en el momento de partida que una vez que el cuerpo está en movimiento.*
- b) *En ambos casos, el rozamiento es directamente proporcional a la fuerza normal ejercida sobre la superficie de contacto.*
- c) *El rozamiento es independiente del área de la superficie en que se apoya el cuerpo, pero varía con su estado de pulimento, su naturaleza y la de los líquidos u otras sustancias interpuestas.*
- d) *Es independiente de la velocidad del movimiento si las distancias son inferiores a cuatro o cinco metros, disminuyendo cuando aumenta la velocidad, si se excede aquel límite.*

También puede realizarse la experiencia mediante un plano inclinado en el que se colocarán distintos cuerpos de materiales diferentes.

## MOVIMIENTO AMORTIGUADO

Si un cuerpo puede girar alrededor de un eje, del cual está suspendido en equilibrio estable, y es separado de su posición y dejado libremente de modo que la gravedad le impulse a recobrarla, se observa que comienza un movimiento de vaivenes u oscilaciones que, por las resistencias pasivas que se oponen al movimiento, van debilitándose y llega un momento en que el móvil se para.

En el caso de un péndulo, que consideremos que las resistencias pasivas sean despreciables (caso ideal) el movimiento sería indefinido. Por efectos de la resistencia del aire y el rozamiento del eje de suspensión las oscilaciones van siendo decrecientes hasta llegar un momento en que se detiene. El decrecimiento de la

amplitud de las oscilaciones de un péndulo, por efecto de la resistencia del medio, se verifica en progresión geométrica a medida que su número crece en progresión aritmética.

*Cuando hay disminución en la amplitud de las oscilaciones se dice que en el movimiento hay amortiguamiento. El amortiguamiento es debido a la pérdida de energía producida por las resistencias.*

Para ver el comportamiento de un péndulo cuando hay un amortiguamiento se realizan experiencias como la que se cita a continuación. Fue realizada por primera vez por *R. Hooke* ante la Royal Society de Londres en 1670 y estudiada algunos años después por *Newton* en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, está destinada a mostrar la amortiguación de las oscilaciones de un péndulo que se mueve en el seno de fluidos diferentes. Si se llena uno de los recipientes con agua y el otro se deja vacío, es decir, lleno de aire, puede observarse que la amortiguación de las oscilaciones es proporcional a la resistencia del medio en que se mueve el péndulo y que, por tanto, será mayor en aquel que contiene agua.



*Nº inv.: 02.1 / 40  
Fecha: 1874  
Fabricante desconocido  
Madera, latón y plomo  
43 x 29 x 68 cm*

## CHOQUE ELÁSTICO

Se dice que hay *choque* cuando un cuerpo en movimiento se encuentra a otro, en reposo o con otro movimiento. El choque puede ser *central* o directo y *oblicuo*. Hay choque directo cuando se verifica según la línea de los centros de gravedad, y oblicuo cuando lo es en una dirección cualquiera. Los efectos del choque varían, según se produzcan entre cuerpos *elásticos* o *inelásticos*.

El caso más sencillo, que se toma como tipo para calcular las velocidades resultantes, es el directo y central entre dos esferas. Además, hay que tener en cuenta la influencia de la mayor o menor elasticidad de los cuerpos, que modifica los efectos del choque.

Para observar los efectos producidos en el choque según distintos casos se utiliza un sistema de bolas, que pueden ser iguales o de diferente tamaño, suspendidas de hilos de la misma longitud para que el choque sea perfectamente frontal.

Se observa que si las bolas se encuentran en reposo y separamos la de un extremo, para hacerla chocar con el resto, toda la energía que tiene esta bola la trasmite al sistema, haciendo que la última del extremo opuesto salga despedida y se eleve hasta la misma altura desde la que había partido la primera; el resto de las bolas no se mueven.

Si se dejasen caer dos bolas o tres, serían las otras dos o tres del extremo opuesto las que se moverían y elevarían. Y así sucesivamente. Esto nos demuestra que la energía se conserva y también lo hace el momento lineal (cantidad de movimiento).

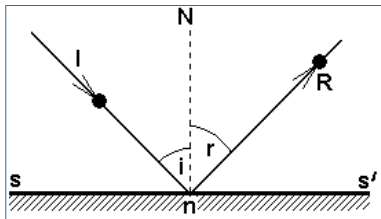
La misma ley se cumplirá en el caso en que las bolas fueran de distintas masas. Lógicamente las alturas de elevación dependerían de las masas que intervienen en el choque.



Nº inv.: 02.1 / 41  
Fecha: 1874  
Fabricante: Bretón (París)  
Madera, latón y cuerda  
42 x 30 x 71 cm

## CHOQUE OBLICUO

Si dejamos caer oblicuamente sobre un plano de mármol una esferilla de marfil, su acción se descompone en dos: la una normal al plano, que lo único que haría sería deformarlo en el primer instante; la otra oblicua, cuya dirección sigue el cuerpo.

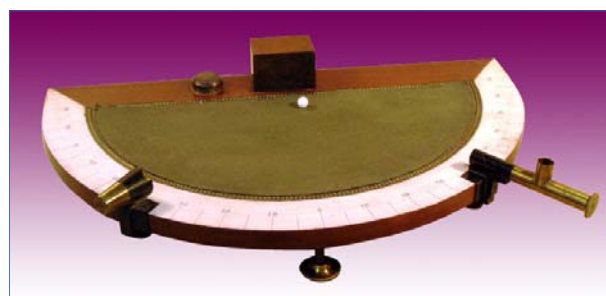


En este caso se cumplen las dos leyes siguientes:

- Los ángulos de incidencia y de reflexión son iguales.
- Ambos ángulos están situados en el mismo plano normal a la superficie.

El *ángulo de incidencia* es el formado por la dirección de la trayectoria (I n) del cuerpo con la normal (N n) al plano (s s') en el punto de choque; y el *ángulo de reflexión* el formado por la dirección de la trayectoria (nR) del cuerpo, después del choque con la misma normal.

Para demostrar experimentalmente esas dos leyes, se utiliza un aparato formado por una tabla semicircular que, provista de tornillos niveladores, que lleva en su centro, y adaptado al diámetro, un plano vertical de mármol, perpendicular a él. El semicírculo está graduado y dispone de un pequeño cañoncito que lleve en su interior un resorte, por cuyo medio se dispara contra la plancha de mármol una bolita de marfil. También existe un tubo receptor para la bola que estará encargado de recibirla. Variando el ángulo de tiro y el ángulo de recepción se puede comprobar la verificación de la ley de la reflexión.



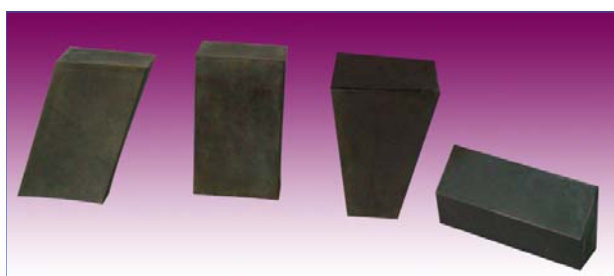
Nº inv.: 02.1 / 42  
Fecha: 1874  
Fabricante desconocido  
Madera, latón y tela

# ESTABILIDAD

**Para que un sólido rígido esté en equilibrio** en el campo gravitatorio terrestre, es necesario que actúen sobre él fuerzas tales, que cada una sea igual y opuesta a la resultante de las demás. O dicho de otra forma: *la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo debe ser nula.*

Si tenemos un cuerpo, y sobre él no actúa ninguna otra fuerza mas que la de la gravedad (el peso), cuyo punto de aplicación está en el centro de gravedad, se comprende que para anular dicha fuerza basta oponerle otra igual a ella en un punto por donde pasa la vertical del centro de gravedad.

En este caso, se llama base de sustentación del cuerpo la menor porción del plano horizontal que puede ser cortada por todas las verticales de los puntos de apoyo y limitada por una línea cerrada convexa (puede ser tan pequeña, que se considere como un punto). *Para que el peso de un cuerpo sea equilibrado por la resistencia del plano sobre el que se apoya, es preciso que la vertical que pasa por el centro de gravedad del cuerpo se encuentre dentro de su base de sustentación.*



Nº inv.: 02.1 / 43  
Fabricante desconocido

*Diferentes tamaños*

El equilibrio de un cuerpo puede ser de tres maneras: *estable, inestable (o instantáneo) e indiferente.*

Se dice que existe **equilibrio estable** cuando la posición del cuerpo es tal, que si se le inclina en cualquier dirección y cesa la fuerza que produjo la inclinación, el peso del cuerpo le obliga a recuperar la posición primitiva. Se verifica siempre que el centro de gravedad tiende a estar más bajo en la posición de equilibrio que en cualquier otra posición. Si la inclinación fuese tal que la vertical del centro de gravedad no encontrase ya a la base de sustentación del cuerpo, faltaría la condición de equilibrio, y el peso del cuerpo le movería (o volcaría) hasta encontrar otro apoyo.

Un cuerpo se halla en **equilibrio inestable**, cuando, basta una pequeña inclinación para que la vertical correspondiente a su centro de gravedad deja de encontrar a la base de sustentación. Ocurre cuando el centro de gravedad está más alto en la posición de equilibrio que en la que tomaría al inclinarse.

Se llama **indiferente** el equilibrio de un cuerpo que puede girar, variando sus puntos o líneas de apoyo, y quedar en equilibrio en cualquiera de sus posiciones. Se verifica cuando durante el giro el centro de gravedad ni se eleva ni desciende.

La tendencia a descender el centro de gravedad nos explica ciertos resultados que, siendo en apariencia contradictorios con lo expuesto, han recibido el nombre de *paradoja dinámica*.

**Aquí se pondrá la fotografía del doble cono**

Nº inv.: 02.1 / 44  
Fecha: 1874  
Fabricante desconocido  
Madera  
 $\Phi = 18 \text{ cm}$   $h = 36 \text{ cm}$



Dos conos unidos por su base, están situados sobre los bordes de dos reglas inclinadas que forman un cierto ángulo entre sí. Para que descienda el eje que contiene el centro de gravedad, tiene que irse apoyando el cuerpo en puntos cada vez más próximos a los vértices de ambos conos, y alejándose del ángulo de aquellas; y aunque éste se halle más abajo y dichos bordes determinen un plano de cierta inclinación, podrá elevarse el cuerpo por él, mientras que con ello descienda su eje.

## COMPOSICIÓN DE FUERZAS

Si sobre un cuerpo actúa una sola fuerza, el cuerpo se moverá en una dirección determinada. Si hubiera dos o más fuerzas actuando, el cuerpo se movería en una sola dirección que vendría dada por la resultante de las fuerzas aplicadas. Se llama *sistema de fuerzas* al conjunto de ellas que actúan sobre un cuerpo, y *resultante* a la fuerza que puede reemplazar a todas ellas causando el mismo efecto.

Si dos fuerzas iguales están aplicadas sobre un cuerpo, y actúan en oposición una de otra, el cuerpo no podrá moverse y permanecerá en *equilibrio*.

Un cuerpo puede estar sometido a la acción de varias fuerzas de muy diversas maneras, siendo diferente el modo de encontrar la resultante en cada caso:

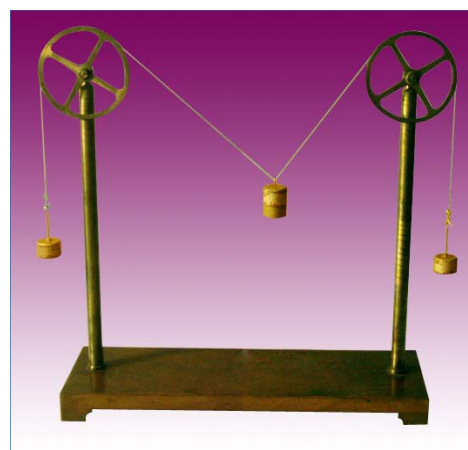
- Cuando las fuerzas son de una misma dirección y actúan todas en el mismo sentido, la resultante es una fuerza aplicada al mismo punto en igual dirección y sentido y de una intensidad igual a la suma de las intensidades de las componentes.
- Cuando los sentidos de las componentes son distintos, en cuyo caso, la resultante tiene la misma dirección y punto de aplicación que las componentes, pero su intensidad es la diferencia entre las de las componentes; en cuanto a su sentido, lo marca el de la diferencia.
- Cuando sus direcciones forman un ángulo, su resultante es igual en magnitud y dirección a la diagonal del paralelogramo construido sobre ellas.



Nº inv.: 02.1 / 47  
Fecha: 1875  
Fabricante desconocido  
Metal  
22 x 13 x 30 cm



Fecha desconocida  
Fabricante: Material Pedagógico  
Moderno CULTURA  
Metal  
24 x 24 x 83 cm



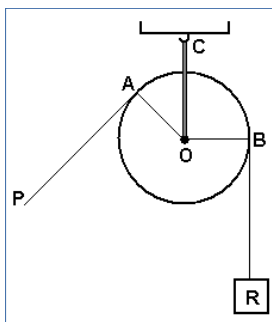
Nº inv.: 02.1 / 45  
Fecha: 1875  
Fabricante desconocido  
Metal y madera  
45 x 14 x 47 cm

## POLEAS Y POLIPASTOS

La **polea** o garrucha es un cilindro de poca altura que puede girar alrededor de su eje. Tiene una hendidura o surco en su parte convexa, por donde pasa una cuerda. Dicha hendidura recibe el nombre de *garganta, canal o cajera*. La polea se considera una palanca de primer género.

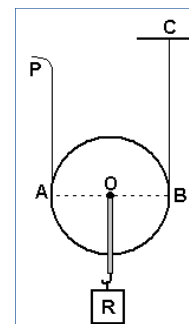
Generalmente la polea se encuentra suspendida de un gancho y tiene el eje fijo, por eso se les llama *poleas fijas* a pesar de que el cilindro tenga un movimiento de rotación. Existen otras que, además, poseen un movimiento de traslación a lo largo de la cuerda y se le denomina *poleas móviles*.

En la **polea fija**, un extremo de la cuerda B, se aplica la resistencia (cuerpo a mover) y en el otro A, se aplica la potencia (fuerza a realizar). Potencia y resistencia están aplicadas en puntos A y B tangentes a la polea, la cual se apoya sobre su eje; luego los brazos respectivos son OA y OB, iguales por ser radios. No se modifica, por lo tanto, la fuerza sino en su dirección.



Si aplicamos la ley de la palanca: “Potencia por su brazo igual a resistencia por el suyo” resulta que, la igualdad de brazos hace que potencia y resistencia sean iguales; es decir, esta máquina no favorece a la potencia. En cambio facilita los movimientos. El cambio de dirección producido por la polea, nos favorece al ejecutar el esfuerzo; pues produce menos fatiga dejar caer nuestro cuerpo, que trabajar en dirección opuesta a la gravedad.

La **polea móvil** está sujeta a un punto fijo C. La cuerda se apoya a la polea en el punto B; la potencia actúa, mediante la otra porción de cuerda, en el punto A, y la resistencia actúa sobre el eje O. De modo que cuando las cuerdas son paralelas, que es lo más usual, el brazo de la resistencia es el radio, y el de la potencia, el diámetro. Luego la potencia equilibra a una resistencia doble.



Combinando un sistema de poleas fijas y móviles, se logra considerablemente favorecer a la potencia. Dichas combinaciones se llevan a cabo de muchas maneras, siendo los resultados más o menos ventajosos. Para elevar grandes pesos se utiliza un sistema formado por poleas fijas y móviles que recibe el nombre de **polipasto** o aparejo. En los polipastos, la resistencia es iguala a la potencia multiplicada por las cuerdas, cuando son paralelas. Por ejemplo, si en la máquina hay seis cuerdas, cada una sostendrá la sexta parte de la resistencia. Como por otra parte la potencia sólo equilibra a una de las cuerdas, es evidente que si  $n$  es el número de cuerdas paralelas, se verificará en todo polipasto que: A medida que aumentan las poleas crece también la longitud de las cuerdas, perdiéndose en tiempo lo que se gana en fuerza.



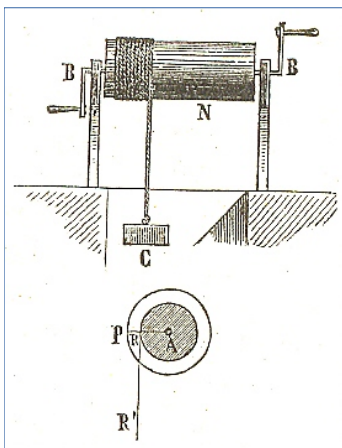
Nº inv.: 02.1 / 48  
Fecha desconocida  
Fabricante desconocido  
Madera y cuerda  
5 x 16,5 x 45 cm



Nº inv.: 02.1 / 49  
Ejemplares: 5  
Fecha desconocida  
Fabricante: Phywe  
Metal  
 $\Phi = 4$  cm



Nº inv.: 02.1 / 49 bis  
Ejemplares: 4  
Fecha desconocida  
Fabricante: Phywe  
Metal  
 $\Phi = 4$  cm



## CABRESTANTE

El **torno** es una máquina simple que consiste en un cilindro **N** dispuesto horizontalmente y sostenido por dos soportes **B** en sus extremos, donde lleva manubrios de modo que pueda girar alrededor de su eje. En el cilindro se enrolla una cuerda a la que se sujeta el cuerpo **C** que hay que elevar.

Consideremos una sección del cilindro: llamamos **AR** al radio del cilindro y **AP** a la longitud del manubrio, que al girar describirá una circunferencia. **A** es un punto de la línea de apoyo, **R** es la resistencia, la cual puede considerarse en **R**, y en **P** se aplica la potencia. Por tanto tenemos una palanca de segundo género, en la que **AR**, radio del cilindro, es el brazo de la resistencia y **AP** el de la potencia. Así resulta que cuanto menor sea el radio del cilindro **AR** y mayor la longitud del manubrio **AP**, es decir, cuanto más delgado sea el cilindro y más largo el manubrio, resultará más aventajada la potencia.

Si aplicamos la ley de la palanca tendremos: *potencia x radio de la rueda = resistencia x radio del cilindro*. Por ejemplo: si el manubrio tiene una longitud de 80 cm, y el cilindro 20 cm de diámetro, haciendo una fuerza de 20 Kg, podremos levantar un cuerpo de 160 Kg ( $0,8/0,1 \times 20 = 160$  Kg)

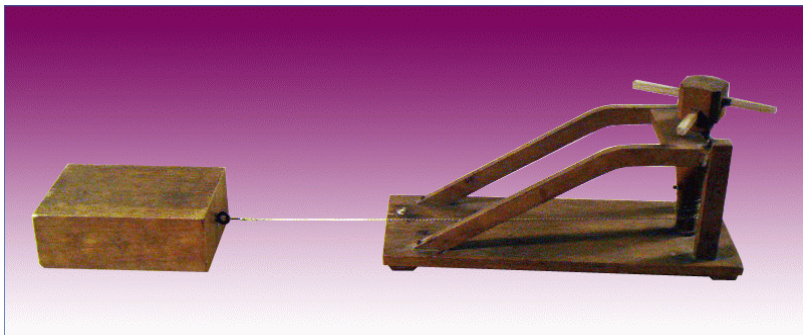
Como hemos visto, un cilindro y un manubrio lo más largos posibles nos darán el torno más ventajoso, pero es necesario tener presente que el cilindro ha de resistir todo el peso que de él se vaya a suspender, y por tanto esta resistencia limitará su grosor.

La cuerda debe ser lo más delgada posible por varias razones: cuando se enrolla en el cilindro aumenta el diámetro de éste, y si es larga y tiene que volver a arrollarse sobre sí misma, disminuirá la ventaja de la potencia por aumentar el brazo de la resistencia; según esto, si la cuerda es delgada, aumentará menos el diámetro y tendrá además que arrollarse menos veces sobre ella misma; debe sin embargo ser lo suficientemente gruesa para que resista mucha más carga de la que ha de soportar.



El eje de los tornos se coloca horizontal o verticalmente, porque son las dos posiciones en que las fuerzas que a él se aplican pueden obrar con más facilidad, perpendicularmente al eje. Si el árbol está horizontal, se llama **Torno de pozos**, y si está vertical, **Cabrestante**.

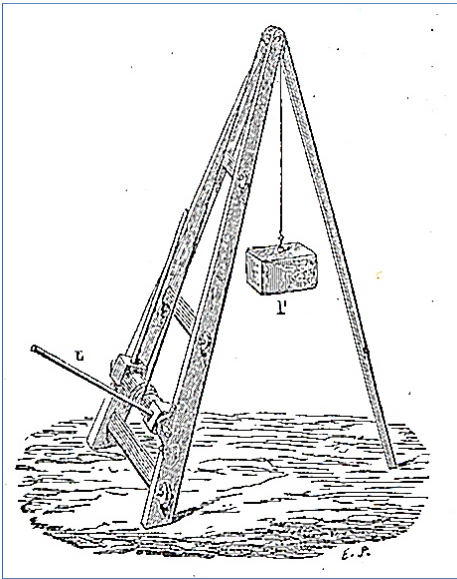
En el caso del **Cabrestante**, el torno se coloca en posición vertical. El cilindro donde se enrolla la cuerda se hace girar por medio de palancas cuyos extremos se introducen en agujeros practicados en la cabeza del torno. Es muy usado en la marina para arrastrar cuerpos.



Nº inv.: 02.1 / 50  
 Fecha: 1877  
 Fabricante desconocido  
 Madera y cuerda  
 29 x 11,5 x 15 cm

## CÁBRIA

La **Cábria** puede considerarse como un aparato compuesto de una polea fija (situada en la parte superior de un soporte) y un torno, aunque en rigor es un simple torno destinado a elevar pesos, para lo cual se arrolla la cuerda en el cilindro, pasando antes por una polea fija, situada a mayor altura de la que se tienen que subir los cuerpos **P**. El torno se dispone en el suelo, y la polea se coloca en lo alto de una escala o armazón de tres vigas, como puede verse en el grabado, cuyo cilindro lleva dos palancas **L**, que obran alternativamente y tienen bastante longitud, con el fin de favorecer más la potencia.



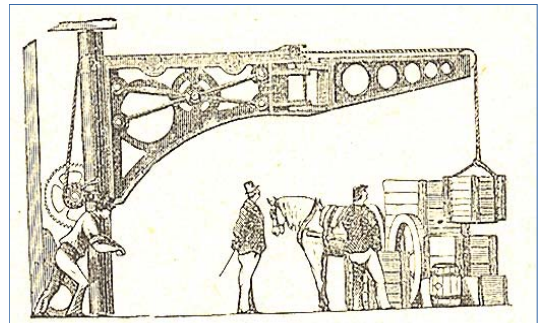
Esta máquina solía utilizarse en la construcción de edificios para elevar los materiales. Hoy en día se ha sustituido por las grúas.

La **Grúa** es una modificación de la cábria, dándole movimiento de rotación alrededor de un eje vertical. El armazón de madera o de metal está enclavado en el suelo, o descansa convenientemente en un pie, de forma que pueda girar. Se comenzaron a utilizar fundamentalmente en los muelles marítimos, para ayudar en el embarque y desembarque de mercancías. Actualmente su uso más generalizado es en la construcción de edificios.

Suelen combinarse engranajes más o menos complejos con polipastos, trócolas, aparejos o motones.



*Nº inv.: 02.1 / 51  
Fecha: 1877  
Fabricante desconocido  
Madera y cuerda  
5 x 16,5 x 45 cm*



## RUEDAS DENTADAS

Los tornos son las máquinas simples que se combinan con más frecuencia. Si se aproxima la rueda de un torno al cilindro de otro, procurando que se establezca un fuerte rozamiento entre ambas superficies, y hacemos girar el manubrio del segundo torno en un sentido, la rueda del primero se moverá en sentido contrario; de modo que la potencia de éste será la resistencia que encuentra el cilindro de la otra máquina.

Para conseguir el movimiento regularmente e impedir que resbalen las superficies de cilindro y rueda,

se practican estrías longitudinales en el cilindro, que recibe el nombre de *piñón*, encajando en aquellas los *dientes* practicados en la circunferencia de la rueda. Los dientes de una misma rueda y su piñón, así como los huecos que hay entre ellos, son todos iguales, y cada uno de aquellos debe poder entrar y salir fácilmente en éstos.

De la igualdad de los dientes se deduce que su número será directamente proporcional a la longitud del radio. Es decir, que la velocidad angular variará en razón inversa de los números de dientes, y al aplicar la ley de trabajo a cada torno podemos sustituir la razón de los radios por la de dichos números.

Las combinaciones de tornos así dispuestos se denominan **engranajes** o **sistemas de ruedas dentadas**. Una variante de estos engranajes es el denominado **tornillo sin fin**, en el que se sustituye el piñón por un tornillo sin tuerca donde engranan los dientes de la rueda dentada, de modo que gira sin avanzar. Al eje de la rueda suele aplicarse un tambor, y a éste una cuerda de donde pende el cuerpo que se desea elevar o bajar.



Nº inv.: 02.1 / 53  
Fecha: 1877  
Fabricante: Bretón (París)  
Madera y metal  
52 x 22 x 36 cm



Nº inv.: 02.1 / 52  
Fecha: 1874  
Fabricante: Bretón (París)  
Madera y metal  
24 x 18 x 25 cm



Nº inv.: 02.1 / 54  
Fecha: 1877  
Fabricante: Bretón (París)  
Madera y metal  
73 x 31 x 71 cm

