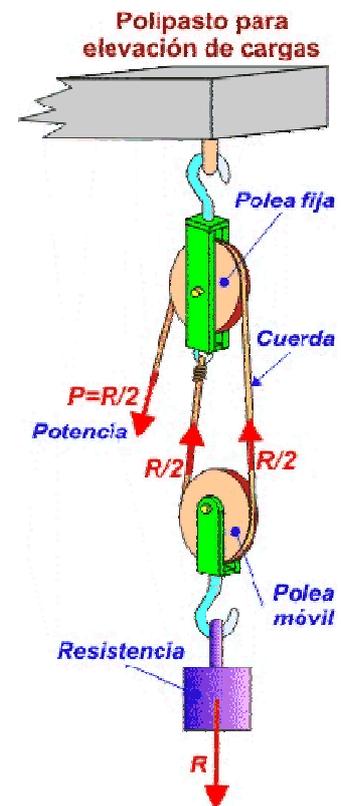
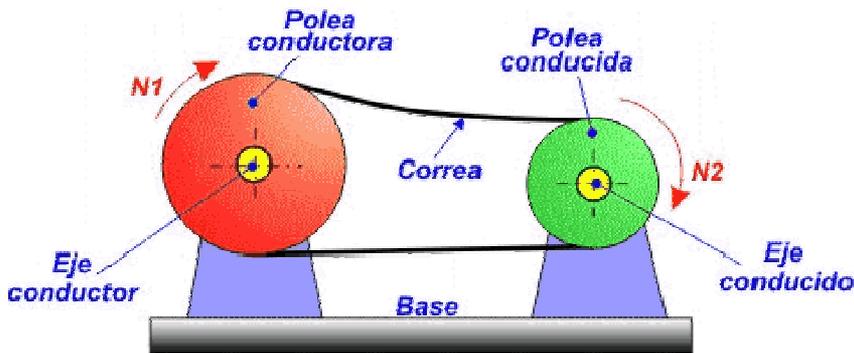
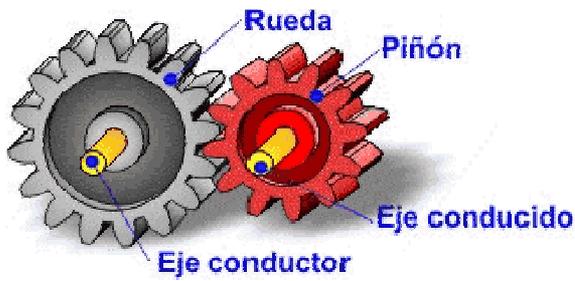




Departamento de Física  
Universidad de Jaén

# INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS SIMPLES Y COMPUESTAS



Aplicación a la Ingeniería de los capítulos del temario de la asignatura FUNDAMENTOS FÍSICOS I (I.T.MINAS):

Tema 8: Dinámica de Rotación de los Cuerpos Rígidos.

Tema 9: Equilibrio de los cuerpos Rígidos.

# INDICE

**INTRODUCCIÓN.**

**CONCEPTOS FUNDAMENTALES.**

**PALANCAS.**

**POLEAS.**

**RUEDA Y EJE.**

Transmisiones de Banda Simples.

Engranajes

# INTRODUCCIÓN

Una **máquina simple** es un dispositivo en el que tanto la energía que se suministra como la que se produce se encuentran en forma de trabajo mecánico y todas sus partes son sólidos rígidos.

¿Por qué tanto interés en convertir una entrada en trabajo en una salida en trabajo?. Existen varias razones. Primero, tal vez queramos aplicar una fuerza en alguna parte de modo que realice trabajo en otro lugar. Con poleas, por ejemplo, podemos levantar un andamio hasta el techo tirando de una cuerda desde el suelo. Por otra parte, es posible que dispongamos sólo de una pequeña fuerza para producir el trabajo de entrada cuando necesitamos una fuerza mayor en la salida. Así sucede con el gato de automóvil: al accionar la varilla del gato podemos alzar el automóvil que de otra manera sería bastante difícil de mover. Como contrapartida, tenemos que levantar y bajar muchas veces la varilla para levantar el automóvil un poco.

Las máquinas simples suelen clasificarse en 6 tipos:

- Palancas.**
- **Poleas.**
- Ruedas y ejes.**
- Planos inclinados.
- Tornillos.
- Cuñas.

Las **máquinas compuestas** son combinaciones de estos 6 tipos de máquinas simples.

## CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Son dos las fuerzas importantes en cualquier máquina simple: el **esfuerzo** y la **carga**. El esfuerzo (llamado a veces *potencia*) es la fuerza que se aplica a la máquina y la carga (llamada a veces *resistencia*) es la fuerza que la máquina supera al realizar trabajo útil. Así, por ejemplo, cuando se usa un *cascanueces*, el esfuerzo lo proporciona nuestra mano al apretar las tenazas, y la carga corresponde a la fuerza elástica de la nuez que se parte.

Debe aclararse que la magnitud por lo general del esfuerzo y el de la carga no son iguales. De hecho la mayoría de las máquinas simples se utilizan en situaciones donde la carga es mayor que el esfuerzo.

La capacidad de una máquina para mover una carga se describe por medio de su **ventaja mecánica** (VM):

$$VM \equiv \text{carga} / \text{esfuerzo} \quad (1)$$

Otro parámetro de gran interés relacionado con las máquinas es la **eficiencia** (e):

$$e \equiv (\text{Trabajo útil producido}) / (\text{Trabajo suministrado}) \quad (2)$$

Es posible que la ventaja mecánica de una máquina sea grande y que, sin embargo, su eficiencia sea baja.

Todas las máquinas simples tendrían eficiencias cercanas al 100 % de no ser por el rozamiento por deslizamiento y rodamiento. Cuando el rozamiento es muy grande como en el caso de la cuña o el tornillo, la eficiencia puede ser únicamente del 10% o menor. Sin embargo en las palancas, así como en las ruedas y los ejes, donde el rozamiento es bajo, es posible que la eficiencia se aproxime al 99%. Se pierde también un poco de eficiencia a causa de la deformación elástica de la máquina bajo carga. No obstante, en la mayor parte de los casos, éste es un efecto mínimo.

Un tercer parámetro de interés es la **ventaja de velocidad** (VV):

$$VV \equiv \frac{\text{(velocidad alcanzada por la carga)}}{\text{(velocidad del punto de aplicación del esfuerzo)}} \quad (3)$$

El valor de la VV coincide con el cociente entre los desplazamientos realizados por la carga y el punto de aplicación del esfuerzo en un cierto tiempo t.

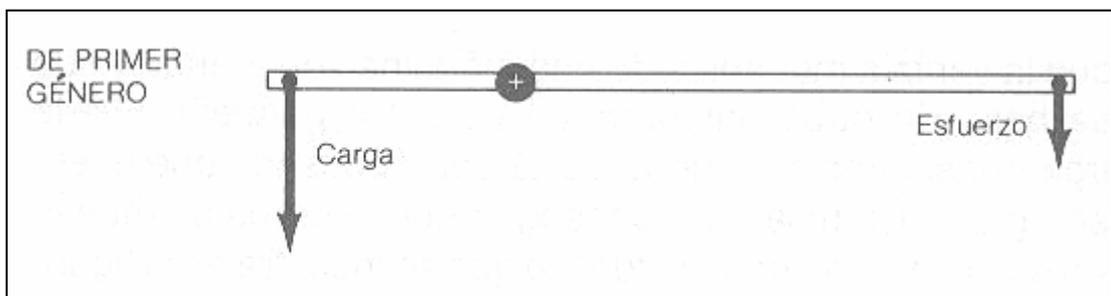
Debemos decir que una VM alta (mayor que la unidad) implica normalmente una VV baja (menor que la unidad) y viceversa, ya que se puede demostrar que se cumple que:

$$VM \cdot VV = e \quad (4)$$

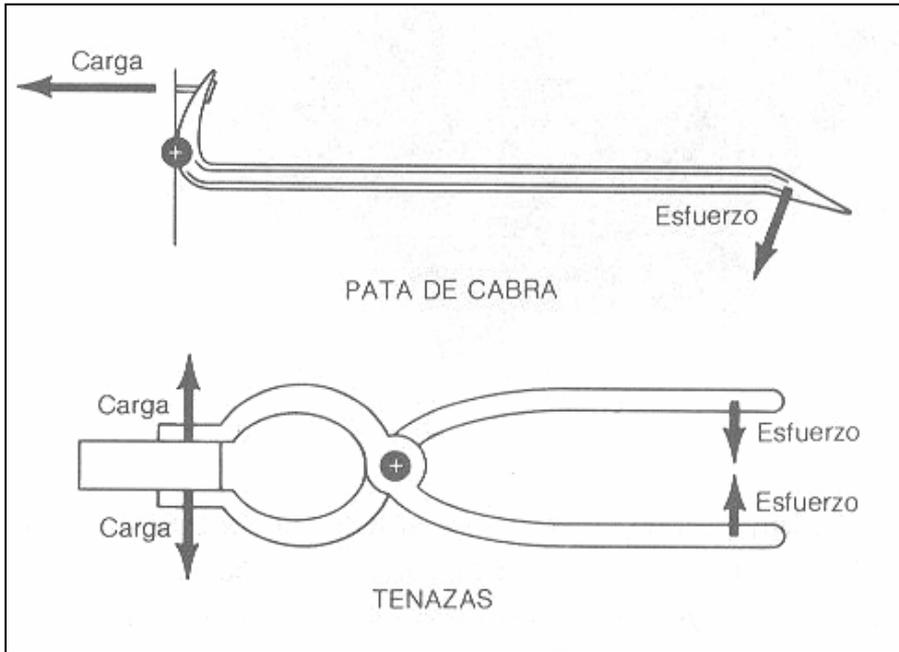
## PALANCAS

Una palanca consiste simplemente en una barra rígida que gira en torno a algún punto a lo largo de la misma. El punto de pivote se conoce con el nombre de *fulcro* o *punto de apoyo* y no es en éste donde se aplica el esfuerzo y la carga. Son posibles 3 configuraciones distintas que se denominan **palancas de primer, segundo y tercer género**.

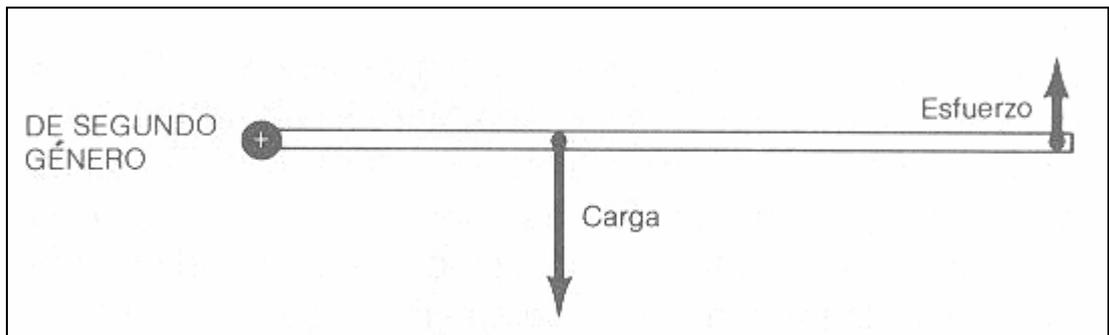
En una **palanca de primer género**, el esfuerzo y la carga se encuentran en lados opuestos del punto de apoyo



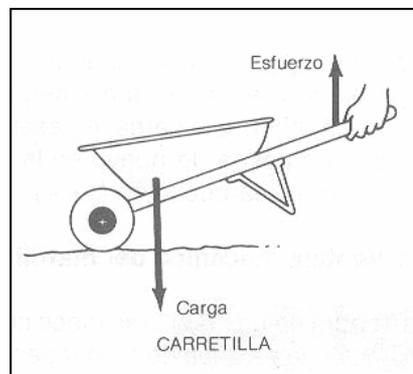
## Ejemplos: pata de cabra y tenazas.



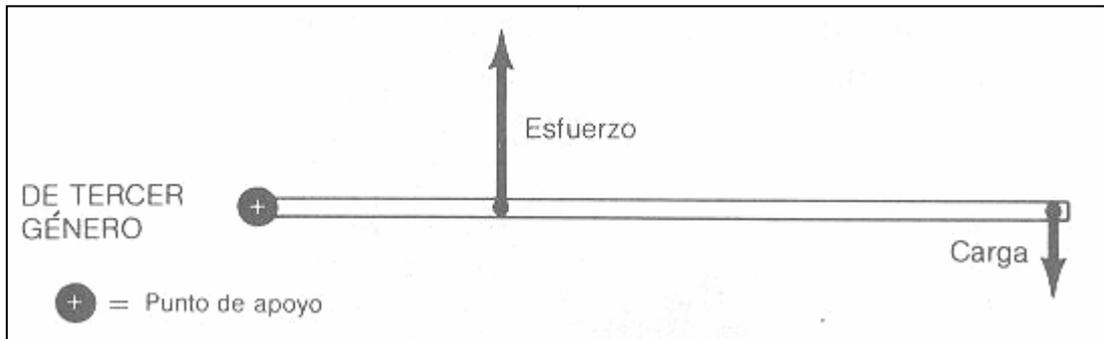
En una **palanca de segundo género**, la carga se coloca entre el esfuerzo y el punto de apoyo.



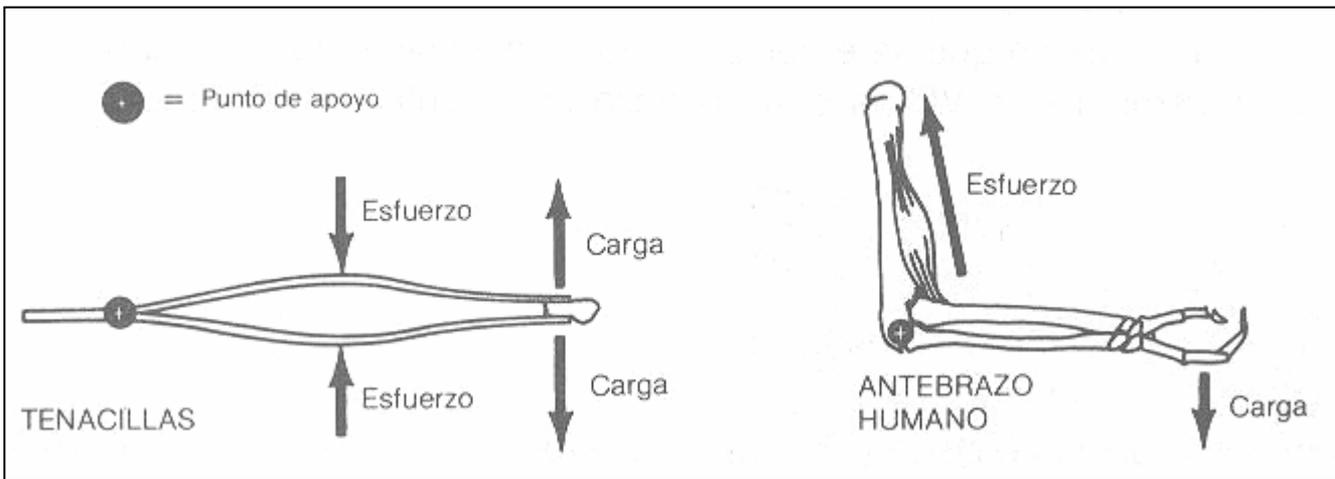
## Ejemplo: carretilla.



En una **palanca de tercer género**, el esfuerzo se sitúa entre la carga y el punto de apoyo. Estas palancas no son tan comunes como las de primer y segundo género.



Ejemplos: tenacillas y antebrazo humano.



La distancia perpendicular entre el punto de apoyo y la línea de acción del esfuerzo se denomina **brazo de palanca efectivo**, en tanto que la distancia entre el punto de apoyo y la línea de acción de la carga se denomina **brazo de carga efectivo**. Se puede demostrar que la ventaja mecánica para los tres tipos de palancas viene dado por la siguiente expresión:

$$VM = e \cdot \left( \frac{\text{brazo de palanca efectivo}}{\text{brazo de carga efectivo}} \right)$$

(5)

¿Es posible que la VM de una palanca sea menor que 1?. Observando la expresión (5) vemos que esto pasa siempre que el brazo de palanca efectivo es más corto que el brazo de carga efectivo, hecho que ocurre, por ejemplo, en todas las palancas de tercer género.

¿Para qué nos puede servir una palanca de estas características?. Ocurre que en algunas máquinas que cuentan con partes móviles nos interesa más la velocidad (es decir, la ventaja de velocidad) que la ventaja mecánica. Así, por ejemplo, el antebrazo humano es una palanca de tercer género con una VM menor que la unidad. Es muy difícil sostener un peso durante un largo periodo de tiempo porque la VM es demasiado pequeña. Sin embargo, el juego del antebrazo permite lanzar una pelota de beisbol a 100 km/h, velocidad muy superior a la de la contracción de los músculos.

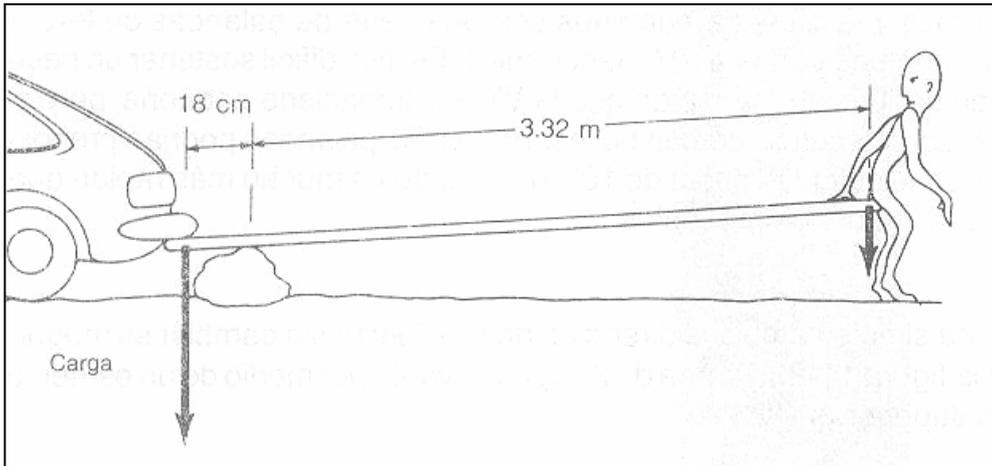
### **Problemas de aplicación.**

1º) Una palanca está provista de un brazo efectivo de 89 cm de un brazo de carga efectivo de 3.3 cm. ¿Cuál es la ventaja mecánica si la eficiencia es: a) casi del 100 %, b) 97%, c) 93 %?.

Soluciones: a)  $VM = 27$ ; b)  $VM = 26$ ; c)  $VM = 25$ .

2º) ¿Qué carga puede levantar la palanca que se muestra en el dibujo suponiendo que la eficiencia es cercana al 100% y que el hombre tiene una masa de 78 kg?

Solución: 1400 kg



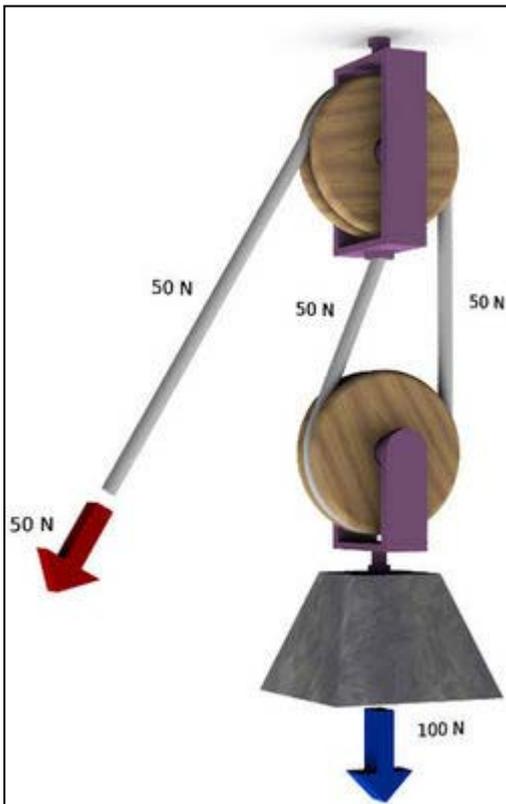
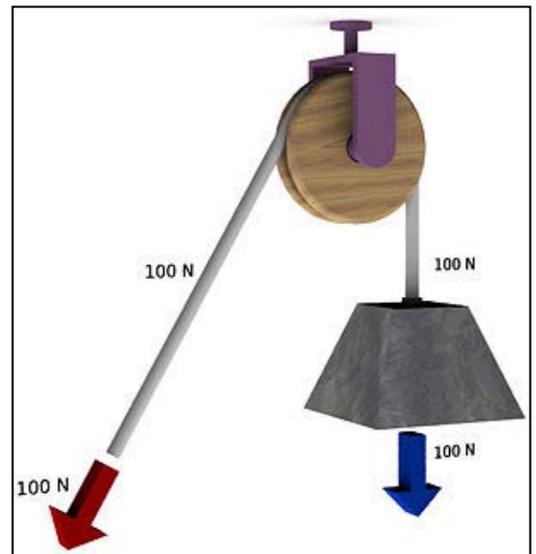
3º) Se requiere una palanca de segundo género con una VM de 7.0. La eficiencia es casi del 100% y la longitud del brazo de carga debe ser de 15.7 cm. a) ¿A qué distancia del punto de apoyo debe aplicarse el esfuerzo?; b) ¿Qué carga se moverá con un esfuerzo de 431.6N?

Soluciones: a) 110 cm; b) 3041.1 N

## POLEAS

Una **polea** es una rueda, generalmente maciza y acanalada en su borde, que, con el concurso de una cuerda o cable que se hace pasar por el canal, se usa como elemento de transmisión en máquinas y mecanismos para cambiar la dirección del movimiento o su velocidad y formando conjuntos (denominados aparejos o polipastos) para además reducir la magnitud de la fuerza necesaria para mover un peso.

Una polea simple cambia la dirección de una fuerza sin cambiar su magnitud, como se observa en la figura, donde la carga y el esfuerzo toman un valor de 100 N. La eficiencia de la polea está determinada principalmente por el rozamiento del cojinete. Son habituales eficiencias altas, incluso superiores al 95%.

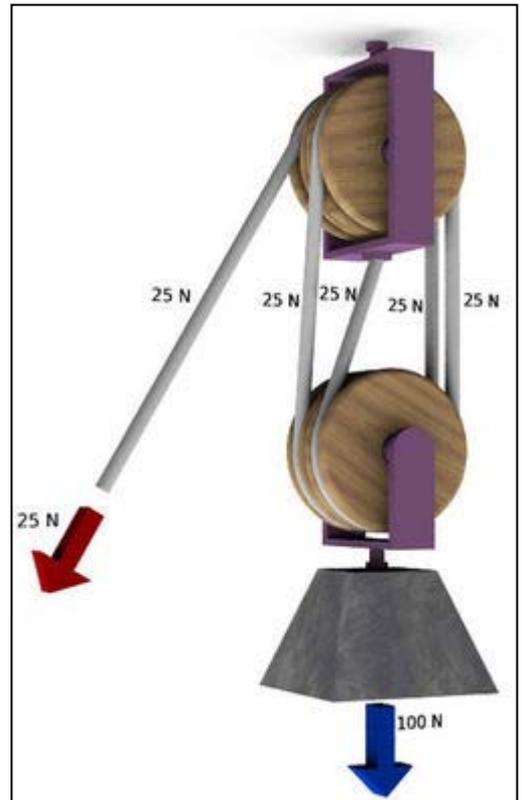


En la figura de la izquierda observamos un sistema de 2 poleas llamado polipasto. La polea superior se fija a un soporte estacionario, en tanto que la polea inferior se mueve con la carga. Es evidente que en estas condiciones las dos secciones paralelas de cable soportan la carga (de 100 N), soportando cada una de ellas una tensión de 50 N. El esfuerzo es en este caso 50 N y la VM = 2.

La ventaja mecánica de un polipasto viene dada por:

$$VM = (e) \cdot (n^{\circ} \text{ de cuerdas}) \cdot (n^{\circ} \text{ de cuerdas}) \quad (6)$$

Al término  $e$  ( $n^\circ$  de cuerdas) se le denomina *eficiencia total*. En la figura de la derecha tenemos un polipasto de 4 cuerdas; por lo tanto, en la evaluación de la expresión (6), resulta evidente que el  $n^\circ$  de cuerdas = 4.



### Problemas de aplicación.

4º) Un polipasto está formado por cuatro poleas y cuatro cuerdas de soporte. Cada una de las poleas tiene una eficiencia del 96% y el sistema se utiliza para levantar una carga de 190 kg a una altura de 1.6 m. a) ¿Cuál es la eficiencia total?; b) ¿Cuál es la ventaja mecánica?; c) ¿Cuál es la salida de trabajo útil?; d) ¿Cuánto trabajo se suministra?

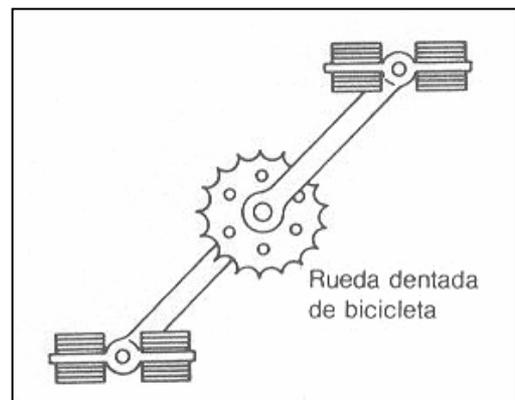
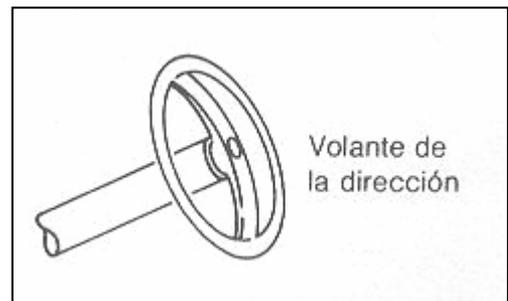
Soluciones: a) 85%; b) 3.4;

5º) Se requiere un polipasto con una VM de 4.2 por lo menos. La eficiencia de las poleas es del 97%. ¿Cuántas cuerdas de soporte se necesitan?

Solución: 5

## RUEDA Y EJE

Cuando una rueda gira libremente sobre un cojinete, funciona como una polea, situación radicalmente distinta a la de una rueda conectada rígidamente a un eje de manera que los dos giren juntos. **La rueda y el eje** pueden utilizarse para generar una gran ventaja mecánica (por ejemplo un destornillador o el volante de dirección de un automóvil) o, en sentido opuesto, para producir una gran ventaja de velocidad (por ejemplo, el juego de la rueda dentada y pedales de una bicicleta).



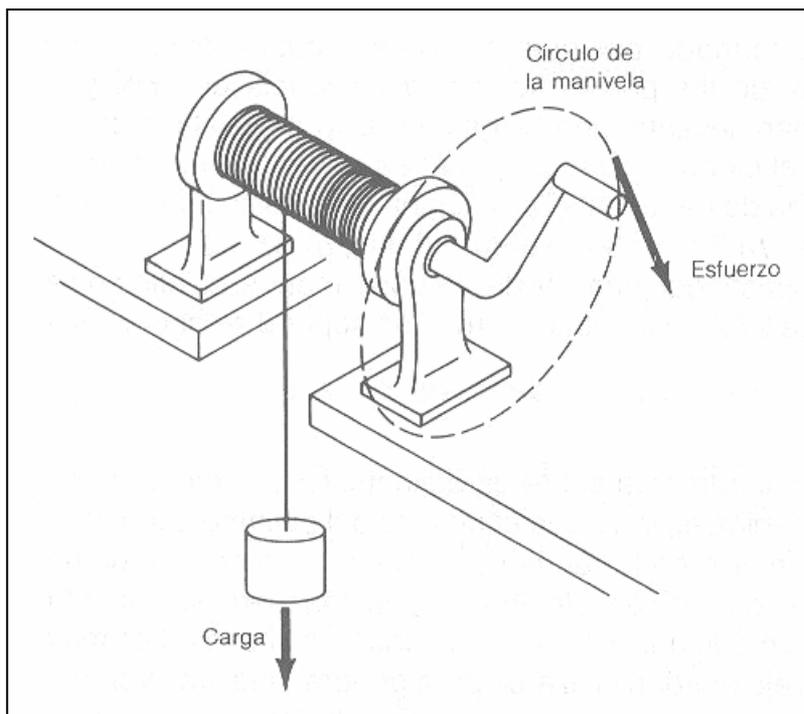
La VM de la rueda y el eje viene dada por la siguiente expresión en la que  $D$  representa al diámetro:

$$VM = (\text{eficiencia del cojinete}) \cdot (D_{\text{rueda}}/D_{\text{eje}}) \quad (7)$$

Por otro lado, el **momento de torsión producido** es el producto de la carga por el radio de la rueda o el eje (según donde se encuentre acoplada la carga), mientras que el **momento de torsión suministrado** es el producto del esfuerzo por el radio de la rueda o el eje (según donde se encuentre acoplada el esfuerzo). Ambos parámetros están relacionados mediante:

$$M \text{ de torsión producido} = (\text{eficiencia del cojinete}) \times (M \text{ de torsión suministrado}) \quad (8)$$

Un ejemplo clásico de rueda y eje es el **malacate**, utilizado para elevar con comodidad (accionando una manivela) y a lo largo de distancias relativamente grandes cuerpos muy pesados.



En este caso el esfuerzo se aplica en forma perpendicular a la manivela, y como ésta se mueve en círculo, representa en efecto una rueda. El tambor (es decir, el cilindro donde se enrolla el cable) es el eje.

### Problemas de aplicación.

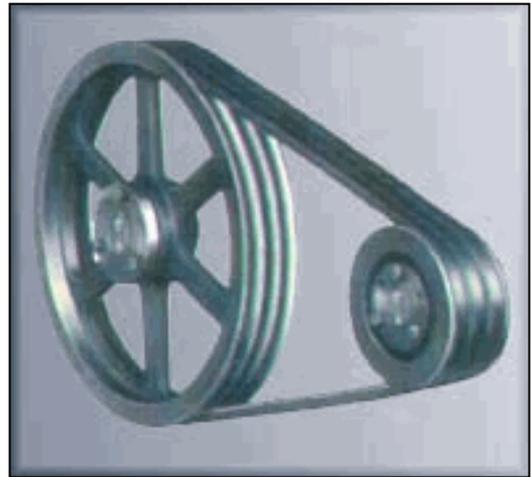
6º) Una rueda tiene un radio de 8.21 cm en tanto que el de su eje es de 1.92 cm. La eficiencia del cojinete es del 97.8% a) ¿Cuál es la ventaja mecánica?; b) ¿Qué fuerza se requiere en la rueda para desarrollar 1128.2 N en el eje?; c) ¿Cuál es el momento de torsión que se suministra en la rueda?; d) ¿Cuál es el momento de torsión que se produce en el eje?

Soluciones: a)  $VM = 4.18$  b) 270 N

## Transmisiones de Banda Simples

Hemos visto que la rueda y un eje pueden multiplicar la fuerza (ver expresión (7)), pero que cambian muy poco el momento de torsión (ver expresión (8)); por otro lado, no afectan a la velocidad de rotación: es decir, cada revolución de la rueda produce exactamente una revolución del eje. Un sistema de ruedas y ejes, en cambio, puede utilizarse para *variar la velocidad de rotación*. La manera más simple y barata para hacer esto consiste en conectar las ruedas por medio de una **banda de rozamiento continuo**.

La figura de la derecha muestra una **banda de transmisión sencilla**. Usualmente las ruedas se denominan poleas, aun cuando no lo son. Una polea con libertad sobre un cojinete; las ruedas y los ejes se conectan de forma rígida y giran en conjunto, soportados por el cojinete del eje.



Una **banda de transmisión sencilla**, por lo tanto, se trata de un sistema de dos ruedas y dos ejes. La polea que se conecta a la fuente de potencia recibe el nombre de polea transmisora o motriz (motor, manivela, etc.). La otra polea se denomina receptora. En casi todos los casos ambas poleas giran en el mismo sentido. Si la banda se tuerce y se cruza las poleas girarán en sentidos opuestos, configuración no apropiada para las aplicaciones a alta velocidad, debido a la gran generación de calor.

Un parámetro muy importante para el análisis de esta máquina compuesta es la razón de transmisión (RT):

$$RT = \frac{(D \text{ de la polea receptora})}{(D \text{ de la polea transmisora})} \quad (9)$$

donde  $D$  se refiere a diámetro.

La razón de transmisión indica como la banda de transmisión cambia el momento de torsión:

$$M \text{ de torsión producido} = (M \text{ de torsión suministrado}) \cdot e \cdot RT \quad (10)$$

donde  $M$  se refiere a momento y  $e$  es la eficiencia.

Por otro lado, es evidente, a la vista de la expresión (9) que en una banda de transmisión simple se cumple que:

$$\text{frecuencia de salida} = (\text{frecuencia de entrada}) / (RT) \quad (11)$$

donde la frecuencia se suele expresar en revoluciones por minuto (rpm) o en revoluciones por segundo (rps).

### **Problemas de aplicación.**

7º) Un motor de 1750 rpm hará funcionar una esmeriladora a 820 rpm: a) ¿Qué razón de transmisión se requiere?; b) ¿Cuál debe ser el diámetro de la polea transmisora si el diámetro de la polea receptora es de 10.2 cm?

Soluciones: a) 2.1; b) 4.8 cm

8º) Una banda de transmisión tiene una razón de transmisión de 2.75, un momento de torsión de entrada de 65.23 N·m y una eficiencia del 97%. ¿Cuál es el momento de torsión de salida?

Solución: 173.64 N·m

# Engranajes

Del mismo modo que la banda de transmisión, también los **engranajes** consisten básicamente de ruedas y ejes. El diente del engranaje transmite una fuerza motriz o impulsora de un engranaje a otro. Cuando un engranaje pequeño impulsa a otro más grande, disminuye la frecuencia y aumenta el momento de torsión. En el caso de que un engranaje grande impulse a otro más pequeño, la frecuencia se incrementa pero el momento de torsión se reduce.

Debe apreciarse que los engranajes entrelazados giran en sentidos opuestos.

Los **engranajes cilíndricos rectos** poseen dientes paralelos al eje de rotación de la rueda y pueden transmitir potencia solamente entre ejes paralelos.



Los **engranajes cilíndricos helicoidales** poseen dientes inclinados respecto al eje de rotación de la rueda. Esto hace que puedan transmitir potencia entre ejes paralelos o que se cruzan en el espacio formando cualquier ángulo. En las figuras a continuación se observa la configuración de ejes paralelos y la configuración de ejes que se cruzan formando 90°.



Un parámetro muy importante para el análisis de esta máquina compuesta, al igual que en el caso de la banda de transmisión, es la razón de transmisión (RT):

$$RT = \frac{(n^\circ \text{ dientes engranaje receptor})}{(n^\circ \text{ dientes engranaje transmisor})} \quad (12)$$

Las expresiones (10) y (11) son también aplicables a los engranajes.

## Problemas de aplicación.

**9º)** Un engranaje de 36 dientes que gira a 750 rpm impulsa un engranaje de 90 dientes; a) ¿Cuál es la razón de transmisión?; b) ¿Cuál es la frecuencia del engranaje receptor?

Soluciones: a) 2.5; b) 300 rpm

**10º)** Un par de engranajes tiene una razón de transmisión de 3.0 y una eficiencia del 98%. El momento de torsión en el engranaje transmisor es de 176.6 N·m. ¿Cuál es el momento de torsión que se produce?

Solución: 519.9 N·m

---

Realizado por: José Alberto Maroto Centeno

*Dpto Física (Universidad de Jaén)*