

# Bloque II: Principios de máquinas

## 1. Conceptos Fundamentales

### A. Trabajo

En términos de la física y suponiendo un movimiento rectilíneo de un objeto al que se le aplica una **fuerza F**, se define como el producto de la fuerza por la **distancia recorrida s**

$$W = F \cdot s$$

En el sistema internacional de unidades (SI)

La fuerza se mide en Newtons (N)

La distancia recorrida en metros (m)

El trabajo se mide en Julios (J)

En el sistema técnico

La fuerza se mide en kilopondio (kp) 1 kp = 9,8 N

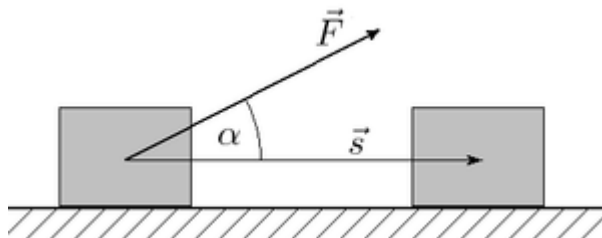
La fuerza también se puede medir en kilogramo-fuerza 1kgf = 1 Kp

La distancia se mide en metros (m)

El trabajo se mide en kilopondímetro (kpm) 1 kpm = 1 Kp·1 m

Una definición más correcta de trabajo es

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$



siendo  $\alpha$  el ángulo que forman el vector fuerza y la dirección del desplazamiento que se realiza...

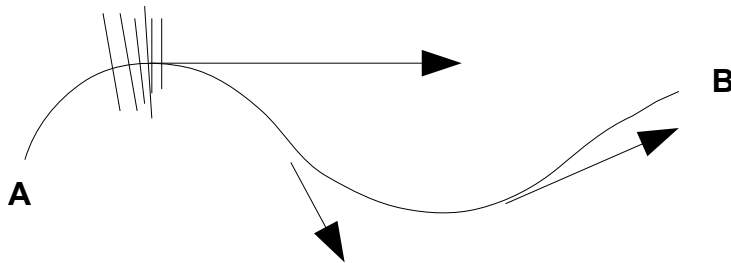
## Trabajo realizado por una fuerza variable

En el caso anterior se consideraron dos aspectos:

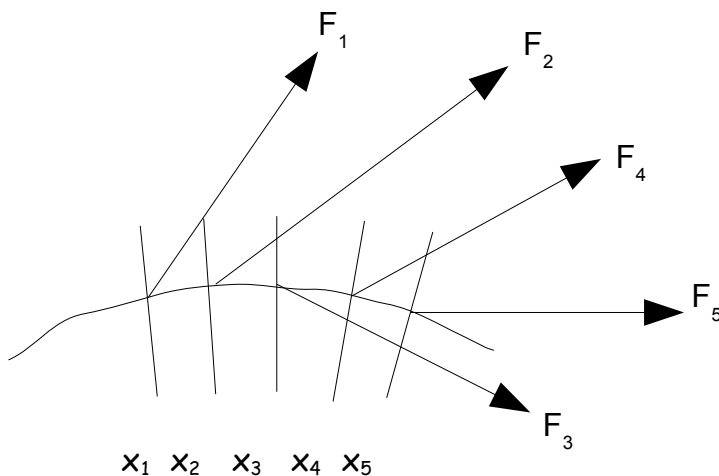
1. Que la fuerza se mantiene constante a lo largo del tiempo
2. Que el desplazamiento se realizaba siempre en la misma dirección y sentido (a constante)

pero, lógicamente, la realidad no es así, el valor de la fuerza y la dirección del móvil varían constantemente.

Supongamos que un móvil se mueve entre dos puntos A y B y que en diferentes puntos del recorrido la fuerza tiene un valor distinto. Dividimos el recorrido en pequeños trozos o intervalos iguales de longitud  $\Delta x$



Ampliamos con una lupa una zona de la trayectoria



Intervalos:  $x_2 - x_1$  en el que actúa la fuerza  $F_1$

$x_3 - x_2$  en el que actúa la fuerza  $F_2$

$x_4 - x_3$  en el que actúa la fuerza  $F_3$

$x_5 - x_4$  en el que actúa la fuerza  $F_4$

...etc

En cada intervalo el trabajo que se realiza es diferente...

En el intervalo 1:  $\Delta x_1 = x_2 - x_1$   $\Delta W_1 = F_1 \cdot \Delta x_1$  trabajo realizado en el intervalo 1

En el intervalo 2:  $\Delta x_2 = x_3 - x_2$   $\Delta W_2 = F_2 \cdot \Delta x_2$  trabajo realizado en el intervalo 2

En el intervalo 3:  $\Delta x_3 = x_4 - x_3$   $\Delta W_3 = F_3 \cdot \Delta x_3$  trabajo realizado en el intervalo 3

... etc

El trabajo realizado al ir desde el punto de partida A hasta el punto de llegada B y que llamaremos  $W_{AB}$  será igual a la suma del trabajo realizado en cada uno de los intervalos.

$$W_{AB} = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_4 + \Delta W_5 + \dots$$

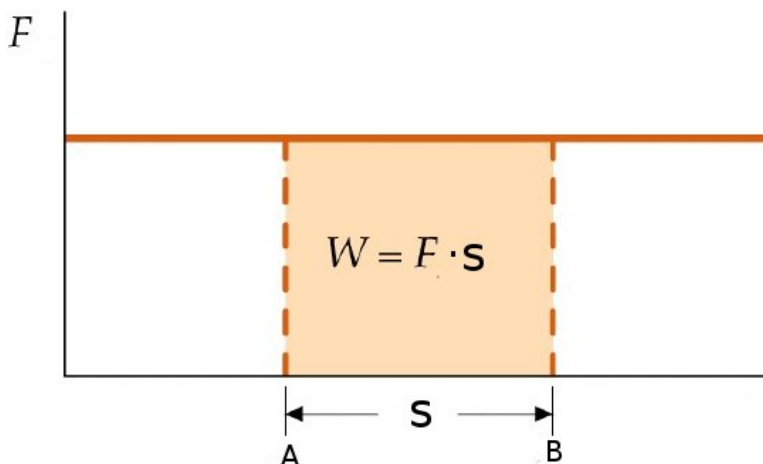
$$W_{AB} = F_1 \cdot \Delta x_1 + F_2 \cdot \Delta x_2 + F_3 \cdot \Delta x_3 + F_4 \cdot \Delta x_4 + F_5 \cdot \Delta x_5 + \dots$$

que se resume en la expresión...

$$W_{AB} = \sum F_i \cdot \Delta x_i$$

donde  $\Sigma$  (sigma) representa a la suma de todos los productos  $F \cdot \Delta x$

### Diagramas para representar el trabajo

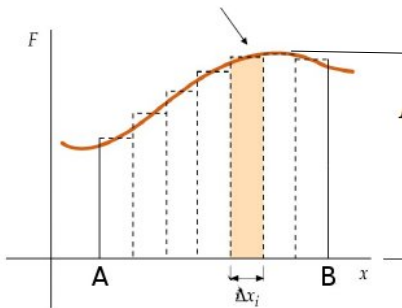


a) Si la fuerza que actúa sobre un cuerpo es constante y la trayectoria del objeto rectilínea. El valor del trabajo es el área del rectángulo determinado.

b) La fuerza es variable y la trayectoria no es recta

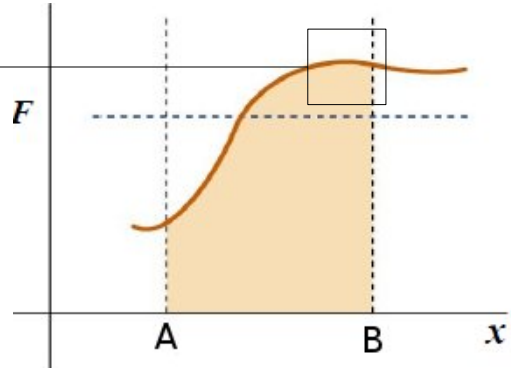
El trabajo es, otra vez, el área que hay bajo la curva hasta el eje de abscisas.

Si ampliásemos con una lupa



El trabajo hecho por la fuerza  $F$  en  $\Delta x_i$  es el área del rectángulo sombreado.

$$\text{"Área"} = \Delta W = F_x \Delta x$$



El trabajo total es el "área bajo la curva".

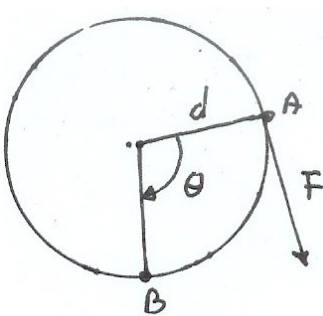
**B. Otras expresiones del trabajo**

Veamos cómo se expresa el trabajo cuando el cuerpo rota (una rueda, polea, engranaje, cigüeñal, etc)

Los conceptos para definir el trabajo cambian, aunque estén relacionados con los anteriores.

En lugar de fuerzas hablamos de momento de fuerzas ( $M$ ) o par-motor.  
En lugar de desplazamiento hablamos de ángulo de giro descrito ( $\theta$ )

$$W = M \cdot \theta$$



El momento de fuerzas se define como el producto de la fuerza aplicada ( $F$ ) al móvil que gira por la distancia desde el eje de giro hasta un punto donde se aplicó ( $d$ ), es decir,  $M = F \cdot d$

y el trabajo realizado por el móvil que ha girado entre los puntos A y B es...

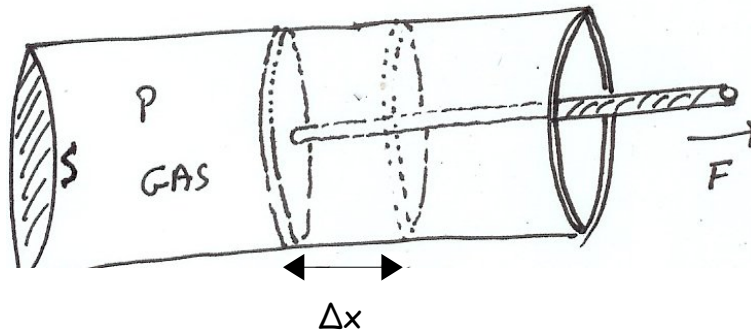
$$W_{AB} = M \cdot \theta$$

El momento de fuerza, en el sistema internacional se mide en Newton·metro (N·m)

El ángulo barrido o descrito ( $\theta$ ) se mide en radianes (rad)

## Trabajo de expansión-compresión en un cilindro

Supongamos un cilindro en cuyo interior se mueve un pistón



La superficie de la base del cilindro es **S** y el pistón sufre un desplazamiento **Δx**. Supongamos que la presión del gas (**P**) interior se mantiene constante, que será

$$P = \frac{F}{S}$$

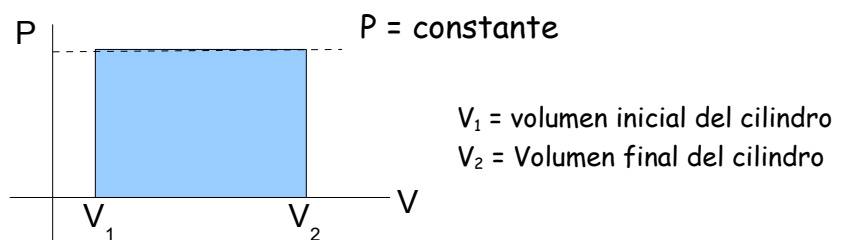
siendo **F** la fuerza de empuje del pistón. Luego **F = P · S**

El trabajo que se realiza es el producto de la fuerza de empuje por el desplazamiento del pistón

$$W = F \cdot \Delta x = P \cdot S \cdot \Delta x = P \cdot \Delta V$$

siendo **V** la variación de volumen que sufre el cilindro.

En un diagrama de trabajo tipo P-V



### C. Potencia

Para elevar una carga de un punto a otro, puedo realizar el proceso en tiempos diferentes aunque el trabajo sea exactamente el mismo. Se define, pues, la potencia como el trabajo total realizado por cada unidad de tiempo, o lo que es lo mismo, la variación en el tiempo del trabajo realizado.

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Unidades de medida en el sistema internacional. El vatio (W)

$$1 \text{ Vatio} = \frac{1 \text{ Julio}}{1 \text{ segundo}}$$

En el sistema técnico se emplea el caballo de vapor (CV)

$$1 \text{ CV} = 735 \text{ W}$$

Múltiplos del vatio      1 kilovatio (kW) = 1000 W

1 Megavatio (MW) = 1000000 W

Otras unidades: Horse Power (HP)    1 HP = 745 W

### Unidades de trabajo: El kilovatio-hora (kWh)

El kilovatio-hora es una unidad de trabajo, no de potencia. Es muy utilizado en el ámbito eléctrico.

Un kWh es el trabajo realizado durante una hora por un sistema que tiene un kilovatio de potencia.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

### Potencia de rotación

En el caso anterior, vimos que la potencia se define como la relación entre el trabajo y el tiempo, por lo tanto, el trabajo es  $W = P \cdot t$

Si hablamos de un móvil que gira, se redefine el concepto de potencia

$$P = M \cdot \omega$$

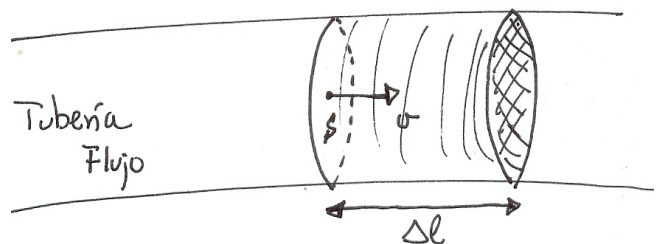
donde

$M$  = momento de fuerzas (en N·m)

$\omega$  = velocidad angular de rotación, que se mide en radianes/segundo (rad/s)

### Potencia de un fluido

Supongamos un fluido que recorre una tubería con un caudal  $Q$  a una presión  $P$ .



Se define el caudal ( $Q$ ) como el volumen de fluido que recorre la tubería por unidad de tiempo.

Es decir 
$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{s \cdot \Delta l}{\Delta t} = S \cdot v \Rightarrow v = \frac{Q}{S}$$

siendo  $\Delta t$  el intervalo de tiempo en que el fluido recorre un espacio  $\Delta l$  y  $v$  es la velocidad del flujo dentro del fluido.  $S$  es la sección del tubo.

La presión del fluido se define como... 
$$p = \frac{F}{S}$$

siendo  $F$  la fuerza de empuje del fluido dentro de la tubería  
Por definición de potencia ( $P$ ), no confundir con presión ( $p$ )

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$
 pero el trabajo se define como  $\Delta W = F \cdot \Delta l$

Sin entrar en detalles, existe una expresión que nos indica cuál es la potencia que tiene un fluido que atraviesa un conducto

$$P = p \cdot Q$$

$P$  = Potencia del fluido (en vatios)

$p$  = presión del fluido (en pascuales)

$Q$  = caudal del fluido en el conducto (en  $m^3/s$ )

es decir, podemos conocer la potencia con que un fluido recorre una tubería conociendo **la presión del fluido** y el **caudal** del mismo, pues el producto de ambos es la potencia.

## Potencia eléctrica

Recordamos dos conceptos fundamentales

–La intensidad de corriente eléctrica ( $I$ ) como la cantidad de carga eléctrica que circula por un circuito en cada unidad de tiempo

$$I = \frac{q}{t}$$

se mide en Amperios (A)

–Definición de potencial eléctrico. Es el trabajo necesario para poder desplazar una carga eléctrica  $q$  entre dos puntos.

$$\Delta u = \frac{\Delta W}{q}$$

A partir de estas dos expresiones y de la definición de potencia (sin entrar en detalles), se puede alcanzar la expresión:

$$P = I \cdot \Delta u$$

Es decir, la potencia eléctrica que consume un elemento de un circuito es el producto de la intensidad de corriente que atraviesa el elemento por la diferencia de potencial que existe

## D. Conservación de la energía

Definimos energía cinética como la energía que posee un objeto por el mero hecho de encontrarse en movimiento. Depende de la masa del objeto y de la velocidad a la que se encuentre.

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

NOTA: Un objeto que se mueve a la velocidad  $v_o$  y varía su velocidad hasta  $v_f$  sufre algún tipo de fuerza que permitió tal cambio, ello implica, necesariamente un cambio de energía cinética que sólo se dará si sobre dicho objeto se realizó un trabajo.

$$\Delta W = (E_c)_{\text{final}} - (E_c)_{\text{inicial}}$$

Conclusión: El trabajo efectuado por una fuerza resultante aplicada a un cuerpo se traduce en una variación de energía cinética.

Def: Energía potencial. Este tipo de energía está asociado a la posición o configuración del sistema. Se asocia a la capacidad del cuerpo para producir trabajo.

Un tipo particular es la energía potencial gravitatoria, que posee un cuerpo por encontrarse a cierta altura de la superficie terrestre.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

siendo  $h$ , la altura a la que se encuentra el cuerpo de masa  $m$

Por experiencia, un cuerpo que cae gana energía cinética, pero pierde energía potencial, de hecho, lo que sucede es que la energía potencial que se va perdiendo se transforma en energía cinética. Se concluye que:

- la suma de la energía potencial y cinética de un cuerpo se conservan, definiendo la energía mecánica como la suma de ambas:

$$E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = \text{constante (no varía)}$$

aunque esto ocurre en un sistema ideal, en el que no hay pérdidas de energía por rozamiento o calor.



NOTA: la cantidad de energía total de un sistema asilado permanece constante, aunque se puede transformar de unas clases en otras.

## E. Rendimiento de una máquina

La energía se puede transformar de un tipo en otro,, pero en realidad nunca se puede transformar la energía disponible totalmente en trabajo útil que podamos aprovechar, ya que existen otras acciones durante la transformación que provoca una disipación de energía no aprovechable. Tal es el caso del rozamiento o fricción.

Trabajos como los que provocan las fuerzas de rozamiento hay varios y provocan, precisamente que no toda la energía disponible se transforme en trabajo útil aprovechable.

Además del rozamiento, tenemos el trabajo debido a la viscosidad de los fluidos, o la poca rigidez de los cables utilizados para elevar cargas, ...

Estos trabajos no deseados se denominan pasivos o resistentes y se consideran pérdidas de energía.

Definimos:

Trabajo motor: El trabajo que produce la máquina si no existiese ningún tipo de pérdidas debido a trabajo pasivos. También se puede definir como el trabajo que produce la máquina si se aprovechara toda la energía disponible.

Trabajo útil: El trabajo que realmente produce la máquina y se consiguió aprovechar en la práctica.

Trabajo pasivo o resistente: El trabajo que se pierde, normalmente en forma de calor.

Podemos afirmar que

$$W_m = W_u + W_r$$

siendo

$W_m ==>$  trabajo motor

$W_u ==>$  trabajo útil

$W_r ==>$  trabajo pasivo o resistente

Para cuantificar el aprovechamiento que la máquina hace, se define rendimiento ( $\eta$ ) como la relación entre el trabajo útil y el trabajo motor.

$$\eta = \frac{W_u}{W_m} = \frac{W_m - W_r}{W_m} = 1 - \frac{W_r}{W_m}$$

se observa que el rendimiento es una magnitud adimensional menor que la unidad.

$$\eta < 1$$

también se puede expresar en función de la potencia

$$\eta = \frac{P_u}{P_m} = \frac{P_m - P_r}{P_m} = 1 - \frac{P_r}{P_m}$$

En tal caso, los conceptos anteriores se traducen como:

Potencia absorbida: Es la potencia que tendría la máquina si no existiese ningún tipo de pérdidas debido a trabajos pasivos.

Potencia útil: Es la potencia real que desarrolla la máquina y el ser humano aprovecha.

Potencia pasiva, perdida o resistente: Es la potencia que se pierde y se desaprovecha.

Si disponemos de varias máquinas dispuestas consecutivamente, con distintos rendimientos, el rendimiento total del conjunto será el producto de cada una de las máquinas

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \dots$$