

PRINCIPIOS DE MÁQUINAS Y MOTORES DE C.C. Y C.A.

En la industria se utilizan diversidad de máquinas con la finalidad de transformar o adaptar una energía, no obstante, todas ellas cumplen los siguientes principios físicos.

MOMENTO (M)

Representa el producto vectorial de una fuerza por una distancia.

$$M = F \cdot d$$

Magnitudes y unidad

M = Momento en Newton metro ($\text{N}\cdot\text{m}$)

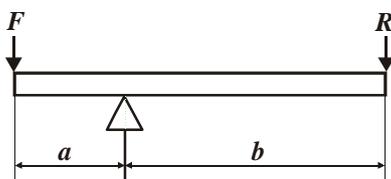
F = Fuerza en Newton (N)

d = Distancia o radio de giro de aplicación de la fuerza en metros (m)

La palanca

Tal vez fue el primer operador que usó el hombre, ya que constituye uno de los operadores mecánicos más simples y eficaces. Consta de dos elementos, una barra o elemento motor y un punto de apoyo que divide a la barra en dos partes, el *brazo motor*, que es la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza al punto de apoyo, y el *brazo resistente*, que es la distancia desde la resistencia al punto de apoyo. Se distinguen tres tipos de palancas según se distribuyan el punto de apoyo, la fuerza y la resistencia.

$$F \cdot a = R \cdot b$$



F = Fuerza aplicada en Newton (N)

R = Resistencia a vencer en Newton (N)

a = Brazo motor en metros (m)

b = Brazo resistente en metros (m)

Rendimiento de una palanca (η)

Es la relación entre la fuerza vencida R y la aplicada F .

$$\eta = \frac{R}{F}$$

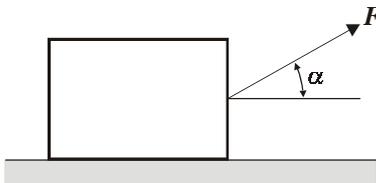
TRABAJO (W)

Desde el punto de vista filosófico, trabajo es todo aquello que supone realizar un esfuerzo tanto muscular como intelectual. No obstante, para la física, es la relación entre la fuerza que se aplica a un cuerpo y el espacio que este recorre.

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

Magnitudes y unidad

Según el S.I. la unidad de trabajo a utilizar es el Julio (J)



W = Trabajo en Julios (J)

F = Fuerza en Newton (N)

l = Espacio recorrido en metros (m)

α = Ángulo formado entre la fuerza y el desplazamiento realizado.

NOTA: El momento no se puede confundir con el trabajo, ya que el momento es un producto vectorial y el trabajo es un producto escalar.

TRABAJO DE ROTACIÓN

En este caso la fuerza es perpendicular al brazo motor, provocando un giro o desplazamiento angular.

$$W = M \cdot \theta$$

Magnitudes y unidad

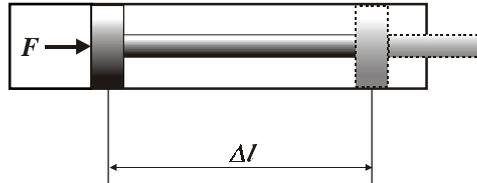
W = Trabajo en Julios (J)

M = Momento en Newton por metro ($N \cdot m$)

θ = Ángulo girado en radianes (rad)

Trabajo de expansión – compresión

Consideremos un cilindro con un gas, dotado de un émbolo que puede comprimir o expandir al gas



el vector fuerza tendrá como dirección y sentido el mismo que el del desplazamiento del émbolo, cumpliéndose en todo momento:

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A$$

El trabajo realizado será:

$$W = F \cdot \Delta l = p \cdot A \cdot \Delta l = p \cdot \Delta V$$

Magnitudes y unidad

W = Trabajo en Julios (**J**)

p = Presión en Pascales (**Pa**): $1\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$

A = Sección del émbolo en metros cuadrados (**m²**)

F = Fuerza en Newton (**N**)

Δl = Desplazamiento del émbolo (**m**)

ΔV = Incremento de volumen del cilindro en metros cúbicos (**m³**)

POTENCIA (P)

Representa la variación del trabajo realizado con el tiempo:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta l}{\Delta t} = F \cdot v$$

Magnitudes y unidad

P = Potencia en vatios (**W**)

W = Trabajo en Julios (**J**)

F = Fuerza en Newton (**N**)

Δt = Tiempo transcurrido en segundos (**s**)

Δl = Desplazamiento producido en metros (**m**)

v = Velocidad de desplazamiento en metros segundo (**m/s**)

Aunque el sistema internacional de pesas y medidas lo desaconseja, aún se utiliza el Caballo de Vapor (CV) como unidad de potencia en determinadas máquinas.

$$1 \text{ CV} = 735,49875 \text{ W}$$

En el sistema técnico, ya en desuso, $1 \text{ CV} = 75 \text{ Kpm/s}$

Potencia de rotación

Procediendo de igual manera a los casos anteriores tenemos:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{M \cdot \Delta \theta}{\Delta t} = M \cdot \omega$$

Magnitudes y unidad

P = Potencia en vatios (W)

M = Momento en Newton metro (N·m)

Δt = Tiempo transcurrido en segundos (s)

ΔW = Trabajo realizado en Julios (J)

$\Delta \theta$ = Ángulo girado en radianes (rad)

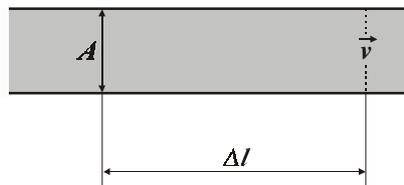
ω = Velocidad angular en radianes por segundo (rad/s)

Normalmente la velocidad de giro de un motor n se expresa en revoluciones por minuto (r.p.m.) quedando:

$$\omega = \frac{n \cdot 2 \cdot \pi \text{ rad}}{60 \text{ s/min}} = \frac{n}{9,55} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \Rightarrow P = \frac{M \cdot n}{9,55} \text{ (W)}$$

Potencia hidráulica

Supongamos una tubería de sección A por la que circula un fluido a una presión p y caudal Q , se cumplirá:



$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \Delta l}{\Delta t} = A \cdot v \Rightarrow v = \frac{Q}{A}$$

Tal y como ya hemos visto en mecánica se cumple que:

$$P = F \cdot v = F \cdot \frac{Q}{A} = p \cdot Q$$

Magnitudes y unidades

V = Volumen de fluido desplazada en metros cúbicos (m^3)

v = Velocidad de desplazamiento del fluido en metros por segundo (m/s)

P = Potencia en vatios (W)

p = Presión del fluido en pascales (Pa)

Q = Caudal en metros cúbicos por segundo (m^3/s)

A = Sección del tubo en metros cuadrados (m^2)

t = Tiempo en segundos (s)

l = Desplazamiento del fluido en metros (m)

Potencia eléctrica

Para entender la potencia eléctrica es necesario definir dos magnitudes eléctricas como son:

Tensión: representa el trabajo necesario para mover la unidad de carga eléctrica entre dos puntos de un campo eléctrico.

$$\Delta U = \frac{W}{q} \left(\frac{\text{J}}{\text{C}} \right)$$

Intensidad: representa las cargas eléctricas que circulan por unidad de tiempo, es decir, indica el número de electrones que circulan por un conductor por unidad de tiempo.

$$I = \frac{q}{t} \left(\frac{\text{C}}{\text{s}} = \text{A} \right)$$

La potencia queda definida como el producto de la tensión por la intensidad.

$$P = U \cdot I$$

Magnitudes y unidades

U = Tensión eléctrica en voltios (V)

W = Trabajo en julios (J)

q = Carga eléctrica en culombios (C)

I = Intensidad eléctrica en amperios (A)

P = Potencia en vatios (W)

NOTA: Un culombio equivale a la carga eléctrica de $6,3 \cdot 10^{18} \text{ e}^-$ (electrones)

ENERGÍA

Se define la energía como la capacidad de producir trabajo.

Principio de conservación de la energía: también conocido como el *primer principio de la termodinámica*

La energía ni se crea ni se destruye, únicamente se transforma.

Principio de degradación de la energía: también conocido como *segundo principio de la energía*

Siempre que tengamos una transformación de energía, parte de ésta se transforma en energía inútil que el sistema no es capaz de aprovechar.

Energía cinética

Es la energía que posee un cuerpo que se traslada. Si aplicamos una fuerza constante sobre un cuerpo de masa m de tal manera que le produce una aceleración constante tenemos:

$$a = \frac{v - v_o}{t} \quad l = \frac{v + v_o}{2} \cdot t$$

Primera ley de Newton: $F = m \cdot a$

Trabajo realizado: $W = F \cdot l = m \cdot a \cdot l = m \cdot \frac{v - v_o}{t} \cdot \frac{v + v_o}{2} \cdot t \Rightarrow W = \frac{1}{2} \cdot m(v^2 - v_o^2)$

Para un movimiento rectilíneo, la ecuación

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

se conoce como energía cinética de un cuerpo.

Magnitudes y unidades

a = aceleración en metros por segundo cuadrada (**m/s²**)

t = tiempo en segundos (**s**)

v = velocidad final en metros por segundo (**m/s**)

v_o = velocidad inicial en metros por segundo (**m/s**)

l = espacio recorrido por el cuerpo en metros (**m**)

m = masa del cuerpo desplazado en kilogramos (**kg**)

F = fuerza en Newton (**N**)

E_c = energía cinética en Julios (**J**)

Energía potencial

Es debida a la posición que tiene un cuerpo respecto a un plano de referencia y a la acción de la gravedad:

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

Magnitudes y unidades

E_p = Energía potencial en Julios (**J**)

m = Masa del cuerpo en kilogramos (**kg**)

g = Gravedad **9,8 m/s²**

h = Altura del cuerpo al plano de referencia en metros (**m**)

RENDIMIENTO MECÁNICO

Según el *principio de degradación de la energía*, no toda la energía que se aplica a un sistema se transforma en trabajo útil. Hay pérdidas fundamentalmente por rozamiento que transforman la energía en calor que se cederá al ambiente o al fluido lubricante.

Fuerza de rozamiento

Se opone al movimiento del cuerpo: $F_r = N \cdot \mu$

Magnitudes y unidades

F_r = Fuerza de rozamiento en Newton (**N**)

N = Fuerza normal al cuerpo en Newton (**N**)

μ = Coeficiente de rozamiento, sin unidades

El coeficiente de rozamiento estático es mayor que el coeficiente de rozamiento dinámico.

Trabajos pasivos

Son trabajos o energías perdidas fundamentalmente en la deformación de cuerpos como cuerdas, correas, cadenas, etc.

Rendimiento

Es el cociente entre el trabajo útil y el trabajo necesario para que la máquina funcione.

$$W_n = W_u + W_r \Rightarrow \eta = \frac{W_u}{W_n} = \frac{W_n - W_r}{W_n} = 1 - \frac{W_r}{W_n}$$

$$\eta = 1 - \frac{W_r}{W_n}$$

Magnitudes y unidades W_n = Trabajo necesario en Julios (J) W_u = Trabajo útil en Julios (J) W_r = Trabajo de rozamiento en Julios (J) η = Rendimiento, sin unidades

El rendimiento también puede expresarse en función de las diferentes potencias.

En el caso de tener diversos sistemas encadenados con diferente rendimientos, el rendimiento total será:

$$\eta_T = \prod_{i=1}^{i=n} \eta_i$$

MOTORES ELÉCTRICOS

Estas máquinas se han hecho imprescindibles tanto en la industria como en nuestros hogares debido a:

- Facilidad de gobierno y regulación del régimen de giro.
- Reducido tamaño.
- No contaminan.
- Bajo coste.
- Amplia gama de potencias, desde algunos vatios a cientos de kw.
- Facilidad de disponibilidad de la energía eléctrica.

Conceptos

Electricidad: circulación de electrones por un conductor.

Tensión: diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

Tensión continua: es aquella que mantiene constante su nivel y sentido.

Tensión alterna: es aquella que varía tanto su nivel como su signo con el tiempo.

Intensidad: cantidad de electrones por unidad de tiempo.

Resistencia eléctrica: dificultad que opone un material a ser recorrido por una corriente eléctrica.

Campo magnético: es toda región del espacio donde se manifiestan fenómenos de carácter magnético.

Principio de inducción electromagnética

Establece que, en todo conductor eléctrico que se mueve dentro de un campo magnético cortando las líneas de fuerza se induce en él una fuerza electromotriz E (f.e.m) que depende de la inducción magnética, longitud del conductor y de la velocidad de desplazamiento del conductor.

$$E = B \cdot l \cdot v$$

Magnitudes y unidades

E = f.e.m. en voltios (V)

B = Inducción en Teslas (T)

l = Longitud del conductor (m)

v = Velocidad de desplazamiento (m/s)

Esta f.e.m. inducida está presente tanto si la máquina funciona como motor o generador, pero en el caso de los motores recibe el nombre de fuerza contraelectromotriz (E')

Fuerza electromagnética

Todo conductor recorrido por una corriente y bajo la acción de un campo magnético se ve sometido a una fuerza magnética de repulsión o atracción cuyo valor está dado por:

$$F = B \cdot l \cdot I \cdot \text{sen } \alpha$$

Magnitudes y unidades

F = Fuerza en Newton (N)

B = Inducción en Testas (T)

l = Longitud del conductor (m)

I = Intensidad eléctrica que recorre el conductor (A)

α = Ángulo formado entre el conductor y la dirección del campo magnético.

Par electromagnético (M_i): si tenemos un conductor en un rotor de radio r , indica el par que experimenta cuando recibe una fuerza electromagnética que lo impulsa a girar.

$$M_i = F \cdot r$$

Potencia electromagnética (P_i): si el conductor anterior gira a una velocidad angular ω .

$$P_i = M_i \cdot \omega \quad (\text{W})$$

Estator: también denominado inductor porque crea el campo magnético de la máquina eléctrica, representa la parte fija del motor.

Rotor: también denominado rotor porque se crea en él E' , constituye la parte giratoria del motor eléctrico.

Entrehierro: distancia entre el estator y el rotor.

Motor síncrono: máquina de corriente alterna que gira a igual velocidad que el campo magnético respondiendo a la siguiente fórmula.

$$n = \frac{60 \cdot f}{P}$$

n = Revoluciones del motor en **r.p.m.**

f = Frecuencia de la red eléctrica en **Hz = s⁻¹**.

P = pares de polos de la máquina.

Motor asíncrono: Máquina eléctrica cuya velocidad angular es menor que la del campo magnético.

Pares de polos: Representan el número de campos magnéticos (Norte–Sur) que tiene el motor.

Devanado: hilo de cobre arrollado que forma parte de las máquinas eléctricas. Lo podemos encontrar tanto en el estator como en el rotor.

Histéresis: representa la inercia que tienen los materiales ferromagnéticos a seguir imantados una vez que desaparece el efecto que provocó la imantación.

Corrientes de Foucault: son corrientes eléctricas inducidas en materiales magnéticos como consecuencia de la variación del flujo magnético. Producen pérdidas en las máquinas eléctricas, se reducen construyendo el rotor y el estator de la máquina con chapas en lugar de bloques macizos.

Cojinetes: son operadores mecánicos que presentan poco rozamiento y en ellos se apoyan los ejes de las máquinas.

Escobillas: piezas de grafito destinadas a mantener el contacto eléctrico por fricción entre el rotor, el estator o la línea eléctrica.

Colector: dispositivo de las máquinas eléctricas al que van a parar los conductores del rotor. Se divide en partes aisladas unas de otras a las que se llama delgas. Sobre los colectores se apoyan las escobillas.

Pérdidas en las máquinas eléctricas

No toda la energía eléctrica que absorbe el motor es transformada en energía mecánica; se producen las siguientes pérdidas:

Pérdidas en el Hierro (P_h): en todas las partes ferromagnéticas de la máquina se producen pérdidas por histéresis y Foucault que se traducen en un calentamiento del motor.

Pérdidas en los conductores (P_{cu}): corresponden a las pérdidas por efecto Joule en todos los devanados de la máquina y se cuantifica por:

$$P_{cu} = R \cdot I^2$$

Magnitudes y unidades

P_{cu} = Potencia en los conductores en vatios (W)

R = Resistencia eléctrica del conductor en ohmios (Ω)

I = Intensidad en amperios (A)

Pérdidas mecánicas (P_m): son debidas al giro del rotor; corresponden a las pérdidas por ventilación forzada, al roce del rotor con el aire y al roce en los cojinetes y en las escobillas.

Rendimiento

Se establece por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia absorbida}} = \frac{P_u}{P_{ab}} < 1$$

Deslizamiento en un motor trifásico de inducción

Deslizamiento absoluto d_a

Siendo n la velocidad del campo magnético o velocidad de sincronismo y n_1 la velocidad del rotor o del eje, el deslizamiento absoluto viene dado por la siguiente expresión

$$d_a = n - n_1$$

Deslizamiento relativo S

La expresión que nos indica el deslizamiento relativo es

$$S(\%) = \frac{n - n_1}{n} \cdot 100$$

Potencia en sistemas trifásicos equilibrados**Potencia activa P**

Denominando U_L la tensión de línea, I_L la intensidad de línea y $\cos \varphi$ al factor de potencia, la potencia activa viene dada por la expresión

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Potencia reactiva Q

Viene dada por la expresión

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

Potencia aparente S

Viene dada por la expresión

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

En sistemas trifásicos conectados en triángulo, las equivalencias entre tensiones e intensidades de fase

$$U_F = U_L$$

$$I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

En sistemas trifásicos conectados en estrella, las equivalencias entre tensiones e intensidades de fase

$$I_F = I_L$$

$$U_F = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

donde U_F e I_F son la tensión e intensidad de fase respectivamente.

Fuerza contraelectromotriz E' en un motor de C.C.

Viene dada por la expresión

$$E' = U - R_i \cdot I$$

donde U es la tensión aplicada al motor, R_i la resistencia del inducido e I la corriente inducida.

En la expresión anterior se ha despreciado la caída de tensión en las escobillas.