



## TEMA 10: MÁQUINAS ELÉCTRICAS. MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

### 1.- Clasificación de las máquinas eléctricas

Se denomina **máquina eléctrica** a todo dispositivo capaz de generar, transformar o aprovechar la energía eléctrica.

Según esto podemos clasificar las máquinas eléctricas en tres grandes grupos. **Generadores, transformadores y motores.**

- ▶ **Generadores:** son máquinas eléctricas capaces de generar energía eléctrica a partir de energía mecánica.

Los generadores de corriente continua, son los **dinamos**.

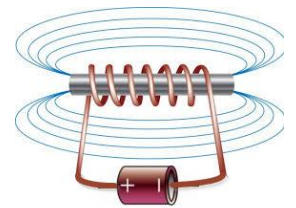
Los generadores de corriente alterna, son los **alternadores** y se encuentran en las centrales eléctricas.

- ▶ **Transformadores:** son máquinas eléctricas que transforman la corriente eléctrica que reciben en corriente eléctrica de diferentes características (voltaje, intensidad).
- ▶ **Motores:** son máquinas eléctricas que aprovechan la energía eléctrica que reciben y la transforman en energía mecánica. Se clasifican según la corriente de funcionamiento en:
  - **Motores de corriente continua**
  - **Motores de corriente alterna: monofásicos y trifásicos**
  - **Motores universales:** funcionan con cualquier tipo de corriente (CC ó CA monofásica).

### 2.- Fundamentos magnéticos y eléctricos:

- ▶ **Electroimán:** un núcleo de hierro o acero puede adquirir propiedades magnéticas (imantarse) cuando lo rodeamos por una bobina por la que hacemos circular una corriente eléctrica.

Se crea un campo magnético.



- ▶ **Fuerza electromagnética:** cualquier conductor recorrido por una corriente y que se encuentre bajo la acción de un campo magnético, se ve sometido a una fuerza electromagnética que es perpendicular al campo magnético y a la corriente que circula por él.

El motor (rotor) lleva varios conductores repartidos circularmente por su periferia. La fuerza electromagnética será capaz de desarrollar un **par motor** o momento de giro, y hacer girar un eje.

- ▶ **Fuerza electromotriz:** cuando un conductor se mueve en un campo magnético cortando las líneas de fuerza del campo, se genera una diferencia de potencial o tensión en sus extremos, es decir, se crea una fuerza electromotriz inducida  $E$  (fem).

En los motores esta fem que se produce, se opone a la causa que la genera y por eso se le llama **fuerza contraelectromotriz  $E'$** . Esta fuerza es la diferencia de potencial que tiene lugar en el inducido del motor (rotor). Será la que nos proporcione la potencia útil.

- ▶ **Potencia:** La potencia absorbida será:  $P_{ab} = U \cdot I$

$$\text{La potencia útil será: } P_u = E' \cdot I = C \cdot n$$

### 3.- Constitución y clasificación de los motores

- ▶ **Desde el punto de vista mecánico:**

- **Estator:** parte fija
  - **Rotor:** parte giratoria
- } | Son electroimanes: núcleos arrollados por devanados o bobinados
- **Entrehierro:** espacio de aire entre el estator y el rotor.



► Desde el punto de vista electromagnético:

- **Dos circuitos magnéticos** (inductor e inducido)
- **Dos circuitos eléctricos** (inductor e inducido)

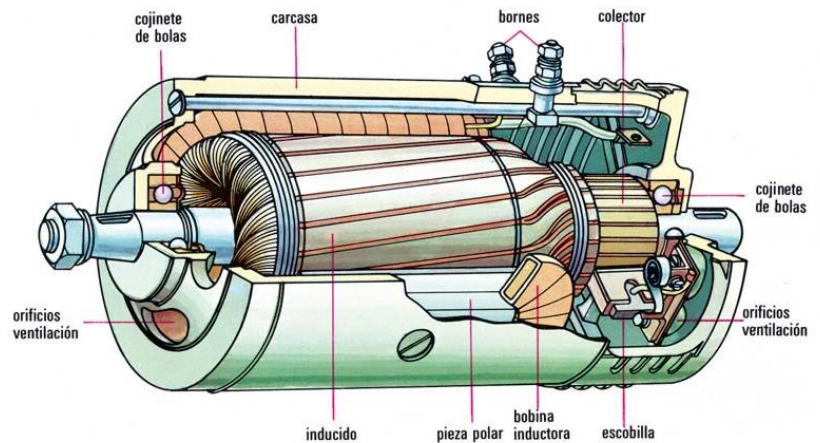
► Desde el punto de vista del funcionamiento:

- **Arranque:** puesta en marcha
- **Aceleración:** espacio entre la puesta en marcha y hasta alcanzar la velocidad de funcionamiento.
- **Marcha en régimen:** velocidad de funcionamiento o nominal.

#### 4.- Motores de cc

Su constitución y funcionamiento se basa en la creación de una **fuerza electromagnética F** y una **fuerza electromotriz E'**.

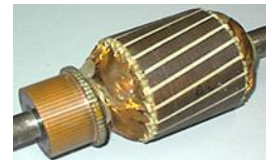
Están compuestos por un **inductor** y un **inducido**, alojados en el estator y rotor, respectivamente.



- **Inductor: (o excitado)**, su misión es crear el campo magnético y se encuentra alojado en el estator. Está formado por unas bobinas (hilo de cobre) alrededor de los polos de un electroimán. Los polos van sujetos a la carcasa. También puede estar constituido por imanes permanentes. El número de bobinas depende del tipo de motor

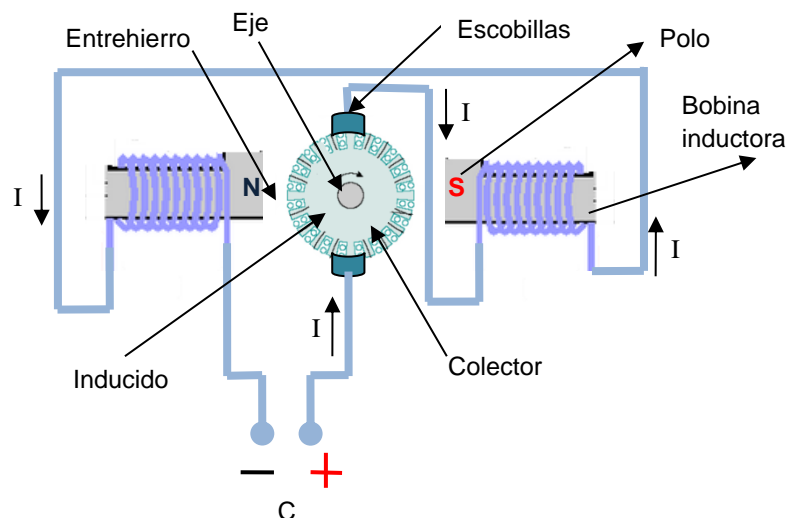


- **Inducido:** alojado en el rotor. Consta de unas bobinas que van arrolladas sobre las ranuras de un núcleo de hierro. Los extremos de las bobinas se sueldan a una serie de láminas de cobre, llamadas **delgas**, que forman el **colector**. El conjunto se monta sobre un eje. Además, el motor dispone de **escobillas** (tacos de grafito), montadas sobre **portaescobillas**. Estos dispositivos están en contacto permanente con el colector y suministran la corriente eléctrica a las bobinas inducidas.



► **FUNCIONAMIENTO**

Vamos a tomar como ejemplo un motor de corriente continua, con el inductor y el inducido colocados en **serie**.





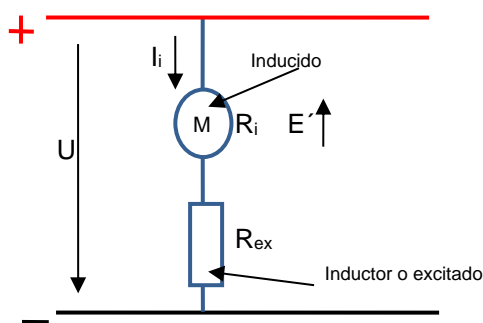
Al conectar el motor a la fuente de alimentación, la corriente eléctrica circula por las bobinas inductoras generando un electroimán y un campo magnético.

Esta corriente también circula por las bobinas inducidas a través de las escobillas y colector, generando también un electroimán y un campo magnético.

La interacción de los campos magnéticos provoca fuerzas que actúan sobre las bobinas inducidas, las obligan a girar y con ellas girará todo el rotor.



**Representación esquemática:**



**Fórmulas**

Aplicando la ley de Ohm:

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

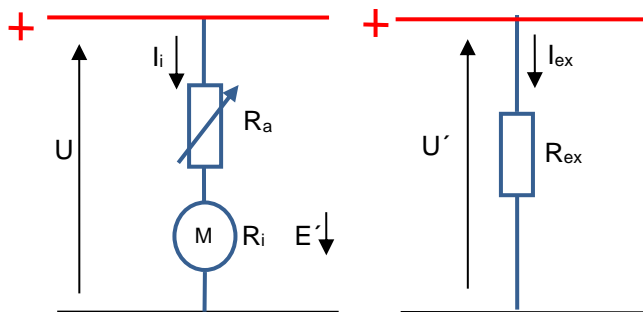
$$U - E' = (R_i + R_{ex}) \cdot I_i$$

$U$  = tensión en bornes del motor (V)  
 $E'$  = fuerza contraelectromotriz (V)  
 $R_i$  = resistencia del inducido ( $\Omega$ )  
 $R_{ex}$  = resistencia del inductor ( $\Omega$ )  
 $I_i$  = intensidad (A)

**▶ TIPOS DE MOTORES DE CC:**

Se clasifican según la forma de conectar las bobinas del inductor y del inducido entre sí.

- Motor de excitación independiente
- Motor de excitación derivación o shunt
- Motor de excitación en serie
- Motor de iman permanente



conectan a fuentes externas independientes.

En el arranque la velocidad inicial es cero y por consiguiente, al no girar el rotor, la fuerza contraelectromotriz  $E' = 0$ . Esto supone que la intensidad en el momento de arranque pueda alcanzar valores muy altos. Para disminuir esta intensidad inicial, se coloca una resistencia variable o reóstato  $R_a$  que varía con la velocidad (aumenta su valor cuando la velocidad es muy pequeña, y va desapareciendo al aumentar la velocidad del motor)

**Fórmulas**

- **A velocidad de regimen o velocidad de funcionamiento nominal**

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

$$U' = R_{ex} \cdot I_{ex}$$

- **En el arranque:  $E' = 0$**

$$U = (R_a + R_i) \cdot I_{ia}$$

$U$  = tensión en bornes del motor (V)

$E'$  = fuerza contraelectromotriz (V)

$R_i$  = resistencia del inducido ( $\Omega$ )

$R_{ex}$  = resistencia del inductor ( $\Omega$ )

$R_a$  = reóstato de arranque ( $\Omega$ )

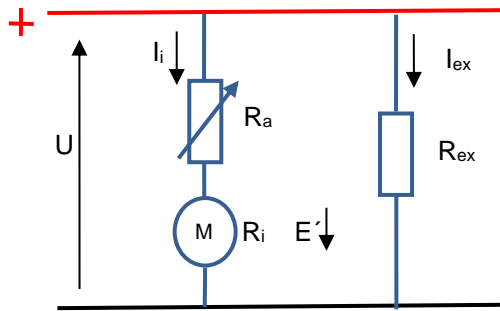
$I_i$  = intensidad del inducido (A)

$I_{ex}$  = intensidad del inductor (A)

$I_{ia}$  = intensidad de arranque (A)

**Motor de excitación derivación o shunt**

Las bobinas del inductor y del inducido se conectan en paralelo.



El esquema es prácticamente igual al motor de excitación independiente, pero ambos devanados están conectados a la misma fuente de alimentación.

**Fórmulas**

- **A velocidad de regimen o velocidad de funcionamiento nominal**

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

$$U = R_{ex} \cdot I_{ex}$$

$$I = I_i + I_{ex}$$

- **En el arranque:  $E' = 0$**

$$U = (R_a + R_i) \cdot I_{ia}$$

$U$  = tensión en bornes del motor (V)

$E'$  = fuerza contraelectromotriz (V)

$R_i$  = resistencia del inducido ( $\Omega$ )

$R_{ex}$  = resistencia del inductor ( $\Omega$ )

$R_a$  = reóstato de arranque ( $\Omega$ )

$I_i$  = intensidad del inducido (A)

$I_{ex}$  = intensidad del inductor (A)

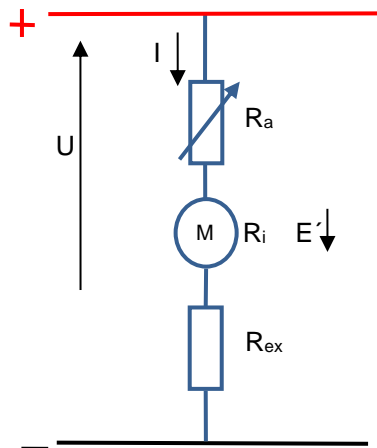
$I$  = intensidad que el motor absorbe de la red (A)

$I_{ia}$  = intensidad de arranque (A)



### Motor de excitación en serie

Las bobinas del inductor y del inducido se conectan en serie.



#### Fórmulas

- A velocidad de régimen o velocidad de funcionamiento nominal

$$U - E' = (R_i + R_{ex}) \cdot I$$

$$I = I_i = I_{ex}$$

- En el arranque:  $E' = 0$

$$U = (R_a + R_i + R_{ex}) \cdot I_{ia}$$

$U$  = tensión en bornes del motor (V)

$E'$  = fuerza contraelectromotriz (V)

$R_i$  = resistencia del inducido ( $\Omega$ )

$R_{ex}$  = resistencia del inductor ( $\Omega$ )

$R_a$  = reóstato de arranque ( $\Omega$ )

$I_i$  = intensidad del inducido (A)

$I_{ex}$  = intensidad del inductor (A)

$I$  = intensidad que el motor absorbe de la red (A)

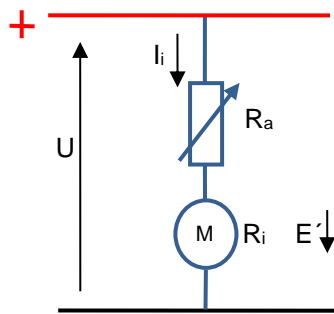
$I_{ia}$  = intensidad de arranque (A)

### Motor de imán permanente

Son motores en los que el bobinado inductor está compuesto por imanes permanentes. El rotor y su bobinado es como el de cualquier motor de cc

Son motores que proporcionan poco par motor.

Se suelen utilizar en robótica, domótica y servomotores



#### Fórmulas

- A velocidad de régimen o velocidad de funcionamiento nominal

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

- En el arranque:  $E' = 0$

$$U = (R_a + R_i) \cdot I_{ia}$$

$U$  = tensión en bornes del motor (V)

$E'$  = fuerza contraelectromotriz (V)

$R_i$  = resistencia del inducido ( $\Omega$ )

$R_{ex}$  = resistencia del inductor ( $\Omega$ )

$R_a$  = reóstato de arranque ( $\Omega$ )

$I_i$  = intensidad del inducido (A)

$I_{ex}$  = intensidad del inductor (A)

$I_{ia}$  = intensidad de arranque (A)



## ► POTENCIA Y PÉRDIDAS DE POTENCIA

### ■ Potencia absorbida:

La potencia absorbida de la red es :  $P_{ab} = U \cdot I$

### ■ Potencia útil:

La potencia útil del eje del motor es :  $P_u = E' \cdot I$

$$P = P_{ab} - \text{pérdidas} = P_{Cui} - P_{Cuex} - P_{Fe} - P_m$$

### ■ Pérdidas de potencia:

- **Pérdidas en el cobre del devanado inducido y del devanado inductor:** son pérdidas debidas al calentamiento o efecto Joule

$$P_{Cui} = R_i \cdot I_i^2$$

$$P_{Cuex} = R_{ex} \cdot I_{ex}^2$$

- **Pérdidas en el hierro:** son pérdidas debidas a la histéresis magnética. Se suelen despreciar en los cálculos.

$$P_{Fe}$$

- **Pérdidas mecánicas:** son pérdidas debidas al rozamiento en los puntos de unión de las partes móviles de la máquina. Se suelen despreciar en los cálculos.

$$P_m$$

## ► RENDIMIENTO:

Parte de la energía que se aporta al motor se pierde.

$$\eta = P_{\text{útil}} / P_{\text{absorbida}}$$

## ► INVERSIÓN DEL SENTIDO DE GIRO:

Para invertir el sentido de giro de los motores de CC, hay que cambiar las conexiones del inducido con respecto al inductor. Esto es así, porque el sentido del par motor depende del campo magnético y del sentido de la corriente en los conductores.

Si la inversión se realiza con el motor en marcha, es obligado cambiar las conexiones del inducido y no las del inductor, pues de lo contrario el motor se quedaría sin excitación.

## ► APLICACIONES

El motor de continua tiene un elevado par de arranque y su velocidad se regula fácilmente por medios eléctricos o electrónicos, porque para ello es necesario solamente regular la tensión o la corriente.

Pero es poco robusto y se desgasta con facilidad. No es adecuado frente a ambientes hostiles (humedad, polvo, gases inflamables).

Ejemplos:

- Motor que hace girar el CD del ordenador
- Motor de trenes y tranvías
- Motor de un brazo de robot
- Motor de un coche eléctrico
- Ventilador del procesador del ordenador
- Elevadores

Las tensiones de trabajo varían desde 1 V a 1000 V



## 5.- Ejercicios:

### ■ Ejercicio 1:

Un motor de CC se conecta a una tensión de 60 V y consume una corriente de 20 A. La potencia pérdida en el cobre es de 100 W y las pérdidas de potencia en el hierro más las pérdidas de potencia mecánicas son de 120 W. Calcula el rendimiento del motor.

### ■ Ejercicio 2:

Un motor CC en serie de 5,25 KW tiene un inductor y un inducido con resistencias de 0,5  $\Omega$  y 1  $\Omega$ , respectivamente; la intensidad de corriente es de 30 A y su fuerza contraelectromotriz es de 175 V.

Dibuja el esquema eléctrico y calcula el rendimiento del motor.

### ■ Ejercicio 3:

Un motor de CC en derivación y de 87,3 % de rendimiento, se conecta a un generador de 400 V y produce una fuerza contraelectromotriz de 350 V; las resistencias del inducido, del inductor y del reostato de arranque son de 0,1  $\Omega$ , 400  $\Omega$  y 1,2  $\Omega$ , respectivamente.

- Dibuja el esquema eléctrico
- Calcula la corriente de arranque del inducido
- Calcula la corriente a velocidad nominal del inducido
- Calcula la corriente del inductor
- Calcula la corriente absorbida del generador
- Calcula la potencia absorbida del generador
- Calcula la potencia útil

### ■ PAU Junio 2006/2007

Una bomba empleada para el trasiego de líquidos entre depósitos es accionada por un motor de corriente continua, con las bobinas inductoras y las inducidas conectadas en serie, de forma que cuando la bomba se pone en marcha la fuerza electromotriz en el motor es de 200 V. Conociendo que la línea de corriente a la que se encuentra conectado el motor tiene una tensión de 220 V y que la intensidad de corriente es de 4 A cuando funciona a plena carga, calcule:

- La resistencia interna total del motor.
- La potencia suministrada al motor.
- La energía disipada por unidad de tiempo en el motor.
- La potencia mecánica desarrollada.

### ■ PAU Junio 2004/2005

Una bomba empleada para el trasiego de líquidos entre depósitos es accionada por un motor de corriente continua, con las bobinas inductoras y las inducidas conectadas en serie, de forma que cuando la bomba se pone en marcha la fuerza electromotriz en el motor es de 200 V. Conociendo que la línea de corriente a la que se encuentra conectado el motor tiene una tensión de 220 V y que la intensidad de corriente es de 4 A cuando funciona a plena carga, calcule:

- La resistencia interna total del motor.
- La potencia suministrada al motor.
- La energía disipada por unidad de tiempo en el motor.
- La potencia mecánica desarrollada.