

8. Tipos de motores de corriente continua

Antes de enumerar los diferentes tipos de motores, conviene aclarar un concepto básico que debe conocerse de un motor: el concepto de funcionamiento con carga y funcionamiento en vacío.

- Un motor funciona con **carga** cuando está arrastrando cualquier objeto o soportando cualquier resistencia externa (la carga) que le obliga a absorber energía mecánica. Así pues, en este caso, el par resistente se debe a factores internos y externos. Por ejemplo: una batidora encuentra resistencia cuando bate mayonesa; el motor de una grúa soporta las cargas que eleva, el propio cable, los elementos mecánicos propios de la grúa,...; un motor de un coche eléctrico soporta numerosas cargas: el peso de los pasajeros, el peso del propio vehículo, la resistencia que ofrece la superficie del terreno,...
- Un motor funciona en **vacío**, cuando el motor no está arrastrando ningún objeto, ni soportando ninguna resistencia externa. El eje está girando libremente y no está conectado a nada. En este caso, el par resistente se debe únicamente a factores internos.

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma de conexión de las bobinas inductoras e inducidas entre sí.

- Motor de excitación independiente
 - Motor en serie
 - Motor en derivación o motor Shunt
 - Motor Compound
- El motor de excitación independiente es tal que el inductor y el inducido se alimentan de dos fuentes de energía independientes.
 - El motor serie es tal que los devanados del inductor y del inducido se encuentran en serie.
 - El motor Shunt dispone los devanados inductor e inducido en paralelo.
 - El motor Compound consta de dos devanados inductores, uno está en serie con el devanado inducido y el otro en paralelo.

Para conocer las características y posibles aplicaciones de cualquiera de estos motores, deben fijarse cada uno de estos parámetros:

- Evolución del régimen de giro (en rpm): es decir, cómo varía la velocidad de giro en diferentes circunstancias.
- Potencia eléctrica absorbida por el motor (en kW): da cuenta del consumo de energía.
- Par motor (en kgf.m): da cuenta de la capacidad de arrastre del motor.

- Rendimiento: da cuenta de las pérdidas de energía del motor.

A. Motor serie

Como se comentó antes, en este tipo de motores las bobinas inductoras y las inducidas están conectadas en serie.

La conexión forma un circuito en serie en el que la intensidad absorbida por el motor al conectarlo a la red (también llamada corriente de carga) es la misma, tanto para la bobina conductora (del estator) como para la bobina inducida (del rotor).

$$(I_{\text{inducido}} = I_{\text{exc}})$$

El motor serie es tal que:

1. Puede desarrollar un elevado par-motor de arranque, es decir, justo al arrancar, el par motor es elevado.
2. Si disminuye la carga del motor, disminuye la intensidad de corriente absorbida y el motor aumenta su velocidad. Esto puede ser peligroso. En vacío el motor es inestable, pues la velocidad aumenta bruscamente.
3. Sus bobinas tienen pocas espiras, pero de gran sección.

Usos: Tiene aplicaciones en aquellos casos en los que se requiera un elevado par de arranque a pequeñas velocidades y un par reducido a grandes velocidades. El motor debe tener carga si está en marcha. Ejemplos: tranvías, locomotoras, trolebuses,...

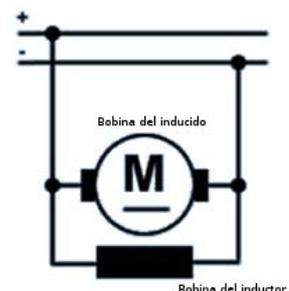
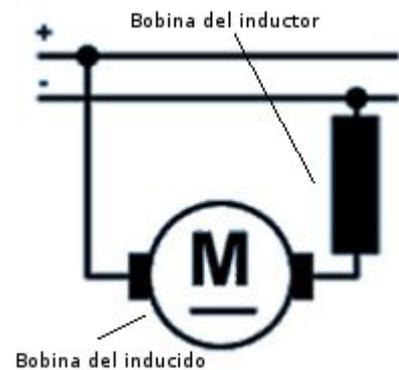
Una taladro no podría tener un motor serie, ¿Por qué? Pues porque al terminar de efectuar el orificio en la pieza, la máquina quedaría en vacío (sin carga) y la velocidad en la broca aumentaría tanto que llegaría a ser peligrosa la máquina para el usuario.

B. Motor Shunt o de derivación en paralelo

Las bobinas inductoras van conectadas en paralelo (derivación) con las inducidas. De este modo, de toda la corriente absorbida ($I_{\text{absorbida}}$) por el motor, una parte (I_i) circula por las bobinas inducidas y la otra (I_{exc}) por la inductoras. El circuito de excitación (inductor) está a la misma tensión que el inductor.

Las características de este motor son:

1. En el arranque, par motor es menor que en el motor serie.
2. Si la Intensidad de corriente absorbida disminuye y el motor está en



vacío. La velocidad de giro nominal apenas varía. Es más estable que el serie.

3. Cuando el par motor aumenta, la velocidad de giro apenas disminuye.

Las aplicaciones del motor son las siguientes:

Se usan en aquellos casos en los que no se requiera un par elevado a pequeñas velocidades y no produzcan grandes cargas. Si la carga desaparece (funcionamiento en vacío), el motor varía apenas su velocidad. Conclusión: Se emplea para máquinas herramientas, por ejemplo, un taladro.

C. Motor Compound

En este caso, se puede decir que el motor es una combinación del motor serie y el motor shunt, puesto que una de las bobinas inductoras está en serie con el inducido, mientras que la otra está en paralelo con él.

Una parte de la intensidad de corriente absorbida circula por las bobinas inducidas (I_i) y, por ende, por una de las inductoras; mientras que el resto de la corriente (I_{exc}) recorre la otra bobina inductoras.

Se caracteriza por tener un elevado par de arranque, pero no corre el peligro de ser inestable cuando trabaja en vacío, como ocurre con el motor serie, aunque puede llegar a alcanzar un número de revoluciones muy alto.

9. Rendimiento de un motor de corriente continua

Como hemos definido en temas anteriores, el rendimiento de un motor se define como...

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

La potencia útil es siempre menor que la potencia absorbida, donde P_{per} es la potencia debida a las pérdidas en forma de calor.

La potencia debida a las pérdidas por efecto Joule, también llamadas **pérdidas en el cobre**, son

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

Donde I es la intensidad de la corriente que recorre los devanados (Amperios)

R es la resistencia eléctrica de los conductores (en Ohmios)

La potencia absorbida (P_{ab}) es de origen eléctrico en un motor, mientras que la

potencia útil es mecánica, puesto que es la forma de energía que entrega el motor.

10. Rendimiento de potencias de un motor de corriente continua

Tomamos una máquina de excitación en derivación (Shunt), cuyos devanados inducidos e inductor están en paralelo.

- Sea U la tensión aplicadas en los bornes del motor.
- Sea R_{exc} la resistencia eléctrica que ofrece el devanado inductor al paso de la corriente I_{exc} .
- Sea I_i la intensidad de la corriente que recorre el devanado inducido.

Vamos a definir un concepto nuevo: la **fuerza contraelectromotriz** (f_{cem}) o E' , medida en voltios.

PERO RECUERDA ANTES: la ley de inducción electromagnética nos indica que si un conductor se mueve en un campo magnético, cortando las líneas de campo se genera una fem inducida (E) que se mide en voltios.

El devanado inducido se mueve con el rotor y es recorrido por una corriente eléctrica, por lo que se dan las condiciones de la ley de inducción, pues este devanado corta las líneas de campo que se crearon gracias al inductor.

Luego, **en el inducido** se genera una fem inducida que a su vez provoca una corriente eléctrica ¡pues bien! Esa corriente inducida circula en sentido contrario a la corriente que ya estaba establecida en el rotor, de ahí el término contraelectromotriz. La fuerza contraelectromotriz, sólo aparece en en el devanado inducido ino lo olvidés!

NOTA PARA RECORDAR: Al circuito cerrado del devanado inductor se le llama también circuito de excitación, por eso a la corriente que recorre el circuito de excitación se le denota I_{exc} .

Definamos las distintas formas de potencia que encontramos en el motor.

1. P_{abs} : potencia eléctrica que absorbe el motor, también llamada potencia de entrada. Es la potencia que desarrollaría el motor si no existiese ningún tipo de pérdidas, es decir, la potencia de consumo.

$$P_{abs} = U \cdot I_{abs}$$

donde U = tensión aplicadas en bornes del motor.

I_{abs} = es la intensidad de la corriente de línea o de la corriente de

entrada.

En un motor de excitación en...

- Derivación (Shunt): $I_{abs} = I_{exc} + I_i \Rightarrow P_{abs} = U \cdot I_{abs} = U \cdot (I_{exc} + I_i)$
- Serie: $I_{abs} = I_{exc} = I_i \Rightarrow P_{abs} = U \cdot I_{abs} = U \cdot I_{exc} = U \cdot I_i$

2. P_u : Potencia útil, es la potencia disponible para realizar trabajo. Es trabajo mecánico.

$$P_u = M_u \cdot \omega$$

siendo M_u el par motor (en N·m)

ω la velocidad angular del motor (en rad/s)

3. P_{Cu} : Potencia perdida en el cobre. Representa a las pérdidas que transcurren en ambos devanados (inductor e inducido) debido al efecto Joule.

- Derivación: $P_{Cu} = I_{exc}^2 \cdot R_{exc} + I_i^2 \cdot R_i$

- Serie: $P_{Cu} = I_{abs}^2 \cdot (R_{exc} + R_i)$

4. P_{fe} : Potencia perdida en el hierro. Son pérdidas de tipo magnético.

5. P_m : Potencia perdida mecánica. Debido a rozamientos, principalmente entre los elementos mecánicos.

6. P_{ei} : Potencia eléctrica interna. Debida a la potencia que queda al restar a la potencia absorbida la potencia debida a las pérdidas en el Cobre (P_{Cu}).

$$P_{ei} = P_{abs} - P_{Cu} (*)$$

$$P_{ei} = E' \cdot I_{abs} \text{ (en el motor serie)}$$

$$P_{ei} = E' \cdot I_i \text{ (en el motor derivación)}$$

7. P_p : Potencia perdida total (la suma de las pérdidas en el cobre, en el hierro y las mecánicas)

$$P_p = P_{Cu} + P_{fe} + P_m (**)$$

La potencia absorbida será igual a la suma de la potencia útil más la potencia perdida

$$P_{abs} = P_u + P_p$$

Sustituyendo en (*)

$$P_{ei} = (P_u + P_p) - P_{Cu} \text{ y recurriendo a la expresión (**)}$$

$$= (P_u + P_{Cu} + P_{fe} + P_m) - P_{Cu}$$

despejando P_u

$$P_u = P_{ei} - (P_{fe} + P_m)$$

11. Otras expresiones

RECUERDA: La fuerza contraelectromotriz (E') se mide en VOLTIOS.

Esta tensión, en caso de que la máquina eléctrica funcione como un motor, se genera

en el **devanado inducido** y se opone a la corriente inicial que surge en el

inducido (I_i). Es por ello que, según la ley de Ohm. (Tensión = Intensidad*Resistencia)

$$U - E' = R_i \cdot I_i \quad (\text{en el motor Shunt})$$

$$U - E' = (R_i + R_{exc}) \cdot I_i \quad (\text{en el motor serie})$$

Estas dos expresiones son las ecuaciones de tensiones (para el motor derivación y para el motor serie). Es la ley de Ohm aplicada a cada tipo de motor.

siendo U : tensión de línea del motor o tensión aplicada en bornes (en voltios).

E' : fuerza contraelectromotriz (en voltios).

R_i : resistencia eléctrica del devanado inducido (en ohmios)

R_{exc} : resistencia eléctrica del devanado inductor (en ohmios)

I_i : la intensidad de la corriente en el devanado inducido (Amperios)

Pues bien, esta tensión es proporcional a la velocidad del motor y al flujo magnético que induce el inductor de forma que se cumple...

$$E' = K' \cdot \Phi \cdot n$$

siendo K' = constante que depende sólo de la máquina

Φ = flujo magnético que afecta al rotor (en Weber)

n = velocidad del motor (en rpm)

Nótese que si el motor está parado, no aparece fuerza contraelectromotriz, pues

$$\text{Si } n = 0 \implies E' = K' \cdot \Phi \cdot n = K' \cdot \Phi \cdot 0 = 0 \implies E' = 0$$

por otra parte, existe una expresión que dice que el par interno del motor es proporcional al flujo magnético y la corriente y la corriente en el inducido, de forma que

$$M_i = K \cdot I_i \cdot \Phi$$

siendo

M_i = par interno del motor (en N·m), también llamado par útil.

K = constante de la máquina (distinta a la anterior)

I_i = Intensidad de corriente (en Amperios)

Φ = flujo magnético interno en el rotor (en Wb)

El par interno del motor también nos sirve para hallar la potencia útil, pues

$$P_u = M_i \cdot \omega$$

siendo **P_u** : potencia útil (en Vatios)

M_i = par interno del motor (en N·m) o par útil

ω : velocidad angular del motor (en rad/s)

Ley de Ohm

– Motor Shunt: $U - E' = R_i \cdot I_i$ o $U = R_{exc} \cdot I_{exc}$

– Motor serie $U - E' = (R_i + R_{exc}) \cdot I_{abs}$

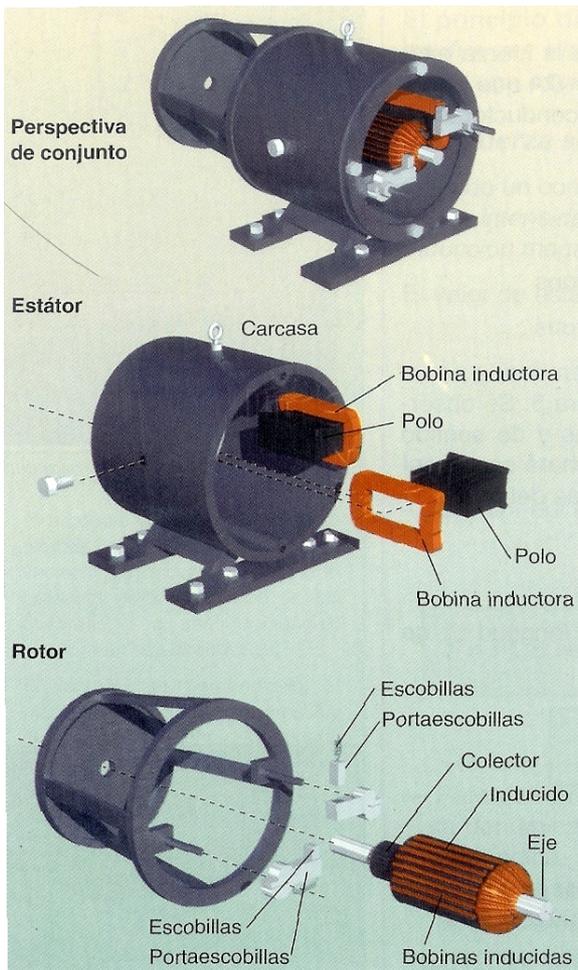
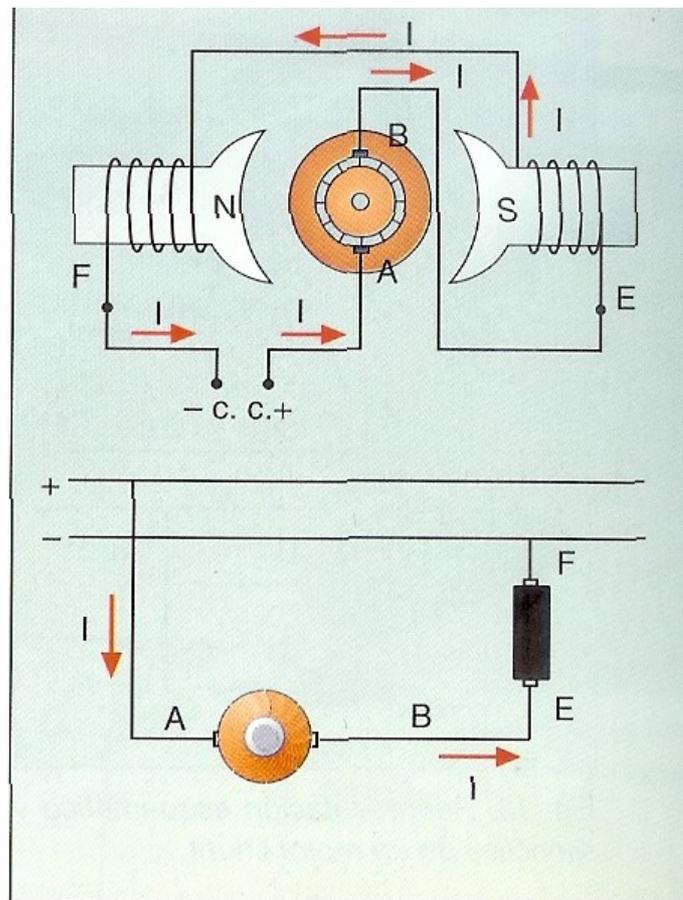
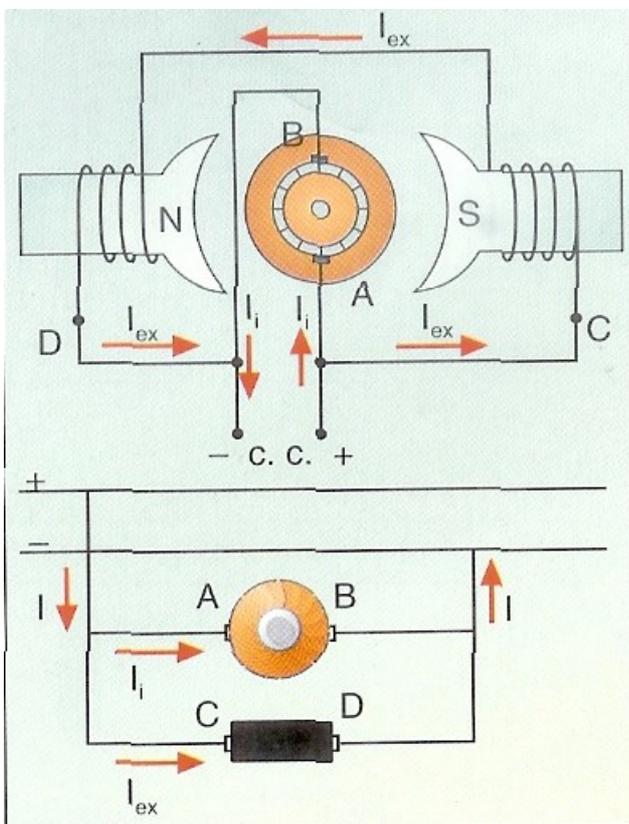


Ilustración 1: Estructura de un motor eléctrico



Representación esquemática y simbólica de un motor serie.



Representación esquemática y simbólica de un motor shunt.

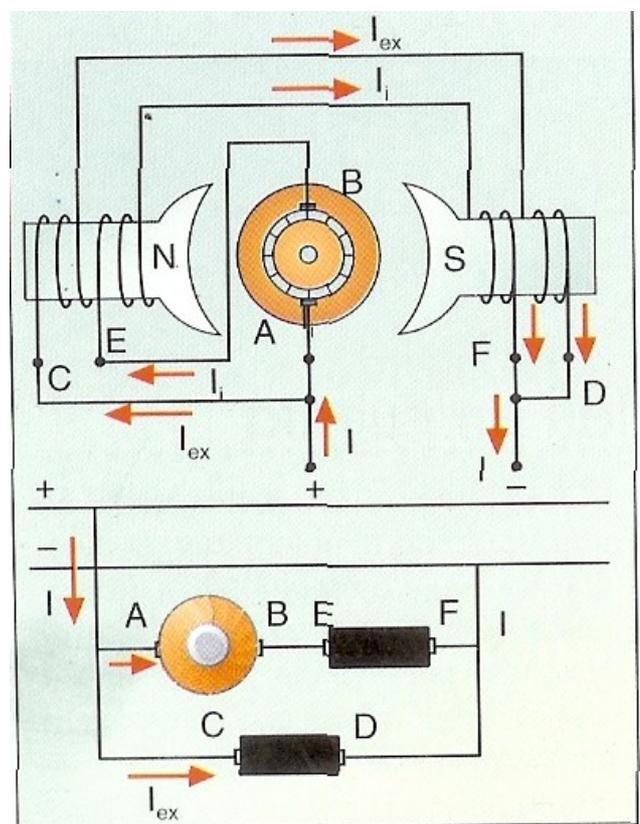


Fig. 15. Representación esquemática y simbólica de un motor compound.