

1. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Se clasifican en dos grandes grupos, según el tipo de red eléctrica a la que se encuentren conectadas. Así, se tienen:

- Motores eléctricos de corriente alterna.
- Motores eléctricos de corriente continua; (normal y paso a paso)

A su vez, en las máquinas de corriente alterna la generación del campo magnético excitador se puede llevar a cabo:

- Mediante corriente alterna, en las máquinas asíncronas.
- Por medio de corriente continua, en las máquinas síncronas.

Debido a su reversibilidad, estos tipos de máquinas eléctricas rotativas pueden funcionar:

- Como motores, transformando la energía eléctrica en energía mecánica.
- Como generadores, transformando la energía mecánica en eléctrica.

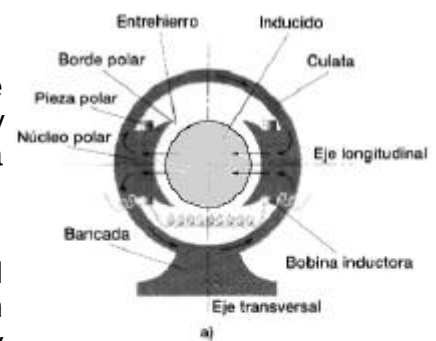
2. MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

2.1. Descripción física de un motor de corriente continua

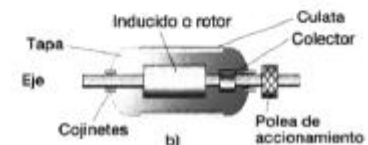
En la figura se representa el esquema de una máquina de corriente continua genérica de dos polos, que puede actuar como motor y como generador. Esta máquina está constituida por los siguientes elementos:



El estator, que mediante el devanado inductor o de excitación es el encargado de generar y conducir el campo magnético de excitación. El estator está formado por una corona de material ferromagnético, denominada *culata*, en cuyo interior se encuentran dispuestos, en número par, unos salientes provistos de expansiones en los extremos, denominados *polos*. En torno a los polos se arrollan los *devanados de excitación*, que generan un campo magnético cuando circula por ellos una corriente continua.



por una corona de material ferromagnético, denominada *culata*, en cuyo interior se encuentran dispuestos, en número par, unos salientes provistos de expansiones en los extremos, denominados *polos*. En torno a los polos se arrollan los *devanados de excitación*, que generan un campo magnético cuando circula por ellos una corriente continua.



El rotor, constituido por una pieza cilíndrica ranurada, formada por chapas de material ferromagnético, generalmente de acero laminado con un 2% de contenido en silicio, para disminuir las pérdidas en el circuito magnético. En las ranuras del rotor se aloja el devanado inducido de la máquina, constituido por bobinas de hilo o de pletina de cobre; este devanado está cerrado sobre sí mismo, pues el final de la última bobina se encuentra conectado con el comienzo de la primera.

El colector de delgas, que es un conjunto de láminas de cobre, llamadas delgas, aisladas entre sí por una capa de mica y que giran solidariamente con el rotor. Las delgas están conectadas eléctricamente a las bobinas del devanado inducido y por medio de ellas dicho devanado se puede conectar con el exterior. Cada delga está unida eléctricamente al



punto de conexión de dos bobinas del devanado inducido, de tal forma que habrá tantas delgas como bobinas simples posea el devanado.

Los portaescobillas y las escobillas, fabricados los primeros con un material estructural metálico, mientras que las segundas son generalmente de grafito. Las escobillas permanecen fijas, sin realizar movimiento alguno, y al deslizar sobre ellas el colector de delgas se efectúa el contacto eléctrico entre el devanado inducido y los bornes de conexión de la máquina al exterior.

Elementos mecánicos de soporte -como los cojinetes o rodamientos-, y de envoltura.

Principio de funcionamiento

Los dos principios en que se basa el funcionamiento de cualquier máquina eléctrica rotativa son los siguientes:

Cuando un conductor se mueve en el interior de un campo magnético cortando líneas de campo, se genera en él una fuerza electromotriz.

Cuando un conductor, por el que circula una corriente, se sitúa en el interior de un campo magnético actúa sobre él una fuerza de desplazamiento.

En la figura se muestra un esquema del funcionamiento de una máquina de corriente continua. En ella se representa el devanado inducido como si únicamente estuviera formado por una sola espira. El campo magnético creado por el devanado inductor se simboliza por medio de un par de polos.

Cada extremo de la espira está unido a una delga que gira solidariamente con ella, y la corriente sale al exterior por las escobillas.

Si al devanado inducido se le aplica una tensión exterior continua, por la espira circulará una corriente continua, lo que dará origen a la aparición de una fuerza que tiende a hacerla girar. De esta manera, la espira se comporta como una máquina de corriente continua funcionando como motor: La energía eléctrica se convierte en mecánica.

Por el contrario, si al devanado inducido se le aplica un movimiento de rotación, en los bornes de la espira aparecerá una fuerza electromotriz.

En la práctica, el devanado inducido de las máquinas de corriente continua está formado por un número elevado de espiras, desfasadas espacialmente; y, por lo general, el estator dispone de más de un par de polos magnéticos.

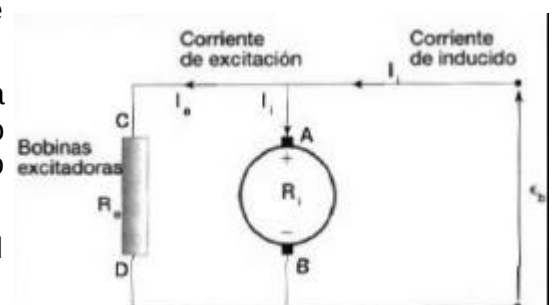
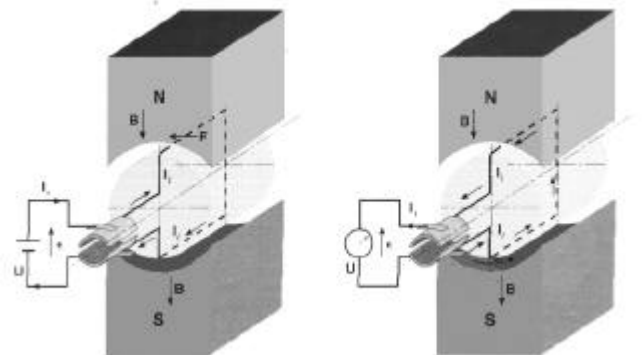
Tipos de excitación

Como ya se ha descrito con anterioridad, en las máquinas de corriente continua existen dos devanados:

- El devanado inductor o excitador, encargado de generar el campo magnético.
- El devanado inducido, en el que se genera la fuerza electromotriz en el caso que la máquina funcione como generador, o el par motor si la máquina funciona como motor.

Los dos devanados han de conectarse a una red eléctrica de corriente continua.

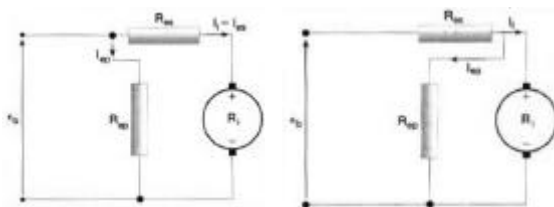
Esta conexión se puede realizar de varias formas diferentes:



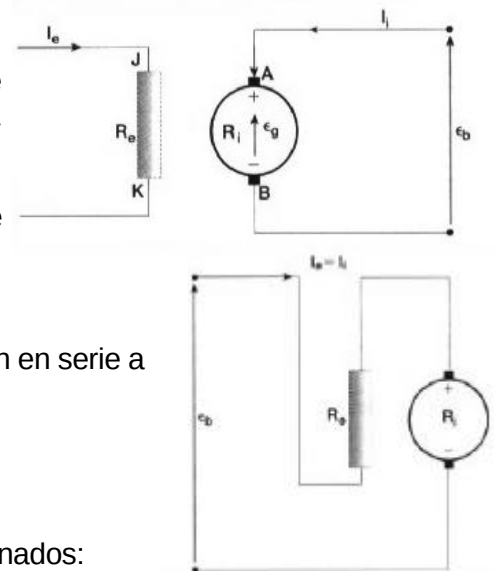
En derivación. Los devanados inductor e inducido se conectan en paralelo, tal como se puede observar en la figura anterior. Un caso particular de este tipo de conexión es aquél en que el devanado excitador y el inducido se conectan a redes de corriente continua independientes: este tipo de conexión se designa con el nombre de *excitación independiente*.

En serie. Los devanados inductor e inducido se conectan en serie a una red eléctrica de corriente continua.

Compuesta. El devanado inductor se divide en dos devanados:



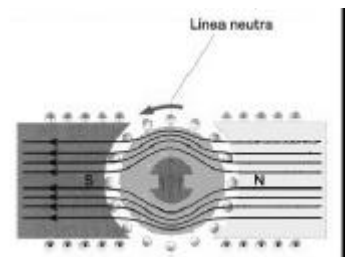
Uno, en serie con el inducido, y el otro en paralelo. Según la forma en que se realice la conexión de los devanados de excitación, se distinguen la *excitación compuesta corta* y la *excitación compuesta larga*.



La reacción de inducido y el fenómeno de la conmutación

Ya se ha mencionado que la formación del campo magnético en el interior de una máquina de corriente continua se debe al devanado inductor. Esa situación se muestra en la figura.

Al eje transversal se le conoce con el nombre de *línea neutra*. En esa zona es donde se sitúan las escobillas que hacen contacto con el colector de delgas para que la conmutación de una delga a otra -instante en que la escobilla hace contacto con dos conductores situados en posiciones diferentes del devanado inducido- se realice cuando no existan fuerzas electromotrices en los conductores, por los que, en consecuencia, no circulará corriente.



3. MOTORES ASÍNCRONOS

El motor asíncrono de corriente alterna se considera el motor industrial por excelencia, a causa de la sencillez y fortaleza de su construcción, así como por su seguridad de funcionamiento. Analizaremos, a continuación, el motor asíncrono conectado a una red trifásica, que es el más utilizado en la industria actual.

Descripción física de un motor asíncrono

Los motores asíncronos constan de dos partes:

El estator, que es la parte fija de la máquina, constituido por una corona de chapas magnéticas aisladas entre sí por medio de barniz, ranuradas interiormente y sujetas a una carcasa fabricada, por lo general, con fundición de hierro o aluminio. En las ranuras del estator se dispone un devanado, constituido por un número de fases igual al de la red eléctrica que alimenta el motor.

El rotor, que es la parte móvil de la máquina, constituido por una corona de chapas magnéticas apiladas directamente sobre el eje de la máquina. La corona rotórica presenta una serie de ranuras interiores en las que se encuentra dispuesto el devanado rotórico.

Desde el punto de vista constructivo, se pueden distinguir dos formas típicas de rotor:

- Rotor de jaula de ardilla.
- Rotor bobinado.

Máquina asíncrona de rotor de jaula de ardilla

En los motores de jaula de ardilla el devanado del rotor está constituido por barras de cobre o de aluminio colocadas en las ranuras de la corona rotórica y unidas en sus extremos a dos anillos del mismo material. El conjunto de barras y anillos tiene aspecto de jaula de ardilla: de ahí el nombre que recibe este rotor.

El par de arranque de este tipo de motores es relativamente pequeño, y la intensidad absorbida en el arranque es elevada.

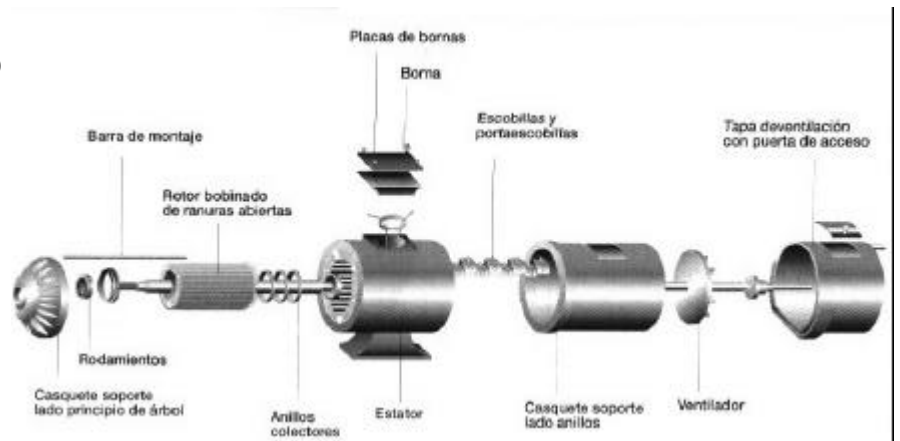
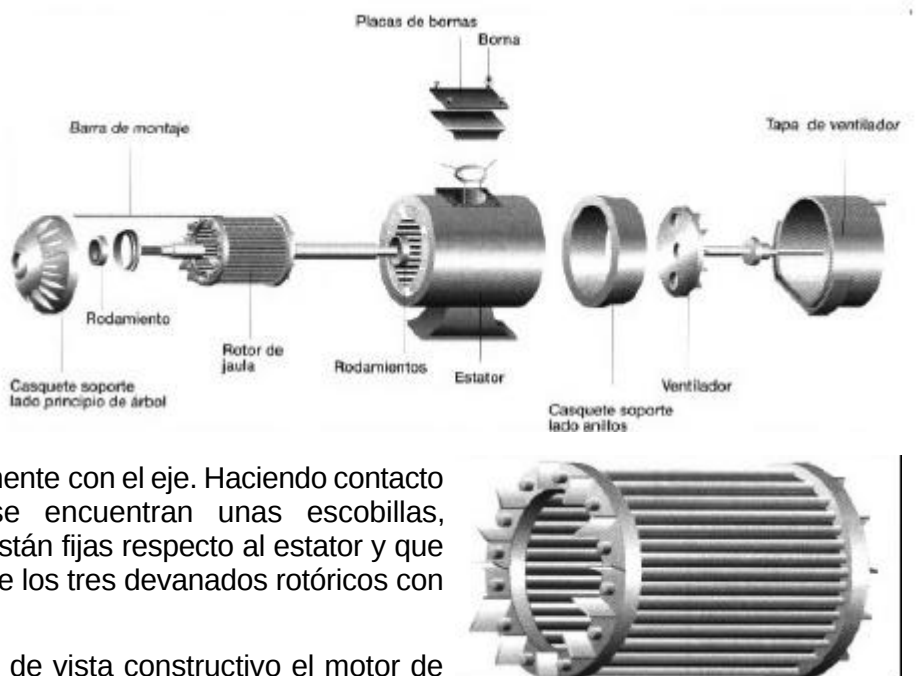
Máquina asíncrona de rotor bobinado

En los motores asíncronos de rotor bobinado, el devanado rotórico, al igual que el estatórico, está constituido por hilo de cobre. En las ranuras de la corona rotórica se alojan, por lo general, tres devanados conectados por un punto común. Los extremos libres pueden estar conectados a tres anillos de cobre (**anillos rozantes**) que giran solidariamente con el eje. Haciendo contacto con los anillos rozantes, se encuentran unas escobillas, generalmente de grafito, que están fijas respecto al estator y que permiten realizar la conexión de los tres devanados rotóricos con el exterior.

Aunque desde el punto de vista constructivo el motor de rotor bobinado es más complejo y menos robusto que el de jaula de ardilla, se puede lograr un par de arranque aproximadamente 2,5 veces superior al nominal y una corriente de arranque menor que en el caso de rotor en jaula de ardilla. También, mediante el uso de las resistencias, se puede regular la velocidad de giro del motor.

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de los motores asíncronos es más complejo que el de los motores de corriente continua. Se basa

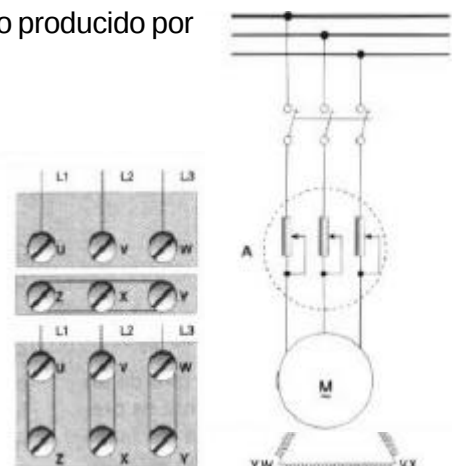


en la acción que ejerce sobre el rotor un campo magnético giratorio producido por el devanado estatórico.

Campos magnéticos giratorios

Un ejemplo puede servir para poner de manifiesto la manera en que se produce un campo magnético giratorio. En el estator de una máquina eléctrica trifásica se encuentran dispuestos tres devanados desfasados entre sí 120° geométricos. Cada uno de ellos está conectado a una fase de una red eléctrica trifásica. Por regla general, los motores asíncronos disponen en su caja de bornes de los seis terminales de los devanados, lo que permite que los devanados se puedan conectar en estrella o en triángulo.

En la figura se muestra la conexión de los tres devanados del estator.



Arranque de los motores asíncronos

Para el arranque de los motores asíncronos se requiere una corriente elevada que puede provocar una caída de tensión en los demás consumidores, de manera especial si la sección de los cables de alimentación del motor no es lo suficientemente grande. Muchas veces, esta caída de tensión resulta perceptible en los aparatos de alumbrado.



En el arranque de motores asíncronos conectados directamente a la red eléctrica la corriente inicial puede llegar a ser 6 veces superior a la nominal, y su par de arranque inicial 1,5 veces mayor que el nominal.

Para evitar este incremento de la corriente y del par se suelen utilizar diversos sistemas de arranque que limitan la corriente en el instante inicial. En el caso de motores de jaula de ardilla, los métodos de arranque que se utilizan se basan en una reducción de la tensión aplicada en los bornes del estator del motor. Estos métodos son:

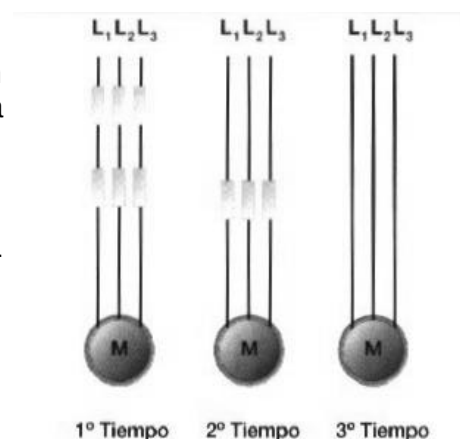
- Inserción de una impedancia estatórica.
- Arranque por autotransformador.
- Arranque estrella-triángulo.

En el caso de motores de rotor bobinado, además de los métodos anteriores, la corriente inicial se puede limitar por medio de la inserción de resistencias en el circuito del rotor gracias a los anillos rozantes.

Arranque con impedancia en el estator

En este tipo de arranque se busca disminuir la tensión aplicada a los bornes del estator del motor por medio de la inclusión de resistencias. En el momento del arranque todas las resistencias estarán conectadas y posteriormente, cuando el motor adquiera velocidad, se irán desconectando paulatinamente.

En las figuras se representa el arranque de un motor mediante resistencias estatóricas en tres tiempos, así como las curvas de la corriente y del par en función de la velocidad para los tres tiempos.



Arranque por autotransformador

Se intercala un autotransformador entre el motor y la red para modificar la tensión aplicada a los devanados del estator. Un esquema de este tipo de arranque se representa en la figura del margen.

Al igual que en el caso anterior, el proceso de arranque puede tener varios tiempos.

Este tipo de arranque precisa de una serie de equipos de maniobra de precio elevado, por lo que su utilización sólo se encuentra justificada en el caso de motores de grandes potencias.

Arranque estrella-triángulo

Este arranque se lleva a cabo en aquellos motores que, en su caja de conexiones, tienen disponibles los seis terminales correspondientes a los devanados de las tres fases del estator.

Este método consiste en conectar en el momento del arranque los devanados en forma de estrella, de manera que la tensión aplicada a cualquiera de los devanados del motor será la tensión de fase; y cuando el motor adquiera velocidad se conectan los devanados en triángulo, y así la tensión aplicada a cada uno de los devanados del estator es la tensión de línea.

Arranque por inserción de resistencias en el circuito rotórico

En los motores de anillos rozantes se puede limitar la corriente de arranque por medio de la inclusión en el circuito rotórico de resistencias, que posteriormente, a medida que el motor gane velocidad, se irán cortocircuitando.

En las figuras se representa un esquema del arranque de un motor en tres tiempos mediante la inclusión de resistencias en el circuito rotórico, así como las curvas de la corriente y del par en función de la velocidad.

