

MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS

Norberto A. Lemozy

1 INTRODUCCIÓN

Los motores *asíncronos* o de *inducción*, cuyo principio de funcionamiento está basado en los campos magnéticos giratorios desarrollados por Galileo Ferraris, son los motores más empleados en la actualidad y los que presentan las mejores perspectivas en el futuro inmediato.

Esta bien ganada jerarquía, se debe a que son robustos, eficientes, y muy sencillos, consecuentemente económicos de fabricar y de poco mantenimiento, en particular los que poseen rotor en cortocircuito.

Los motores asíncronos trifásicos son los más utilizados en la industria, y se fabrican desde potencias menores a un kW hasta grandes máquinas, de media tensión, de 10 ó más MW; pero la mayoría de los motores tienen potencias menores a los 50 kW.

La velocidad de rotación de estos motores depende fundamentalmente de la frecuencia de la red y, por lo tanto es difícil de modificar. Con el advenimiento de semiconductores de potencia de bajo precio, en la última década esta situación ha cambiado radicalmente y en la actualidad es más conveniente emplear un motor asíncrono con un variador electrónico de velocidad, que los clásicos motores de corriente continua.

Si bien las principales aplicaciones de estas máquinas son como motores, también pueden funcionar como *generadores*, con aplicaciones en molinos eólicos, y como *frenos*, normalmente en forma transitoria.

También existen los motores asíncronos *monofásicos*, la mayoría de potencias inferiores al kW, y con múltiples aplicaciones en pequeñas máquinas y electrodomésticos, tales como heladeras, lavarropas, ventiladores, acondicionadores de aire, pequeñas bombas de agua, etc. Notablemente se fabrican más de estos motores que de los trifásicos.

A continuación se hace una breve descripción de las máquinas trifásicas, su principio de funcionamiento y se dan sus principales características como motor.

2 FORMAS CONSTRUCTIVAS

Los motores trifásicos de inducción poseen el *estator* y el *rotor cilíndricos y laminados*, con *entrehierro constante*, y con *arrollamientos distribuidos*. En la figura 1 se muestra un corte de una máquina con *rotor en cortocircuito*, que son las más empleadas. El arrollamiento estatórico se conecta a la red trifásica y es el que produce el campo giratorio, cuya velocidad de rotación dependerá de la frecuencia de la red y del número de polos con que se ha construido del dicho arrollamiento

Los rotores en cortocircuito, también llamados de “*jaula de ardillas*”, están formados por barras de aluminio, cobre o bronce, sin aislación y cortocircuitadas en sus extremos por medio de aros de cortocircuito, figura 2. Este es un tipo especial de arrollamiento distribuido, que no tiene definida la cantidad de polos: desarrolla automáticamente la misma cantidad de polos que el estator.

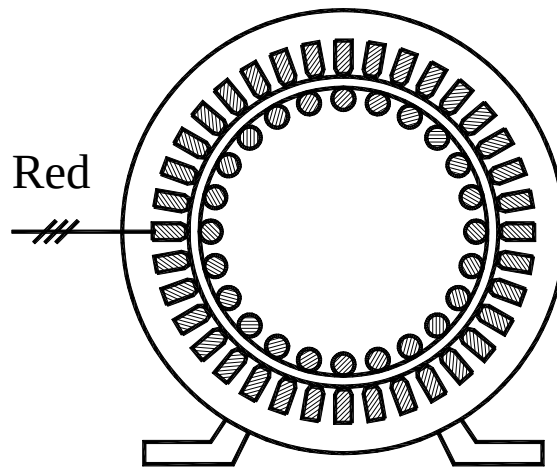


Fig. 1. Corte de un motor de inducción.

La mayoría de los motores de potencias menores a algunas decenas de kW utilizan jaulas de aluminio *inyectado*, donde el metal fundido se cuela en las ranuras del rotor y, en una operación que dura pocos minutos, se forman las barras, los aros de cortocircuito y los ventiladores rotóricos.

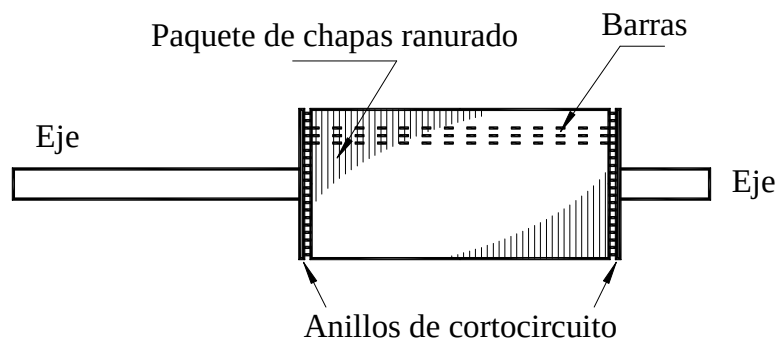


Fig. 2. Rotor en cortocircuito.

Como las barras de aluminio fundido toman la forma de las ranuras estampadas de las laminaciones rotóricas, se las puede hacer con distintas formas y secciones, lo que influye en las características de funcionamiento del motor. En algunos motores especiales se utilizan dos jaulas independientes y concéntricas, lo que también influye en las características del mismo.

Este procedimiento constructivo es muy simple y económico y el rotor resultante muy robusto, siendo una de las principales razones de la gran difusión de estos motores.

En las potencias más grandes, las barras son colocadas a mano y luego soldadas a los anillos de cortocircuito.

Para algunas aplicaciones especiales, donde se requiere una gran cupla de arranque y con baja corriente, como ser en grúas, grandes cintas transportadoras, molinos trituradores que arrancan con carga, etc. se emplean motores con *rotor bobinado*. Estos rotores, a través de anillos rozantes y escobillas, figura 3, se conectan a un *reóstato de arranque* que, en forma manual o automática, se elimina gradualmente hasta quedar en cortocircuito, que es la condición normal de funcionamiento.

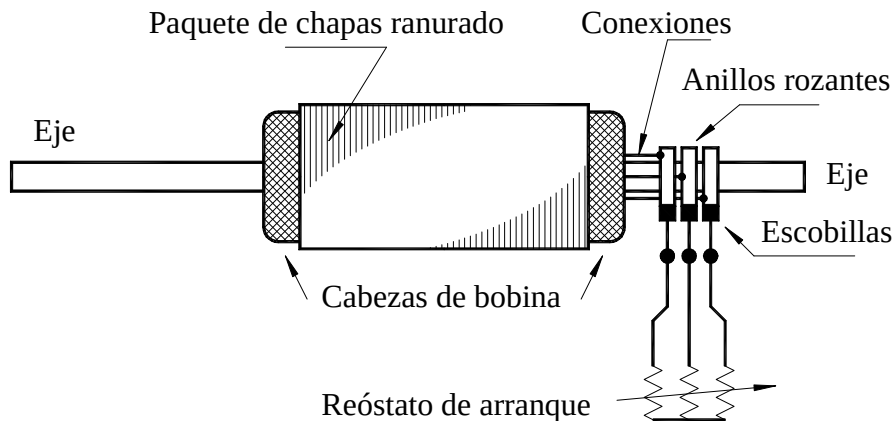


Fig. 3. Rotor bobinado.

El arrollamiento de estos rotores es trifásico, del mismo tipo que el estatórico y con el mismo número de polos. Por ser constructivamente más complejos, tener anillos rozantes, escobillas y requerir un reóstato de arranque, los motores con rotor bobinado son más costosos que los de rotor en cortocircuito, se los emplea mucho menos y solamente cuando es imprescindible.

3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Sea un motor con rotor en cortocircuito y detenido cuyo arrollamiento estatórico está conectado a la red, que es la situación que corresponde al instante de arranque. El sistema trifásico de corrientes que circulará por el estator da lugar a un campo rotante que gira a velocidad sincrónica, por ejemplo en sentido antihorario, figura 4, representado por el vector giratorio Φ .

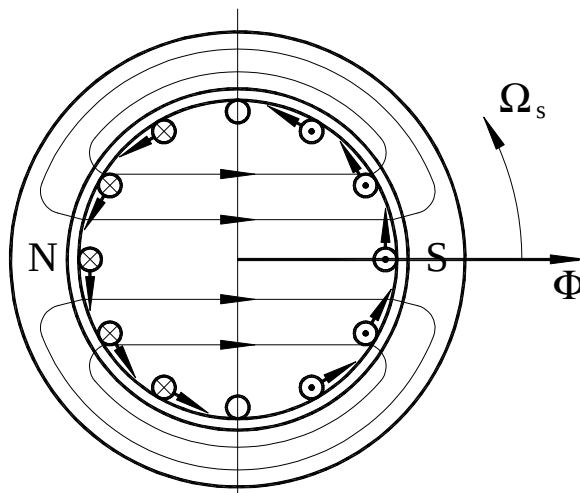


Fig. 4. Rotor detenido.

Como el rotor está detenido, las líneas de fuerza del campo giratorio cortan a las barras rotóricas dando lugar a tensiones inducidas en ellas y como las barras están cortocircuitadas en sus extremos, circularán corrientes. Son estas corrientes inducidas las que dan nombre a la máquina.

En la máquina de dos polos mostrada en la figura 4 y en ese instante, las máximas corrientes inducidas están en la dirección del flujo Φ ; y a 90° del mismo, las corrientes serán nulas.

Las corrientes de las barras reaccionarán con el campo magnético y se producirán fuerzas tangenciales (debido a que el campo en el entrehierro es radial) en las barras que generan una cupla que trata de mover al rotor en el mismo sentido del campo rotante. Ésta es la denominada *cupla de arranque*.

En las condiciones descritas, el motor se comporta como un transformador en cortocircuito, por ese motivo la corriente de arranque es varias veces superior a la nominal.

Si se libera el rotor, éste girará en el sentido del campo rotante hasta alcanzar una velocidad ligeramente inferior a la del mismo, ya que si el rotor gira a la misma velocidad que el campo rotante, no se cortarían líneas de fuerza, no se inducirían tensiones, no circularían corrientes y no habría cupla que mantenga la rotación.

O sea que para que la máquina desarrolle cupla y haya conversión de energía, debe haber una diferencia de velocidades entre el campo giratorio y el rotor; por eso se la denomina *asincrónica*.

Como las condiciones de funcionamiento dependen de esa diferencia de velocidades, es muy útil definir un *resbalamiento* s como:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (1)$$

Valor que muchas veces se multiplica por 100 para expresarlo en tanto por ciento.

Si el motor no posee carga mecánica en el eje, con muy poca diferencia de velocidades puede desarrollar la cupla necesaria para vencer los rozamientos, por lo tanto girará casi a la velocidad sincrónica y la corriente rotórica será muy baja; es decir se comportará casi como un transformador en vacío.

Cuando se le aplica una carga mecánica, el motor debe aumentar el resbalamiento, es decir, bajar la velocidad, para desarrollar la cupla exigida por la carga. No obstante las variaciones de velocidad entre vacío y plena carga son muy pequeñas, o sea que es un motor de velocidad prácticamente constante. La característica externa del motor es prácticamente una recta, que pasa por $\Omega_0 \approx \Omega_s$ y con una ligera pendiente negativa, figura 5.

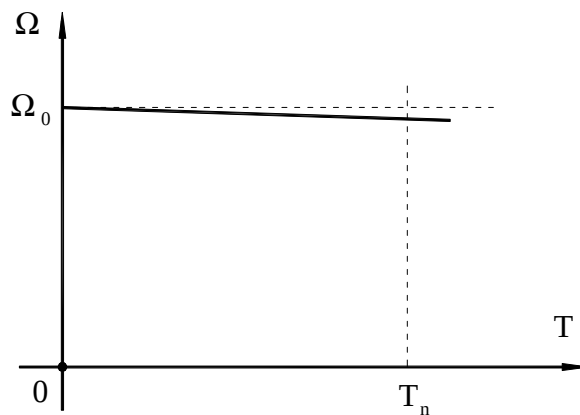


Fig. 5. Característica externa.

Como la potencia mecánica es activa, el motor en carga se comporta como un transformador con carga resistiva. De lo expuesto se concluye que el comportamiento de esta máquina tiene grandes semejanzas con el de los transformadores, por ese motivo el circuito equivalente es el de un transformador con carga resistiva, figura 6.

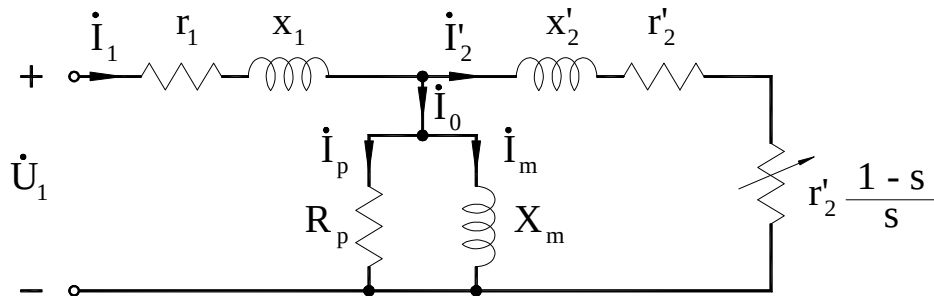


Fig. 6. Circuito equivalente de una fase referida al estator.

No obstante tener el mismo circuito equivalente que un transformador hay algunas diferencias en las magnitudes, por ejemplo, por la presencia del entrehierro entre el estator y el rotor, la corriente magnetizante I_m es bastante mayor que en un transformador, lo que desaconseja mover o eliminar X_m del circuito equivalente, cosa común en los transformadores.

La potencia en la resistencia equivalente de carga es la potencia mecánica desarrollada internamente en la máquina. La potencia disponible en el eje del motor es esa potencia menos las pérdidas mecánicas por rozamiento y ventilación.

4 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

En las tablas siguientes se resumen las principales características de los motores asíncronos trifásicos. Los valores son aproximados y con fines ilustrativos.

Tabla I. Funcionamiento en vacío.

n_0	$\approx 0,995 n_s$
s_0	$\approx 0,005$
I_0	De 10 a 35 % de I_n
P_0	De 4 a 8 % de P_n
$\cos \varphi_0$	$\approx 0,02$

Los valores más grandes de I_0 y P_0 corresponden a las máquinas de menor potencia.

Tabla II. Funcionamiento a plena carga.

n	$\approx 0,97 n_s$
s	$\approx 0,03$
η	De 0,70 a 0,95
$\cos \varphi_0$	De 0,75 a 0,90

Los valores más altos de η y $\cos \varphi_0$ corresponden a las máquinas de mayor potencia.

Las características en el arranque dependen del tipo de rotor, tabla III.

Tabla III. Características en el arranque.

Rotor	I_{arr}	T_{arr}
Cortocircuito	De 5 a 7 I_n	De 1 a 2 T_n
Bobinado	De 2 a 3 I_n	De 2 a 3 T_n

En la tabla III se aprecian las ventajas de los motores con rotor bobinado en cuanto a la corriente y la cupla de arranque.

4 BIBLIOGRAFÍA

Stephen J. Chapman: “*Máquinas Eléctricas*” Editorial Mac Graw Hill, 2005.

B. S. Guru y H. R. Hiziroğlu: “*Máquinas Eléctricas y Transformadores*” Editorial Oxford University Press, 2003.

Ing. Norberto A. Lemozy
2010