

CAPITULO 2. El motor monofásico de inducción.

2.1 Introducción.

La necesidad del motor de inducción monofásico se explica de la siguiente forma: existen muchas instalaciones, tanto industriales como residenciales a las que la compañía eléctrica sólo suministra un servicio de ca monofásico. Además, en todo lugar casi siempre hay necesidad de motores pequeños que trabajen con suministro monofásico para impulsar diversos artefactos electrodomésticos tales como máquinas de coser, taladros, aspiradoras, acondicionadores de aire, etc [6].

La mayoría de los motores monofásicos son “motores pequeños” de “caballaje fraccionario” (menos de 1 hp). Sin embargo, algunos se fabrican en tamaños normales de caballaje integral: 1.5, 2, 3, 5, 7.5 y 10 hp tanto para 115 V como para 230 V en servicio monofásico y aun para servicio de 440 V entre los límites de 7.5 a 10 hp. Los tamaños especiales de caballaje integral van desde varios cientos hasta algunos miles de hp en servicio de locomotoras, con motores de serie monofásicos de ca [6].

Los motores monofásicos de inducción experimentan una grave desventaja. Puesto que sólo hay una fase en el devanado del estator, el campo magnético en un motor monofásico de inducción no rota. En su lugar, primero pulsa con gran intensidad, luego con menos intensidad, pero permanece siempre en la misma dirección. Puesto que no hay campo magnético rotacional en el estator, un motor monofásico de inducción no tiene par de arranque. Es por ello que se emplean diversos métodos para iniciar el giro del rotor, y por lo tanto existe una clasificación de los motores monofásicos basada en los métodos particulares de arranque.

2.2 Construcción.

En cuanto a la construcción del motor monofásico de inducción, hay que señalar que el rotor de cualquier motor monofásico de inducción es intercambiable con algunos polifásicos de jaula de ardilla. No hay conexión física entre el rotor y el estator, y hay un entrehierro uniforme entre ellos.

Debido a que los motores monofásicos de inducción no generan por sí solos par de arranque, se tienen dos devanados: el de marcha o principal; y el auxiliar o de arranque, cuya finalidad es producir el giro del rotor.

Tanto el devanado principal como el auxiliar, están distribuidos en ranuras espaciadas uniformemente alrededor del estator; sin embargo, el último se encuentra alojado en ranuras con orientación desplazada 90° en el espacio eléctrico con respecto a las del devanado principal.

2.3 Teoría del doble campo giratorio.

Esta teoría establece que un campo magnético estacionario pulsante se puede transformar en dos campos magnéticos rotacionales de igual magnitud pero de direcciones opuestas. El motor de inducción responde a cada uno de los campos magnéticos por separado y el par neto en la máquina será la suma de los pares debidos a cada uno de los dos campos magnéticos [9].

Un motor de inducción monofásico responde a cada uno de los dos campos magnéticos presentes en él; en consecuencia, el par inducido neto en el motor es la diferencia entre las dos curvas par-velocidad (figura 2.1). Nótese que a velocidad cero no hay par neto; por tanto, el motor no tiene par de arranque. La característica par-velocidad de la figura 2.1 no es una descripción muy exacta del par en un motor de inducción

monofásico, ya que está formada por la superposición de dos características trifásicas; y además ignora el hecho de que ambos campos magnéticos están presentes simultáneamente en el motor monofásico [9].

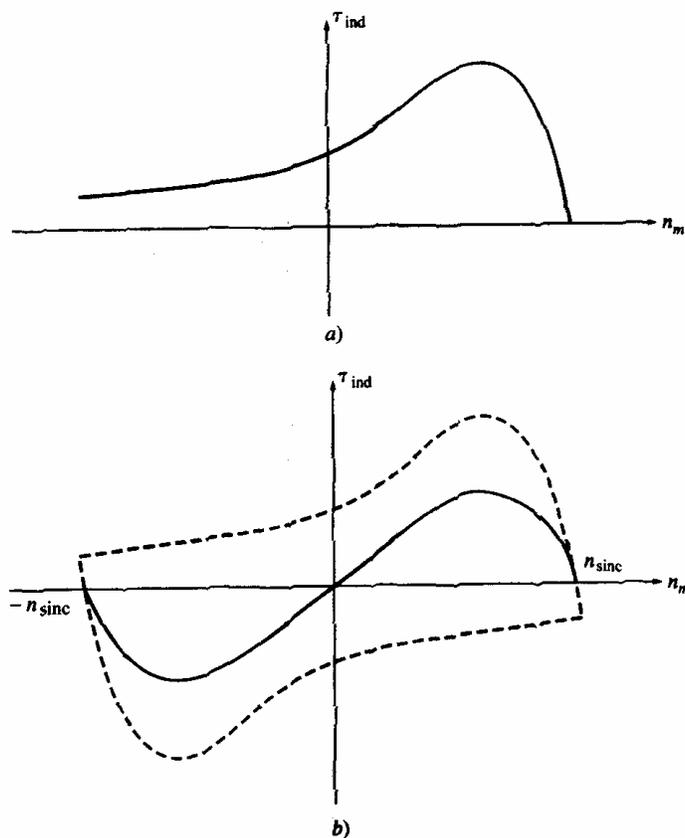


Figura 2.1. (a) Característica torque-velocidad de un motor trifásico. (b) curvas par-velocidad de los dos campos magnéticos estáticos iguales y que rotan en direcciones opuestas [9].

Tanto el campo magnético directo como el inverso están presentes en un motor monofásico y ambos son producidos por la misma corriente. Puesto que la corriente que suministra el campo magnético estático inverso está limitada a un pequeño valor y que el campo magnético inverso del rotor está a un ángulo muy grande con respecto al campo

magnético inverso del estator, el par debido a los campos inversos es muy pequeño cuando el motor opera cerca de la velocidad sincrónica.

La figura 2.2 muestra una característica más exacta par-velocidad; además del par neto medio se producen pulsaciones de par a dos veces la frecuencia estatórica y son causadas cuando los campos magnéticos directo e inverso se entrecruzan, dos veces por ciclo.

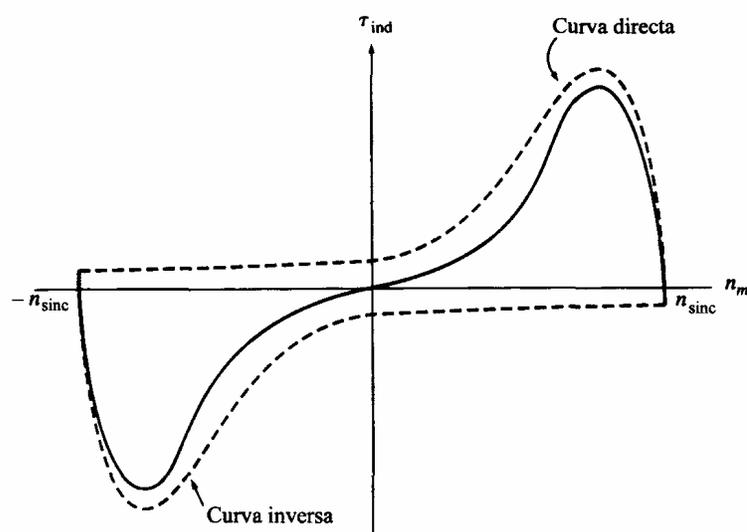


Figura 2. 2. Característica torque-velocidad teniendo en cuenta la limitación de corriente sobre el campo magnético rotacional inverso, causada por la presencia del campo magnético rotacional directo [9].

Estas pulsaciones aumentan la vibración y hacen que los motores monofásicos de inducción sean más ruidosos que los trifásicos del mismo tamaño.

2.4 Clasificación de motores monofásicos.

Tal como se explicó, un motor monofásico de inducción no tiene par de arranque intrínseco. Existen tres técnicas para lograr que uno de los dos campos magnéticos

giratorios sea más fuerte que el otro en el motor y, en consecuencia, dar un apoyo inicial en una u otra dirección:

1. Devanados de fase partida.
2. Devanados con capacitor.
3. Polos estáticos sombreados.

2.4.1 Motores de fase partida y arranque por resistencia.

El devanado de arranque tiene menos vueltas y consiste en alambre de cobre de menor diámetro que el devanado de marcha. Por lo tanto, el devanado de arranque tiene alta resistencia y baja reactancia. A la inversa, el devanado de marcha, con mas vueltas de alambre más grueso, tiene baja resistencia y alta reactancia; pero debido a su impedancia total menor, la corriente en el devanado de marcha es en general mayor que la correspondiente en el devanado de arranque (figura 2.3a, diagrama eléctrico de los dos devanados) [6].

En la figura 2.3b se muestran las relaciones de fase de las corrientes a rotor bloqueado en el instante de arranque. La corriente en el devanado de arranque está retrasada unos 15° con respecto al voltaje de suministro, mientras que la corriente mayor en el devanado de marcha, está retrasada unos 40° con respecto al voltaje monofásico [6].

En la figura 2.4 se aprecia mejor la función del devanado auxiliar. Debido a que la corriente en el devanado auxiliar adelanta a la corriente del devanado principal, el campo magnético B_A alcanza su máximo valor antes que el campo magnético principal B_M . Dado que B_A llega a su valor pico primero que B_M , en el campo magnético hay una rotación neta en sentido opuesto a las manecillas del reloj.

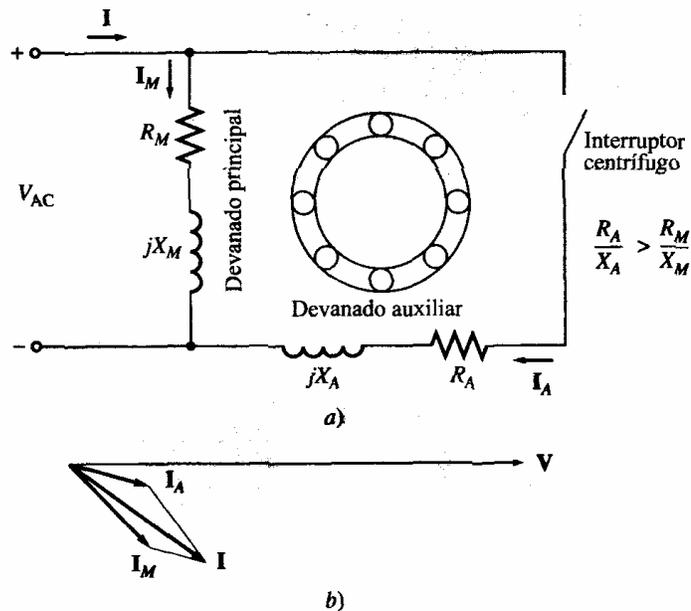


Figura 2.3. Motor de fase partida. (a) esquemático, (b) Desfase de corrientes [9].

En otras palabras, el devanado auxiliar logra que uno de los campos magnéticos estáticos rotacionales opuestos sea mayor que el otro y provee un par de arranque neto para el motor [9].

La capacidad del devanado de arranque se basa sólo en trabajo intermitente. Si el interruptor centrífugo se descompone y no puede abrir, por lo general debido a que se pegan los contactos, el calor excesivo que produce el devanado de arranque, de alta resistencia, aumentará de tal manera la temperatura del estator, que finalmente se quemarán ambos devanados.

Los motores de fase partida de mejor diseño tienen relevadores térmicos interconstruidos, conectados en serie con la terminal de la línea, para desconectar el motor del suministro siempre que la temperatura sea muy elevada [6].

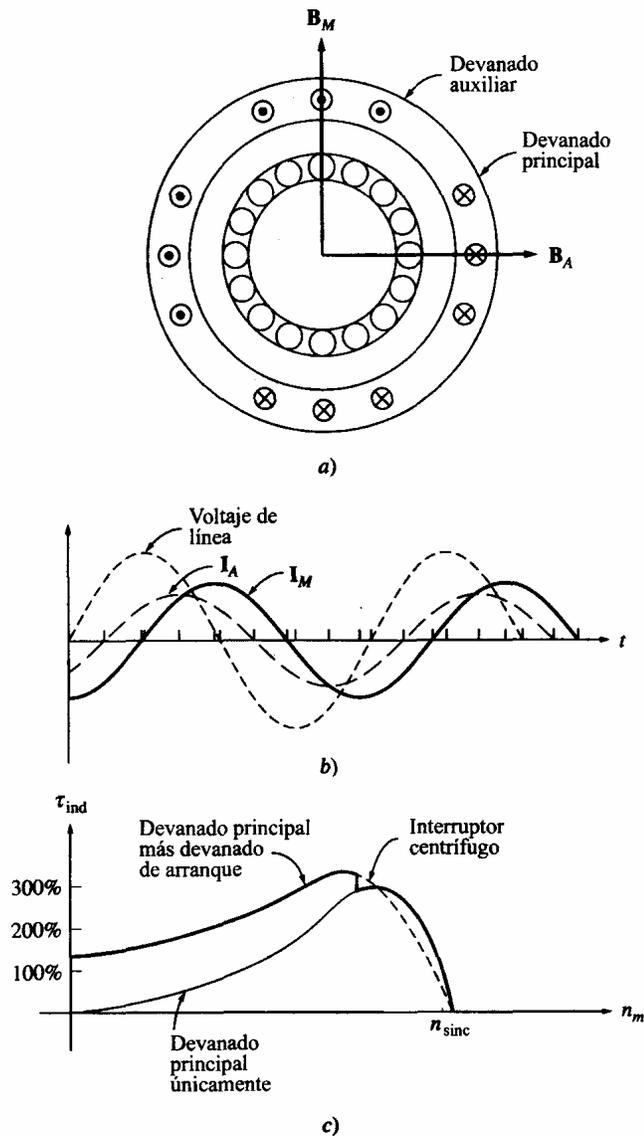


Figura 2.4. (a) Relación entre los campos magnéticos principal y auxiliar. (b) I_A alcanza su valor máximo antes que I_M , produce una rotación neta de los campos magnéticos en sentido contrario de las manecillas del reloj. (c) Característica par-velocidad resultante [9].

Este tipo de motor es normalmente de cabalaje fraccionario y como su rotor es pequeño, tiene poca inercia hasta cuando está conectado con la carga. Sin embargo, las principales desventajas del motor son: 1) su bajo par de arranque y 2) que, cuando tiene mucha carga se produce un par elíptico o pulsante que hace que el rotor emita ruidos

preocupantes. Por este motivo, el motor de fase partida se usa en aparatos electrodomésticos para impulsar cargas que producen ruido, como por ejemplo, quemadores de aceite, pulidoras, lavadoras de ropa, lavadoras de vajillas, ventiladores, sopladores de aire, compresoras de aire y bombas de agua pequeñas [6].

El control de la velocidad de estos motores es relativamente difícil porque la velocidad síncrona del flujo rotatorio del estator queda determinada por la frecuencia y el número de polos desarrollados en el devanado de marcha del estator ($S = 120f/P$). Se debe hacer notar que todos los cambios de velocidad se deben llevar a cabo en límites mayores al que trabaja el interruptor centrífugo y por lo tanto menores que la velocidad sincrónica; obteniendo un rango muy limitado para el control de velocidad [6].

2.4.2 Motor de arranque por capacitor.

Como medio de mejorar el par relativamente bajo del motor de fase partida se agrega un capacitor al devanado auxiliar para producir una relación casi real de 90° entre las corrientes de los devanados de arranque y de marcha, en lugar de aproximadamente 25° (figura 2.5b), elevando el par de arranque a los límites normales del par nominal [6]. La figura 2.5a muestra el diagrama de conexiones del motor de arranque por capacitor, cuya diferencia implica la adición de un capacitor en el devanado auxiliar. Se puede advertir también a partir de la figura 2.6, el mejoramiento del torque de partida debido a la inclusión del capacitor.

Debido a su mayor par de arranque, que es de 3.5 a 4.5 veces el par nominal, y a su reducida corriente de arranque para la misma potencia al instante del arranque, el motor de arranque por capacitor se fabrica hoy en tamaños de caballaje integral hasta de 7.5 hp.

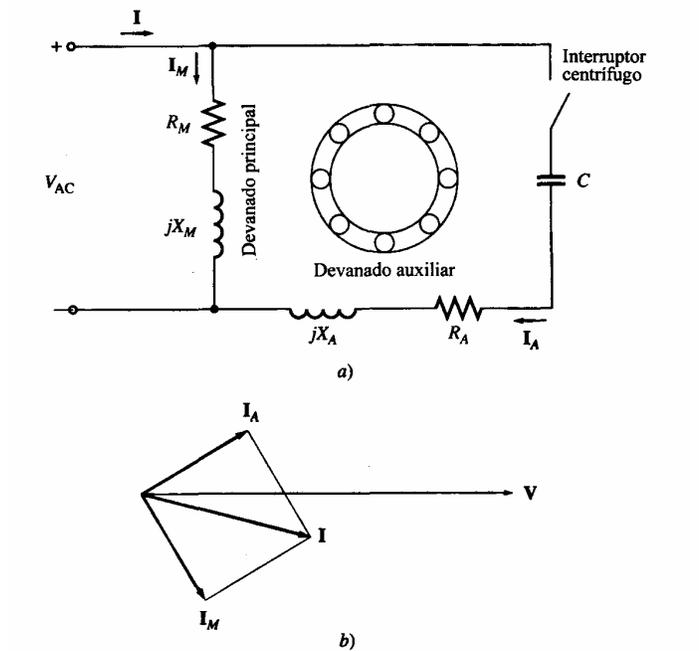


Figura 2.5. Motor monofásico con capacitor de arranque. (a) esquemático, (b) desfase de corrientes[9].

Los pares del motor de fase partida van del 1.5 a 2.0 veces el par nominal y nunca son mayores de $\frac{3}{4}$ hp [6].

En virtud de su mayor par de arranque, los motores de fase partida y arranque por capacitor se emplean para bombas, compresores, unidades de refrigeración, acondicionadores de aire y lavadoras grandes, en los que se necesita un motor monofásico que desarrolla alto par de arranque bajo carga y cuando se requiere un motor reversible [6].

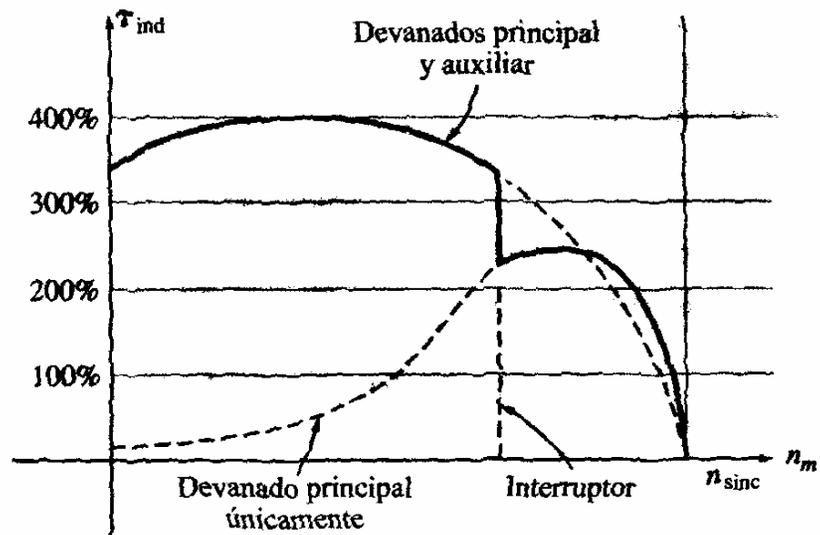


Figura 2.6. Característica par-velocidad de un motor de inducción de arranque por capacitor [9].

2.4.3 Motor con capacitor de marcha.

Este tipo de motor tiene dos devanados permanentes que, en general, se arrollan con alambre del mismo diámetro y el mismo número de vueltas; es decir, los devanados son idénticos (figura 2.7) [6].

Ya que trabaja en forma continua como motor de arranque por capacitor no se necesita interruptor centrífugo. Los motores de este tipo arrancan y trabajan en virtud de la descomposición de la fase de cuadratura que producen los dos devanados idénticos desplazados en tiempo y espacio. En consecuencia, no tiene el alto par de marcha normal que producen los motores ya sea de arranque por capacitor o de arranque por resistencia.

El capacitor que se usa se diseña para servicio continuo y es del tipo de baño de aceite. El valor del capacitor se basa más en su característica de marcha óptima que en la de arranque. Al instante de arranque, la corriente en la rama capacitiva es muy baja. El

resultado es que estos motores, a diferencia de los de arranque por capacitor, tienen par de arranque muy deficiente, de entre 50 a 100 por ciento del par nominal, dependiendo de la resistencia del rotor [6].

Este tipo de motor se presta al control de velocidad por variación del voltaje de suministro. Se usan diversos métodos para ajustar el voltaje aplicado al estator y producir el control deseado de velocidad, como transformadores con varias salidas, variacs, potenciómetros y resistencias o reactores con varias salidas [6].

Debido a su funcionamiento uniforme y a la posibilidad de controlar la velocidad, las aplicaciones de este motor pueden ser ventiladores de toma y descarga en máquinas de oficina, unidades de calefacción o aire acondicionado.

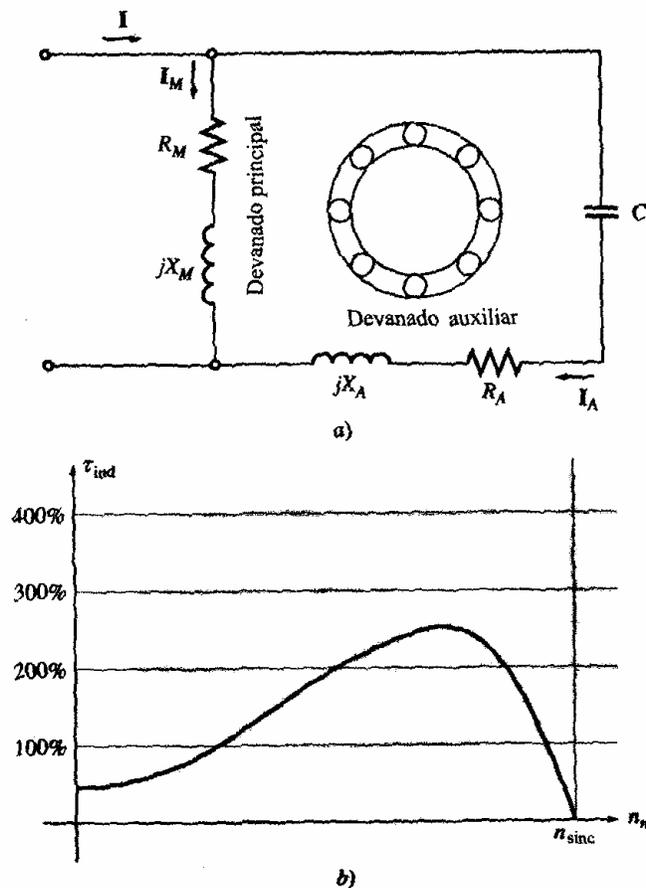


Figura 2.7. Motor monofásico con capacitor de marcha. (a) esquemático, (b) característica torque-velocidad [9].

2.4.4 Motor con capacitor de arranque y de marcha.

El motor de capacitor de marcha tiene un punto débil importante que es su bajo par de arranque. El motor de capacitor de arranque y de marcha, combina las ventajas de funcionamiento casi sin ruido y de control limitado de velocidad del capacitor de marcha con el alto par de arranque del motor de arranque por capacitor. Se emplean dos capacitores durante el periodo de arranque. Uno de ellos, el capacitor electrolítico de arranque, semejante al que se usa para el trabajo intermitente del motor de arranque por capacitor, tiene una capacitancia bastante alta, de 10 a 15 veces el valor del capacitor de marcha y se saca del circuito mediante un interruptor centrífugo al alcanzar el 75% de la velocidad síncrona y con ello produce el par de arranque necesariamente alto (figura 2.8b). Entonces el motor continua acelerando como motor de un capacitor, con el valor óptimo de la capacitancia del dispositivo de aceite para trabajar en la carga nominal o cerca de ésta [6].

La ventaja principal del motor de capacitor de dos valores es su alto par de arranque, aunado al trabajo poco ruidoso y al buen par de funcionamiento. Se clasifica como motor invertible porque cuando las terminales de la línea de un devanado se invierten, se pone a trabajar en reversa del modo acostumbrado.

Entre las aplicaciones podemos mencionar las unidades domésticas de acondicionamiento de aire, en las que se emplea en el compresor y que trabajan con una corriente de ramal igual a 15 A [6].

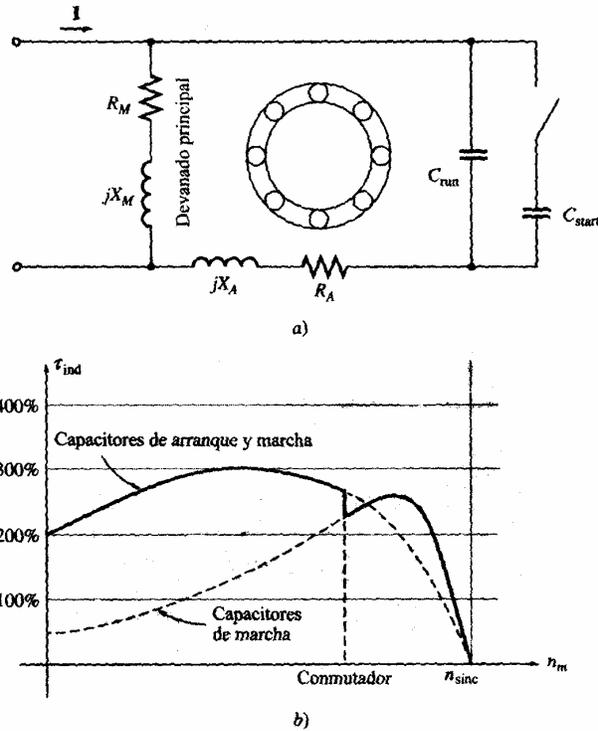


Figura 2.8. Motor monofásico con capacitor de arranque y de marcha [9].

2.4.5 Motor de Polos Sombreados.

Todos los motores monofásicos que se describieron anteriormente emplean estatores con entrehierros uniformes con respecto a sus devanados de rotor y estator, que están distribuidos uniformemente por la periferia del estator. Los métodos de arranque se basan en general en el principio de la fase partida de producir un campo magnético rotatorio para iniciar el giro del rotor [6].

El motor de polos sombreados es, en general, un motor pequeño de potencia fraccionaria que no es mayor de 1/10 hp, aunque se han producido motores hasta de ¼ hp. La gran ventaja de este motor estriba en su extrema simplicidad: un devanado monofásico de rotor, rotor con jaula de ardilla vaciada y piezas polares especiales. No tiene

interruptores centrífugos, capacitores, devanados especiales de arranque ni conmutadores. Tiene tan sólo un devanado monofásico pero es inherentemente de arranque propio.

La figura 2.9a muestra la construcción general de un motor de polos sombreados (dos polos salientes). Las piezas polares especiales se forman con laminaciones y una bobina de sombreado en cortocircuito, o bien un anillo de cobre macizo de una sola vuelta, alrededor del segmento más pequeño de la pieza polar. La bobina de sombreado está separada del devanado principal de ca y sirve para proveer una división de fase del flujo principal del campo, demorando el cambio de flujo en el segmento menor [6].

El flujo en el segmento del polo sombreado siempre está en retraso al correspondiente en el segmento principal, tanto en tiempo como en espacio físico, aunque no existe entre ellos una verdadera relación de 90° . El resultado es que se produce un campo magnético rotatorio, suficiente para originar un pequeño desbalanceo en los pares del rotor, tal que el par en el sentido de las manecillas del reloj es mayor que el contrario, o viceversa, y el rotor siempre gira en la dirección del campo rotatorio [6].

El motor de polos sombreados es robusto, barato, pequeño y necesita de poco mantenimiento. Desafortunadamente tiene bajo par de arranque, baja eficiencia y bajo factor de potencia. Tratándose de un motor pequeño, las últimas dos consideraciones no son serias. Su bajo par de arranque limita su aplicación a motores económicos de tornamesas, proyectores de cine, asadores eléctricos, ventiladores y fuelles pequeños, máquinas expendedoras, tornamesas de exhibición en escaparates, sintonizadores de TV de control remoto y otras cargas relativamente ligeras de servomecanismos [6].

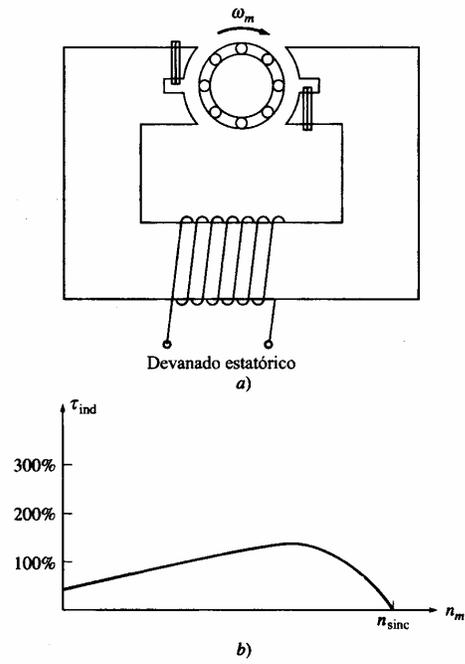


Figura 2.9. Motor de Polos sombreados; (a) construcción, (b) característica torque-velocidad [9].