

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

MANUAL DE TIPOS DE MOTORES ELÉCTRICOS, RECONOCIMIENTO Y SUS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

JONATHAN ESTEBAN VALENZUELA CERÓN

jonaovalenzuela@gmail.com

DIRECTOR: Ing. Marco Torres

marantorna@hotmail.com

Quito, Enero 2013

DECLARACIÓN

Yo Jonathan Esteban Valenzuela Cerón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**Jonathan Esteban Valenzuela
Cerón**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jonathan Esteban Valenzuela Cerón, bajo mi supervisión.

Ing. Marco Torres
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

A Dios por permitirme terminar esta etapa de mi vida y bendecirme en todas las cosas que realizo cada día.

A mis padres en especial a mi madre por su apoyo y por enseñarme que con esfuerzo y sacrificio es satisfactorio alcanzar las metas anheladas.

A mis profesores por compartirme sus conocimientos y consejos en las aulas.

A todas la personas que de una u otra manera me apoyaron para la culminación de mi carrera.

Jonathan

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
CAPÍTULO 1	1
1. MOTORES PARA CORRIENTE CONTINUA.	1
1.1. GENERALIDADES DEL MOTOR C.C.	1
1.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR C.C.	1
1.1.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES EN UN MOTOR C.C.	2
1.2. PARTES QUE CONFORMAN EL MOTOR C.C.	4
1.2.1 INDUCTOR O ESTATOR	5
1.2.1.1. Culata	5
1.2.1.2. Polos principales o inductores	6
1.2.1.3. Polos de conmutación o auxiliares	6
1.2.1.4. Devanados o bobinados	6
1.2.2. INDUCIDO O ROTOR	7
1.2.3. COLECTOR	7
1.2.4. ESCOBILLAS Y PORTAESCOBILLAS	8
1.3. TIPOS DE MOTORES C.C.	9
1.3.1. DE ACUERDO AL TIPO DE CONEXIÓN DEL BOBINADO	9
1.3.1.1 Motor c.c. derivación	11
1.3.1.2 Motor c.c. excitación independiente	12
1.3.1.3 Motor c.c. serie	12
1.3.1.4 Motor c.c. compuesto	14
1.3.2 DE IMANES PERMANENTES	16
1.4 RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.C.	17
1.4.1 RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.C. CAMPO DEVANADO	17
1.4.2 RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.C. DE IMAN PERMANENTE	18
1.5 APLICACIONES DE LOS MOTORES C.C.	19

CAPÍTULO 2	23
2. MOTORES PARA C.A. SÍNCRONOS	23
2.1. GENERALIDADES DE LOS MOTORES C.A. SÍNCRONOS 23	
2.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES C.A. SÍNCRONOS	23
2.1.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES EN UN MOTOR C.A. SÍNCRONO	25
2.2. PARTES QUE CONFORMAN EL MOTOR C.A. SÍNCRONO	26
2.2.1. ESTATOR	26
2.2.2. ROTOR.....	27
2.2.3. ANILLOS ROZANTES	28
2.2.4. DEVANADO AMORTIGUADOR	28
2.3. TIPOS DE MOTORES C.A. SÍNCRONOS	29
2.3.1. MOTOR C.A. SÍNCRONO TIPO ROTOR LISO	29
2.3.2. MOTOR C.A. SÍNCRONO TIPO ROTOR DE POLOS SALIENTES 30	
2.3.3. CURVAS V CARACTERÍSTICAS PARA UN MOTOR SÍNCRONO 31	
2.4. RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.A. SÍNCRONOS	33
2.5. APLICACIONES DE LOS MOTORES C.A. SÍNCRONOS 33	
2.5.1. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	34
2.5.2. VELOCIDAD CONSTANTE	34
2.5.3. ALTO RENDIMIENTO	34
2.5.4. ALTA CAPACIDAD DE PAR	35
 CAPÍTULO 3	 38
3. MOTORES TRIFÁSICOS PARA C.A. ASÍNCRONOS 38	
3.1. GENERALIDADES DE LOS MOTORES C.A. ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	38
3.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS	38
3.1.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL MOTOR TRIFÁSICO. .	39
3.2. PARTES QUE CONFORMAN EL MOTOR C.A. ASÍNCRONO TRIFÁSICO	40

3.2.1. ESTATOR	40
3.2.2. ROTOR.....	41
3.3. TIPOS DE MOTORES C.A. ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	42
3.3.1. MOTOR TRIFÁSICO C.A. ASÍNCRONO TIPO JAULA DE ARDILLA.....	42
3.3.1.1. Motor trifásico de jaula de ardilla clase A.....	46
3.3.1.2. Motor trifásico de jaula de ardilla clase B.....	46
3.3.1.3. Motor trifásico de jaula de ardilla clase C.....	47
3.3.1.4. Motor trifásico de jaula de ardilla clase D.....	48
3.3.1.5. Motor trifásico de jaula de ardilla clase F.....	49
3.3.2. MOTOR TRIFÁSICO C.A. ASÍNCRONO TIPO ROTOR BOBINADO.....	50
3.4. RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.A. ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	51
3.5. APLICACIONES DE LOS MOTORES C.A. ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS.....	53
CAPÍTULO 4.....	59
4. MOTORES MONOFÁSICOS PARA C.A. ASÍNCRONOS.....	59
4.1. GENERALIDADES DE LOS MOTORES MONOFÁSICOS C.A. ASÍNCRONOS	59
4.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES MONOFÁSICOS.....	59
4.2. PARTES QUE CONFORMAN EL MOTOR MONOFÁSICO C.A. ASÍNCRONO.....	62
4.2.1. ESTATOR	63
4.2.2. ROTOR.....	63
4.2.3. INTERRUPTOR CENTRÍFUGO	64
4.2.4. CAPACITORES O CONDENSADORES.....	65
4.3. TIPOS DE MOTORES MONOFÁSICOS C.A. ASÍNCRONOS	65
4.3.1. MOTOR MONOFÁSICO C.A. ASÍNCRONO CON FASE PARTIDA.....	66
4.3.2. MOTORES MONOFÁSICO C.A. ASÍNCRONOS CON CAPACITORES.....	68
4.3.2.1. Motor monofásico con capacitor de arranque.	68

4.3.2.2. Motor monofásico con capacitor permanente.....	69
4.3.2.3. Motor monofásico con capacitor de arranque y de funcionamiento permanente.....	71
4.3.3. MOTOR MONOFÁSICO CON POLOS SOMBREADOS.	72
4.4. RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES MONOFÁSICOS	
C.A. ASÍNCRONOS	74
4.4.1. RECONOCIMIENTO DE MOTORES MONOFÁSICO CON FASE PARTIDA.....	74
4.4.2. RECONOCIMIENTO DE MOTORES MONOFÁSICOS CON CAPACITORES.....	75
4.4.3. RECONOCIMIENTO DE MOTORES MONOFÁSICO CON POLOS SOMBREADOS.....	76
4.5. APLICACIONES DE LOS MOTORES MONOFÁSICOS	
C.A. ASÍNCRONOS.	77
CAPÍTULO 5	78
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
5.1. CONCLUSIONES	78
5.2. RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes del motor c.c. corte transversal	4
Figura 1.2 Partes principales del motor c.c.	4
Figura 1.3. Estator de un motor c.c. tetrapolar se puede observar los 4 polos principales de mayor tamaño a los 4 polos auxiliares	5
Figura 1.4 Devanados del estator de un motor c.c. bipolar.....	6
Figura 1.5 Rotor de un motor c.c.	7
Figura 1.6. Colector de un motor c.c.	8
Figura 1.7. Portaescobillas y escobillas se puede observar al lado derecho del motor c.c.....	8
Figura 1.8. Curvas características velocidad-carga de motores c.c.....	10

Figura 1.9. Curvas características par-carga de motores c.c.	10
Figura 1.10. Esquema motor c.c. derivación	11
Figura 1.11. Esquema motor c.c. excitación independiente	12
Figura 1.12. Esquema motor c.c. serie	14
Figura 1.13. Esquema motor c.c. compuesto	15
Figura 1.14. Motor c.c. con imanes permanentes	16
Figura 1.15. Colector, escobilla y porta escobilla en motor c.c.	17
Figura 1.16. Reconocimiento motor c.c. con imanes permanentes	18
Figura 1.17. Aplicación: cilindro tensor de tiras. Motor c.c. de 325 kW.	20
Figura 1.18. Aplicación: laminación en frío. 2 motores de corriente continua, 1.119 kW; 6 motores de corriente continua, 522 kW; 4 motores de corriente continua, 448 kW.	20
Figura 1.19. Aplicación: molienda de caña de azúcar. Motor c.c. de 746 kW	21
Figura 1.20. Aplicación: cintas transportadoras. Motor c.c. 350kW	21
Figura 1.21. Aplicación: laminación. 5 motores de corriente continua, 750 kW; 14 motores de corriente continua, 400 kW; 5 motores de corriente continua, 100 kW; 5 motores de corriente continua, 55 kW; 3 motores de corriente continua, 23 kW.	22
Figura 2.1. Principio de funcionamiento del motor c.a. sincrónico	24
Figura 2.2. Triángulo para determinar el voltaje resultante	25
Figura 2.3. Partes motor síncrono del tipo rotor liso	26
Figura 2.4. Partes motor síncrono del tipo rotor de polos salientes	26
Figura 2.5. Estator de un motor c.a. síncrono	27
Figura 2.6. Rotor de un motor síncrono	27
Figura 2.7. Anillos rozantes del motor síncrono	28
Figura 2.8. Devanado amortiguador del motor síncrono	29
Figura 2.9. Rotor liso motor c.a síncrono	30
Figura 2.10. Rotor polos salientes motor c.a. síncrono	30
Figura 2.11. Rotor polos salientes motor c.a. síncrono	31
Figura 2.12. Curva V característica corriente de armadura-corriente de campo para el motor síncrono	32
Figura 2.13. Curva V característica factor de potencia-corriente de campo para el motor síncrono	32
Figura 2.14. Reconocimiento motor c.a. síncrono	33
Figura 2.15. Aplicación: compresores recíprocos: 2 motores sincrónicos	36
Figura 2.16. Aplicación: bomba. Motor sincrónico SDA800, 2.500 HP, 6.600 V, 6 polos	36
Figura 2.17. Aplicación: laminación siderúrgica. Motores Sincrónicos SDL800, 3.000 kW, 3.100 V	37
Figura 2.18. Aplicación: laminación. 7 motores sincrónicos SDL800, 3.000 kW, 3.100 V	37
Figura 3.1. Partes motor trifásico asíncrono c.a.	40
Figura 3.2. Estator motor asíncrono trifásico c.a.	41
Figura 3.3. Rotor jaula de ardilla motor asíncrono trifásico c.a.	41

Figura 3.4. Rotor bobinado motor asíncrono trifásico c.a.....	42
Figura 3.5. Partes motor trifásico asíncrono c.a. rotor jaula de ardilla	43
Figura 3.6. Corte con sus partes del motor trifásico asíncrono c.a. rotor jaula de ardilla	43
Figura 3.7. Clasificación NEMA curvas características de motores	45
Figura 3.8. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase A.	46
Figura 3.9. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase B.	47
Figura 3.10. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase C.	48
Figura 3.11. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase D	49
Figura 3.12. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase F.....	50
Figura 3.13 Partes motor trifásico asíncrono c.a. rotor bobinado	50
Figura 3.14. Corte motor trifásico asíncrono c.a. rotor bobinado.....	51
Figura 3.15. Reconocimiento motor c.a. trifásico jaula de ardilla.....	51
Figura 3.16. Reconocimiento motor c.a. trifásico jaula de ardilla (corte de la carcaza).....	52
Figura 3.17. Reconocimiento motor c.a. trifásico rotor bobinado	52
Figura 3.18. Reconocimiento motor c.a. trifásico rotor bobinado (3 porta- escobillas con sus escobillas).....	53
Figura 3.19. Aplicación: bombas. 7 motores de inducción MGF8809, 1.267 HP, 4.160 V, 2 polos	54
Figura 3.20. Aplicación: sopladores para aire. 4 motores de inducción HGF450, 630 kW, 6.600 V, 2 polos.	54
Figura 3.21. Aplicación: molino de bolas. 2 motores de inducción de rotor bobinado MAF800, 4.600 kW, 11.000 V, 6 polos	55
Figura 3.22. Aplicación: bombas. 3 motores de inducción MGA12806, 2.500 HP, 4.000 V, 8 polos.	55
Figura 3.23. Aplicación: cintas transportadoras. Motor de inducción HGF630, 2.788 HP, 2.300 V, 6 polos.....	56
Figura 3.24. Aplicación: molienda caña de azúcar. Motor de inducción HGF450, 736 kW, 480 V, 6 polos	56
Figura 3.25. Aplicación: compresor para aire. 2 motores de inducción KGA560, 1.472 kW. 13.800 V, 2 polos.	57
Figura 3.26. Aplicación: bombas centrífugas: 3 motores de inducción MGA560, 920 kW, 3.800 V, 8 polos; 3 motores de inducción HGF315, 258 kW, 3.800 V, 4 polos.....	57
Figura 3.27. Aplicación: extractores de aire. Motor de inducción MGP8010, 900 kW, 4.160 V, 8 polos.....	58
Figura 3.28. Aplicación: Elevadores, ascensores	58
Figura 4.1. Generación de un par neto nulo al aplicar una señal monofásica al estator de un motor.....	60
Figura 4.2. Generación de un par resultante al aplicar una señal monofásica al estator de un motor, después del arranque.....	60
Figura 4.3. Teoría de doble campo giratorio de los motores monofásicos.....	61
Figura 4.4. Teoría de campo cruzado de los motores monofásicos.....	62

Figura 4.5. Partes generales de motor monofásico c.a. asíncrono.	63
Figura 4.6. Partes generales de motor monofásico c.a. asíncrono.	64
Figura 4.7. Tipos de interruptores centrífugos	65
Figura 4.8. Comparación entre motores monofásicos de inducción.....	66
Figura 4.9. Diagrama eléctrico del motor monofásico con fase partida.....	67
Figura 4.10. Curva par-deslizamiento del motor monofásico con fase partida.	67
Figura 4.11. Diagrama eléctrico del motor monofásico con capacitor de arranque.....	68
Figura 4.12. Curva par-deslizamiento del motor monofásico con capacitor de arranque.....	69
Figura 4.13. Diagrama eléctrico del motor monofásico con capacitor permanente (se puede observar la característica de variación de velocidad con autotransformador y cambio de sentido de giro).....	70
Figura 4.14. (a) Curva par-deslizamiento del motor monofásico con capacitor permanente. (b) Curva característica de velocidad regulable.....	70
Figura 4.15. Diagrama eléctrico del motor monofásico con dos capacitores	71
Figura 4.16. Curva par-deslizamiento del motor monofásico con dos capacitores	72
Figura 4.17. Motor monofásico con polos estáticos sombreados.	73
Figura 4.18. Curva par-deslizamiento del motor monofásico con polos estáticos sombreados.....	73
Figura 4.19. Reconocimiento de motores monofásicos con fase partida se puede observar la carcasa de un solo cuerpo.....	74
Figura 4.20. Reconocimiento de motores monofásicos con capacitor: (a) permanente (b) de arranque.....	75
Figura 4.21. Reconocimiento de motores monofásicos con capacitor de arranque y permanente, se puede observar el espacio de los dos capacitores.	76
Figura 4.22. Reconocimiento de motores monofásicos con polos estáticos sombreados.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características técnicas de motores c.c. WEG	19
Tabla 3.1. Clasificación NEMA motores jaula de ardilla.....	44
Tabla 3.2. Características NEMA motores jaula de ardilla	45

CAPÍTULO 1

1. MOTORES PARA CORRIENTE CONTINUA.

1.1. GENERALIDADES DEL MOTOR C.C.

Los motores para corriente continua se utilizan en algunas aplicaciones gracias a la facilidad y precisión con la que se puede controlar y regular su velocidad. Los motores de corriente continua pueden entregar más de cinco veces el par nominal si lo permite la alimentación de energía eléctrica. Se puede decir que las características principales de un motor c.c. son:

- Un torque de arranque elevado.
- Alta capacidad para controlar su velocidad.

1.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR C.C.

Al circular una corriente eléctrica por el devanado del estator, se genera una fuerza magnetomotriz necesaria para crear el flujo que se establece en el conjunto magnético, por lo que a este devanado se le denomina inductor o de excitación. Por otra parte, en el devanado del rotor se induce una fuerza electromotriz que da lugar a un par motor, denominándose a este devanado como inducido. El par desarrollado por el eje del motor es directamente proporcional al flujo de campo y a la corriente en la armadura.

1.1.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES PARA UN MOTOR C.C.

Las ecuaciones principales en un motor para corriente continua son las que toman en cuenta la transferencia de energía a la carga así:

Torque o par desarrollado:

$$T = \frac{\phi \cdot I_A \cdot l \cdot Z \cdot r}{a} \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \text{ [Newton}\cdot\text{metro]} \quad (1.1)$$

Donde:	T	Torque
	ϕ	Densidad de flujo magnético
	I_A	Corriente por la armadura
	l	Longitud activa del conductor
	Z	Número total de conductores
	r	Distancia radial al eje de rotación
	a	Número de trayectorias en el devanado de la armadura.

La ecuación (1.1) nos indica que la manera de variar el torque T en un motor c.c. es aumentando la corriente de armadura I_A o la densidad de flujo ϕ o ambos a la vez, ya que todos los demás factores de la ecuación son constantes debido a que son aspectos constructivos del motor c.c. y no pueden variarse salvo que se desarme el motor c.c. y se varíen sus dimensiones.

Velocidad o revoluciones por minuto:

$$S = \frac{V_A - (I_A R_A + CE)}{\phi} \quad (\text{r.p.m.}) \text{ [revoluciones por minuto]} \quad (1.2)$$

Donde:	S	Revoluciones por minuto del motor
	V_A	Voltaje de alimentación
	\emptyset	Densidad de flujo magnético
	I_A	Corriente por la armadura
	R_A	Resistencia de armadura
	CE	Caída de voltaje en las escobillas

La ecuación (1.2) nos indica que si disminuye mucho el campo magnético \emptyset de un motor c.c. este desbocará, lo que quiere decir que las r.p.m. aumentaran hasta el punto en que el motor se autodestruirá por su propia velocidad, esto se da en los motores c.c. conexión serie. También nos indica que si se mantienen constantes la corriente I_A y el flujo \emptyset , y se aumenta el voltaje de alimentación V_A , aumentará la velocidad S en la misma proporción.

Potencia de salida:

$$P_s = \frac{w \cdot T}{746} \quad (\text{hp}) \quad [\text{horse power}] \quad (1.3)$$

Donde:	P_s	Potencia de salida, es decir, potencia de salida en el eje del motor c.c.
	w	Velocidad de giro en rad/seg
	T	Torque en Newton·metro

1.2. PARTES QUE CONFORMAN EL MOTOR C.C.

Un motor para corriente continua esta conformado por las partes que se puede observar en las figura 1.1 y la figura 1.2:

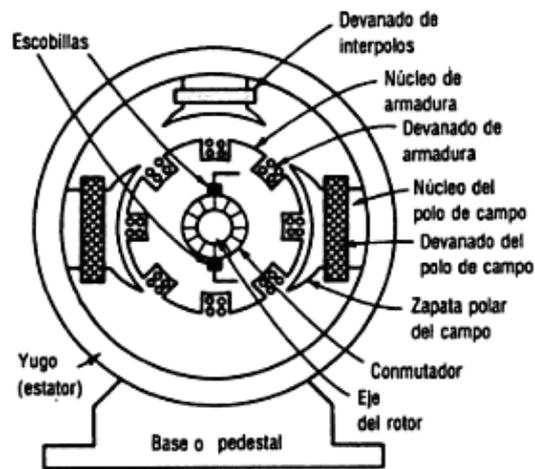
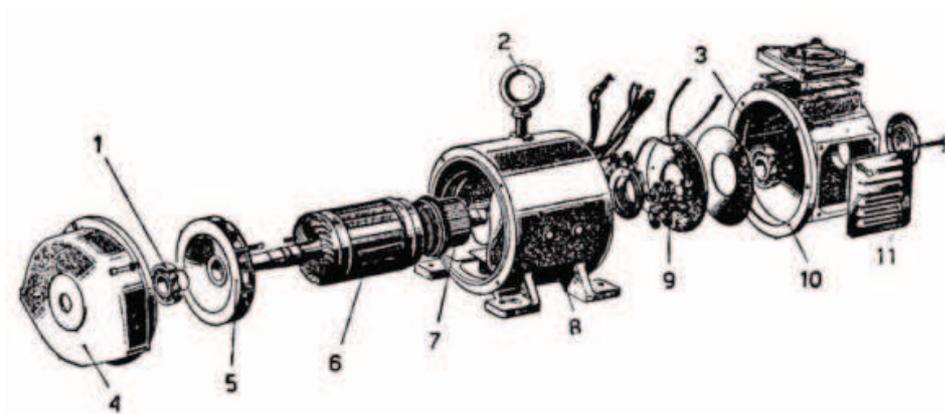


Figura 1.1 Partes del motor c.c. corte transversal

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.40



- | | |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1 Cojinetes | 7 colector |
| 2 anillo de levantamiento | 8 estator |
| 3 Cojinetes | 9 escobilla y puerta escobilla |
| 4 brida soporte eje | 10 brida soporte colector |
| 5 turbina de ventilación | 11 tapa |
| 6 Inducido | |

Figura 1.2 Partes principales del motor c.c.

Fuente: <http://electricidad-viatger.blogspot.com/2009/11/averias-en-motores-de-corriente.htm>

1.2.1 INDUCTOR O ESTATOR

Es la parte de la máquina destinada a producir el campo magnético. El inductor consta a su vez de las siguientes partes:

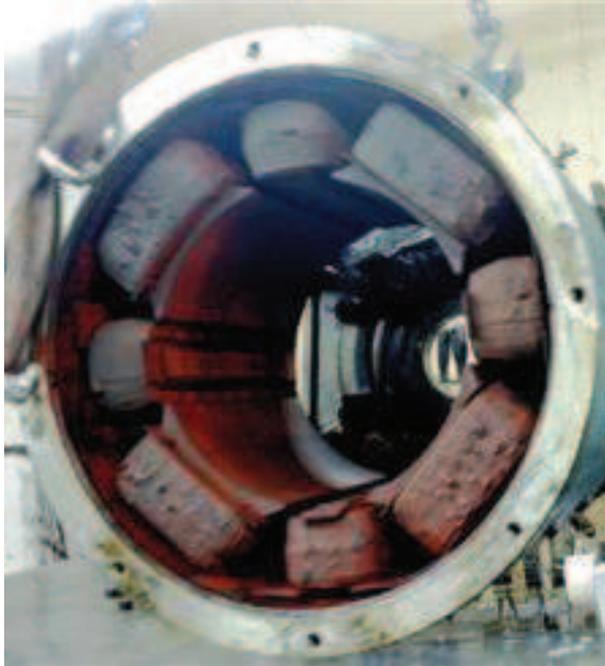


Figura 1.3. Estator de un motor c.c. tetra polar se puede observar la culata, los 4 polos principales de mayor tamaño a los 4 polos auxiliares

Fuente: MANZANO Juan, 2010, "Máquinas eléctricas", Madrid, España, pp. 95

1.2.1.1. Culata

Pieza cilíndrica de material ferromagnético (hierro, acero, etc.), no rodeada de devanados que sirve para cerrar el circuito magnético, uniendo los polos de la máquina eléctrica, también sirve para soportar los polos principales, los auxiliares, los soportes de las escobillas y con la ayuda de la cual la máquina se sujeta a la base.

1.2.1.2. Polos principales o inductores

Son elementos que sobresalen de la culata destinados a obtener el máximo flujo con el mínimo de corriente de excitación. Pueden estar contruidos con imanes permanentes, aunque lo normal es que sean electroimanes sujetos a la culata. Estos polos inductores constan de un núcleo de chapa magnética, denominado núcleo polar, sobre el que se arrolla el devanado inductor, y una expansión polar o zapata que es la parte más próxima al inducido y que rodea el entrehierro. El número de polos será siempre par, puesto que el circuito magnético comprende un polo norte y un polo sur, hablándose de máquinas bipolares, tetra polares, etc. según el número de polos con que cuente la máquina.

1.2.1.3. Polos de conmutación o auxiliares

Igual que el polo principal, consta del núcleo polar que termina con la zapata polar y la bobina de excitación se instalan entre los polos principales. Tienen como misión mejorar la conmutación.

1.2.1.4. Devanados o bobinados

Son bobinas situadas alrededor de los polos destinadas a conducir la corriente de excitación.



Figura 1.4 Devanados del estator de un motor c.c. bipolar

Fuente: MANZANO Juan, 2010, "Máquinas eléctricas", Madrid, España, pp. 91

1.2.2. INDUCIDO O ROTOR

Es la parte giratoria del motor. Consta de una pieza cilíndrica ranurada, montada sobre un eje, formada por un núcleo de chapas de material ferromagnético aisladas entre sí por medio de barnices. En las ranuras se alojan las bobinas que forman el devanado inducido, estando el final de cada bobina conectado al comienzo de la siguiente formando un devanado cerrado.

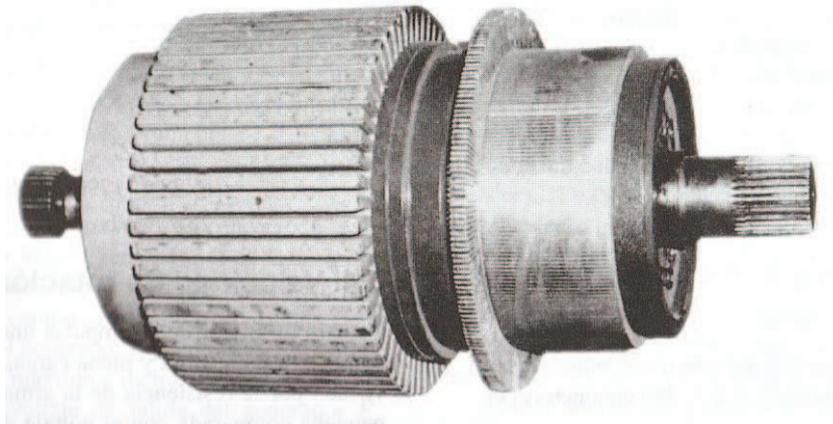


Figura 1.5 Rotor de un motor c.c.

Fuente: WILDI Theodore, 2007, "Máquinas eléctricas y Sistemas de Potencia", México, pp. 99

1.2.3. COLECTOR

Es un cilindro formado por delgas de cobre trapezoidales, aisladas entre sí por una capa de mica y que gira conjuntamente con el rotor. Las delgas están conectadas a las bobinas del inducido, y por medio de ellas podemos conectar el devanado al exterior. Cada delga está unida eléctricamente al punto de conexión de dos bobinas del inducido, de tal forma que habrá tantas delgas como bobinas simples tenga el devanado inducido.

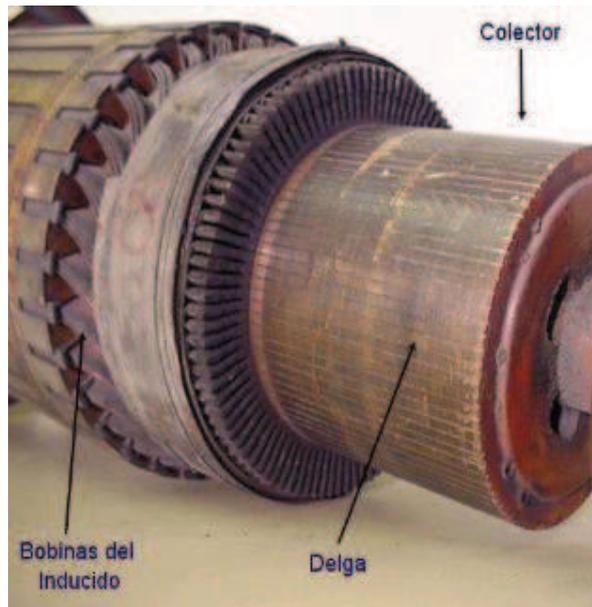


Figura 1.6. Colector de un motor c.c.

Fuente: <http://www.tuveras.com>

1.2.4. ESCOBILLAS Y PORTAESCOBILLAS

Son piezas generalmente de grafito, destinadas a asegurar, por contacto deslizante, la conexión eléctrica entre el elemento móvil, colector de delgas, y el elemento fijo, circuito exterior. Las escobillas se sujetan mediante los porta escobillas, que además de sujetar la escobilla, aseguran su correcto contacto con el colector.



Figura 1.7. Porta escobillas y escobillas se puede observar al lado derecho del motor c.c.

Fuente: VALENZUELA Jonathan

1.3. TIPOS DE MOTORES C.C.

A los motores para corriente continua se los puede clasificar en dos grupos:

- de acuerdo al tipo de conexión del bobinado.
- de imanes permanentes

1.3.1. DE ACUERDO AL TIPO DE CONEXIÓN DEL BOBINADO

Se diferencian básicamente en la forma de conectar el devanado inducido y el inductor a la red. Recordemos que los devanados no son más que elementos de un circuito eléctrico y que pueden estar conectados de forma independiente a la red, o bien estar conectados entre sí en serie, en paralelo o de forma mixta. Entonces de acuerdo al tipo de conexión se clasifican en:

- Motor c.c. derivación
- Motor c.c. excitación independiente
- Motor c.c. serie
- Motor c.c. compuesto acumulado
- Motor c.c. compuesto diferencial

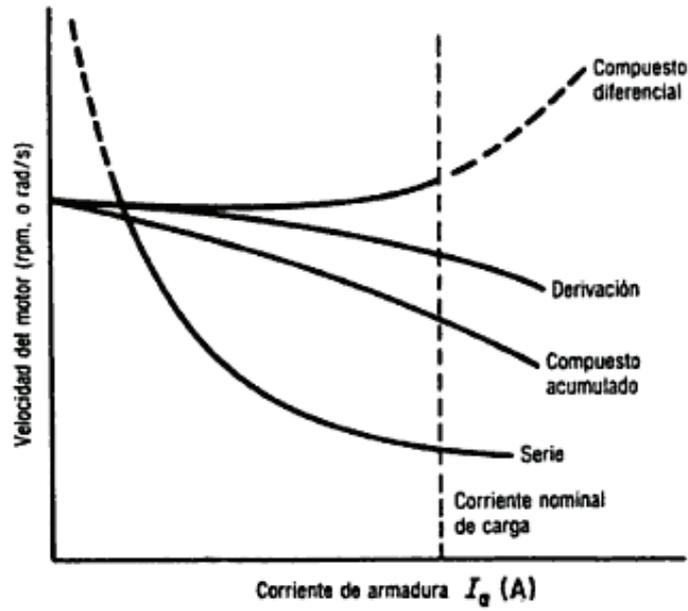


Figura 1.8. Curvas características velocidad-carga de motores c.c.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.130

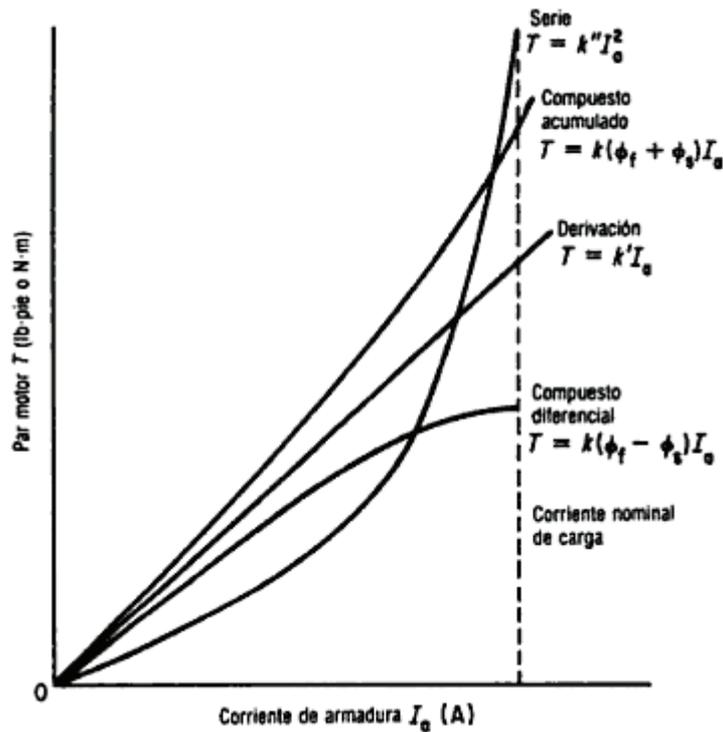


Figura 1.9. Curvas características par-carga de motores c.c.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.128

1.3.1.1 Motor c.c. derivación

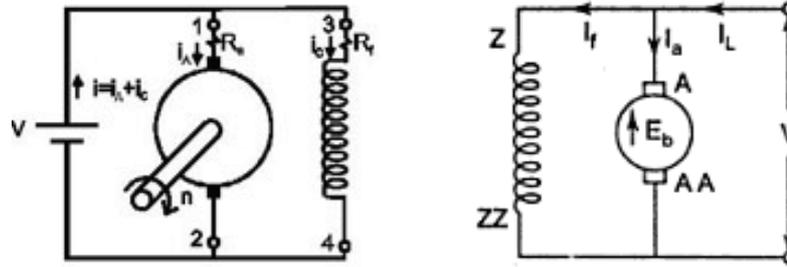


Figura 1.10. Esquema motor c.c. derivación

Fuente: YADUVIR Verma, 2010, "Fundamentals of Electrical Engineering", New Delhi, pp.330

En este tipo de motores, el devanado inductor y el inducido se encuentran conectados entre sí en paralelo como se ve en la Figura 1.10 y ambos a una línea eléctrica de corriente continua de voltaje, de forma que la corriente que circula por el devanado de excitación permanece constante (por tanto también el flujo). La velocidad a plena carga es sólo un 2 – 8% inferior a la velocidad en vacío. El que la velocidad apenas dependa de la carga justifica que a este motor se le conozca como motor autorregulado en velocidad, resultando de gran aplicación en máquinas herramientas.

Como el flujo del campo del motor, sin tomar en cuenta la reacción de armadura, se puede considerar constante, la velocidad del motor se puede expresar en términos de la ecuación básica de la velocidad mostrada en (1.2)¹

$$S = \frac{V_A - I_A R_A}{\phi} \quad (\text{r.p.m.}) \text{ [revoluciones por minuto]} \quad (1.4)$$

En lo referente al par electromagnético, éste venía dado por la ecuación (1.1) y si el flujo se mantiene constante, la curva característica de par es una línea recta que pasa por el origen como se ve en la Figura 1.9. Sin embargo, si la reacción en el inducido no es nula, se produce una ligera disminución del par a partir de cierto

¹ KOSOW, Irving/"Máquinas eléctricas y transformadores"/Barcelona/Reverté, 1992.

valor de la intensidad en el inducido, que da lugar a que éste deje de crecer de forma lineal.

1.3.1.2 Motor c.c. excitación independiente

Se trata de un motor con las mismas características que el motor c.c. derivación, y la única diferencia es que el devanado inductor se conecta a una fuente diferente de la utilizada para el devanado inducido. Esta diferencia en las conexiones sigue permitiendo que la intensidad que circula por el inductor sea constante, por lo que sus características serán las mismas que las del motor c.c. en derivación.

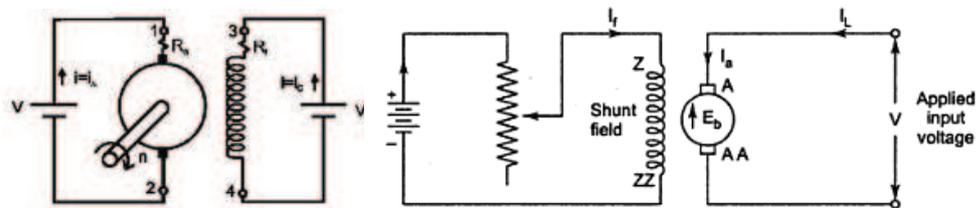


Figura 1.11. Esquema motor c.c. excitación independiente

Fuente: YADUVIR Verma, 2010, "Fundamentals of Electrical Engineering", New Delhi, pp.329

1.3.1.3 Motor c.c. serie

En este tipo de motor, el devanado inductor y el inducido están conectados en serie entre sí, de forma que ambos estarán recorridos por la misma intensidad.

Como se observa en la Figura 1.8 si disminuye la carga, lo hace también la corriente que se absorbe con el consiguiente aumento de la velocidad el motor se embalará, lo que quiere decir, es que el motor aumenta tendiendo al infinito su velocidad hasta llegar a un punto de autodestruirse por su propio exceso de velocidad. Del lado contrario, si se sobrecarga el motor la situación es inversa la velocidad disminuye, pudiéndose detener el motor.

A diferencia del motor en derivación, en el que el par variaba linealmente con la intensidad, en el motor en serie lo hará de forma cuadrática para bajas intensidades y de forma lineal para grandes intensidades como se observa en la Figura 1.9, al igual que en el motor en derivación, si consideramos la reacción en el inducido, a medida que aumenta la carga el aumento del par es menor que el teórico, y si consideramos las pérdidas mecánicas y en el hierro, la curva se desplaza hacia la derecha.

Como tenemos conectado en serie el bobinado del estator la ecuación para el motor c.c. serie viene dada por:

$$S = \frac{V_A - I_A(R_A + R_S)}{\phi} \quad (\text{r.p.m.}) \text{ [revoluciones por minuto]} \quad (1.5)$$

Donde:	S	Revoluciones por minuto del motor
	V_A	Voltaje de alimentación
	ϕ	Densidad de flujo magnético
	I_A	Corriente por la armadura
	R_A	Resistencia de armadura
	R_S	Resistencia del bobinado del estator conectado en serie

Analizando las curvas para el par del motor en derivación y en serie, vemos que en este último se consiguen incrementos iguales del par con aumentos menores de intensidad, en comparación al de derivación, por lo que el motor en serie se emplea de manera especial para accionamientos que exijan aceleración y pares de arranques elevados.

El motor c.c. serie tiene una elevada estabilidad de marcha a elevada velocidad, a la vez que pone de manifiesto que la potencia útil

desarrollada permanece prácticamente constante por lo que este motor se le denomina motor autorregulado en potencia.

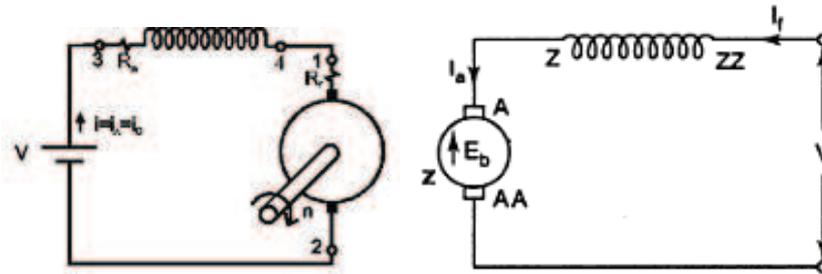


Figura 1.12. Esquema motor c.c. serie

Fuente: YADUVIR Verma, 2010, "Fundamentals of Electrical Engineering", New Delhi, pp.329

1.3.1.4 Motor c.c. compuesto

Es una combinación de las conexiones en serie y en derivación. Los motores compuestos tienen un campo serie sobre el tope del bobinado del campo derivación. Según como se lleve a cabo la conexión podemos diferenciar entre conexión compuesta corta y conexión compuesta larga. En la conexión compuesta larga la corriente que circula por el devanado inductor en serie es la misma que la que circula por el devanado inducido. En cambio, en la conexión compuesta corta la corriente que circula por el devanado inductor en serie es la intensidad total de alimentación del motor. A su vez, los flujos magnéticos generados por ambos devanados inductores pueden tener el mismo sentido, y hablaremos de motor de excitación compuesta aditiva; o bien, distinto sentido y hablaremos de motor de excitación compuesta diferencial.

Las características que presentan estos motores son intermedias entre las de los motores en serie y las de un motor en derivación. El que se aproximen más a uno u otro depende de la proporción que exista entre el flujo generado por el devanado en serie y por el devanado en paralelo. Así, en los motores de excitación compuesta aditiva, el peligro de embalamiento que había en los motores en serie

desaparece pues el devanado inductor en paralelo genera, aun en vacío, un flujo. Los motores de excitación compuesta aditiva presentan excelentes características (elevado par de arranque, inexistencia de embalamiento, etc.), lo que justifica su empleo generalizado en máquinas herramientas, en máquinas de tracción y en máquinas que exijan un par de arranque elevado.

La ecuación básica para el motor c.c. compuesto acumulado o aditivo se puede formar de la siguiente manera:

$$S = \frac{V_A - I_A(R_A + R_S)}{\phi_R + \phi_S} \quad (\text{r.p.m.}) \text{ [revoluciones por minuto]} \quad (1.6)$$

Y la ecuación básica para el motor c.c. compuesto diferencial esta dada por:

$$S = \frac{V_A - I_A(R_A + R_S)}{\phi_R - \phi_S} \quad (\text{r.p.m.}) \text{ [revoluciones por minuto]} \quad (1.7)$$

En cuanto a los motores de excitación compuesta diferencial, el flujo útil vendrá determinado por la diferencia entre las excitaciones en serie y paralelo. Por lo tanto, cuando el motor funciona en vacío el flujo será máximo y se irá debilitando según aumente la carga y lo haga la corriente en el inducido. Podemos observar estas características en la Figura 1.8 y Figura 1.9

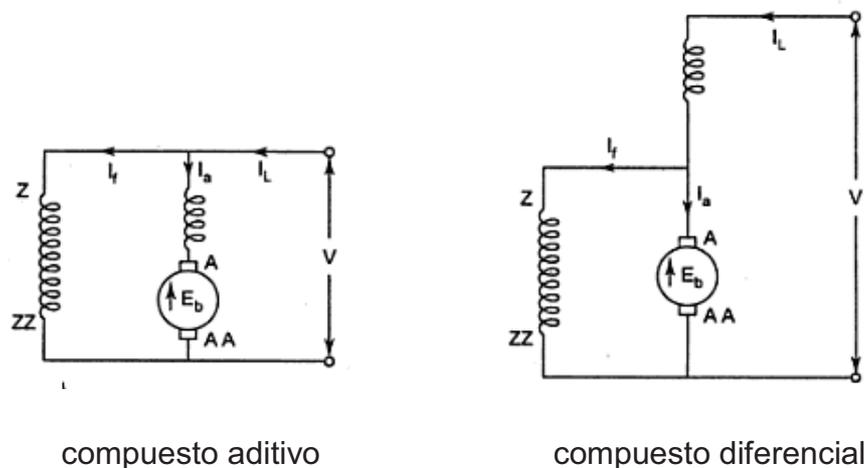


Figura 1.13. Esquema motor c.c. compuesto

1.3.2 DE IMANES PERMANENTES

Existen motores de imán permanente (PM, permanent magnet), para bajas potencias. Tienen varias ventajas respecto a los del tipo de campo devanado. No se necesitan las alimentaciones de energía eléctrica para excitación ni el devanado asociado. Se mejora la confiabilidad, ya que no existen bobinas excitadoras del campo que fallen y no hay probabilidad de que se presente una sobre velocidad debida a pérdida del campo. Se mejoran la eficiencia y el enfriamiento por la eliminación de pérdida de potencia en un campo excitador. Así mismo, la característica par contra corriente se aproxima más a lo lineal. Un motor de imán permanente se puede usar en donde se requiere un motor por completo encerrado para un ciclo de servicio de excitación continua.

Los efectos de la temperatura dependen de la clase de material que se use en el imán. Los motores de número entero de caballos de potencia con imanes del tipo Alnico resultan menos afectados por la temperatura que los que tienen imanes de cerámica, porque el flujo magnético es constante. Por lo común, los imanes de cerámica que se utilizan en los motores de fracción de caballo tienen características que varían con la temperatura muy aproximadamente como varían los campos en derivación de las máquinas excitadas.

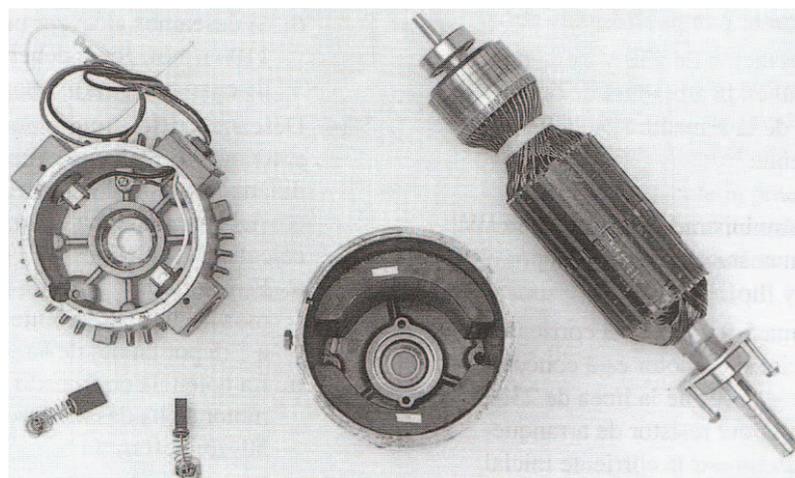


Figura 1.14. Motor c.c. con imanes permanentes

Las desventajas son la falta de control del campo y de características especiales velocidad-par. Las sobrecargas pueden causar desmagnetización parcial que cambia las características de velocidad y de par del motor, hasta que se restablece por completo la magnetización. En general, un motor de imanes permanentes de baja potencia es un poco más grande y más caro que un motor equivalente con devanado en derivación, pero el costo total del sistema puede ser menor. Un motor de imanes permanentes es un término medio entre los motores de devanado compuesto y los devanados en serie. Tiene mejor par de arranque, pero alrededor de la mitad de la velocidad en vacío de un motor devanado en serie.

1.4 RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.C.

1.4.1 RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.C. CAMPO DEVANADO

Una característica especial que le diferencia de los otros motores eléctricos es que tienen un colector formado por delgas, como se puede observar en la Figura 1.15



Figura 1.15. Reconocimiento motor c.c. Colector, escobilla y porta escobilla en motor c.c.

Fuente: VALENZUELA Jonathan

Cuando se observe en un motor eléctrico la presencia de un colector formado por delgas quiere decir que se trata de un motor eléctrico para corriente continua. Ahora para diferenciar entre un motor c.c. derivación, serie o compuesto se lo debe realizar observando sus bobinados.

Si observamos las bobinadas de alambre fino y muchas vueltas se trata de un motor c.c. derivación.

En cambio si vemos unas bobinas de alambre grueso y pocas vueltas se trata de un motor c.c. serie.

Finalmente cuando observemos la presencia de los dos bobinados significa que es un motor c.c. compuesto, el bobinado con alambre fino muchas vueltas es el derivación y el bobinado con alambre grueso pocas vueltas es el serie.

1.4.2 RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.C. DE IMAN PERMANENTE

Este tipo de motores como su nombre lo indica tiene imanes permanentes y esta es la característica que lo diferencia de los otros tipos de motores eléctricos como se puede observar en la Figura 1.14 y Figura 1.16



Figura 1.16. Reconocimiento motor c.c. con imanes permanentes

1.5 APLICACIONES DE LOS MOTORES C.C.

Los motores para corriente continua tienen como aplicaciones industriales en: bombas de pistón, pares de fricción, herramientas de avance, tornos, bobinadoras, mandriladoras, trituradoras, máquinas textiles, gañidos y grúas, pórticos, vehículos de tracción, prensas, máquinas de papel, industria química y petroquímica, industrias siderúrgicas, hornos, separadores y cintas transportadoras para industria de cemento, etc. Estos motores en la actualidad se aplican en procesos industriales automatizados y control de procesos gracias a la facilidad con la que se puede controlar su velocidad.

MODELOS	R_/20	R_/60	R_/100	TCW20_	TCW40_
V a 1.000 rpm	20 V*	60 V*	100 V*	20 V*	40 V*
Velocidad máxima (r.p.m.)	8000	8000	6000	8000	4000
I máxima de consumo (mA)	550	250	160	30	20
V máxima de consumo (V)	160	480	600	165	165
Resistencia de la armadura	9 Ohm +3%	59 Ohm +3%	165 Ohm +3%	60 Ohm +3%	196 Ohm +3%
Aislamiento	B	B	B	B	B
Nº de Polos	2	2	2	4	4
Nº de Escobillas	4	4	4	4	4

Tabla 1.1 Características técnicas de motores c.c. WEG

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Motores de corriente continua", pp.7



Figura 1.17. Aplicación: cilindro tensor de tiras. Motor c.c. de 325 kW.1

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Motores de corriente continua", pp.5



Figura 1.18. Aplicación: laminación en frío. 2 motores de corriente continua, 1.119 kW; 6 motores de corriente continua, 522 kW; 4 motores de corriente continua, 448 kW.2

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Motores de corriente continua", pp.5



Figura 1.19. Aplicación: molienda de caña de azúcar. Motor c.c. de 746 kW3

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Motores de corriente continua", pp.5



Figura 1.20. Aplicación: cintas transportadoras. Motor c.c. 350kW4

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Motores de corriente continua", pp.5



Figura 1.21. Aplicación: laminación. 5 motores de corriente continua, 750 kW; 14 motores de corriente continua, 400 kW; 5 motores de corriente continua, 100 kW; 5 motores de corriente continua, 55 kW; 3 motores de corriente continua, 23 kW.5

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Motores de corriente continua", pp. 5

CAPÍTULO 2

2. MOTORES PARA C.A. SÍNCRONOS

2.1. GENERALIDADES DE LOS MOTORES C.A. SÍNCRONOS

Estos motores son llamados así, debido a que la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético del estator son iguales. Los motores síncronos son utilizados en máquinas de gran tamaño que tienen una carga variable y necesitan de una velocidad constante. Los motores síncronos son máquinas síncronas que se utilizan para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica de rotación. La característica principal de este tipo de motores es que trabajan a velocidad constante que depende solo de la frecuencia de la red y de otros aspectos constructivos de la máquina. A diferencia de los motores asíncronos, la puesta en marcha requiere de maniobras especiales a no ser que se cuente con un sistema automático de arranque. Otra particularidad del motor síncrono es que al operar de forma sobrecargado consume potencia reactiva y mejora el factor de potencia.

2.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES C.A. SÍNCRONOS

Como se puede observar en la Figura 2.1. al alimentar el estator mediante un sistema trifásico de corriente alterna se genera en el estator un campo magnético giratorio, cuya velocidad esta dada por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{120 * f}{P} \quad (\text{r.p.m.}) \text{ [revoluciones por minuto]} \quad (2.1)$$

Donde f es la frecuencia de la red, y P es el número de polos del rotor. Si en estas circunstancias, con el rotor parado, se alimenta el devanado del mismo con corriente continua se produce un campo magnético rotórico fijo, delante del cual pasa el campo magnético del estator. Los polos del rotor están sometidos ahora a atracciones y repulsiones en breves periodos de tiempo, por parte de los polos del estator pero el rotor no consigue girar, a lo sumo vibrará. Al llevar el rotor a la velocidad de sincronismo, haciéndolo girar mediante un motor auxiliar, al enfrentarse polos de signo opuestos se establece un enganche magnético que les obliga a seguir girando juntos, pudiendo ahora retirar el motor auxiliar. Este acople magnético se produce ya que el campo giratorio estatórico arrastra por atracción magnética al rotor en el mismo sentido y velocidad. El principio básico de operación del motor síncrono es que el rotor “persigue” el campo magnético giratorio del estator alrededor de un círculo sin emparejarse del todo con dicho campo magnético.

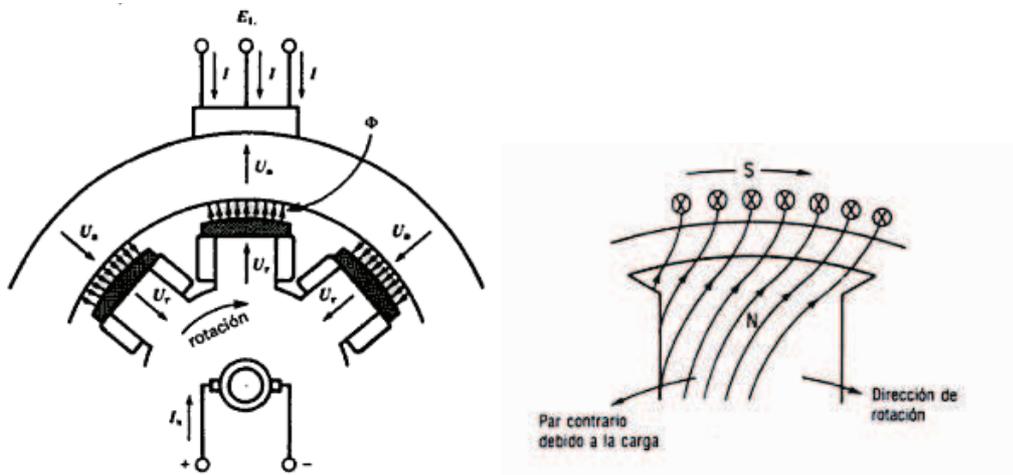


Figura 2.1. Principio de funcionamiento del motor c.a. síncrono

Fuente: KOSOW Irving, 1992, “Máquinas eléctricas y transformadores”, Barcelona, Reverté, pp.245

2.1.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES EN UN MOTOR C.A. SÍNCRONO

Corriente de sincronización en la armadura:

$$I_A = \frac{E_r}{Z_p} = \frac{V_p - E_{gp}}{R_A + jX_A} \quad (\text{A}) \quad [\text{Amperios}] \quad (2.2)$$

Voltaje resultante:

La ecuación (2.3) se determina mediante el triángulo de la figura (2.2):

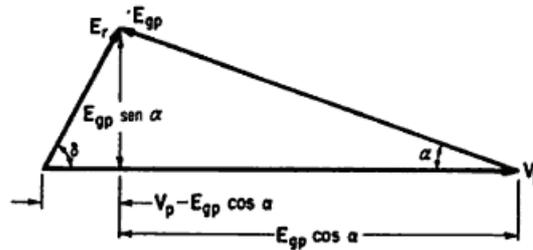


Figura 2.2. Triángulo para determinar el voltaje resultante

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.253

$$E_r = (V_p - E_{gp} \cos \alpha) + j(E_{gp} \sin \alpha) \quad (\text{V}) \quad [\text{Voltios}] \quad (2.3)$$

Donde:	I_A	Corriente por la armadura
	E_r	Voltaje resultante
	Z_p	Impedancia del motor síncrono por fase
	V_p	Voltaje de fase aplicado al bobinado del estator
	E_{gp}	Voltaje que se genera en los conductores de la armadura por fase
	R_A	Resistencia efectiva de la armadura por fase, del estator del motor
	jX_A	Reactancia síncrona de armadura por fase, del devanado de la armadura del estator

2.2. PARTES QUE CONFORMAN EL MOTOR C.A. SÍNCRONO

Un motor c.a. síncrono esta conformado por las partes que se puede observar en las Figura 2.3. y la Figura 2.4:

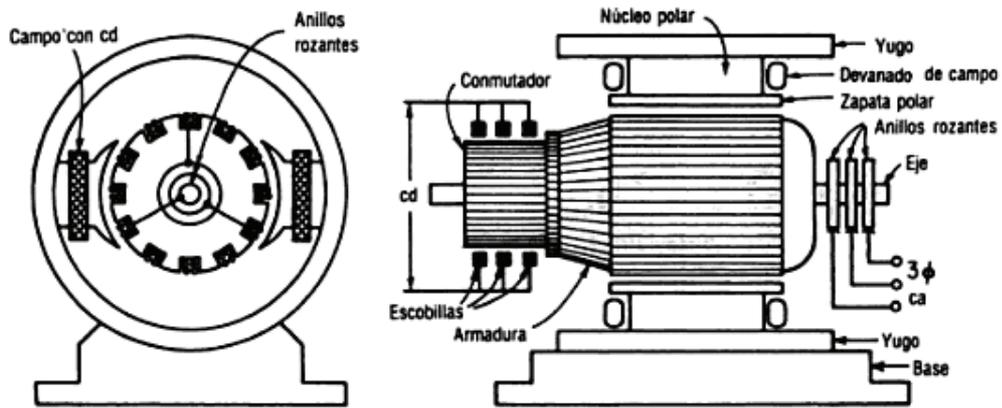


Figura 2.3. Partes motor síncrono del tipo rotor liso.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.43

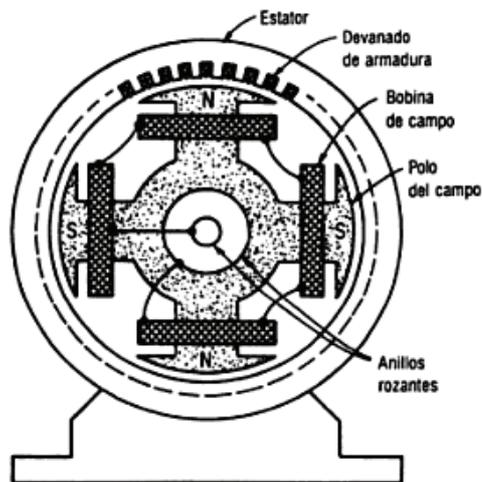


Figura 2.4. Partes motor síncrono del tipo rotor de polos salientes.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.43

2.2.1. ESTATOR

El estator consta de una carcasa y un circuito magnético constituidos generalmente por unas láminas de acero al silicio y un bobinado trifásico

similar al de un motor asíncrono alimentado en corriente alterna trifásica para producir el campo giratorio. Ver Figura 2.5



Figura 2.5. Estator de un motor c.a. síncrono

Fuente: ABB, "Synchronous Motors", EN 08-2005, pp.13

2.2.2. ROTOR

El rotor tiene unos imanes o unas bobinas de excitación recorridas por una corriente continua que crean unos polos norte y sur intercalados. El rotor, a diferencia de las máquinas asíncronas gira sin deslizamiento a la velocidad del campo giratorio. Ver Figura 2.6

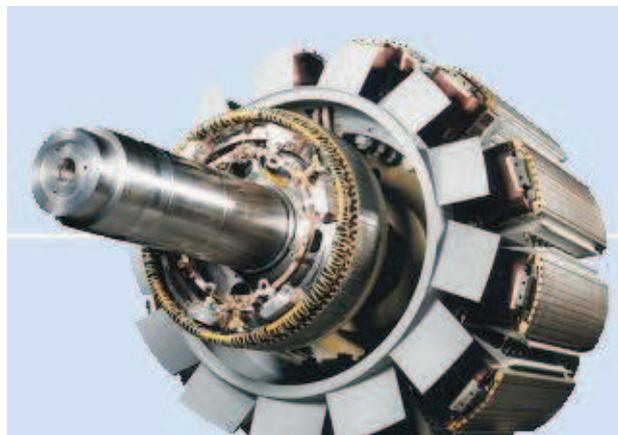


Figura 2.6. Rotor de un motor síncrono

Fuente: ABB, "Synchronous Motors", EN 08-2005, pp.19

2.2.3. ANILLOS ROZANTES

Como su nombre lo indica son unos anillos metálicos que sirven para la alimentación de corriente continua al rotor. Se pueden observar en la Figura 2.7



Figura 2.7. Anillos rozantes del motor síncrono

Fuente: TECO Westinghouse, "Synchronous Machines", LM-SY 02-04

2.2.4. DEVANADO AMORTIGUADOR

En los motores síncronos de polos salientes para eliminar las oscilaciones y desarrollar el par necesario de arranque cuando se aplica el voltaje c.a. al estator, los polos del rotor contienen conductores de caras polares que se conectan en corto circuito a sus extremos como se puede observar en la Figura 2.8. a este se le llama devanado amortiguador y son por lo general barras macizas de cobre colocadas en la superficie de la cara polar y conectadas en corto circuito mediante una banda.

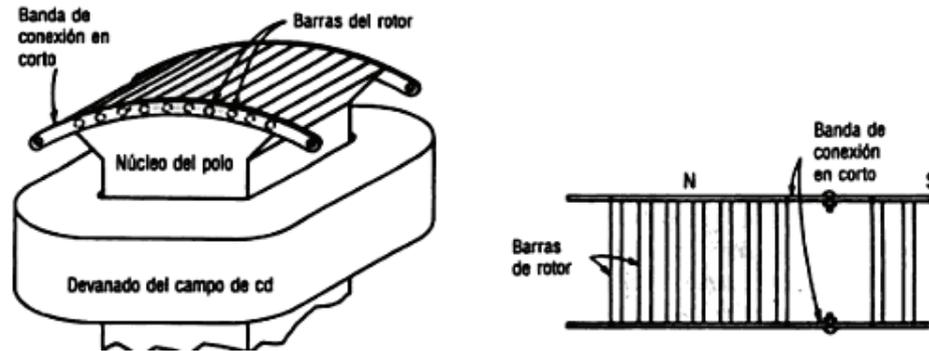


Figura 2.8. Devanado amortiguador del motor síncrono

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.243

2.3. TIPOS DE MOTORES C.A. SÍNCRONOS

Los motores c.a. síncronos pueden ser de dos tipos:

- ✓ De rotor liso.
- ✓ De rotor de polos salientes

2.3.1. MOTOR C.A. SÍNCRONO TIPO ROTOR LISO

Este tipo de motor c.a. síncrono tiene su rotor cilíndrico como se puede observar en la Figura 2.9. el mismo que esta construido de acero para soportar los esfuerzos de las altas velocidades, tiene ranuras en su periferia en forma de dientes donde se coloca el devanado de excitación. Sobre el eje del rotor pero aislados eléctricamente están los anillos rozantes de cobre.

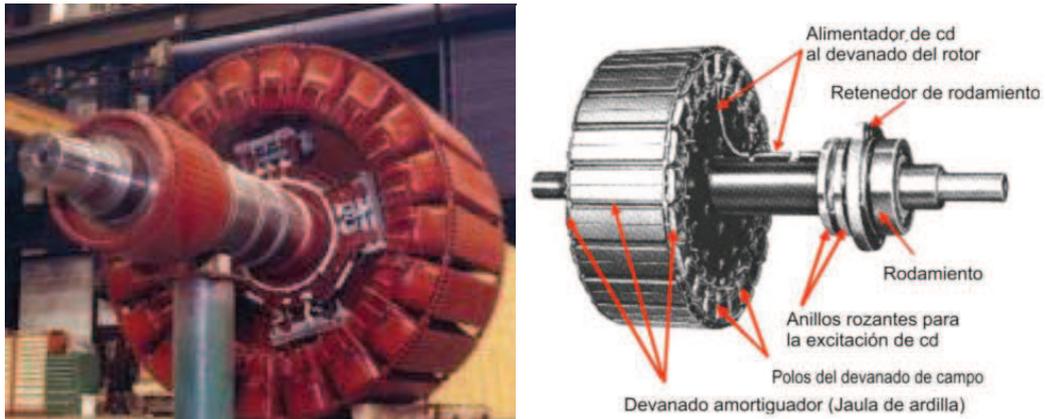


Figura 2.9. Rotor liso motor c.a. síncrono

Fuente: TECO Westinghouse, "Synchronous Machines", LM-SY 02-04

2.3.2. MOTOR C.A. SÍNCRONO TIPO ROTOR DE POLOS SALIENTES

Este tipo de motor c.a. síncrono contiene las caras polares formadas por chapas de acero, en cuya base está arrollado el devanado de excitación. En algunos casos estos pueden disponer de ranuras sobre la cara polar para colocar el llamado devanado amortiguador, como se puede observar en la Figura 2.10 y Figura 2.11.

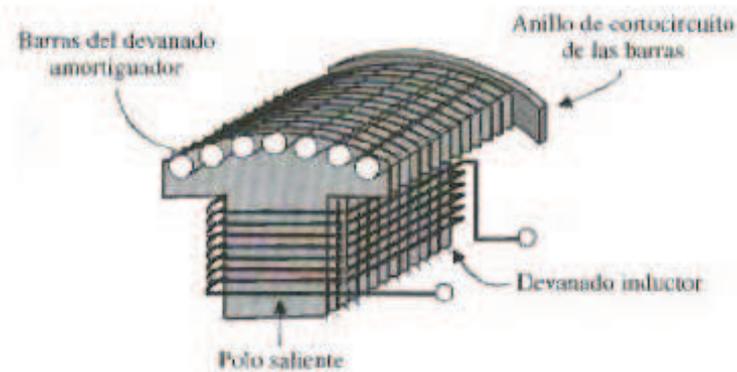


Figura 2.10. Rotor polos salientes motor c.a. síncrono

Fuente: MONJO Andrés, "Motor Síncrono"

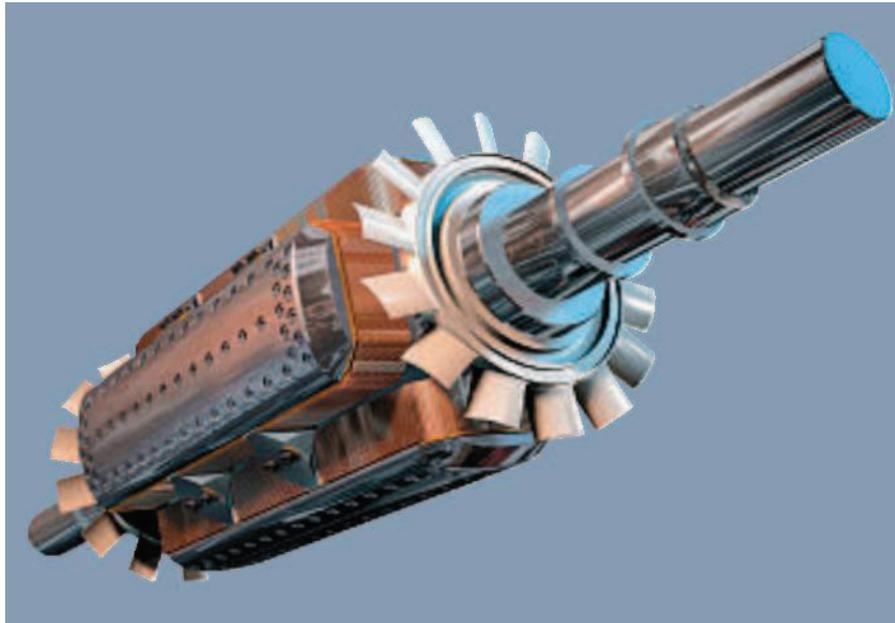


Figura 2.11. Rotor polos salientes motor c.a. síncrono

Fuente: ABB, JOHANNES Ahlinder, "Synchronous Superlatives", Special Report ABB Review ,pp.42

2.3.3. CURVAS V CARACTERÍSTICAS PARA UN MOTOR SÍNCRONO

Aplicando una carga constante determinada al eje de un motor síncrono y haciendo variar la corriente de campo de subexcitación sobreexcitación a cada etapa la corriente de armadura se obtienen las curvas v características como se puede observar en la Figura 2.12 y Figura 2.13.

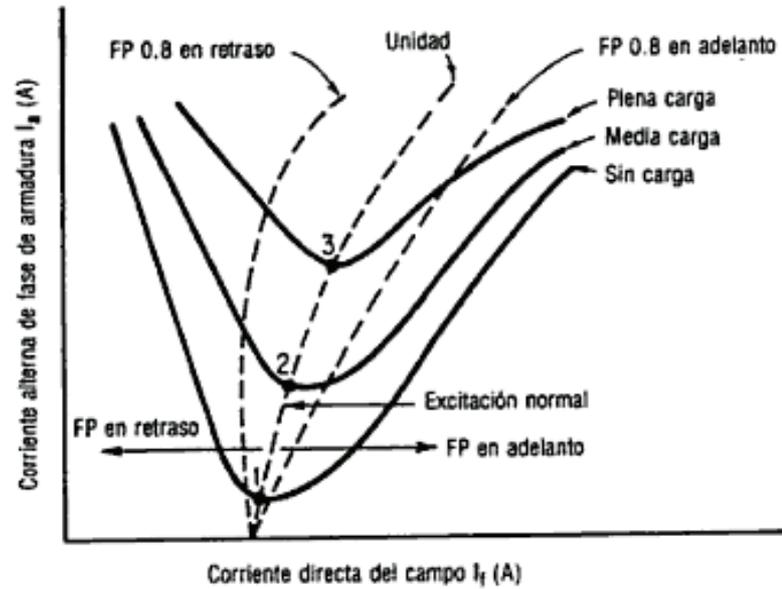


Figura 2.12. Curva V característica corriente de armadura-corriente de campo para el motor síncrono

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.264

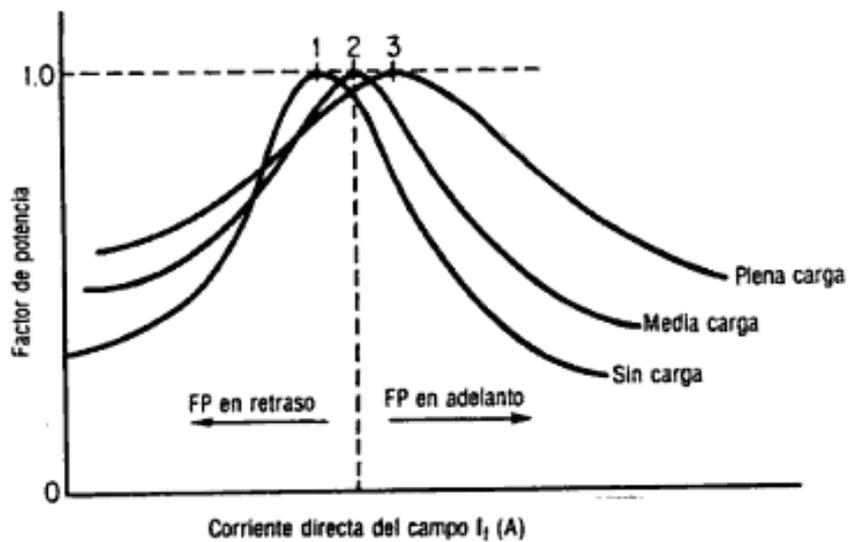


Figura 2.13. Curva V característica factor de potencia-corriente de campo para el motor síncrono.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.264

2.4. RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.A. SÍNCRONOS

Como se puede observar en la Figura 2.14. la característica especial que la diferencia de los otros tipos de motores eléctricos es que tiene dos anillos rozantes para la alimentación de corriente continua al devanado del rotor.

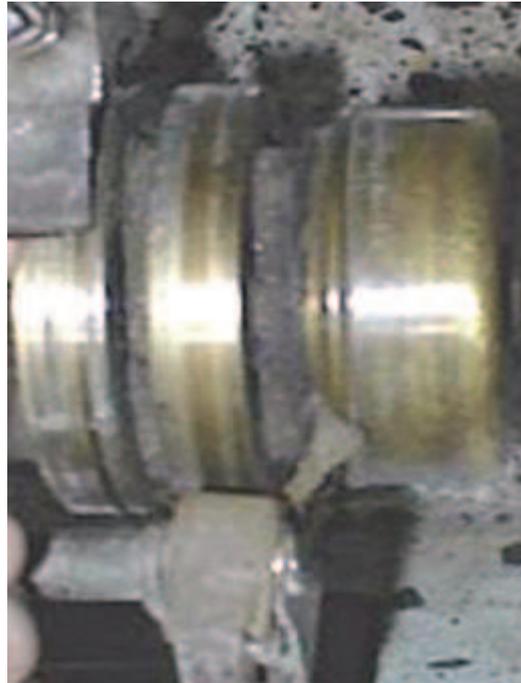


Figura 2.14. Reconocimiento motor c.a. síncrono

Fuente: VALENZUELA Jonathan

2.5. APLICACIONES DE LOS MOTORES C.A. SÍNCRONOS

La aplicación de motores síncronos en la industria en la mayoría de los casos resulta en ventajas económicas y operativas considerables para el usuario debido a sus características de trabajo. Se los utiliza para grandes potencias de carga cuando los motores de inducción son ineficientes como por ejemplo: bombas para gran capacidad, compresores recíprocos, compresores centrífugos para gran caudal y en aplicaciones de gran potencia pero a bajas revoluciones por minuto como por ejemplo molinos, trituradoras, estrujadoras, etc. Las principales ventajas para utilización de los motores sincrónicos son:

2.5.1. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Los motores síncronos pueden ayudar a la reducción de los costos de energía eléctrica y mejorar el rendimiento de sistemas de energía, corrigiendo el factor de potencia de la red en que están instalados. En pocos años, el ahorro de energía eléctrica puede igualar el valor invertido en el motor.

2.5.2. VELOCIDAD CONSTANTE

El motor síncrono mantiene la velocidad constante en las situaciones de sobrecarga y también durante momentos de oscilaciones de tensión, respetando los límites del par máximo.

2.5.3. ALTO RENDIMIENTO

La eficiencia en la conversión de energía eléctrica en mecánica es más eficiente, generando mayor ahorro de energía. Los motores síncronos son proyectados también para operar con alta eficiencia en un largo rango de velocidad y suministrar un mejor aprovechamiento de energía para una grande variedad de cargas, esto de puede comprobar con la ecuación (2.4).

$$P_{max} = \frac{V_p * E_{gp}}{X_A} \quad (\text{W}) \quad [\text{Watts}] \quad (2.4)$$

2.5.4. ALTA CAPACIDAD DE PAR

Los motores síncronos son proyectados con altos pares en régimen, manteniendo la velocidad constante aún en aplicaciones con grandes variaciones de carga, esto se puede comprobar con la ecuación (2.5)²

$$T_{max} = \frac{V_p * E_{gp}}{X_A * W} \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad [\text{Newton}\cdot\text{metro}] \quad (2.5)$$

Donde:	P	Potencia resultante
	T	Torque resultante
	V_p	Voltaje de fase aplicado al bobinado del estator
	E_{gp}	Voltaje que se genera en los conductores de la armadura por fase
	W	Velocidad del motor en rad/seg.
	X_A	Reactancia síncrona de armadura por fase, del devanado de la armadura del estator

² WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones",



Figura 2.15. Aplicación: compresores recíprocos: 2 motores síncronos
3.600 kW, 13.200 V, 6 polos

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 4

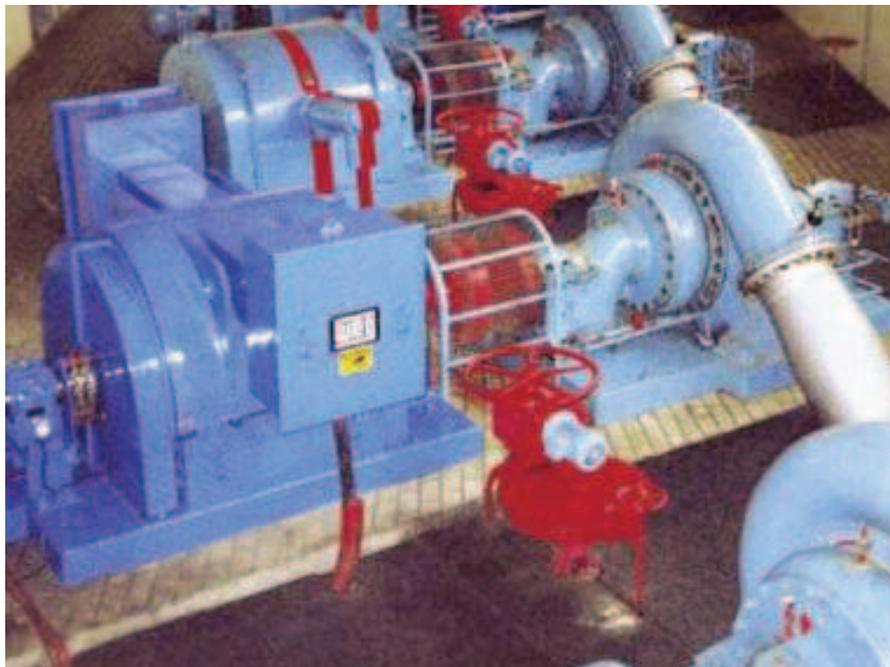


Figura 2.16. Aplicación: bomba. Motor síncrono SDA800, 2.500 HP,
6.600 V, 6 polos

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 4



Figura 2.17. Aplicación: laminación siderúrgica. Motores Síncronos SDL800, 3.000 kW, 3.100 V

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 4



Figura 2.18. Aplicación: laminación. 7 motores síncronos SDL800, 3.000 kW, 3.100 V

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 4

CAPÍTULO 3

3. MOTORES TRIFÁSICOS PARA C.A. ASÍNCRONOS

3.1. GENERALIDADES DE LOS MOTORES C.A. ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

El motor asíncrono trifásico conocido en el medio con el nombre de motor trifásico es el más empleado en la industria, motores de este tipo se emplean en casi todas las máquinas herramientas: tornos, fresadoras, limadoras, en aparatos de elevación y transporte: grúas, montacargas, etc. y en cualquier otra aplicación donde se requiera un motor robusto sin regulación de velocidad. Pero actualmente gracias al avance que tiene la electrónica de potencia este tipo de motores se están empleando más y más en aplicaciones que exigen regulación de velocidad.

3.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS

El principio de funcionamiento de estos motores se basa en la creación de un campo magnético giratorio en un devanado inductor situado en el estator, este campo magnético al atravesar a un devanado colocado en el rotor (devanado que puede estar cerrado directamente, llamado de jaula de ardilla, o que está cerrado a través de una resistencia de arranque y que entonces se llama rotor bobinado), produce fuerzas electromagnéticas inducidas, las cuales originan corrientes en el rotor produciéndose una reacción electromagnética que hace girar el motor a una velocidad inferior a la denominada de sincronismo.

3.1.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL MOTOR TRIFÁSICO.

Las ecuaciones principales para un motor de inducción trifásico son las que toman en cuenta la transferencia de energía a la carga.

Torque de arranque:

$$T_{\text{arranque}} = \frac{(V_p)^2 R_r}{(R_r)^2 + (X_{lr})^2} = (V_p)^2 \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad [\text{Newton}\cdot\text{metro}] \quad (3.1)$$

Como la resistencia del rotor R_r y la reactancia X_{lr} del rotor en reposo, es decir, al momento del arranque son constantes ya que son valores definidos por aspectos constructivos del motor c.a. trifásico podemos decir que el torque de arranque únicamente es función del voltaje aplicado al devanado del estator.

El torque máximo se obtiene cuando $\frac{dT}{dR_r} = 0$ entonces:

$$T_{\text{max}} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_p}{R_r} \right)^2 \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad [\text{Newton}\cdot\text{metro}] \quad (3.3)$$

Las ecuaciones (3.1) y (3.2) indica que el torque T en un motor de inducción es directamente proporcional al voltaje aplicado V_p e inversamente proporcional a la impedancia del rotor.

Potencia de salida:

$$P_s = \frac{w \cdot T}{746} \quad (\text{hp}) \quad [\text{horse power}] \quad (1.3)(3.3)$$

Donde:	P_s	Potencia de salida, es decir, potencia de salida en el eje del motor c.c.
	w	Velocidad de giro en rad/seg
	T	Torque en Newton·metro

3.2. PARTES QUE CONFORMAN EL MOTOR C.A. ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Un motor c.a. asíncrono trifásico esta conformado por las partes que se puede observar en la Figura 3.1.

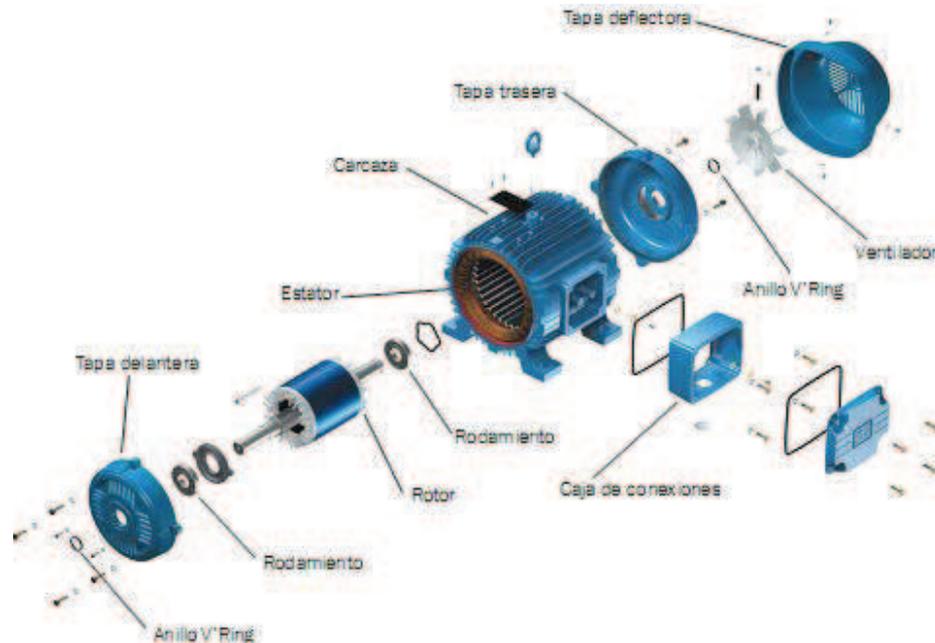


Figura 3.1. Partes motor trifásico asíncrono c.a.

Fuente: WEG, Motors and drivers, "Motores trifásicos cerrados IEC 60Hz", Brasil, Jaraguá do Su, pp. 9

3.2.1. ESTATOR

Es la parte fija del motor. Una carcasa de acero o aleación ligera rodea una corona de chapas delgadas (del orden de 0,5 mm de grosor) de acero al silicio. Las chapas están aisladas entre sí por oxidación o mediante barnices aislantes. El laminado del circuito magnético reduce las pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault o también llamadas corrientes parásitas que se inducen con la presencia de un campo magnético y disminuyen la eficiencia. Las chapas tienen unas ranuras en las que se colocan los bobinados destinados a producir el campo giratorio.



Figura 3.2. Estator motor asíncrono trifásico c.a.

Fuente: <http://www.ing.unlp.edu.ar/sisspot/Libros>

3.2.2. ROTOR

Es el elemento móvil del motor. Igual que el circuito magnético del estator, está constituido por un apilamiento de chapas finas aisladas entre sí y forman un cilindro claveteado alrededor del árbol o eje motor. Este elemento, por su tecnología, permite distinguir dos familias de motores asíncronos: uno, cuyo rotor se denomina jaula de ardilla, y otro, denominado rotor bobinado.



Figura 3.3. Rotor jaula de ardilla motor asíncrono trifásico c.a.

Fuente: VALENZUELA Jonathan

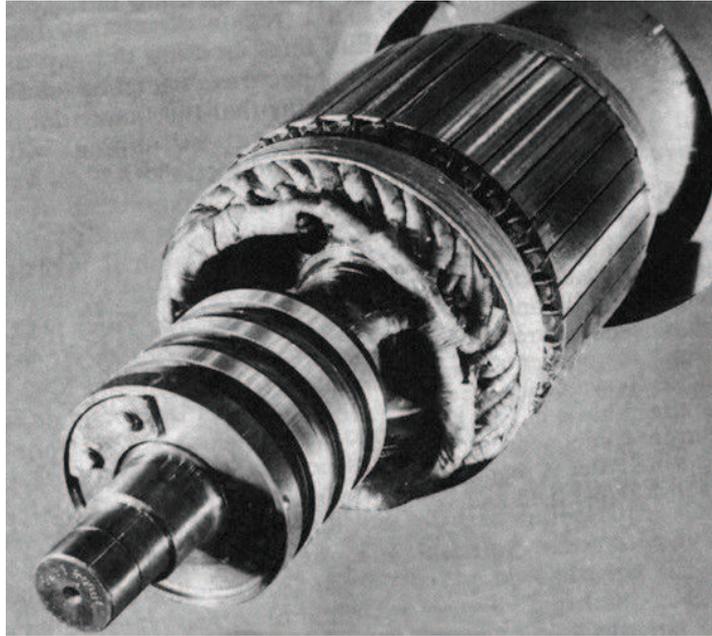


Figura 3.4. Rotor bobinado motor asíncrono trifásico c.a.

Fuente: SERRANO L, "Fundamentos de máquinas eléctricas rotativas"

3.3. TIPOS DE MOTORES C.A. ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

A los motores asíncronos trifásicos para corriente alterna se clasifican en dos grandes grupos:

- ✓ Rotor jaula de ardilla.
- ✓ Rotor bobinado

3.3.1. MOTOR TRIFÁSICO C.A. ASÍNCRONO TIPO JAULA DE ARDILLA.

Este tipo de motor su rotor está constituido por un apilamiento de chapas de acero formando un cilindro con el eje del motor, en los agujeros o en las ranuras dispuestas hacia el exterior del cilindro y paralelamente a su eje se colocan los conductores. Cada extremo de estos conductores se conecta a una corona metálica. El conjunto tiene el aspecto de una jaula de ardilla, de donde proviene el nombre de este tipo de rotor. Ver Figura 3.3., Figura 3.5. y Figura 3.6.

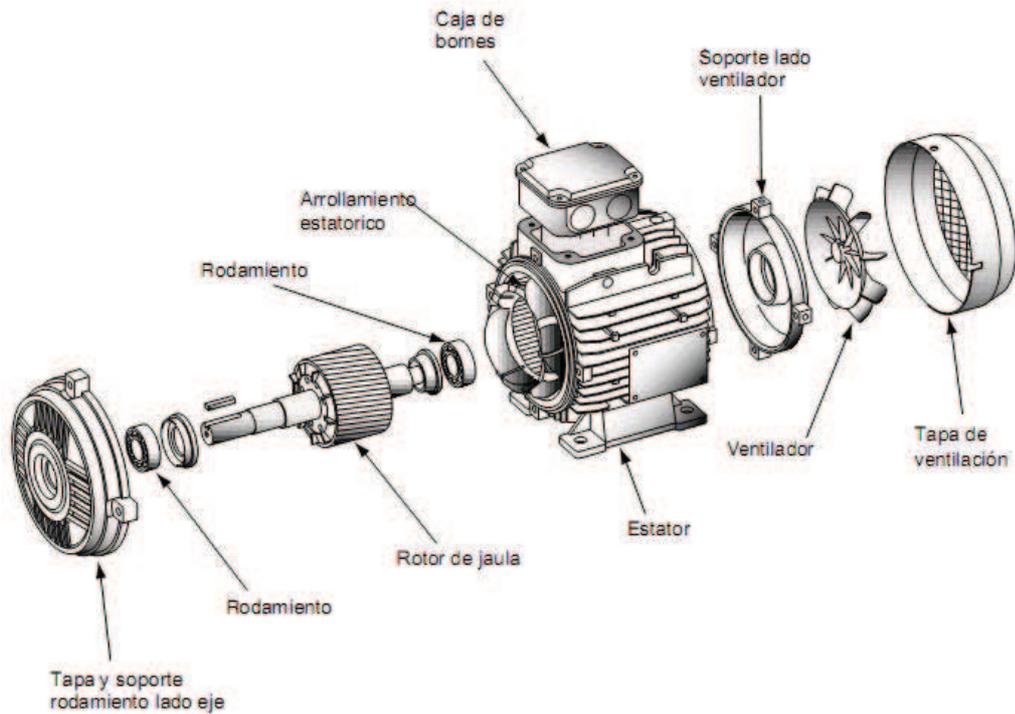


Figura 3.5. Partes motor trifásico asíncrono c.a. rotor jaula de ardilla

Fuente: SCHNAIDER Electric, 2005, "Cuaderno Técnico N°207", Francia, pp. 8

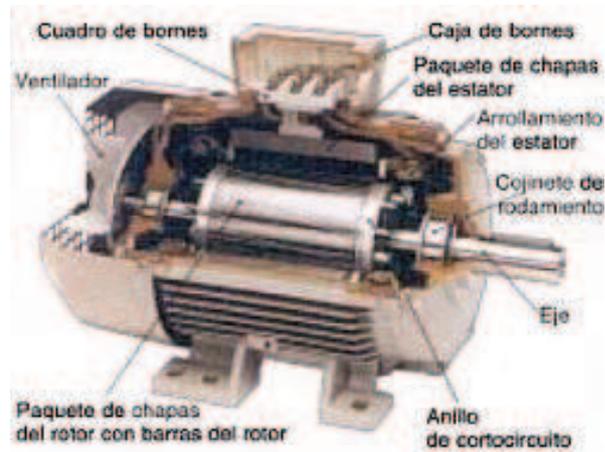


Figura 3.6. Corte con sus partes del motor trifásico asíncrono c.a. rotor jaula de ardilla

Fuente: <http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros>

Existen varios diseños de estos tipos de motores y la National Electrical Manufacturers Association NEMA ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra. En la tabla 3.1. se pueden ver las características de cada tipo de motor según las letras NEMA:

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces el nominal)	Corriente de Arranque	Regulación Velocidad (%)	Nombre de clase del motor
A	1.5-1.75	5-7	2-4	Normal
B	1.4-1.6	4.5-5	3.5	Propósito general
C	2-2.5	3.5-5	4-5	Doble jaula alto par
D	2.5-3.0	3-8	5-8 , 8-13	Alto par alta resistencia
F	1.25	2-4	mayor de 5	Doble jaula, bajo par, baja corriente de arranque.

Tabla 3.1. Clasificación NEMA motores jaula de ardilla

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.356

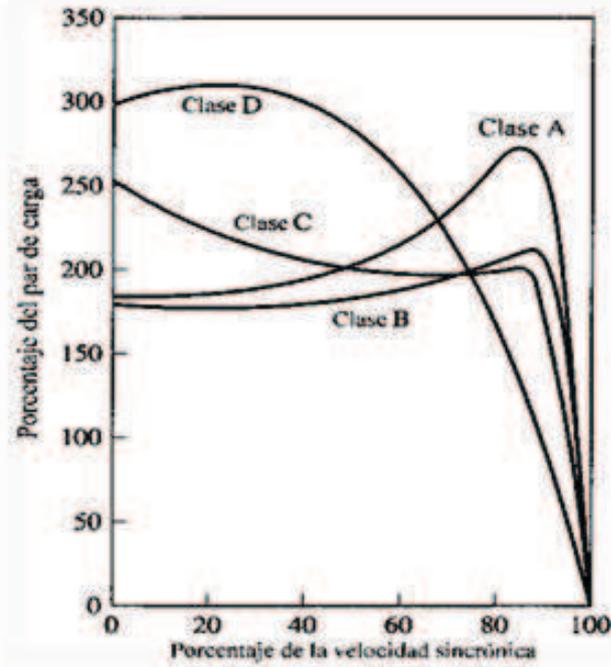


Figura 3.7. Clasificación NEMA curvas características de motores

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.429

Diseño Nema	Par a rotor bloqueado (% de plena carga)	Corriente de arranque (% de plena carga)	Deslizamiento a plena carga (% rpm a plena carga)	Par de quiebre (% de par a plena carga)
A	Medio (70-275%)	Sin límite (600-900%)	Bajo (1-5%)	Alto (175-300%)
B	Medio (70-275%)	Medio (600-700%)	Bajo (1-5%)	Medio (175-300%)
C	Alto (200-250%)	Medio (600-700%)	Medio (5%)	Medio (190-225%)
D	El más alto (275%)	El más alto (275%)	El más alto (5-8%)	Alto (275%)

Tabla 3.2. Características NEMA motores jaula de ardilla

3.3.1.1. Motor trifásico de jaula de ardilla clase A

El motor clase A es un motor de jaula de ardilla normal o estándar fabricado para uso a velocidad constante. Tiene grandes áreas de ranuras para una muy buena disipación de calor, y barras con ranuras ondas en el motor. Durante el periodo de arranque, la densidad de corriente es alta cerca de la superficie del rotor; durante el periodo de la marcha, la densidad se distribuye con uniformidad. Esta diferencia origina algo de alta resistencia y baja reactancia de arranque, con lo cuál se tiene un par de arranque entre 1.5 y 1.75 veces el nominal (a plena carga). El par de arranque es relativamente alto y la baja resistencia del rotor produce una aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal. Tiene la mejor regulación de velocidad pero su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal normal, haciéndolo menos deseable para arranque con línea, en especial en los tamaños grandes de corriente que sean indeseables.

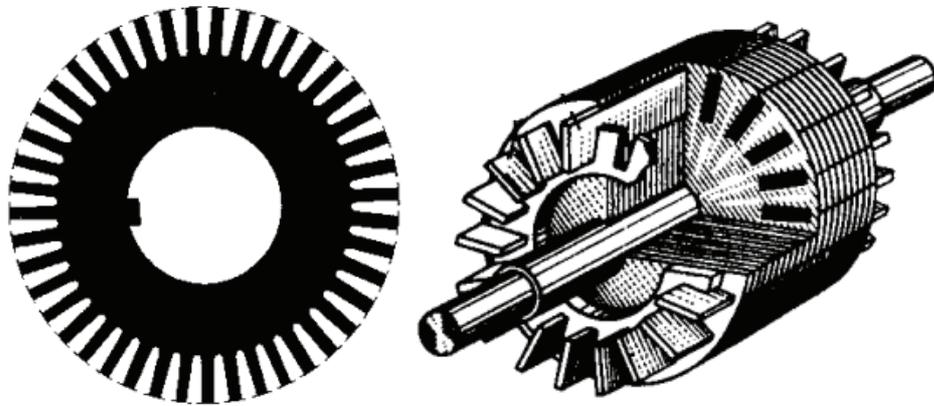


Figura 3.8. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase A.

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.428

3.3.1.2. Motor trifásico de jaula de ardilla clase B

A los motores de clase B a veces se les llama motores de propósito general; es muy parecido al de la clase A debido al comportamiento de su deslizamiento-par. Las ranuras de su motor están embebidas

algo más profundamente que en los motores de clase A y esta mayor profundidad tiende a aumentar la reactancia de arranque y la marcha del rotor. Este aumento reduce un poco el par y la corriente de arranque como se puede comprobar con la ecuación (3.1). Las corrientes de arranque varían entre 4 y 5 veces la corriente nominal en los tamaños mayores de 5 HP se sigue usando arranque a voltaje reducido. Los motores de clase B se prefieren sobre los de la clase A para tamaños mayores gracias a su diseño de jaula como se puede observar en la Figura 3.9. Las aplicaciones típicas comprenden las bombas centrífugas de impulsión, las máquinas herramientas y los sopladores.

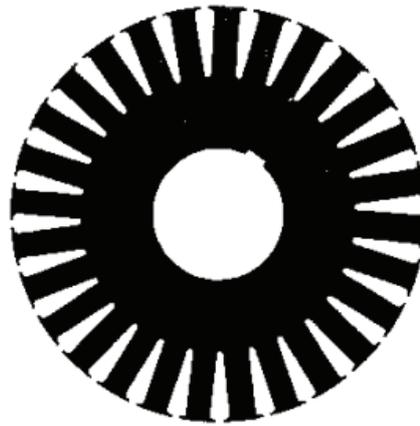


Figura 3.9. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase B.

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.428

3.3.1.3. Motor trifásico de jaula de ardilla clase C

Estos motores tienen un rotor de doble jaula de ardilla, el cual desarrolla un alto par de arranque y una menor corriente de arranque gracias a su baja reactancia del rotor y esto se puede comprobar con la ecuación (3.1). Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente, sin embargo cuando se emplea en grandes cargas, se limita la disipación térmica del motor por que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior. En condiciones de arranque frecuente, el rotor tiene tendencia a sobre calentarse se

adecua mejor a grandes cargas repentinas pero de tipo de baja inercia. Las aplicaciones de los motores de clase C se limitan a condiciones en las que es difícil el arranque como en bombas y compresores de pistón

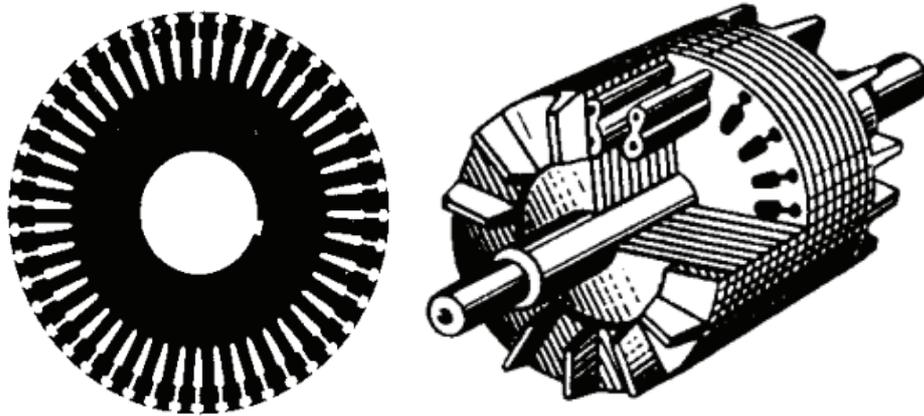


Figura 3.10. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase C.

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.428

3.3.1.4. Motor trifásico de jaula de ardilla clase D

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla clase D se conocen también como de alto par y alta resistencia. Las barras del rotor se fabrican en aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cercanas a la superficie o están embebidas en ranuras de pequeño diámetro. La relación de resistencia a reactancia del rotor de arranque es mayor que en los motores de las clases anteriores. El motor está diseñado para servicio pesado de arranque, encuentra su mayor aplicación con cargas como cizallas o troqueles, que necesitan el alto par con aplicación a carga repentina la regulación de velocidad en esta clase de motores es la peor.

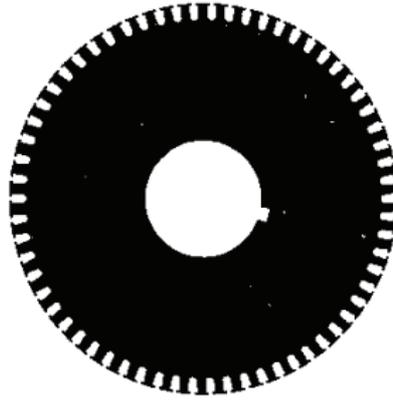


Figura 3.11. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase D

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.428

3.3.1.5. Motor trifásico de jaula de ardilla clase F

También conocidos como motores de doble jaula y bajo par. Están diseñados principalmente como motores de baja corriente, porque necesita la menor corriente de arranque de todas las clases. Tiene una alta resistencia del rotor tanto en su devanado de arranque como en el de marcha y tiende a aumentar la impedancia de arranque y de marcha, y a reducir la corriente de marcha y de arranque según la ecuación (3.1). El rotor de clase F se diseñó para remplazar al motor de clase B. El motor de clase F produce pares de arranque aproximadamente 1.25 veces el par nominal y bajas corrientes de arranque de 2 a 4 veces la nominal. Los motores de esta clase se fabrican de la capacidad de 25 hp para servicio directo de la línea. Debido a la resistencia del rotor relativamente alta de arranque y de marcha, estos motores tienen menos regulación de voltaje de los de clase B, bajan capacidad de sobrecarga y en general de baja eficiencia de funcionamiento. Sin embargo, cuando se arrancan con grandes cargas, las bajas de corrientes de arranque eliminan la necesidad de equipo para voltaje reducido, aún en los tamaños grandes.³

³ CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005

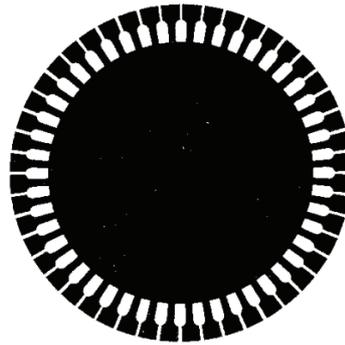


Figura 3.12. Sección transversal rotor jaula de ardilla Clase F

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.428

3.3.2. MOTOR TRIFÁSICO C.A. ASÍNCRONO TIPO ROTOR BOBINADO.

Este tipo de motor asíncrono trifásico tiene su rotor bobinado con tres devanados conectados en estrella. Los extremos de los bobinados del motor se unen a tres anillos rozantes de cobre, fijados en el árbol del rotor y aislados tanto entre sí, como del núcleo del rotor (ver Figuras 3.4, 3.13 y 3.14). Este tipo de rotor va conectado a un dispositivo de arranque que en función del valor de las resistencias insertadas en el circuito del rotor, este tipo de motor puede desarrollar un par de arranque que llega hasta 2,5 veces el par nominal.

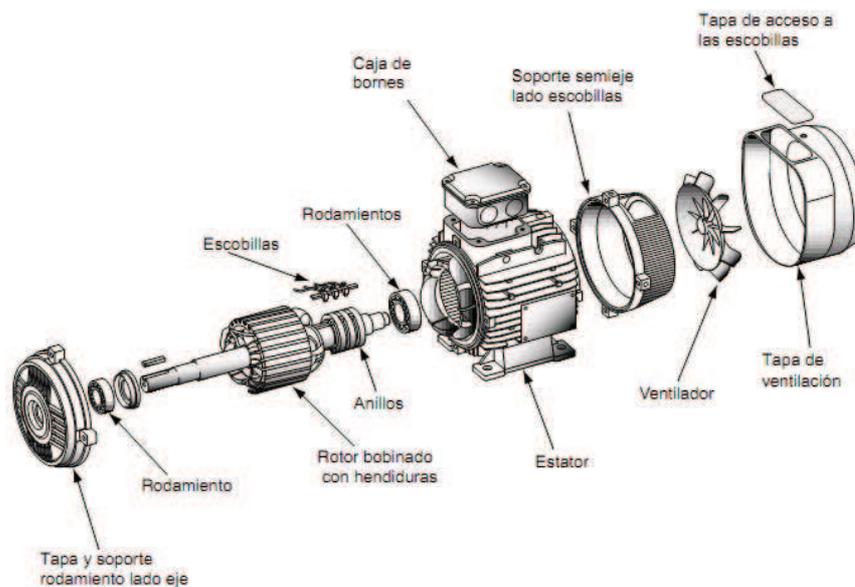


Figura 3.13 Partes motor trifásico asíncrono c.a. rotor bobinado

Fuente: SCHNAIDER Electric, 2005, "Cuaderno Técnico N°207", Francia, pp. 10

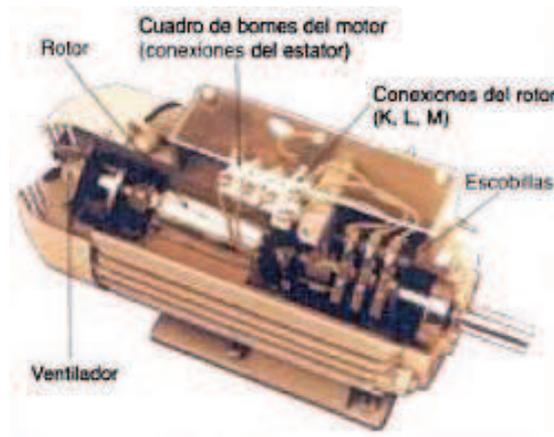


Figura 3.14. Corte motor trifásico asíncrono c.a. rotor bobinado

Fuente: <http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros>

3.4. RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES C.A. ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

Este tipo de motor eléctrico al igual que los anteriores tiene una característica única que lo diferencia de los otros motores eléctricos así: Para el caso de los del tipo de jaula de ardilla es este rotor tipo jaula de ardilla la característica que lo diferencia del resto de motores como se puede observar en las Figuras 3.3, 3.15 y 3.16.

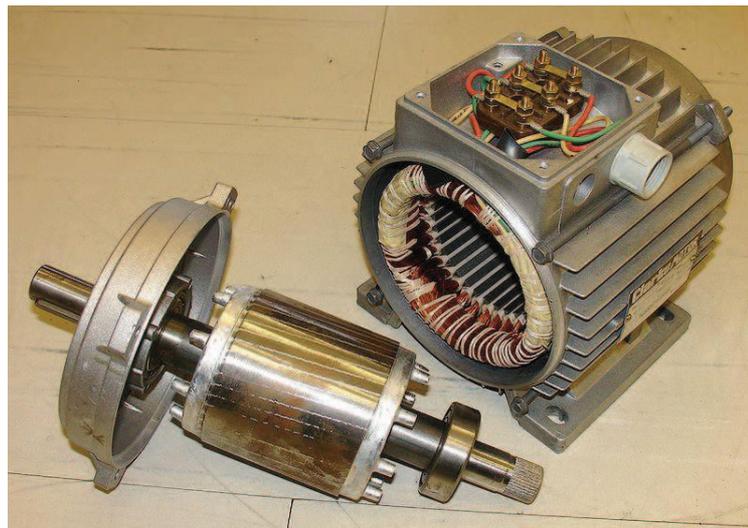


Figura 3.15. Reconocimiento motor c.a. trifásico jaula de ardilla

Fuente: http://ocw.ehu.es/enseñanzas-tecnicas/automatica/cap31_html/capitulo-3

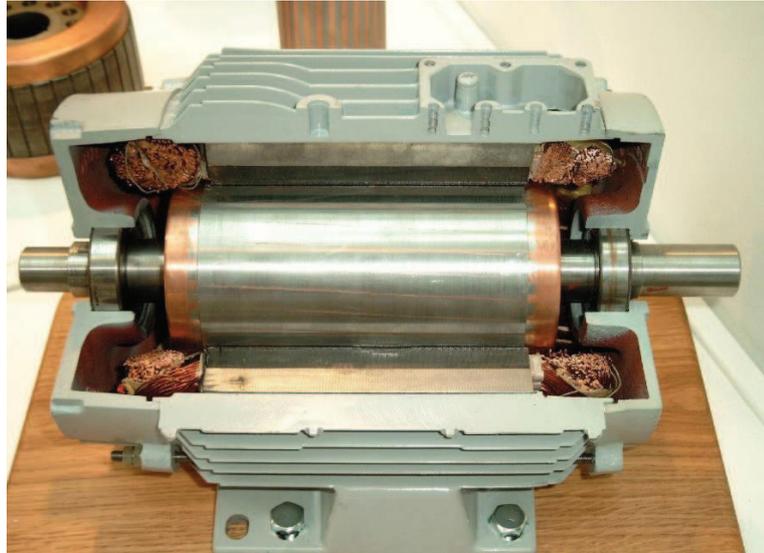


Figura 3.16. Reconocimiento motor c.a. trifásico jaula de ardilla (corte de la carcaza)

Fuente: <http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros>

Para el caso del tipo de rotor bobinado es este tipo de rotor con bobinas a su alrededor es la característica que le diferencia de los otros tipos de motores y la presencia de tres anillos rozantes en el eje, como se puede observar en las Figuras 3.4., Figura 3.17 y también tres porta escobillas con sus respectivas escobillas como se puede observar en la Figura 3.18.

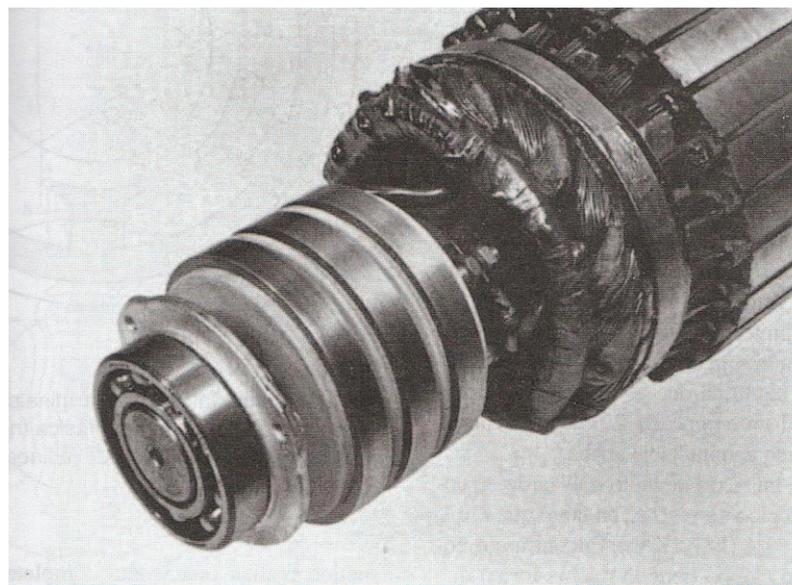


Figura 3.17. Reconocimiento motor c.a. trifásico rotor bobinado

Fuente: WILDI Theodore, 2007, "Máquinas eléctricas y Sistemas de Potencia", México, pp. 99

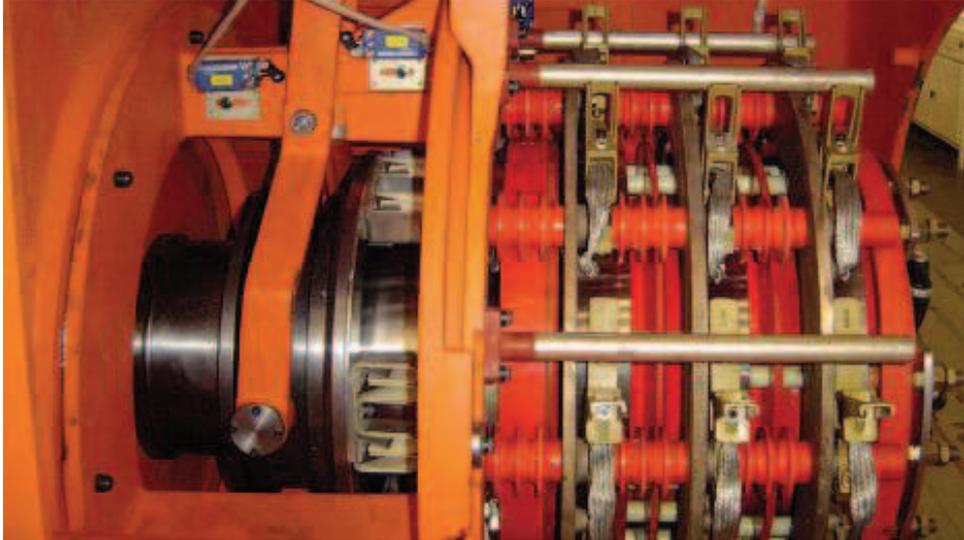


Figura 3.18. Reconocimiento motor c.a. trifásico rotor bobinado (3 porta-escobillas con sus escobillas)

Fuente: WEG, Motor de inducción trifásico, "Rotor bobinado con sistema motorizado de levantamiento de escobillas", pp. 3

3.5. APLICACIONES DE LOS MOTORES C.A. ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

Los motores c.a. asíncronos trifásicos llamados como motores de inducción o motores trifásicos son los más utilizados a nivel industrial y aún más por el desarrollo de la electrónica de potencia son aptos en casi todas las aplicaciones por sus facilidades de diseño, construcción y precio cómodo en comparación con los otros tipos de motores, estos se utilizan en: bombas para agua, cintas transportadoras, ventiladores, sopladores, compresores para aire, compresores de pistón, máquinas herramientas, tornos, esmeriles, fresadoras, limadoras, mezcladoras, prensas, trituradoras, molinos, etc. Los motores de inducción de rotor bobinado se emplean cuando se necesita de un par de arranque elevado y cuando se desea un ajuste de la velocidad, las aplicaciones que tiene este tipo de motor es en grúas, ascensores, montacargas, molinos, etc.



Figura 3.19. Aplicación: bombas. 7 motores de inducción MGF8809, 1.267 HP, 4.160 V, 2 polos

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 21



Figura 3.20. Aplicación: sopladores para aire. 4 motores de inducción HGF450, 630 kW, 6.600 V, 2 polos.

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 28



Figura 3.21. Aplicación: molino de bolas. 2 motores de inducción de rotor bobinado MAF800, 4.600 kW, 11.000 V, 6 polos

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 21



Figura 3.22. Aplicación: bombas. 3 motores de inducción MGA12806, 2.500 HP, 4.000 V, 8 polos.

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 28



Figura 3.23. Aplicación: cintas transportadoras. Motor de inducción HGF630, 2.788 HP, 2.300 V, 6 polos

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 22

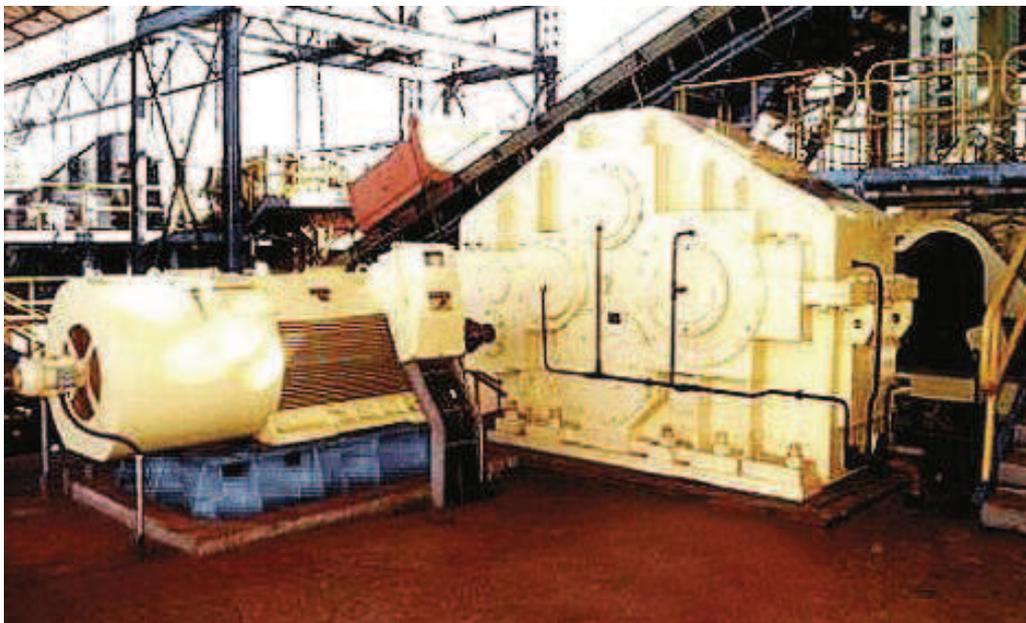


Figura 3.24. Aplicación: molienda caña de azúcar. Motor de inducción HGF450, 736 kW, 480 V, 6 polos

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 23



Figura 3.25. Aplicación: compresor para aire. 2 motores de inducción KGA560, 1.472 kW. 13.800 V, 2 polos.

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 26

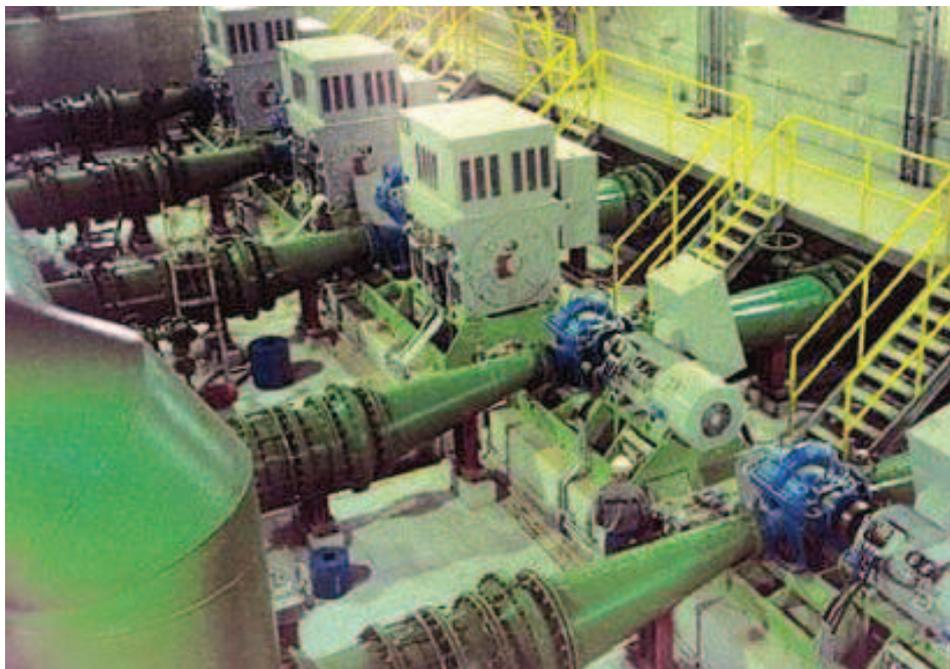


Figura 3.26. Aplicación: bombas centrífugas: 3 motores de inducción MGA560, 920 kW, 3.800 V, 8 polos; 3 motores de inducción HGF315, 258 kW, 3.800 V, 4 polos.

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 28



Figura 3.27. Aplicación: extractores de aire. Motor de inducción MGP8010, 900 kW, 4.160 V, 8 polos

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Libro de aplicaciones", pp. 30



Figura 3.28. Aplicación: Bombas para agua, industria ecuatoriana

Fuente: VALENZUELA, Jonathan

CAPÍTULO 4

4. MOTORES MONOFÁSICOS PARA C.A. ASÍNCRONOS

4.1. GENERALIDADES DE LOS MOTORES MONOFÁSICOS C.A. ASÍNCRONOS

Los motores monofásicos c.a asíncronos llamados comúnmente motores de inducción monofásicos nacieron ante la necesidad de motores que trabajen con suministro monofásico que es el que tenemos comúnmente en las ciudades, es decir, el suministro que tenemos en nuestros hogares y en las pequeñas industrias donde no siempre se puede tener fácilmente suministro trifásico.

4.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES MONOFÁSICOS

Los motores monofásicos c.a. asíncronos son los únicos motores que no puede desarrollar un campo giratorio puesto que por funcionar con suministro monofásico solo hay una fase en el devanado del estator. En su lugar, primero pulsa con gran intensidad, luego con menos intensidad, pero permanece siempre en la misma dirección y por ende, no puede desarrollar un par motor neto (Figura 4.1), a no ser que se use algún método de arranque para provocar que el rotor al menos empiece a girar, por lo mencionado anteriormente se dice que poseen un campo giratorio pulsante.

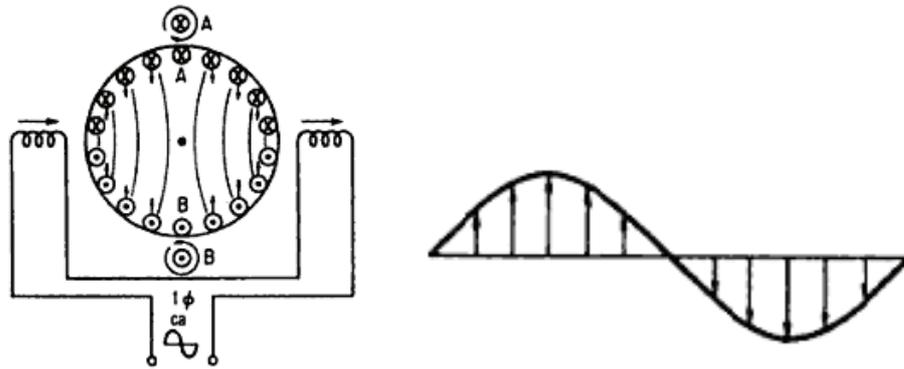


Figura 4.1. Generación de un par neto nulo al aplicar una señal monofásica al estator de un motor

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.377

Para conseguir que el rotor empiece a girar se lo puede hacer de diferentes formas entre las que mencionaremos: con bobinado auxiliar, con capacitor de arranque, con polo sombreado entre las principales. Lo que se consigue con estos métodos es sacar de la inercia al rotor e instantáneamente después de esto, se induce un par resultante (Figura 4.2).

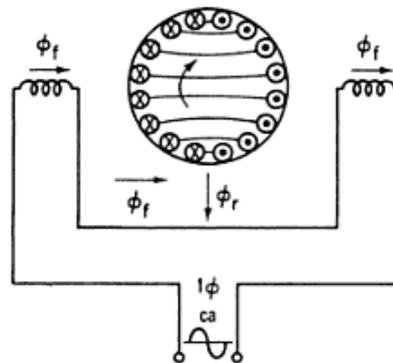


Figura 4.2. Generación de un par resultante al aplicar una señal monofásica al estator de un motor, después del arranque.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.379

Existen dos teorías básicas que explican por qué se produce un par en el rotor una vez que empieza a girar. Una es la llamada teoría de doble campo giratorio de los motores monofásicos (Figura 4.3), la otra es la teoría de campo cruzado de los motores monofásicos (Figura 4.4).

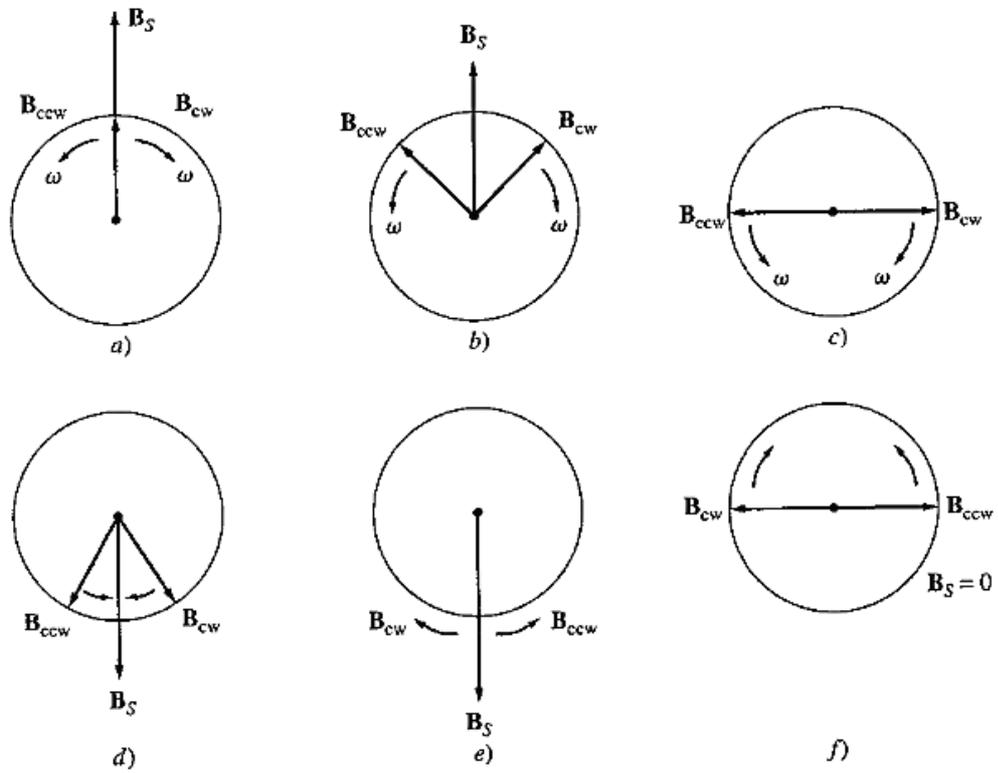


Figura 4.3. Teoría de doble campo giratorio de los motores monofásicos

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.659

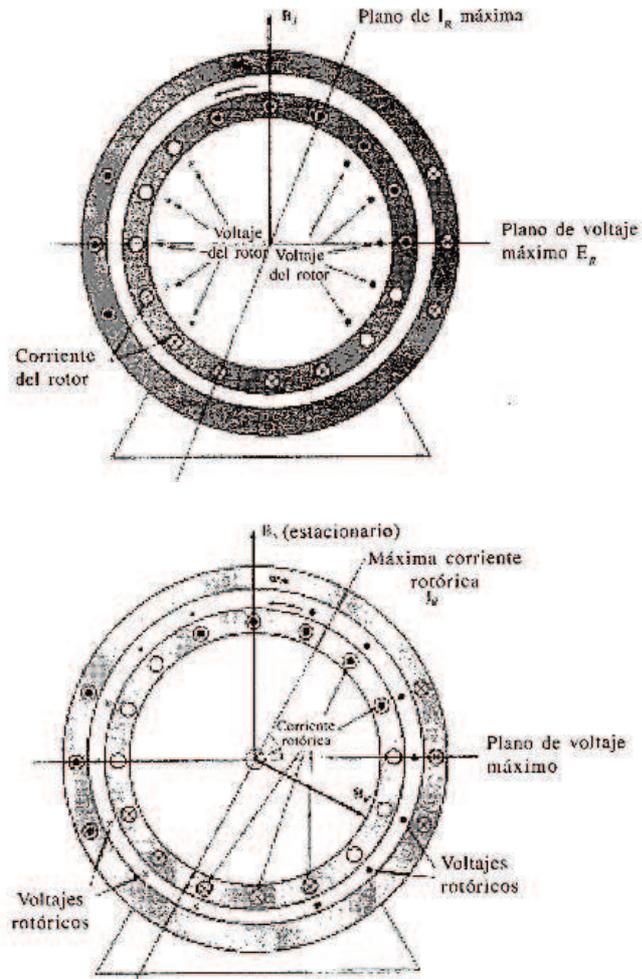


Figura 4.4. Teoría de campo cruzado de los motores monofásicos

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.664

4.2. PARTES QUE CONFORMAN EL MOTOR MONOFÁSICO C.A. ASÍNCRONO.

Un motor c.a. síncrono esta conformado por las partes que se puede observar en las Figura 4.5. y Figura 4.6.

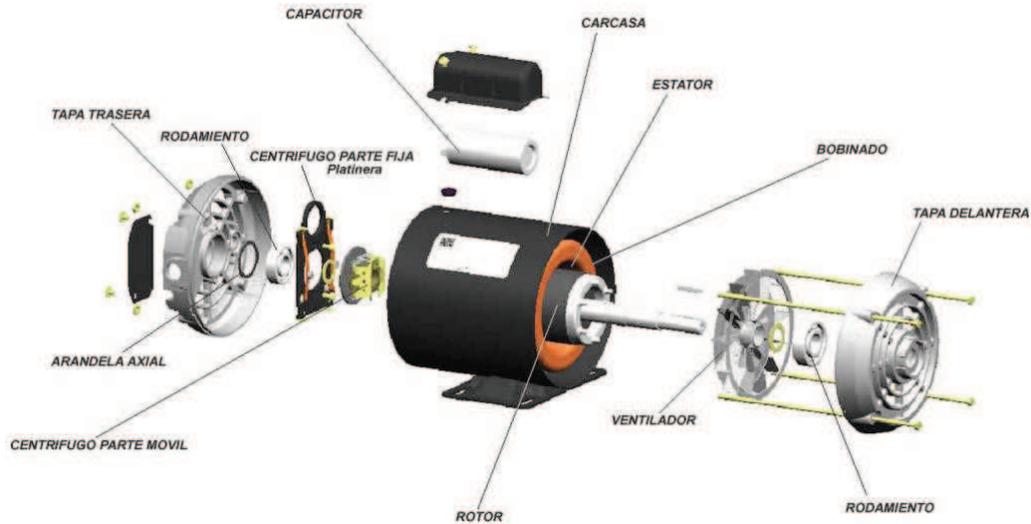


Figura 4.5. Partes generales de motor monofásico c.a. asíncrono.

Fuente: <http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros>

4.2.1. ESTATOR

Al igual que los estatores de otros tipos de motores eléctricos se compone de un núcleo de chapas de acero semicerradas, de una pesada carcasa de fundición dentro de las cuales esta introducido a presión el núcleo de chapas y de uno o dos arrollamientos de hilo de cobre aislados alojados en las ranuras.

4.2.2. ROTOR

De igual manera que en los rotores de los motores trifásicos el rotor para motores monofásicos es del tipo jaula de ardilla el cual esta compuesto de tres partes fundamentales: La primera es el núcleo, formado por láminas o chapas con buenas características magnéticas. La segunda el eje, sobre el cual va a presión ajustado el núcleo de chapas y la tercera parte es el arrollamiento llamado jaula de ardilla por su forma constructiva, que consiste en una serie de barras de gran sección alejadas en sendas ranuras axiales practicadas en la periferia del núcleo

y unidas en cortocircuito mediante dos gruesos aros de cobre, situados uno a cada extremo.

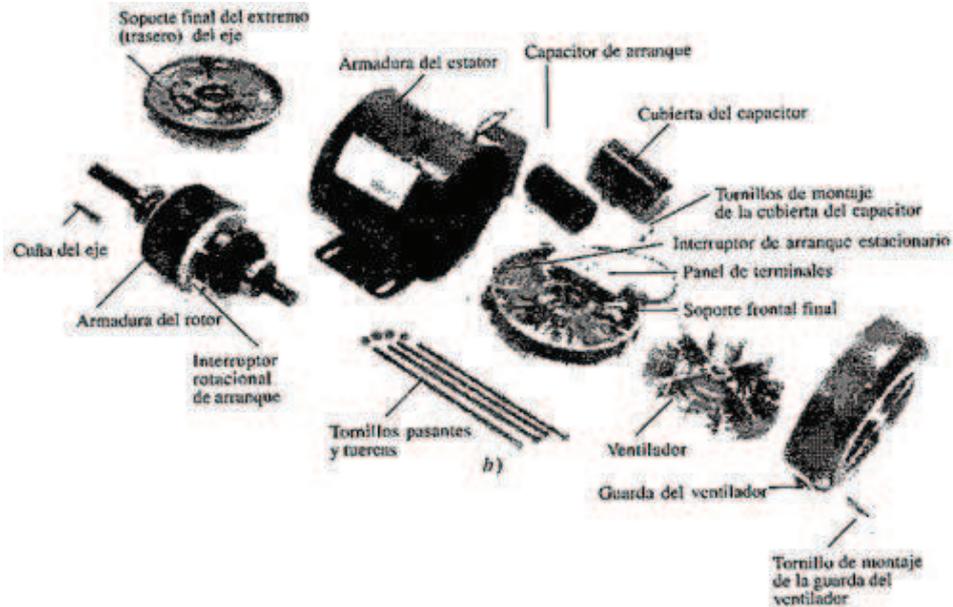


Figura 4.6. Partes generales de motor monofásico c.a. asíncrono.

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.671

4.2.3. INTERRUPTOR CENTRÍFUGO

Esta pieza va montada en el interior del motor monofásico. Tiene dos partes principales: una parte fija montada en el interior del cuerpo del estator y otra parte giratoria que va montado en el rotor. El funcionamiento de este consiste en abrir el bobinado de arranque cuando alcanzado aproximadamente 75% de la velocidad nominal del motor.



Figura 4.7. Tipos de interruptores centrífugos

Fuente: <http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros>

4.2.4. CAPACITORES O CONDENSADORES

Son dispositivos eléctricos capaces de almacenar energía eléctrica sustentando un campo eléctrico. En los motores monofásicos los capacitores son los que les ayudan en el arranque y mejorar su par de arranque y funcionamiento en el caso de un motor monofásico de dos capacitores.

4.3. TIPOS DE MOTORES MONOFÁSICOS C.A. ASÍNCRONOS

Como se indico en la sección 4.1.1., los motores monofásicos c.a. de inducción o asíncronos no tienen par de arranque, por lo que existen técnicas para arrancar dichos motores y se clasifican de acuerdo a la técnica que se utiliza para arrancarlos en:

- ✓ Motores monofásicos c.a. asíncronos con fase partida.
- ✓ Motores monofásicos c.a. asíncronos con capacitores.
- ✓ Motores monofásicos c.a. asíncronos con polos estáticos sombreados.

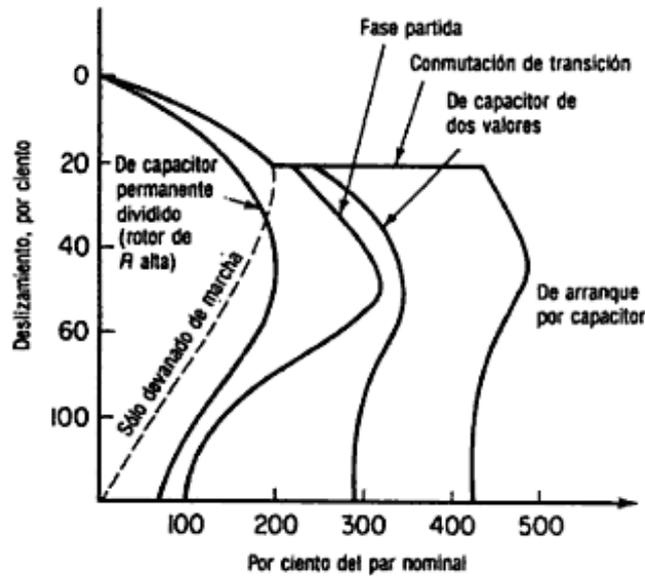


Figura 4.8. Comparación entre motores monofásicos de inducción.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.393

4.3.1. MOTOR MONOFÁSICO C.A. ASÍNCRONO CON FASE PARTIDA.

Este tipo de motores monofásicos está construido con dos devanados en paralelo, desplazados 90° eléctricos con respecto al estator y algo menos de 90° en el tiempo. El primero denominado devanado de arranque o auxiliar tiene menos vueltas y el conductor es de menor diámetro que el segundo denominado devanado principal, marcha o trabajo. Dicho lo anterior se puede decir que el devanado auxiliar tiene alta resistencia y baja reactancia, al contrario del devanado principal que con más vueltas de conductor de mayor diámetro tiene baja resistencia y alta reactancia. El devanado auxiliar está diseñado para únicamente ayudar en el arranque creando momentáneamente un campo bifásico equivalente giratorio, no está dimensionado para soportar la corriente de plena carga por lo tanto este es desconectado con la ayuda de un interruptor centrífugo que es normalmente cerrado, el mismo que se abre al aproximarse a la velocidad nominal de funcionamiento. Estudios indican que las corrientes de arranque y marcha en este tipo de motores al instante del arranque están desplazadas 25° por lo que su torque de

arranque es bajo. Este tipo de motor debe ser utilizado en cargas de baja inercia.

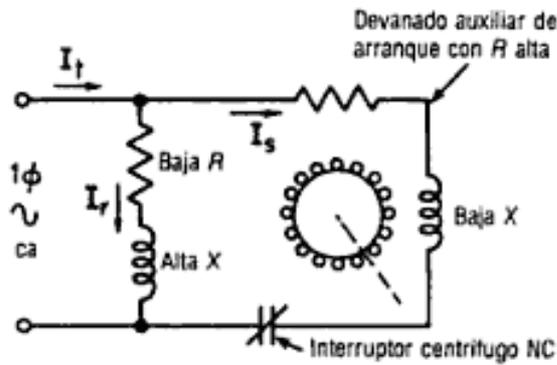


Figura 4.9. Diagrama eléctrico del motor monofásico con fase partida.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.381

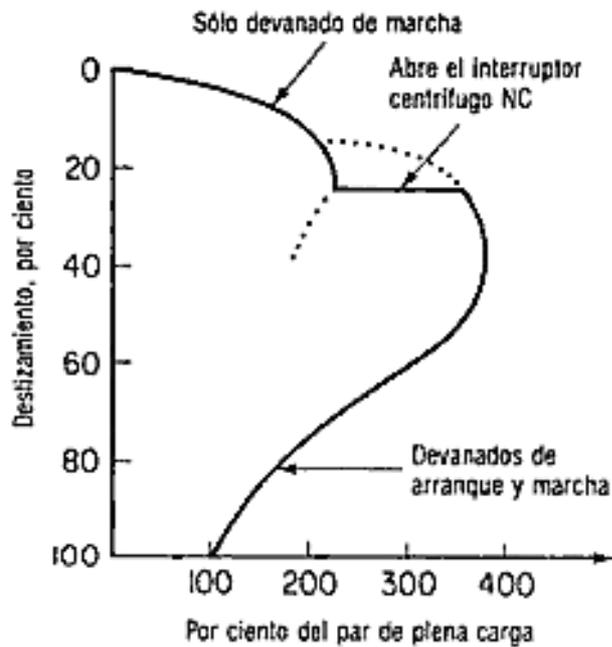


Figura 4.10. Curva par-deslizamiento del motor monofásico con fase partida.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.381

4.3.2. MOTORES MONOFÁSICO C.A. ASÍNCRONOS CON CAPACITORES.

4.3.2.1. Motor monofásico con capacitor de arranque.

Este tipo de motores fueron diseñados para solucionar el problema de par relativamente bajo de los motores monofásicos con fase partida. Están contruidos idénticos a un motor de fase partida, excepto el devanado auxiliar que tiene tantas vueltas como el devanado principal y están conectados un interruptor centrífugo y un capacitor en serie con el bobinado de arranque para producir una relación casi real de 90° entre los devanados de arranque y de marcha. Estudios indican que las corrientes de arranque y marcha en este tipo de motores al instante del arranque están desplazadas 82° . El interruptor centrífugo igualmente desconecta el devanado de arranque al alcanzar aproximadamente la velocidad nominal de funcionamiento.

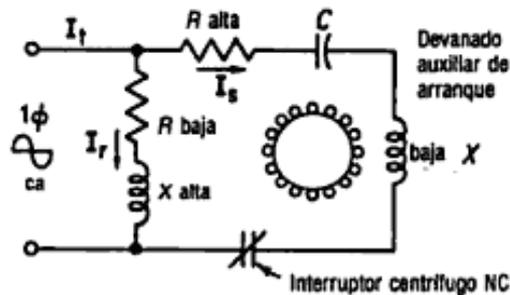


Figura 4.11. Diagrama eléctrico del motor monofásico con capacitor de arranque.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.386



Figura 4.12. Curva par-deslizamiento del motor monofásico con capacitor de arranque.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.386

4.3.2.2. Motor monofásico con capacitor permanente.

Este tipo de motor monofásico funciona con un capacitor para servicio continuo del tipo baño de aceite, las principales características son que tiene un campo magnético más uniforme y su construcción es más sencilla puesto que no requieren interruptor centrífugo o de arranque. Sus devanados en general se fabrican con alambre del mismo diámetro e igual número de vueltas lo que significa que los devanados de arranque y marcha son iguales. La desventaja de este motor monofásico es que como su capacitor está diseñado para trabajo continuo su par de arranque y marcha no son altos pero esta desventaja es la que le favorece a su facilidad para cambiar su sentido de giro, por lo que se lo utiliza en aplicaciones que necesiten esta característica de invertir el sentido de giro del eje de una forma rápida y sencilla. Además este bajo par de marcha lo hace sensible a las variaciones de voltaje lo que se aprovecha para

controlar la velocidad de giro del motor variando mediante cualquier método el voltaje de entrada.

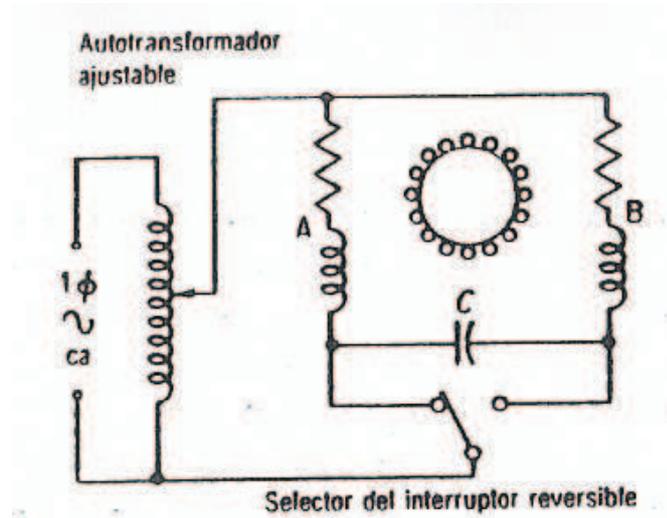


Figura 4.13. Diagrama eléctrico del motor monofásico con capacitor permanente (se puede observar la característica de variación de velocidad con autotransformador y cambio de sentido de giro)

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.389

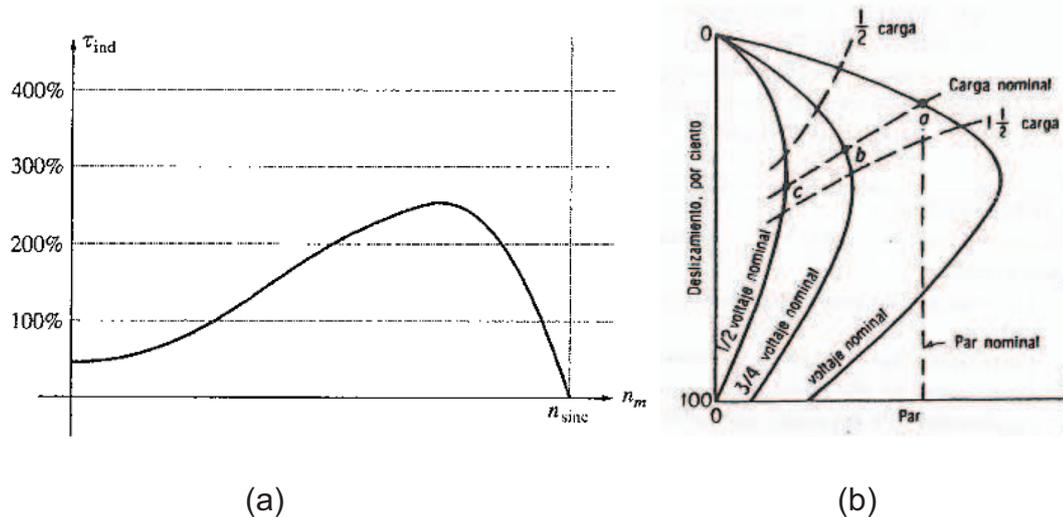


Figura 4.14. (a) Curva par-deslizamiento del motor monofásico con capacitor permanente. (b) Curva característica de velocidad regulable.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.389

4.3.2.3. Motor monofásico con capacitor de arranque y de funcionamiento permanente.

Este tipo también llamado motor monofásico de dos capacitores combina las características de alto par de arranque del motor monofásico con capacitor de arranque descrito en la sección 4.3.2.1. y el funcionamiento silencioso más el control de velocidad del motor monofásico con capacitor permanente descrito en la sección 4.3.2.2. Los dos capacitores funcionan en el momento del arranque, el capacitor electrolítico de arranque es de capacidad alta, aproximadamente 10 a 15 veces el valor del capacitor permanente o marcha, asegurando que las corrientes en los devanados principal y arranque estén casi balanceadas obteniendo alto par de arranque, se desconecta cuando alcanza la velocidad nominal de funcionamiento por el interruptor centrífugo como se puede observar en la figura 4.15. El capacitor permanente del tipo baño de aceite balancea las corrientes para cargas normales del motor de modo que opera silenciosamente y con alto factor de potencia.

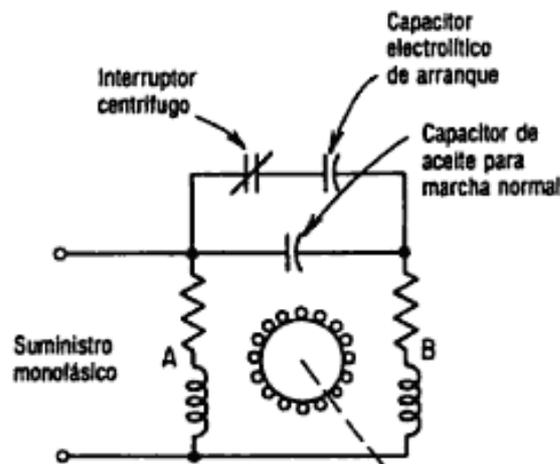


Figura 4.15. Diagrama eléctrico del motor monofásico con dos capacitores

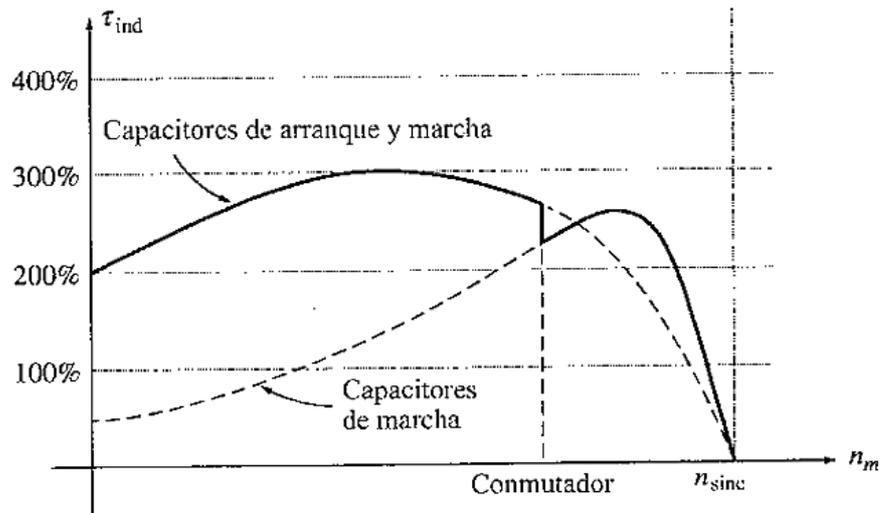


Figura 4.16. Curva par-deslizamiento del motor monofásico con dos capacitores

Fuente: CHAPMAN, Stephen, "Máquinas eléctricas"/ 2005, pp.428

4.3.3. MOTOR MONOFÁSICO CON POLOS SOMBREADOS.

Este tipo de motores monofásicos tienen solo devanado principal y en lugar de devanado de arranque, tiene polos salientes y una parte de cada polo está envuelta por una bobina de sombreado cortocircuitada o un anillo de cobre macizo de una sola vuelta como se puede observar en la figura 4.17. Un flujo variable se induce en los polos debido al devanado principal, cuando el flujo del polo varía induce un voltaje y una corriente en la bobina de sombreado, las cuales se oponen al cambio del flujo original. Esta oposición retarda los cambios de flujo bajo las partes sombreadas de las bobinas y produce entonces un ligero desequilibrio entre los dos campos magnéticos rotacionales opuestos del estator. La rotación neta se dirige desde la cara polar no sombreada hacia la sombreada. Estos motores se fabrican en tamaños pequeños de 1/20hp. a 1/10hp. debido a que tienen el menor par de arranque que cualquier otro tipo de motor monofásico pero su ventaja es su simplicidad de fabricación y precio económico que se los utiliza en aplicaciones pequeñas con requerimientos de par de arranque muy bajos.

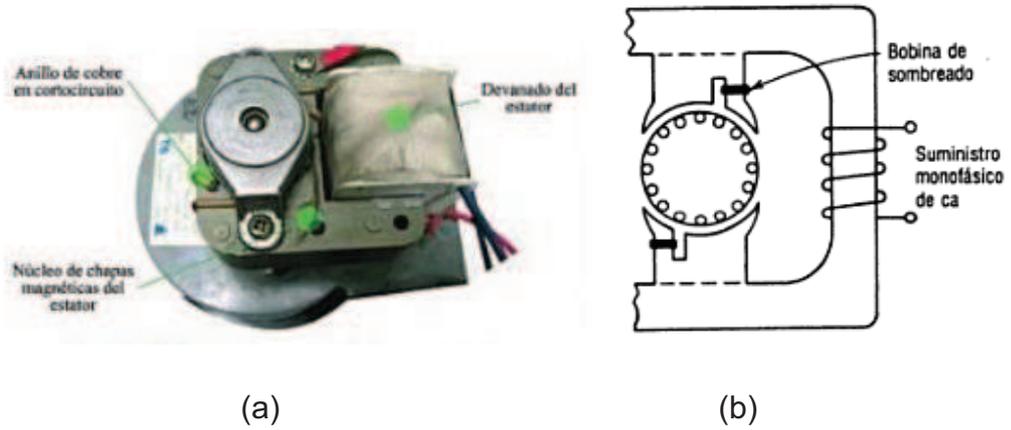


Figura 4.17. Motor monofásico con polos estatóricos sombreados.

Fuente: (a) ALCALDE Pablo, 2010, "Electrotecnia", España, Madrid, pp.343; (b) KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.394

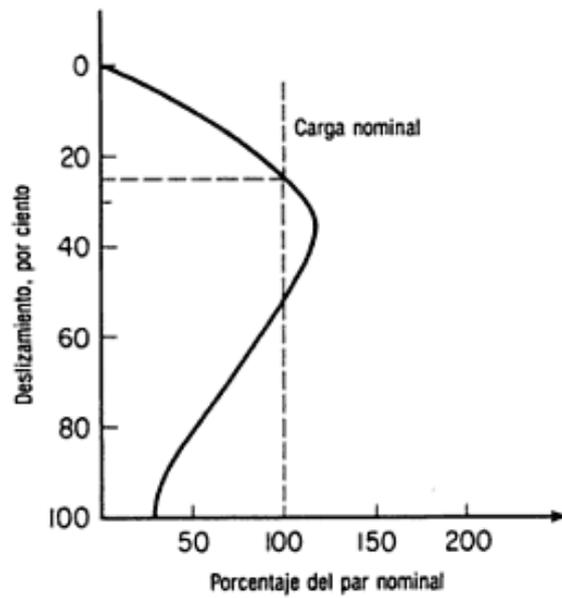


Figura 4.18. Curva par-deslizamiento del motor monofásico con polos estatóricos sombreados.

Fuente: KOSOW Irving, 1992, "Máquinas eléctricas y transformadores", Barcelona, Reverté, pp.394

4.4. RECONOCIMIENTO DE LOS MOTORES MONOFÁSICOS C.A. ASÍNCRONOS

Al igual que los otros motores eléctricos, los motores monofásicos tienen características específicas que los diferencian de los otros tipos de motores eléctricos.

4.4.1. RECONOCIMIENTO DE MOTORES MONOFÁSICO CON FASE PARTIDA.

Como se indico en el literal 3.4.1. este tipo de motores están conformados por dos bobinados el primero llamado bobinado auxiliar o de arranque y el segundo denominado bobinado de marcha o trabajo y esta es la característica que los diferencia de los otros motores monofásicos ya que por no poseer capacitores tiene el aspecto de su carcasa en un solo cuerpo como se puede observar en la Figura 4.19. Otra característica de estos motores es que poseen interruptor centrífugo.

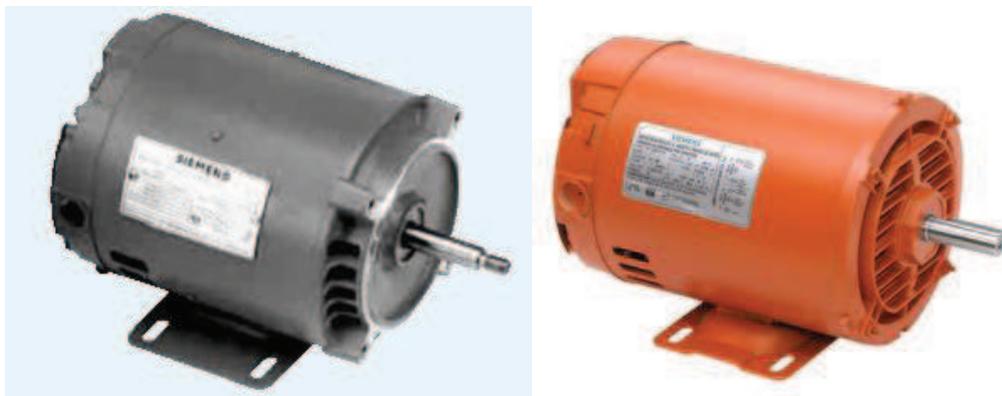


Figura 4.19. Reconocimiento de motores monofásicos con fase partida se puede observar la carcasa de un solo cuerpo.

4.4.2. RECONOCIMIENTO DE MOTORES MONOFÁSICOS CON CAPACITORES.

Este tipo de motores monofásicos su característica que los diferencia de los demás es que tienen un capacitor y otros tienen dos capacitores los cuales se les puede reconocer rápidamente debido a que ocupan un lugar aparte en la carcasa como se puede observar en las Figuras 4.20. y 4.21.



(a)



(b)

Figura 4.20. Reconocimiento de motores monofásicos con capacitor: (a) permanente (b) de arranque



Figura 4.21. Reconocimiento de motores monofásicos con capacitor de arranque y permanente, se puede observar el espacio de los dos capacitores.

Fuente: WEG, Equipamientos eléctricos S.A., "Línea de productos BT", Latinoamérica, pp. 115

4.4.3. RECONOCIMIENTO DE MOTORES MONOFÁSICO CON POLOS SOMBREADOS.

La característica específica de este tipo de motores que no tiene otro motor eléctrico como su nombre lo indica son los polos estáticos sombreados que son unos anillos de cobre macizo de una sola vuelta como se puede observar en la figura 4.22.



Figura 4.22. Reconocimiento de motores monofásicos con polos estáticos sombreados.

Fuente: GUILLERMO Mario, Universidad Nacional del Mar del Plata, "Motor monofásico de inducción", Argentina, Mar del Plata, pp.9

4.5. APLICACIONES DE LOS MOTORES MONOFÁSICOS C.A. ASÍNCRONOS.

Este tipo de motores tienen un sin fin de aplicaciones gracias a que pueden funcionar con suministro monofásico que es el que tenemos en zonas comerciales, nuestros hogares y en pequeñas industrias por lo que se utilizan en aplicaciones en donde no es necesaria mucha potencia como en pequeñas: bombas, ventiladores, sopladores, compresores, fresadoras, tornos, taladros, aspiradoras, refrigeradoras, equipos para carpintería, aire acondicionado, cintas transportadoras, maquinas herramientas, centros de mecanizado, portones eléctricos, cortadoras para césped, lavadoras, etc.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- a) Los motores eléctricos son los más utilizados en un sin fin de aplicaciones industriales gracias a su buen rendimiento.
- b) Los motores eléctricos son por no decir la mejor una de las mejores máquinas eléctricas rotatorias en transformar la energía eléctrica en mecánica con alta eficiencia.
- c) Los motores de corriente continua se utilizan en aplicaciones en donde se necesita variar la característica par-velocidad dentro de un amplio intervalo sin perder su alta eficiencia.
- d) Los motores síncronos por su característica especial de variar su factor de potencia sin perder sus características par-velocidad para bajas velocidades es idónea para trabajar en la industria pesada.
- e) Los motores trifásicos son los más utilizados en la industria por su simplicidad de construcción, resistentes, facilidad de mantenimiento, par-velocidad constantes y su precio barato en relación a motores c.c. o motores síncronos.
- f) Los motores monofásicos se utilizan en todas la demás aplicaciones simples en donde no es posible tener un suministro de voltaje continuo para motores c.c. o suministro trifásico para motores asíncronos trifásicos o los dos suministros en el caso de los motores síncronos.

5.2. RECOMENDACIONES

- a) Para reconocer cualquier tipo de motor eléctrico primero siempre leer e interpretar el dato de placa ya que es allí donde se encuentran todas las características de los motores eléctricos.
- b) En el caso de no encontrar el dato de placa lo que sucede la mayoría de veces, proceder a obtener información preguntando a las personas que realizan mantenimiento a los motores ¿Sabe qué tipo de motor es? ¿Con qué tipo de suministro de energía funciona el motor? ¿Si le ha realizado mantenimiento cuáles son las partes constitutivas del motor?
- c) Luego proceder a visualizar el aspecto constructivo del motor, comparar con los descritos en este manual e identificar las partes, esto ayudara a reconocer de que tipo de motor que se trata.
- d) También se recomienda observar la caja de conexiones lo que nos ayudará igualmente a reconocer el tipo de motor.
- e) Si realizado lo descrito anteriormente no es posible reconocer el tipo de motor, proceder a desarmarlo para identificar sus partes lo que nos ayudará a reconocer el tipo de motor eléctrico tomando en cuenta lo descrito en este manual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

1. YADUVIR Verma/ "Fundamentals of Electrical Engineering"/New Delhi, 2010.
2. MANZANO Juan/ "Máquinas eléctricas"/Madrid, España, 2010.
3. ALCALDE Pablo/"Electrotecnia"/España, Madrid, 2010.
4. FRAILE MORA, Jesús. /"Máquinas eléctricas"/ Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, 2008.
5. WILDI Theodore/"Máquinas eléctricas y Sistemas de Potencia"/ México, 960p. / 2007
6. CHAPMAN, Stephen J. /"Máquinas eléctricas"/ 2005, 746p.
7. FITZGERALD, A. /"Máquinas eléctricas"/México: McGraw-Hill/ Interamericana, 2004.
8. KOSOW, Irving/"Máquinas eléctricas y transformadores" / Barcelona / Reverté, 1992.
9. SERRANO L/"Fundamentos de máquinas eléctricas rotativas".
10. SCHNAIDER Electric/"Cuaderno Técnico N°207", Francia, 2005.
11. MONJO Andrés/"Motor Síncrono".
12. GUILLERMO Mario/Universidad Nacional del Mar del Plata/"Motor monofásico de inducción", Argentina, Mar del Plata.

REVISTAS TÉCNICAS

13. WEG/Equipamientos eléctricos S.A./"Motores de corriente continua".
14. ABB/"Synchronous Motors", EN 08-2005.
15. TECO Westinghouse/"Synchronous Machines", LM-SY 02-04.
16. ABB, JOHANNES Ahlinder /"Synchronous Superlatives"/Special Report ABB Review.
17. WEG/Motors and drivers/ "Motores trifásicos cerrados IEC 60Hz"/Brasil, Jaraguá do Su.
18. WEG/Motor de inducción trifásico/"Rotor bobinado con sistema motorizado de levantamiento de escobillas.
19. WEG/Equipamientos eléctricos S.A./"Libro de aplicaciones".

20. WEG/Equipamientos eléctricos S.A./"Línea de productos BT", Latinoamérica.
21. SIEMENS/"Motores eléctricos.

PAGINAS WEB

22. <http://www.abb.com.ec>
23. <http://www.weg.net>
24. <http://www.siemens.com>
25. <http://electricidad-viatger.blogspot.com/2009/11/averias-en-motores-de-corriente.htm>
26. <http://www.tecowestinghouse.com>
27. <http://www.tuveras.com>
28. <http://usuarios.multimania.es/sparta/hobbies4.html>
29. <http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros>
30. http://ocw.ehu.es/enseanzas-tecnicas/automatica/cap31_html/capitulo-3