



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MOTOR DE INDUCCIÓN

GUÍA DE MAESTRO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN

ESPECIALIDAD EN:

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS

PRESENTA:

ALEJANDRA FIGUEROA LÓPEZ

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. ABRIL DE 2011

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

PREFACIO

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas giratorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico es utilizado en gran parte en la industria, en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar.

Los motores eléctricos realizan una amplia gama de necesidades de servicio, como arrancar, acelerar, invertir el giro, frenar, hasta sostener y detener una carga. Estos motores se fabrican en potencias que varían desde una pequeña fracción de caballo hasta varios miles y con una amplia variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

El motor de inducción jaula de ardilla es el motor eléctrico de corriente alterna más utilizado debido a su fortaleza y sencillez de construcción, buen rendimiento y bajo costo así como a la ausencia de mantenimiento y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante.

Debido a que los motores tienen partes giratorias sus pérdidas y eficiencia se ven disminuidas, es por eso, que en la actualidad los motores usan una nueva tecnología en materiales para la construcción del núcleo y devanados. Los materiales usados como el cobre son de alta calidad ya que permite reducir las pérdidas y por lo tanto eleva la eficiencia del motor.

Los motores de alta eficiencia pueden alcanzar grandes reducciones del consumo de energía, pero, además de la eficiencia, al optimizar el rendimiento de un motor durante toda su vida útil también hay que considerar otras características importantes entre las cuales están su adecuada aplicación, su correcto dimensionado y la fiabilidad de los devanados y rodamientos.

El presente trabajo es una guía de maestro que consta de 9 capítulos referente a motores de inducción jaula de ardilla trifásicos. En los primeros 3 capítulos se menciona acerca de la evolución de los motores, los cambios físicos que ha sufrido y se presentan definiciones importantes que se mencionaran a lo largo de este trabajo, así como también las partes más importantes que constituyen un motor de inducción. En los siguientes 3 capítulos se dan a conocer los tipos de motores de corriente alterna que existen así como la interpretación de los datos de placa de un motor y el principio de funcionamiento de los motores de inducción por medio de la creación de un campo magnético giratorio. En los siguientes 2 capítulos se menciona acerca de los motores de alta eficiencia, su importancia para el ahorro de energía y dinero, así como selección de motores, donde se dan a conocer algunos factores que se deben tomar en cuenta antes de adquirir un motor de inducción. En el capítulo 9 se mencionan los diferentes tipos de arranque de motores de corriente alterna que existen.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es realizar una guía de fácil entendimiento sobre el tema de motores de inducción que sea apoyo para el maestro y alumnos de la materia de máquinas eléctricas II, así como también para personas que laboran en la industria y desean conocer más sobre este tipo de motores. Con esta guía se pretende cubrir el capítulo de motores de inducción que forma parte del temario de máquinas de corriente alterna visto en la clase de máquinas eléctricas II.

HIPÓTESIS

Se pretende realizar una guía de maestro acerca de los motores de inducción que consta de 9 temas para cubrir una parte del temario de la materia de máquinas eléctricas II. La guía contiene información didáctica que será de fácil entendimiento tanto para los alumnos como para el maestro de la materia de máquinas eléctricas II de la facultad de ingeniería así como también a personas que laboran en la industria.

DEDICATORIAS

A mi mamá y hermana, Gilda y Bibi, por ser parte fundamental en mi vida. Gracias por todo el apoyo que me han brindado, por todo lo que me han enseñado y por todas las experiencias que hemos vivido juntas y las que aún nos faltan por vivir.

A mi tía Tita, por ser una mujer emprendedora de la cual he aprendido muchas cosas de la vida.

A mis padrinos, Gloria y Efraín, gracias por todos sus sabios consejos.

Al Ing. Carlos Ortega Moody, por ser un ejemplo a seguir en mi vida.

A mis amigos, novio y demás familiares, gracias por estar conmigo en los buenos y malos momentos y por todo su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro por permitirme realizar mis estudios.

Al Ing. Jesús Macías Arzate, por brindarme la oportunidad de elaborar esta guía de maestro como opción para mi titulación. Gracias profe por todo el apoyo brindado y principalmente por los conocimientos adquiridos de usted en estos últimos años.

Quiero agradecer también al Dr. José Gabriel Ríos Moreno por toda la ayuda brindada en clase de seminario y por todos los consejos de escritura para la realización de esta guía. Gracias profe por todas las veces que revisó mi guía y por sus atinadas correcciones y sugerencias.

Gracias también a todas las demás personas, compañeros y profesores que me ayudaron en la realización de esta guía de maestro.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Prefacio.....	i
Objetivo.....	iii
Hipótesis.....	iv
Dedicatorias.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tablas.....	xiv
1. Antecedentes de los motores de inducción.....	1
2. Definiciones.....	3
2.1 Motor eléctrico.....	3
2.1.1 Motor de inducción.....	3
2.2 Par en el motor de inducción.....	3
2.2.1 Tipos de par en un motor de inducción.....	3
2.3 Pérdidas en un motor.....	4
2.3.1 Pérdidas del núcleo.....	4
2.3.2 Pérdidas por fricción y ventilación.....	5
2.3.3 Pérdidas por efecto Joule.....	5

2.3.4	Pérdidas indeterminadas o parásitas.....	5
2.4	Tipos de eficiencia.....	5
2.4.1	Eficiencia mínima asociada.....	5
2.4.2	Eficiencia nominal.....	5
2.4.3	Eficiencia Premium.....	6
2.4.4	Eficiencia mínima garantizada.....	7
2.5	Deslizamiento.....	7
2.6	Factor de servicio.....	8
3.	Partes que constituyen un motor de inducción.....	9
3.1	Introducción.....	9
3.2	Estatórot.....	10
3.2.1	Devanados del estatórot.....	10
3.3	Rotor.....	10
3.3.1	Rotor jaula de ardilla.....	11
3.3.2	Rotor devanado.....	11
3.4	Carcasa.....	12
3.5	Caja de conexiones.....	12
3.6	Flecha.....	13
3.7	Rodamientos.....	13
3.8	Datos de placa.....	14
4.	Interpretación de los datos de placa de un motor.....	15
4.1	Introducción.....	15
4.2	Características eléctricas.....	15
4.2.1	Potencia (HP).....	15
4.2.2	Factor de servicio (SF).....	15
4.2.3	Corriente de arranque (I).....	16
4.2.4	Tensión (V).....	17

4.2.5	Frecuencia (Hz).....	17
4.2.6	Letra clave (kVA).....	18
4.2.7	Eficiencia.....	18
4.2.8	Diagramas de conexiones.....	18
4.3	Características mecánicas.....	21
4.3.1	Velocidad (RPM).....	21
4.3.2	Número de serie (SERIAL No. /ID).....	21
4.3.3	Tipo (TYPE).....	21
4.3.4	Diseño (DESING).....	21
4.3.5	Numero de modelo (MODEL/STYLE).....	22
4.3.6	Armazón o carcaza (FRAME).....	22
4.4	Características térmicas.....	22
4.4.1	Temperatura ambiente (AMBIENT).....	22
4.4.2	Clase de aislamiento (INSULATION CLASS).....	22
5.	Tipos de motores de corriente alterna.....	23
5.1	Introducción.....	23
5.2	Clasificación de los motores de corriente alterna.....	23
5.3	Clasificación de los motores de acuerdo a su diseño.....	24
5.3.1	Diseño mecánico.....	24
5.3.2	Diseño eléctrico.....	24
5.4	Clases de diseño de motores de inducción	25
5.4.1	Diseño A.....	25
5.4.2	Diseño B.....	26
5.4.3	Diseño C.....	26
5.4.4	Diseño D.....	27
6.	Principio de funcionamiento.....	28
6.1	Producción del campo magnético giratorio.....	28

6.1.1	Desarrollo del par inducido.....	29
7.	Motores de alta eficiencia.....	30
7.1	Introducción.....	30
7.2	Eficiencia de un motor.....	30
7.3	Las pérdidas en el motor.....	32
7.4	Pruebas estándar para determinar la eficiencia de un motor.....	35
7.5	Determinación de eficiencia (normas NEMA).....	35
7.5.1	Determinación práctica de la eficiencia de un motor.....	35
7.5.1.1	Método del deslizamiento.....	36
7.5.1.2	Método de la eficiencia ajustada.....	36
7.6	Que es un motor de alta eficiencia.....	37
7.7	Factores para que un motor eléctrico sea de alta eficiencia.....	37
7.7.1	El diseño y fabricación del motor.....	37
8.	Características principales para la selección de un motor.....	40
8.1	Gestión inicial.....	40
8.2	¿Por qué el motor jaula de ardilla?.....	40
8.3	Las normas.....	41
8.4	Ubicación.....	41
8.5	Las condiciones de instalación (grado de protección).....	41
9.	Arranque de motores.....	42
9.1	Introducción.....	42
9.2	Corriente de arranque de un motor de inducción.....	42
9.3	Como arrancar un motor de corriente alterna.....	42
9.4	Métodos de arranque de motores de inducción.....	43
9.4.1	Método de arranque a tensión completa.....	43
9.4.2	Método de arranque a tensión reducida.....	44

9.5 Tipos de arranque.....	44
9.5.1 Arranque estrella-delta.....	44
9.5.2 Arranque con autotransformador.....	45
Conclusiones.....	46
Bibliografía.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Apariencia de los motores eléctricos en sus inicios (a), apariencia actual (b).....	2
2.1 Comportamiento de los tipos de par de acuerdo al par y la velocidad.....	4
3.1 Partes de un motor.....	9
3.2 Estator.....	10
3.3 Devanados del estator.....	10
3.4 Rotor tipo jaula de ardilla.....	11
3.5 Rotor tipo devanado.....	11
3.6 Carcasa de un motor.....	12
3.7 Caja de conexiones.....	12
3.8 Flecha de un motor.....	13
3.9 Rodamientos.....	13
4.1 Conexión estrella.....	19
4.2 Conexión delta.....	20

4.3	Diagrama de conexiones de un motor.....	20
5.1	Clasificación de los motores de corriente alterna.....	23
5.2	Curvas características típicas para diferentes diseños de motores.....	24
6.1	Distribución senoidal del campo magnético giratorio.....	28
7.1	Pérdidas ocurridas durante la conversión de la energía en un motor.....	31
9.1	Corriente de arranque de un motor.....	42
9.2	Arranque a tensión completa.....	43
9.3	Arranque estrella - delta.....	45
9.4	Arranque por autotransformador.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
Tabla 2.1	Eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento.....	6
Tabla 2.2	Valores de eficiencia nominal a carga plena para motores verticales y horizontales, en por ciento.....	7
Tabla 4.1	Factor de servicio a frecuencia de rotación (velocidad) síncrona en rpm...	16
Tabla 4.2	Máxima corriente de arranque a rotor bloqueado para 60 Hz, motores trifásicos diseños B, C y D a 230 V.....	17
Tabla 4.3	Letra clave para kVA a rotor bloqueado, por kW.....	18
Tabla 7.1	Clasificación de las pérdidas en un motor.....	32
Tabla 7.2	Clases de pérdidas de energías en un motor.....	33

CAPÍTULO 1

1. Antecedentes de los motores de inducción

Desde su aparición, hace unos 120 años, el motor de inducción ha sido el modelo de confianza para los accionamientos mecánicos. Sin embargo, este modelo ha experimentado muchos cambios. Al principio estaba sobredimensionado, figura 1.1 (a), tanto mecánica como eléctricamente y eran muy costosos. Hoy en día, este motor se fabrica en grandes series, sometido a una norma tanto nacional como internacional, reduciéndose peso, tamaño y costo, figura 1.1 (b).

El motor de inducción moderno se construyó entre 1888 y 1895, cuando Nicola Tesla recibió la patente de sus ideas sobre los motores de inducción. Poco después se introdujo el rotor jaula de ardilla, y hacia 1896 estuvieron disponibles en el mercado motores de inducción trifásicos plenamente funcionales (Chapman, 2005).

Los esfuerzos de mejoramiento de diseño de aquella época hasta 1970, eran enfocados a disminuir el costo de construcción, calidad de los aceros, técnicas de fundición, el aislamiento, etc. Este enfoque se debió principalmente a que la electricidad no era tan costosa, por lo tanto, el criterio a seguir para comprar un motor, era su costo directo (Chapman, 2005).

Desde el ascenso del costo de los combustibles en 1973, el costo de operación de las maquinas ha sido cada vez más importante, dejando a un lado los costos de instalación. Por lo que el nuevo énfasis ha sido la eficiencia del motor (Chapman, 2005).

Para aumentar la eficiencia de los motores se utilizan técnicas conducentes a reducir las pérdidas en el cobre, reducir la densidad de flujo magnético para reducir las pérdidas en

el núcleo, reducir la temperatura de operación utilizando más acero en el estator, reducir las corrientes parasitas, entre otras (Chapman, 2005).

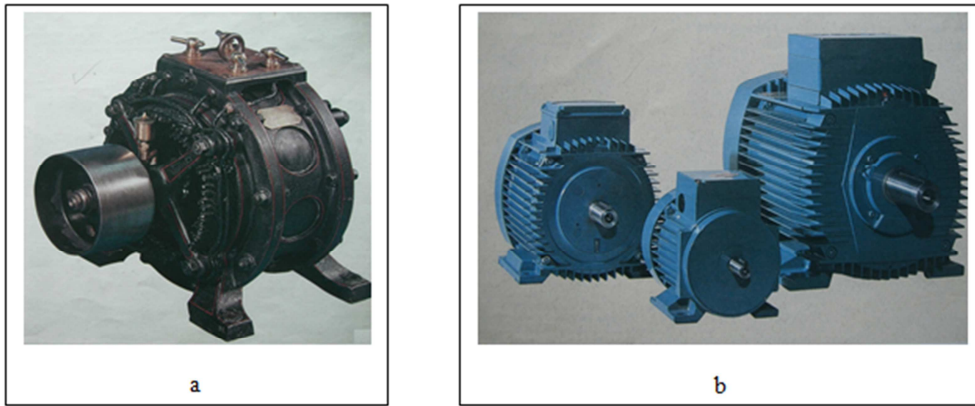


Figura 1.1 Apariencia de los motores eléctricos en sus inicios (a), apariencia actual (b).

CAPÍTULO 2

2. Definiciones

2.1 Motor eléctrico

Es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas (Motor eléctrico, 2010).

2.1.1 Motor de inducción

Es un motor eléctrico, en el que solo el estator se conecta a la fuente de energía y la transforma por inducción electromagnética.

Debido a que este tipo de motores no llega a trabajar nunca a su velocidad síncrona, también se les conoce como motores asíncronos (Harper, 2004).

2.2 Par en el motor de inducción

Par y fuerza son similares, solo que el término “*Fuerza*”, se usa cuando se habla de movimiento lineal. El término “*Par*”, se utiliza cuando se trata de movimiento de rotación.

2.2.1 Tipos de par en un motor de inducción

1. Par de arranque (par de rotor bloqueado): Es el par mínimo que desarrolla un motor al arrancar y corresponde al menor par medido con el rotor frenado a velocidad cero, para varias posiciones angulares del mismo, aplicando tensión y frecuencia eléctricas nominales (Velázquez, 2005).

2. Par mínimo: Es el par mínimo disponible en el periodo de aceleración del motor (García, 2009).

3. Par máximo: Es el par máximo disponible que desarrolla un motor alimentado con tensión y frecuencia eléctrica nominal, al acelerar del reposo a su velocidad de operación (Velázquez, 2005).

4. A plena carga: Es el necesario para producir la potencia de diseño a la velocidad de plena carga. El par a plena carga de un motor se toma como base, el par de arranque y el par máximo se comparan con él y se expresan en la forma de un cierto porcentaje del par a plena carga (García, 2009).

En la Figura 2.1 se muestra una curva típica de par-velocidad cuando el motor es excitado con una fuente de alimentación trifásica.

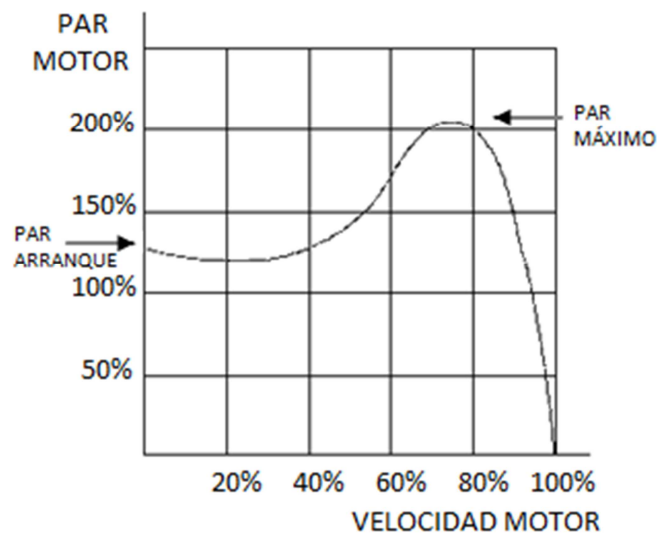


Figura 2.1 Curva par-velocidad de un motor de inducción.

2.3 Pérdidas en un motor

Se define como la diferencia de la potencia recibida de la línea y la potencia útil en la flecha del motor.

2.3.1 Pérdidas del núcleo:

Las debidas a las alteraciones del campo magnético en el material activo del estator y el rotor por efectos de histéresis y corriente de Eddy (Mantilla y Quispe, 2005).

2.3.2 Pérdidas por fricción y ventilación:

Las debidas a la resistencia que oponen los dispositivos tales como abanicos y rodamientos al movimiento mecánico (Mantilla y Quispe, 2005).

2.3.3 Pérdidas por efecto Joule:

Las debidas a la circulación de corriente eléctrica por el conductor, que se manifiesta en forma de calor y se produce en los devanados del estator y del rotor (Mantilla y Quispe, 2005).

2.3.4 Pérdidas indeterminadas o parásitas:

Las debidas a fenómenos diversos tales como los flujos de dispersión, número de ranuras tanto en el estator como en el rotor, la geometría de los dientes, efectos de saturación e imperfecciones en los procesos de fabricación (Mantilla y Quispe, 2005).

2.4 Tipos de eficiencia

La palabra eficiencia, aplicada a motores, debe definirse adecuadamente. Enseguida se presenta parte de la terminología empleada en la actualidad.

2.4.1 Eficiencia mínima asociada

Cada eficiencia nominal tiene una eficiencia mínima asociada, especificada en la columna B de la Tabla 2.1. (Velázquez, 2005).

2.4.2 Eficiencia nominal

Es el valor de la eficiencia mostrado en la placa de datos del motor, seleccionado de la columna A de la Tabla 2.1 por el fabricante. Este valor no debe ser mayor que la eficiencia promedio de una población grande de motores del mismo diseño. (Velázquez, 2005).

Tabla 2.1 Eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento.

Columna A	Columna B	Columna A	Columna B
Eficiencia Nominal	Eficiencia Mínima	Eficiencia Nominal	Eficiencia Mínima
99.0	98.8	94.1	93.0
98.9	98.7	93.6	92.4
98.8	98.6	93.0	91.7
98.7	98.5	92.4	91.0
98.6	98.4	91.7	90.2
98.5	98.2	91.0	89.5
98.4	98.0	90.2	88.5
98.2	97.8	89.5	87.5
98.0	97.6	88.5	86.5
97.8	97.4	87.5	85.5
97.6	97.1	86.5	84.0
97.4	96.8	85.5	82.5
97.1	96.5	84.0	81.5
96.8	96.2	82.5	80.0
96.5	95.8	81.5	78.5
96.2	95.4	80.0	77.0
95.8	95.0	78.5	75.5
95.4	94.5	77.0	74.0
95.0	94.1	75.5	72.0
94.5	93.6	74.0	70.0
		72.0	68.0

Nota: Los valores de la eficiencia de la columna A se obtienen a partir del 99.0%, con incrementos de pérdidas del 10%.

Los valores de eficiencia mínima asociada de la columna B, se obtienen incrementando las pérdidas en un 20%.

2.4.3 Eficiencia Premium

Es la eficiencia de los motores que igualan o superan los valores de la eficiencia de la Tabla 2.2, de acuerdo a su enclaustramiento y número de polos. (Velázquez, 2005).

Tabla 2.2 Valores de eficiencia nominal a carga plena para motores verticales y horizontales, en por ciento.

Potencia Nominal kW	Potencia Nominal cp	MOTORES CERRADOS			MOTORES ABIERTOS		
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos
0.746	1	77.0	85.5	82.5	77.0	85.5	82.5
1.119	1.5	84.0	86.5	87.5	84.0	86.5	86.5
1.49	2	85.5	86.5	88.5	85.5	86.5	87.5
2.23	3	86.5	89.5	89.5	85.5	89.5	88.5
3.73	5	88.5	89.5	89.5	86.5	89.5	89.5
5.60	7.5	89.5	91.7	91.0	88.5	91.0	90.2
7.46	10	90.2	91.7	91.0	89.5	91.7	91.7
11.19	15	91.0	92.4	91.7	90.2	93.0	91.7
14.92	20	91.0	93.0	91.7	91.0	93.0	92.4
18.65	25	91.7	93.6	93.0	91.7	93.6	93.0
22.38	30	91.7	93.6	93.0	91.7	94.1	93.6
29.84	40	92.4	94.1	94.1	92.4	94.1	94.1
37.30	50	93.0	94.5	94.1	93.0	94.5	94.1
44.76	60	93.6	95.0	94.5	93.6	95.0	94.5
55.95	75	93.6	95.4	94.5	93.6	95.0	94.5
74.60	100	94.1	95.4	95.0	93.6	95.4	95.0
93.25	125	95.0	95.4	95.0	94.1	95.4	95.0
111.9	150	95.0	95.8	95.8	94.1	95.8	95.4
149.2	200	95.4	96.2	95.8	95.0	95.8	95.4
186.5	250	95.8	96.2	95.8	95.0	95.8	95.4
223.8	300	95.8	96.2	95.8	95.4	95.8	95.4
261.1	350	95.8	96.2	95.8	95.4	95.8	95.4
298.4	400	95.8	96.2	95.8	95.8	95.8	95.8
335.7	450	95.8	96.2	95.8	95.8	96.2	96.2
373	500	95.8	96.2	95.8	95.8	96.2	96.2

2.4.4 Eficiencia mínima garantizada

Valor que el fabricante garantiza que alcanzan o exceden todos sus motores de una potencia dada. (Velázquez, 2005).

2.5 Deslizamiento

El deslizamiento es la diferencia entre la velocidad síncrona de un motor y la velocidad de operación, ecuación 1. (Harper, 2004).

$$\text{Deslizamiento} = \text{Velocidad síncrona} - \text{Velocidad de operación} \quad (1)$$

2.6 Factor de servicio

El factor de servicio es un multiplicador constante que define la carga continua permisible bajo condiciones de servicio usual a tensión y frecuencia nominales. Que indica que un motor pueda operar sin que falle en forma inmediata (Harper, 2004).

La mayoría de los motores nuevos tienen un factor de servicio de 1.15, debido a la alta calidad de los materiales aislantes que pueden soportar temperaturas más elevadas. Un motor de 50 hp puede entregar continuamente $(1.15 \times 50) = 57.5$ hp a tensión y frecuencia nominales (Kosow, 2005).

CAPÍTULO 3

3. Partes que constituyen un motor de inducción

3.1 Introducción

El motor de inducción se compone fundamentalmente de un rotor y un estator, Figura 3.1. Ambas partes están formadas por un gran número de láminas ferromagnéticas, que disponen de ranuras, en las cuales se alojan los devanados del estator y rotor respectivamente. Al alimentar el bobinado trifásico del estator, con un sistema de tensiones trifásicas, se crea un campo magnético giratorio, el cual induce en las espiras del rotor una fuerza electromagnética, y como todas las espiras forman un circuito cerrado, circula por ellas una corriente, obligando al rotor a girar en el mismo sentido que el campo giratorio del estator. (Electricidad SENA, 2010).

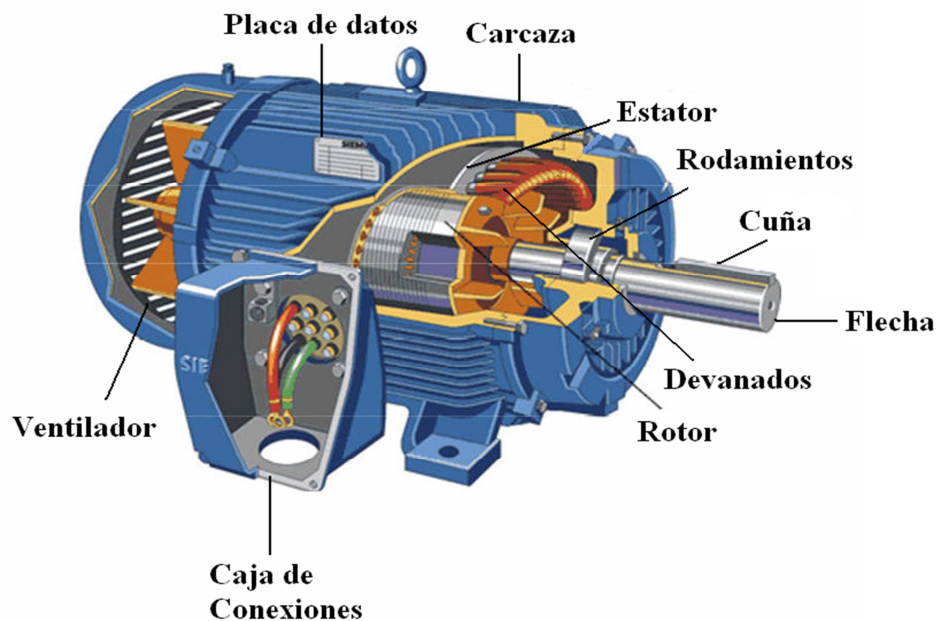


Figura 3.1 Principales partes de un motor de inducción.

3.2 Estator

Está formado por paquetes de láminas de acero al silicio troquelado, Figura 3.2. Representa una de las partes del circuito magnético del motor (Harper, 2004). La forma de las ranuras varía a acuerdo con el tamaño o tipo del motor. En la siguiente figura se observa el estator de un motor de inducción.

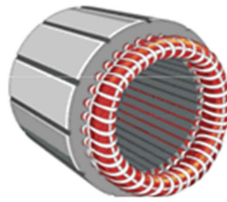


Figura 3.2 Estator.

3.2.1 Devanados del estator.

Es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, Figura 3.3, al ser recorrido por la corriente eléctrica. (Harper, 2004).



Figura 3.3 Devanados de un motor.

3.3 Rotor

El rotor de los motores de inducción puede ser de dos tipos: rotor jaula de ardilla o rotor devanado.

3.3.1 Rotor jaula de ardilla

Recibe este nombre debido a que tiene la forma de una jaula de ardilla, Figura 3.4. Aquí, el bobinado está constituido por barras que se vacían sobre el rotor destinado para este fin. Las barras son de aluminio y al fundirse en el rotor quedan unidas entre sí en cortocircuito en la forma de una jaula de ardilla. (Harper, 2004).

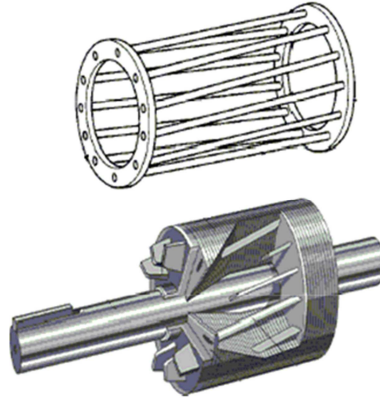


Figura 3.4 Rotor tipo jaula de ardilla.

3.3.2 Rotor devanado

Se le llama así porque su bobinado está devanado en las ranuras, Figura 3.5. Está formado por paquetes de láminas troqueladas, montadas sobre la flecha. Las bobinas se devanan sobre las ranuras y su arreglo depende del número de polos (el mismo que el estator) y de fases. (Harper, 2004).

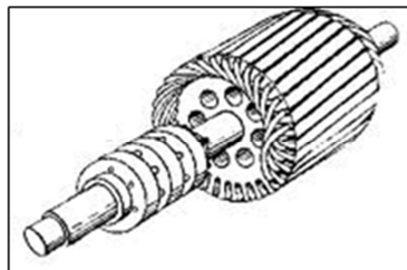


Figura 3.5 Rotor tipo devanado.

3.4 Carcasa

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, Figura 3.6. El material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser totalmente cerrada, abierta, a prueba de goteo, a prueba de explosiones y de tipo sumergible. (Osorio, 2010).

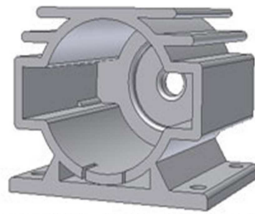


Figura 3.6 Carcasa de un motor.

3.5 Caja de Conexiones

La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos, Figura 3.7. (Osorio, 2010).

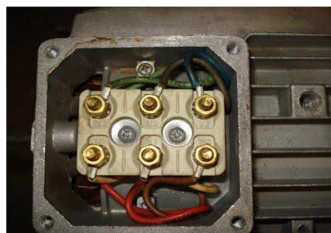


Figura 3.7 Caja de conexiones.

3.6 Flecha

Este elemento mecánico es el que se acopla el motor a su carga, o sea, es el que transmite la fuerza de los núcleos a las máquinas, Figura 3.8. Se manufacturan de acero (rolado en frío o en caliente) con alta resistencia al esfuerzo torsional.

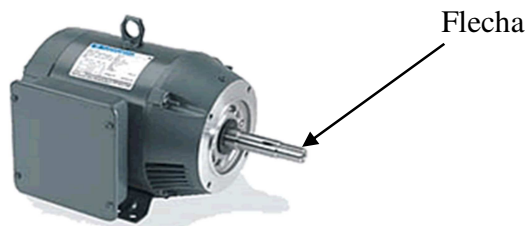


Figura 3.8 Flecha de un motor.

3.7 Rodamientos

Contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor, Figura 3.9. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. (Osorio, 2010).



Figura 3.9 Rodamientos.

3.8 Datos de Placa

La siguiente información o datos son los mínimos que debe llevar la placa de cualquier motor de corriente alterna, indeleble y en un lugar visible:

- Marca registrada del fabricante.
- Armazón.
- Potencia en C.P.
- Tensión nominal, en volts.
- Corriente a plena carga, en amperes.
- Frecuencia en Hz.
- Monofásico o trifásico.
- Diagrama de conexiones.
- Eficiencia nominal.
- Letras de clave.
- Letras de diseño.
- Factor de servicio.
- Tiempo de operación.
- Clases de aislamiento.
- Velocidad a plena carga en RPM.
- Temperatura ambiente.
- La leyenda “Hecho en México” o indicación del país de origen.

CAPÍTULO 4

4. Interpretación de los datos de placa de un motor

4.1 Introducción

La placa de datos de un motor (monofásico o trifásico) nos indica los valores de voltaje, frecuencia, potencia, así como las conexiones del motor, entre otras. Es por eso que cada motor debe contar con una placa de datos, en idioma español, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor con remaches del mismo material que las placas. Las placas de datos deben ser de acero inoxidable, la pintura del motor no debe cubrir las placas de datos, la información debe ser grabada en el metal de las placas de tal manera que pueda ser leída aunque desaparezcan la coloración e impresiones de superficie. (Muriel, 2010).

4.2 Características eléctricas

Algunas de las características eléctricas de un motor son potencia, corriente de arranque, tensión, entre otras, a continuación se describen cada una de ellas.

4.2.1 Potencia (HP)

La potencia nominal (hp) es la que desarrolla el motor en su eje cuando se aplican el voltaje y frecuencia nominales en las terminales del motor, con un factor de servicio de 1.0.

4.2.2 Factor de servicio (Service factor o SF)

Los motores deben de contar con un factor de servicio de acuerdo a su tamaño y frecuencia de rotación, como se indica en la Tabla 4.1. Los motores eléctricos se deben seleccionar para trabajar en condiciones normales de operación sin exceder su potencia nominal, el factor de servicio debe dar únicamente seguridad térmica. (Velázquez, 2005).

Tabla 4.1 Factor de servicio a frecuencia de rotación (velocidad) síncrona en rpm

Potencia		Frecuencia de rotación (Velocidad) en rpm						
kW	cp	3600	1800	1200	900	720	600	514
0.03	1/20	1.40	1.40	1.40	1.40			
0.06	1/12	1.40	1.40	1.40	1.40			
0.09	1/8	1.40	1.40	1.40	1.40			
0.12	1/6	1.35	1.35	1.35	1.35			
0.18	1/4	1.35	1.35	1.35	1.35			
0.25	1/3	1.35	1.35	1.35	1.35			
0.37	1/2	1.25	1.25	1.25	1.15*			
0.55	3/4	1.25	1.25	1.15*	1.15*			
0.746	1	1.25	1.15*	1.15*	1.15*			
1.119 a	1.5 a 125	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*
93.25								
111.9	150	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	
149.2	200	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*		
186.5	250	1.0	1.15*	1.15*	1.15*			
223.8	300	1.0	1.15*	1.15*				
261.1	350	1.0	1.15*	1.15*				
298.4	400	1.0	1.15*					
335.7	450	1.0	1.15*					
373.0	500	1.0	1.15*					

*En el caso de motores jaula de ardilla polifásicos, este factor de servicio aplica solamente a motores de diseño A, B, C.

4.2.3 Corriente de arranque (Amperes)

La corriente de arranque (a rotor bloqueado) para motores trifásicos de inducción, de diseños: B, C y D a tensión y frecuencia eléctricas nominales, no debe exceder los límites establecidos en la Tabla 4.2. (Velázquez, 2005)

Tabla 4.2 Máxima corriente de arranque a rotor bloqueado para 60 Hz, motores trifásicos diseños B, C y D a 230 V.

kW	cp	Amperes*	Diseño
0.373	1/2	20	B, D
0.560	3/4	25	B, D
0.746	1	30	B, C, D
1.119	1.5	40	B, C, D
1.492	2	50	B, C, D
2.238	3	64	B, C, D
3.730	5	92	B, C, D
5.60	7.5	127	B, C, D
7.46	10	162	B, C, D
11.19	15	232	B, C, D
14.92	20	290	B, C, D
18.65	25	365	B, C, D
22.38	30	435	B, C, D
29.84	40	580	B, C, D
37.30	50	725	B, C, D
44.76	60	870	B, C, D
55.95	75	1085	B, C, D
74.60	100	1450	B, C, D
93.25	125	1815	B, C, D
111.90	150	2170	B, C, D
149.20	200	2900	B, C
186.50	250	3650	B
223.80	300	4400	B
261.10	350	5100	B
298.40	400	5800	B
335.70	450	6500	B
373.00	500	7250	B

*La corriente a rotor bloqueado para motores de tensión diferente a 230 V., debe ser inversamente proporcional a la tensión.

4.2.4 Tensión (VOLTS)

Valor de la tensión de diseño del motor, que debe ser medida en las terminales del motor, y no la de la línea.

4.2.5 Frecuencia (HERTZ o Hz)

Es la frecuencia eléctrica (Hz) del sistema de suministro para la cual está diseñado el motor. Posiblemente este también funcione con otras frecuencias, pero se alteraría su funcionamiento y podría sufrir daños.

4.2.6 Letra clave (kVA)

La placa de características de todo motor de corriente alterna, debe marcarse con una letra clave, de acuerdo con la Tabla 4.3. Para indicar los kVA de rotor bloqueado por kW o por cp., la designación de éstas debe ser a tensión y frecuencia eléctricas nominales. (Velázquez, 2005).

Tabla 4.3 Letra clave para kVA a rotor bloqueado, por kW.

Letra clave	kVA/kW	kVA/cp	Letra clave	kVA/kW	kVA/cp
A	0.00 - 4.21	0.00 - 3.15	L	12.06 - 13.39	09.00 - 10.00
B	4.22 - 4.75	3.15 - 3.55	M	13.40 - 15.00	10.00 - 11.20
C	4.76 - 5.36	3.55 - 4.00	N	15.01 - 16.74	11.20 - 12.50
D	5.36 - 6.02	4.00 - 4.50	P	16.75 - 18.76	12.50 - 14.00
E	6.03 - 6.69	4.50 - 5.00	R	18.77 - 21.43	14.00 - 16.00
F	6.70 - 7.49	5.00 - 5.60	S	21.44 - 24.12	16.00 - 18.00
G	7.50 - 8.44	5.60 - 6.30	T	24.13 - 26.80	18.00 - 20.00
H	8.45 - 9.50	6.30 - 7.10	U	26.81 - 30.01	20.00 - 22.40
J	9.51 - 10.71	7.10 - 8.00	V	30.02 y mayores	22.40 y mayores
K	10.72 - 12.05	8.00 - 9.00			

4.2.7 Eficiencia (EFF)

En este espacio figura la eficiencia nominal NEMA del motor. Este valor de eficiencia se aplica a los motores de tipo estándar así como a los de eficiencia superior. Para los de alta eficiencia (energy-efficient) se indicará este dato.

4.2.8 Diagramas de conexiones

Antes de comenzar a conectar cualquier motor trifásico, se deben tener los siguientes tomar en cuenta lo siguiente:

- Leer la placa de datos del motor para determinar si el voltaje de trabajo es: 220/380 Volts ó 380/660 Volts.
- Considerar que la tensión de la línea en la que se coloque el motor sea trifásica de 3 x 380 Volts.

Las posibilidades de conexión de un motor son: estrella y delta. A continuación se explica cada una de ellas:

1. En el caso que la placa de datos indique 220-380 volts, la conexión a realizar será en forma horizontal “ESTRELLA”, 3 bornes punteados entre sí y la línea R-S-T conectada a los otros tres bornes libres. Figura 4.1. (Conexiones básicas de motores trifásicos, 2010).

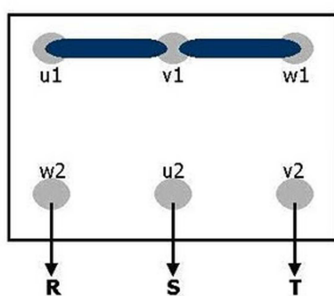


Figura 4.1 Conexión Estrella.

2. En el caso que la placa de datos indique 380-660 volts, se deberá realizar en forma vertical tres puentes independientes conexión “DELTA” y conectar la línea R-S-T sobre cada uno de los puentes en forma individual. Figura 4.2. (Conexiones básicas de motores trifásicos, 2010).

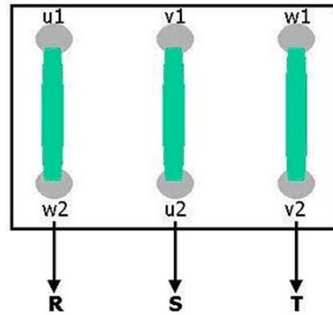


Figura 4.2 Conexión Delta

*NOTA: Es importante considerar que cualquier otro tipo de conexión, que no sea la indicada en la placa de datos, quemará rápidamente al motor. (Conexiones básicas de motores trifásicos, 2010).

En la Figura 4.3 se muestra una placa de datos real de un motor trifásico, del lado derecho de la placa se observan los diagramas de conexiones del motor, los cuales pueden ser estrella o delta.



Figura 4.3 Diagrama de conexiones de un motor.

4.3 Características mecánicas

En las características mecánicas podemos ver de qué tipo de motor (trifásico o monofásico) y rotor (jaula de ardilla o devanado) se trata. Así como también el diseño, número de modelo y velocidad nominal del motor.

4.3.1 Velocidad (RPM)

Es la velocidad de rotación (rpm) del eje del motor cuando se entrega la potencia nominal a la máquina impulsada, con el voltaje y la frecuencia nominales aplicados a las terminales del motor (velocidad nominal), fórmula 2.

$$N_s = \frac{60 \times f}{P} \quad (2)$$

Dónde:

N_s = Velocidad del motor en rpm (revoluciones por minuto)

f = Frecuencia de la alimentación en Hertz (Hz)

P = Número de pares de polos del motor.

4.3.2 Número de serie (SERIAL No. / I.D.)

Es el número exclusivo de cada motor o diseño para su identificación, en caso de que sea necesario ponerse en comunicación con el fabricante.

4.3.3 Tipo (TYPE)

Combinación de letras, números o ambos, seleccionados por el fabricante para identificar el tipo de carcasa y de cualquier modificación importante en ella.

4.3.4 Diseño (DESIGN)

En su caso, se graba en este espacio la letra de diseño NEMA, que especifica los valores mínimos de par de rotación a rotor bloqueado, durante la aceleración y a la velocidad correspondiente al par máximo, así como la corriente irruptiva máxima de arranque y el valor máximo de deslizamiento con carga.

4.3.5 Número de modelo (MODEL/ STYLE)

Datos adicionales de identificación del fabricante.

4.3.6 Armazón o Carcasa (FRAME)

La designación del tamaño de la armazón es para identificar las dimensiones del motor. Si se trata de una armazón normalizada por la NEMA o IEC incluye las dimensiones para montaje (que indica la MG1), con lo cual no se requieren los dibujos de fábrica.

4.4 Características térmicas

Los motores deben cumplir con ciertas condiciones de operación que se especifican a continuación.

4.4.1 Temperatura ambiente (AMBIENT)

Es la temperatura ambiente máxima (°C) a la cual el motor puede desarrollar su potencia nominal sin peligro. Si la temperatura ambiente es mayor que la señalada, hay que reducir la potencia de salida del motor para evitar daños al sistema de aislamiento.

4.4.2 Clase de aislamiento (INSULATION CLASS)

Se indica la clase de materiales de aislamiento utilizados en el devanado del estator. Son sustancias aislantes sometidas a pruebas para determinar su duración al exponerlas a temperaturas predeterminadas. La temperatura máxima de trabajo del aislamiento clase B es de 130 °C; la de clase F es de 155 °C, y la de clase H, de 180 °C.

CAPÍTULO 5

5. Tipos de motores de corriente alterna

5.1 Introducción

Se diseñan dos tipos básicos de motores para funcionar con corriente alterna polifásica: los motores síncronos y los motores de inducción. El motor síncrono es en esencia un alternador trifásico que funciona a la inversa. Los imanes del campo se montan sobre un rotor y se excitan mediante corriente continua, y las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y alimentadas con corriente alterna trifásica. El más simple de todos los tipos de motores eléctricos es el motor de inducción jaula de ardilla que se usa con alimentación trifásica. La armadura de este tipo de motor consiste en tres bobinas fijas y es similar a la del motor síncrono. Los motores de baterías en serie con conmutadores, que funcionan tanto con corriente continua como con corriente alterna, se denominan motores universales. Éstos se fabrican en tamaños pequeños y se utilizan en aparatos domésticos. (Vallejo, 2010).

En la Figura 5.1 se muestra un diagrama de la clasificación de los motores de corriente alterna.

5.2 Clasificación de motores de corriente alterna

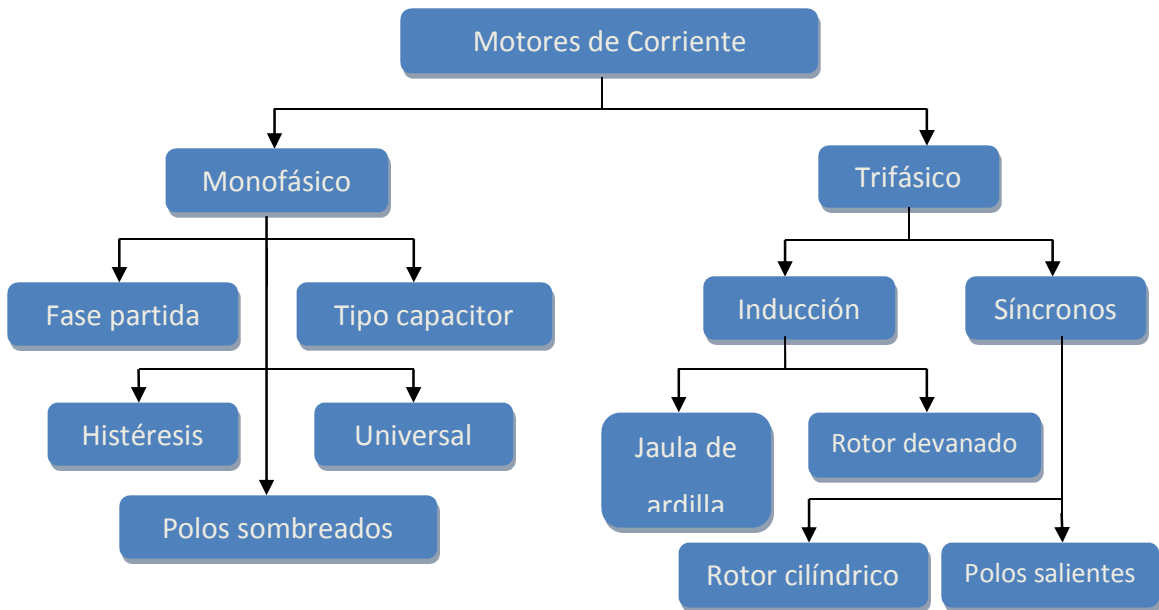


Figura 5.1 Clasificación de los motores de corriente alterna

5.3 Clasificación de motores de acuerdo a su diseño.

Se clasifican en dos conceptos básicos:

- Diseño Mecánico.
- Diseño Eléctrico.

5.3.1 Diseño Mecánico

Se refiere al tipo de construcción para que trabaje en condiciones satisfactorias y que sus partes internas no se vean afectadas por el medio ambiente.

Existen diferentes tipos de carcasas para éste diseño.

1. Motores a prueba de goteo.
2. Motores a prueba de salpiqueo.
3. Motores a prueba de intemperie.
4. Motores totalmente cerrados.
5. Motores a prueba de explosión en sus dos clases:
 - a) Clase I (gases o vapores inflamables o explosivos).
 - b) Clase II (polvos inflamables o explosivos).
6. Motor a prueba de agua.

5.3.2 Diseño Eléctrico

Corresponde a las características eléctricas de: corriente de arranque, par de arranque, deslizamiento; parámetros necesarios conocer para la selección y aplicación de los motores de inducción. Además de normalizar la característica par-velocidad.

De acuerdo al diseño eléctrico se tienen: Diseño A, Diseño B, Diseño C, y Diseño D.

5.4 Clases de diseño de motores de inducción.

La National Electric Manufacturers Association (NEMA) y la International Electrotechnical Comision (IEC), han desarrollado un sistema de identificación mediante letras para los motores comerciales, según las curvas características par-velocidad para cada diseño como se observa en la Figura 5.2. Estos diseños se han agrupado en cuatro clasificaciones principales:

1. Motores de par normal y corriente de arranque normal (Diseño NEMA A).
2. Motores de par normal y baja corriente de arranque (Diseño NEMA B).
3. Motores de alto par y baja corriente de arranque con doble jaula en el rotor (Diseño NEMA C).
4. Motores de alto deslizamiento (Diseño NEMA D.) (García, 2009).

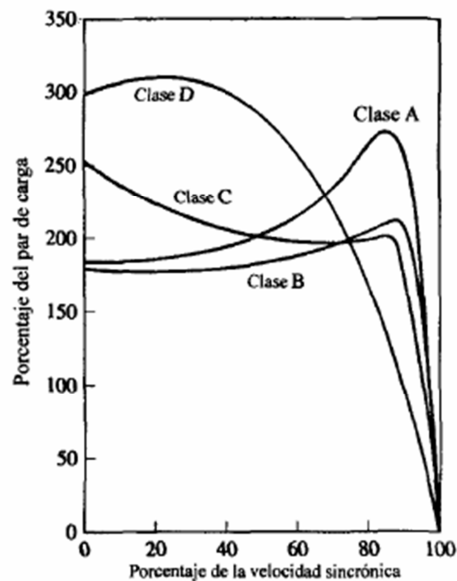


Figura 5.2 Curvas características típicas para diferentes diseños de motores.

5.4.1 Diseño clase A

Es un motor de jaula de ardilla para usarse a velocidad constante. Sus principales características son:

- Buena capacidad de disipación de calor.

- Alta resistencia y baja reactancia al arranque.
- El par máximo está entre 200% y 300% del par de plena carga y ocurre a un bajo deslizamiento.
- Aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.
- Presenta la mejor regulación de velocidad, entre el 2 y 4%.
- Desafortunadamente su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal.
- Se utilizan en ventiladores, sopladores, bombas, tornos, etc.

5.4.2 Diseño clase B.

Se les llama motores de propósito general y a este tipo pertenecen la mayoría de los motores con rotor jaula de ardilla. A continuación se resume sus características:

- Par de arranque normal, baja corriente de arranque y bajo deslizamiento.
- Produce casi el mismo par de arranque que el diseño anterior.
- El par máximo es mayor o igual al 200% el par de carga nominal.
- Deslizamiento bajo (menor del 5%).
- Se prefieren sobre los diseños de clase A por requerir poca corriente de arranque.

5.4.3 Diseño clase C.

- Alto par de arranque (entre 2 y 2.5 veces el nominal) con bajas corrientes de arranque (de 3.5 a 5 veces la nominal).
- Son contruidos con un rotor de doble jaula (más costosos).
- Bajo deslizamiento (menos del 5%) a plena carga.
- Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente.
- Tiende a sobrecalentarse con arranques frecuentes.
- Se utilizan para cargas con alto par de arranque como en bombas, compresores y transportadores.

5.4.4 Diseño clase D.

También conocidos como de alto par y alta resistencia.

- Alto par de arranque (275% o más del nominal) y baja corriente de arranque.
- Alto deslizamiento a plena carga.
- La alta resistencia del rotor desplaza el par máximo hacia una velocidad muy baja.
- Diseñado para servicio pesado de arranque, en especial grandes volantes utilizados en troqueladoras o cortadoras.

También existen las clases E y F, llamados motores de inducción de arranque suave, pero obsoletos hoy en día. (Chapman, 2005).

CAPÍTULO 6

6. Principio de funcionamiento

6.1 Producción del campo magnético giratorio

Debido a que el sistema eléctrico industrial utiliza fuentes trifásicas de energía, la máquina de inducción se construye normalmente con tres devanados, distribuidos y desfasados espacialmente 120° . En cada una de las tres bobinas desfasadas espacialmente, se inyectan corrientes alternas senoidales desfasadas en el tiempo 120° unas de otras (Aller, 2007).

Cada bobina produce un campo magnético estático en el espacio. La amplitud de este campo se encuentra en la dirección del eje magnético de la bobina y varía senoidalmente en el tiempo. La combinación de los campos pulsantes producidos por las tres corrientes desfasadas temporalmente, circulando por las tres bobinas desfasadas espacialmente, se traduce en un campo magnético distribuido senoidalmente en el espacio, que rota a la velocidad de variación de las corrientes en el tiempo, Figura 6.1 (Aller, 2007).

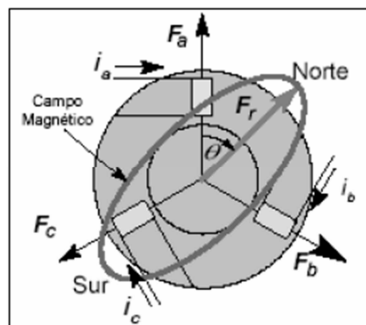


Figura 6.1 Distribución senoidal del campo magnético giratorio.

Puesto que el periodo o intervalo de tiempo de la variación senoidal de la corriente es el mismo en los conductores, la velocidad del campo magnético giratorio (S), varía directamente con la frecuencia (f), pero inversamente con el número de polos (P), ecuación 3:

$$S = 120f / P = 120f / 2n \quad (3)$$

Ya que el número de polos solo depende de n , o sea el devanado que se emplee, la velocidad es en realidad una función de la frecuencia (Aller, 2007).

6.1.1 Desarrollo del par inducido

Cuando se aplican al estator un conjunto trifásico de voltajes, se generan un conjunto de corrientes trifásicas que producen un campo magnético B_S que rota en dirección contraria a las manecillas del reloj. Este induce voltaje en las barras del rotor, y este voltaje está dado por la ecuación 4:

$$e_{ind} = (v \times B) \cdot l \quad (4)$$

En donde v es la velocidad de la barra, relativa al campo magnético; B es el vector de densidad de flujo magnético; y l , la longitud del conductor en el campo magnético.

El movimiento relativo del rotor con respecto al campo magnético del estator (B_S) induce voltaje en una barra del rotor. El flujo magnético del rotor produce un campo magnético del rotor B_R . El par en la máquina, τ_{ind} , está dado por la ecuación 5:

$$\tau_{ind} = (k B_R \times B_S) \quad (5)$$

Y la dirección es en sentido contrario a las manecillas del reloj, por lo tanto el rotor se acelera en esa dirección. En operación normal, los campos magnéticos del estator y del rotor giran a la velocidad síncrona, mientras que el rotor gira a una velocidad menor (Chapman, 2005).

CAPÍTULO 7

7. Motores de alta eficiencia

7.1 Introducción

Los motores de alta eficiencia empezaron a ser fabricados a mediados de la década de los 70 inicialmente en USA pero su aplicación se hizo masiva al llegar el año 2000 también en otros países industrializados. El bajo costo de la energía eléctrica en aquella época hacia que la eficiencia no fuera un parámetro que incidiera en los costos de operación. Sin embargo cuando la crisis energética de los 70 incrementó los costos de la energía eléctrica, la eficiencia fue un parámetro importante en la selección de un motor (Mantilla y Quispe, 2005).

En la actualidad se están fabricando motores de alta eficiencia, los cuales tienen un menor consumo de energía, para transmitir la misma potencia en su flecha que un motor de eficiencia estándar (García, 2009). Es importante entonces conocer cuáles son las características electromecánicas de los motores de alta eficiencia, y las limitaciones que pueden presentar en su aplicación (Mantilla y Quispe, 2005).

7.2 Eficiencia de un motor

Una característica fundamental de todo equipo eléctrico es su eficiencia, es decir, su capacidad para convertir en trabajo la energía que reciben (García, 2009).

Básicamente un motor es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Por lo tanto, es de suma importancia que la energía que recibe de la alimentación, se convierta en trabajo y se transmita en su totalidad a través del movimiento de la flecha del motor. (García, 2009).

Para poder hablar de alta eficiencia o eficiencia estándar, es necesario que definamos lo que es eficiencia y que es lo que provoca que esta disminuya o se incremente.

La eficiencia de un motor se define en la ecuación 6:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} \times 100 \quad (6)$$

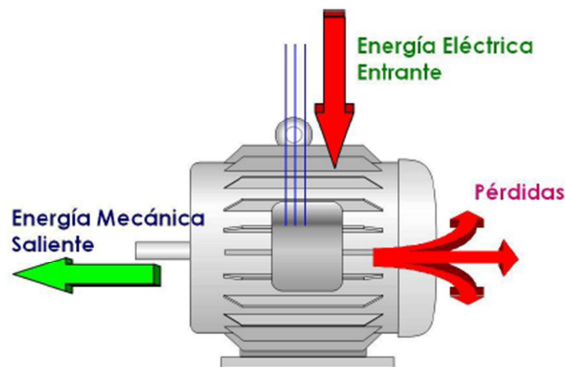


Figura 7.1 Pérdidas ocurridas durante la conversión de la energía en un motor.

Los motores estándar tienen una eficiencia que varía entre el 80 y 90%, mientras que en los motores de alta eficiencia, esta varía entre 87 y 96%. (García, 2009).

La potencia entregada en la flecha por un motor nunca podrá ser igual a la potencia recibida en la alimentación, esto se debe a que durante el proceso de conversión se producen pérdidas de energía, Figura 7.1. (García, 2009).

Los fabricantes de motores buscan continuamente generar innovaciones tecnológicas tendientes a disminuir las pérdidas al máximo posible, empleando materiales de mejor calidad y un proceso de mejora continua en la fabricación. (García, 2009).

7.3 Las pérdidas en el motor

Las pérdidas de energía son el factor determinante en la eficiencia del motor, estas pérdidas se pueden dividir en cinco clases, como se indica en la tabla 7.1 siguiente:

Tabla 7.1 Clasificación de las perdidas en un motor.

		PÉRDIDAS ESTATOR	PÉRDIDAS ROTOR	PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO	PÉRDIDAS FRICCIÓN Y VENTILACIÓN	PÉRDIDAS DISPERSAS	TOTAL
	PORCENTAJE						
PROMEDIO	DE PÉRDIDA	40%	25%	20%	5%	10%	100%
DEL	PÉRDIDAS						
MOTOR	REALES WATTS	267W	160W	131W	32W	62W	652 W
ESTÁNDAR	PÉRDIDAS						
MOTOR DE	REALES WATTS	190W	75W	102W	27W	8W	402 W
ENERGÍA	REDDUCCIÓN EN						
EFICIENTE	PORCIENTO	-29%	-53%	-22%	-16%	-87%	-38%

Estas pérdidas de energía se pueden describir, en términos de sus características, como se indica en la tabla 7.2 siguiente:

Tabla 7.2 Clases de pérdidas de energías en un motor.

NOMBRE	PORCENTAJE DEL TOTAL DE PÉRDIDAS	DESCRIPCIÓN	FIJAS O VARIABLES	CÓMO REDUCIRLAS
Pérdidas en el núcleo	15-25%	Energía requerida para magnetizar el núcleo	Fijas	Mejorando la permeabilidad del acero (silicio), usando laminaciones más delgadas, modificando la longitud del núcleo.
Fricción y ventilación	5-15%	Perdidas debidas a la fricción de las chumaceras y a la resistencia del aire, las cuales se producen por el ventilador	Fijas	Usando chumaceras de baja fricción, mejorando el diseño de los ventiladores.
Pérdidas en el devanado del estator.	25-40%	Calentamiento debido al flujo de corriente (I) a través de la resistencia (R) del devanado del estator. También se conocen como RI^2	Variables	Aumentando el volumen del cobre en el devanado del estator, mejorando el diseño de las ranuras y usando un aislamiento más delgado.
Pérdidas en el rotor	15-25%	Calentamiento debido a las pérdidas RI^2 en las barras del rotor.	Variables	Aumentando el tamaño de las barras conductoras del rotor y anillos terminales
Pérdidas dispersas	10-20%	Flujo disperso inducido por las corrientes de carga y otras pérdidas menores	Variables	Varios detalles de diseño y de manufactura.

Aun cuando algunas de estas pérdidas representan una porción relativamente pequeña de la energía usada por el motor, su total es significativo, estas pérdidas son un desperdicio de energía y producen calor. Debido a que el calor producido acelera el envejecimiento de las chumaceras y del aislamiento, finalmente las pérdidas reducen la vida del motor y su confiabilidad. (Harper, 2004).

Una forma simple de calcular las pérdidas en un motor, es de acuerdo con la siguiente ecuación 7:

$$P\acute{e}rdidas (KW) = HP \times L / 100 \times 0.746 \times (100 / ef. - 1.0) \quad (7)$$

Donde:

KW = Pérdidas de energía del motor en KW.

HP = Potencia manual del motor en HP.

L = Factor de carga (porcentaje de plena carga).

0.746 = Factor de conversión de HP a KW.

ef. = Eficiencia del motor (porcentaje).

Ejemplo 7.3.1

Calcular las pérdidas de energía para un motor de 50 HP con una eficiencia del 91.4% al 75% de carga.

Solución:

Sustituimos los valores en la ecuación 7:

$$P\acute{e}rdidas = 50 \times 75 / 100 \times 0.746 \times (100 / 91.4 - 1.0) = 2.63 \text{ KW} \quad (8)$$

Si en cambio el motor fuera de los denominados de alta eficiencia con una eficiencia del 95%, las pérdidas serían entonces:

$$P\acute{e}rdidas = 50 \times 75 / 100 \times 0.746 \times (100 / 95 - 1.0) = 1.47 \text{ KW} \quad (9)$$

Se observa que una mejora en la eficiencia de las pérdidas se reduce notablemente en un 44% aproximadamente.

7.4 Pruebas estándar para determinar la eficiencia del motor

Es importante que las comparaciones de eficiencias de motores sean hechas usando una metodología uniforme para las pruebas. No existe un método estándar para determinar la eficiencia de los motores. Las pruebas más comúnmente utilizadas son:

- IEEE 112-1984 (Estados Unidos)
- IEC 34-2 (Comisión Electrotécnica Internacional)
- JEC -37 (Comité Electrotécnico Japonés)
- BS -269 (Asociación de Estándar Canadiense)
- ANSI C50.20 igual que IEEE 112 (Estados Unidos)

7.5 Determinación de eficiencia (Normas NEMA)

Las variaciones normales en materiales, procesos de manufacturas y pruebas de motores dan por resultado una amplia gama de valores de eficiencia para una gran población de motores del mismo diseño. Tomando esto en consideración se estableció la norma NEMA MGI-112.53b, basada en la curva normal de distribución estadística (de Gauss), en la cual se supone que para un diseño determinado la mitad de los motores estarán por encima y la otra mitad por debajo del valor medio o nominal de la eficiencia (García, 2009).

7.5.1 Determinación práctica de la eficiencia de un motor

Anteriormente se mencionaron métodos para medir la eficiencia de motores, sin embargo, estos métodos se utilizan para motores nuevos, es decir, motores prototipo, sin embargo, para cuestiones de diagnósticos energéticos o evaluaciones de motores, es necesario saber cómo se comportan en cuanto a eficiencia, pero no se pueden ni quitar de la máquina accionada, ni colocarle frenos u otros equipos de medición, por lo que no tienen aplicación práctica (García, 2009).

Para calcular la eficiencia de un motor se utilizan básicamente dos formas: el método del deslizamiento y el método de la eficiencia ajustada.

7.5.1.1 Método del deslizamiento.

Usando un multímetro, un tacómetro y un factorímetro, se puede medir el voltaje, la corriente, la velocidad en r.p.m. y el factor de potencia del motor para un motor bajo condiciones normales de operación (García, 2009).

El deslizamiento del motor, puede ser usado para estimar la potencia de salida o entregado a la carga y consecuentemente la eficiencia del motor.

A partir del deslizamiento calculamos la eficiencia del motor con la siguiente fórmula 10:

$$Carga\ del\ motor = \frac{S}{N_s - N_p} \quad (10)$$

$$Potencia\ de\ salida = (Carga\ del\ motor)(Potencia\ no\ min\ al\ del\ motor) \quad (11)$$

$$Eff = \frac{0.746 \times Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ entrada} \quad (12)$$

7.5.1.2 Método de la eficiencia ajustada.

En este método, también es necesario medir los principales parámetros eléctricos del motor, tales como, Potencia activa en Kw, Voltaje entre fases, Corriente en las fases, Factor de potencia y la Distorsión armónica (García, 2009).

Para con estos valores y con ajustes de acuerdo a cálculos, se determina la eficiencia a la que se encuentra trabajando realmente el motor en cuestión (García, 2009).

Este método se basa evaluar los factores que afectan la eficiencia de un motor y en base a ello afectar la eficiencia de placa por estos ajustes y determinar la eficiencia de trabajo (García, 2009).

7.6 ¿Qué es un motor eléctrico de alta eficiencia?

Un motor eficiente es aquel que transforma prácticamente toda la energía eléctrica que consume en energía mecánica útil en la flecha del motor (Wikipedia, 2010).

Las necesidades actuales obligan al uso eficiente de la energía eléctrica. Entre las diferentes formas del uso racional de la energía existe la posibilidad de la sustitución de motores eléctricos con baja eficiencia o estándar por motores de alta eficiencia (García, 2009).

De la energía total utilizada por el motor, las pérdidas son considerables ya que estas ocupan de un 5 a un 25 % de la energía y la parte restante es ocupada para la realización del trabajo. Es por esto, que es necesario la utilización de equipos mucho más eficientes que reduzcan las pérdidas tanto eléctricas como mecánicas (García, 2009).

7.7 Factores para que un motor eléctrico sea de alta eficiencia

A continuación se presenta una lista y una breve descripción de factores que se deben tomar en cuenta para que un motor eléctrico sea de alta eficiencia (García, 2009).

7.7.1 El diseño y fabricación del motor

El ahorro de energía eléctrica que se puede obtener de los motores es mediante la reducción de sus pérdidas y esto se puede lograr en el diseño, buscando desde su fabricación que este sea lo más eficiente posible (García, 2009).

Cuando se diseña un motor y se requiere hacerlo de alta eficiencia se debe recurrir a la optimización de los materiales, es decir, se debe de realizar lo siguiente:

Usar acero con mejores propiedades, para reducir las pérdidas por histéresis y de corrientes parásitas, empleando un acero con un alto grado de silicio y también con acero de grano orientado (García, 2009).

Laminaciones más delgadas, para reducir aún más las pérdidas de histéresis y corrientes parásitas, empleando un espesor de 0.457 mm en lugar del típico de 0.559 (García, 2009).

Aumentar el calibre del conductor, pues las pérdidas I^2R se reducirán considerablemente. Para compensar el aumento en el tamaño de la ranura y la correspondiente del acero activo, el núcleo del motor debe aumentarse esto reduce la densidad de flujo y mejora el factor de potencia, obteniéndose así algunos beneficios adicionales (García, 2009).

Mejorar el diseño de las ranuras, las pérdidas I^2R en el rotor se reducen al rediseñar la ranura del rotor para incrementar la sección del conductor; al hacer esto la velocidad aumenta ligeramente (García, 2009).

Mejorar el sistema de aislamiento del motor, para reducir las pérdidas de corrientes entre barras de las ranuras del rotor, se tratan las laminaciones con un aislamiento inorgánico a base de fosfato de zinc de alta temperatura antes de fundir el rotor (García, 2009).

Los rodamientos de la flecha del rotor deben ser de mejor calidad, antifricción y de larga duración (García, 2009).

Diseño del ventilador de enfriamiento eficiente, al reducirle peso con materiales ligeros y optimizando su diseño para que oponga menor resistencia al aire(García, 2009).

Aluminio de mejor calidad en el rotor, con lo que se mejora el par y las pérdidas por I^2R (García, 2009).

También se reduce la distancia del entrehierro, con lo que el flujo de dispersión se reduce y con ello las pérdidas de flujo magnético. (García, 2009).

CAPÍTULO 8

8. Características principales para la selección de un motor

Para seleccionar un motor eléctrico, se debe tener en cuenta lo siguiente:

8.1 Gestión inicial

Siempre que se tiene la necesidad de adquirir un motor, hay que hacer antes los siguientes cuestionamientos:

- ¿Es una instalación nueva o existente?
- ¿Cuáles son las condiciones de la red eléctrica?
- ¿Cuál es la carga que el motor va accionar?
- ¿Cuáles son las condiciones medioambientales?
- ¿Cuál va a ser el tiempo de recuperación de la inversión?
- ¿Qué tipo de normas debe cumplir el motor?

Obviamente ¿Cuáles son las características de potencia y velocidad requeridas del motor?

8.2 ¿Por qué el motor jaula de ardilla?

Dentro del universo de motores eléctricos, el motor jaula de ardilla es el más común y de uso más generalizado por diversas razones:

- Bajo costo
- Bajo mantenimiento
- Fácil de adquirir
- Alto grado de protección
- Pocos componentes
- Robusto

8.3 Las normas

Existen dos normas bajo las cuales se fabrican los motores.

IEC Comisión Electrotécnica Internacional que es acogida por la gran mayoría de países y especialmente los europeos.

NEMA Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos. Es una norma nacional de Estados Unidos, pero es común en muchos países.

8.4 Ubicación

Por norma todos los motores están diseñados para operar en un ambiente con temperatura no superior a 40°C y en una altura no superior a 1000 metros sobre el nivel del mar. La instancia en cualquier ambiente por encima de estas condiciones hará que el motor deba ser operado a una carga menor de la nominal.

Cortamente, esto sucede porque las propiedades refrigerantes disminuyen. La vida útil de un motor esta principalmente en su devanado. Si la refrigeración es insuficiente, el aislamiento del devanado se debilita y sufre daños severos.

Generalmente, los motores jaula de ardilla están refrigerados mediante aire. A mayor altitud sobre nivel de mar, el aire toma una densidad mayor y a una misma velocidad, se tendrá menor flujo de aire. En cuanto a la temperatura ambiente, es necesario garantizar que el motor no tendrá una elevación de temperatura tal que lo haga tener un calentamiento por encima de su límite térmico (definido por su clase de aislamiento).

8.5 Las condiciones de instalación (grado de protección).

Otro tema a considerar son las condiciones propias del ambiente: Contaminación, presencia de agentes químicos utilización en lugares abiertos o cerrados.

CAPÍTULO 9

9. Arranque de motores

9.1 Introducción

Los motores de inducción no tienen los mismos problemas de arranque que presentan los motores síncronos. Los motores de inducción se pueden arrancar simplemente conectándolos a la línea de alimentación. En algunos casos hay muy buenas razones para no hacerlo de esta manera. Por ejemplo, la corriente de arranque requerida puede causar una caída de tensión y un par de arranque elevado, por lo cual no es aceptable el arranque a tensión completa. (Arranque de los motores asíncronos trifásicos, 2010).

9.2 Corriente de arranque de un motor de inducción

La corriente de arranque varía directamente con la tensión aplicada, por lo tanto al bajar la tensión baja la corriente. Por otro lado, el par de arranque varía con el cuadrado de la tensión aplicada, Figura 9.1.

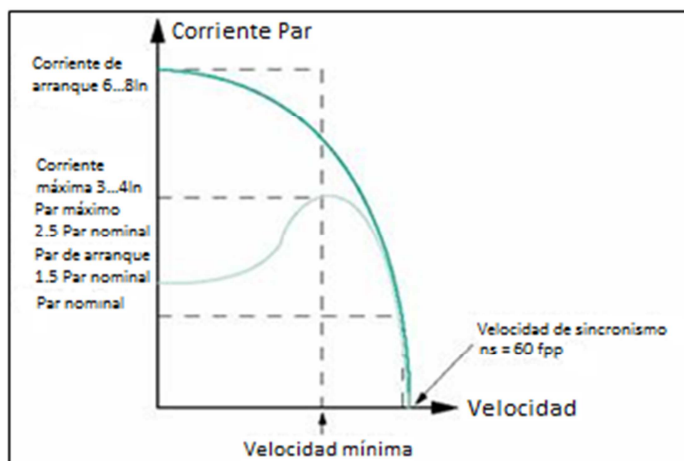


Figura 9.1 Corriente de arranque de un motor

9.3 Cómo arrancar un motor de corriente alterna

Un motor de corriente alterna conectado a tensión completa toma una corriente inicial elevada, que afecta los alimentadores principales y el impacto en el par desarrollado por el motor y transmitido a la carga.

Los factores que determinan como se puede arrancar un motor son la corriente de arranque y el par de arranque. Se utiliza el arranque a tensión completa cuando la corriente y el par de arranque no afectan a los alimentadores y la carga instalada, de lo contrario se utiliza el arranque a tensión reducida.

9.4 Métodos de arranque de motores de inducción

1. Arranque a tensión completa.
2. Arranque a tensión reducida.

9.4.1 Método de arranque a tensión completa

Con este sistema el motor absorbe una corriente de arranque que oscila de 3 a 7 veces la intensidad nominal, el par de arranque es siempre superior al par nominal y permite el arranque rápido de una maquina a plena carga. (Motores eléctricos trifásicos, 2010)

La ventaja que tiene es la simplicidad del material necesario para la puesta en marcha y un par de arranque muy energético. El inconveniente es la elevada corriente de arranque, que por lo tanto, puede provocar una caída de tensión, la cual deberá tenerse en cuenta, pues se debe limitara un 5 % con objeto de tener un buen cierre de los elementos de conexión (interruptores, contactores, etc.) y no disminuir el par de arranque. (Motores eléctricos trifásicos, 2010). A continuación en la figura 9.2 se muestra el arranque a tensión completa.

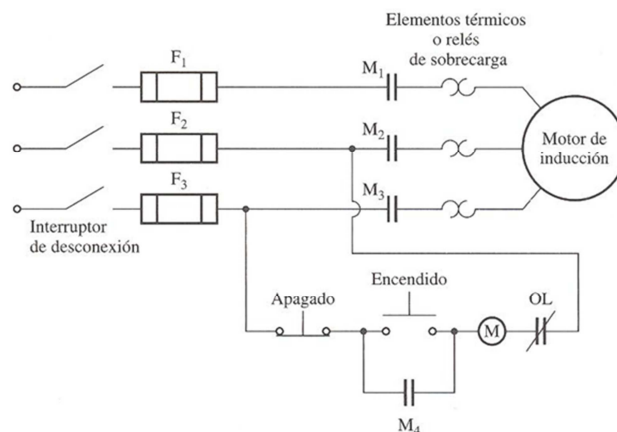


Figura 9.2 Arranque a tensión completa.

9.4.2 Arranque a tensión reducida.

Formas de lograr que la corriente de arranque sea reducida:

- 1) Reconectando el embobinado del estator.
- 2) Reduciendo la tensión aplicada en las terminales del motor.

En el primer caso se incluyen los motores con devanado bipartido y los de conexión Estrella – Delta.

Para el arranque de los motores se debe considerar:

- 1) El par del motor debe de ser bastante alto para mover la carga.
- 2) La duración del periodo de aceleración que afecta el calentamiento del motor.

9.5 Tipos de arranque a tensión reducida más empleados en motores de inducción.

1. Arranque Estrella – Delta.
2. Arranque con autotransformador.

9.5.1 Arranque Estrella - Delta

La característica principal para ejecutar el arranque de un motor en estrella-delta es que cada una de las bobinas sea independiente y sus extremos sean accesibles desde la placa del motor. El arranque comienza en estrella, generando una tensión en cada bobina del estator $\sqrt{3}$ veces menor que la nominal, con una reducción de la I_n . Figura 9.3. (Estrada, 2010).

Una vez que el motor alcanza entre el 70 y 80% de la velocidad nominal, se desconecta la parte estrella para conmutar a la configuración delta, en este momento el motor opera en condiciones nominales, sometido a una intensidad pico de muy poca duración, la que no llega al valor pico de $2.5 I_n$, la que se alcanzaría si se ejecutara el arranque directo. (Estrada, 2010).

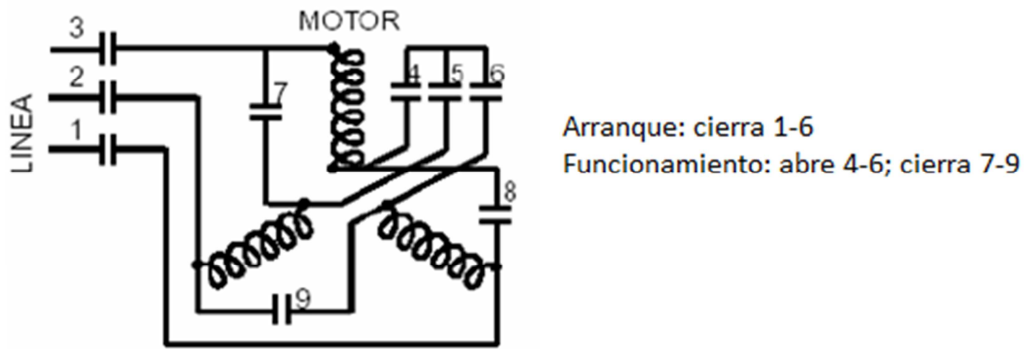


Figura 9.3 Arranque estrella-delta.

9.5.2 Arranque con Autotransformador

Su principal ventaja es que la relación de par del motor a corriente de línea es muy alta. La corriente de línea es proporcional al cuadrado de la relación, voltaje reducido del motor a voltaje de línea plena. Este método se puede usar con transición abierta o cerrada. Figura 9.4.

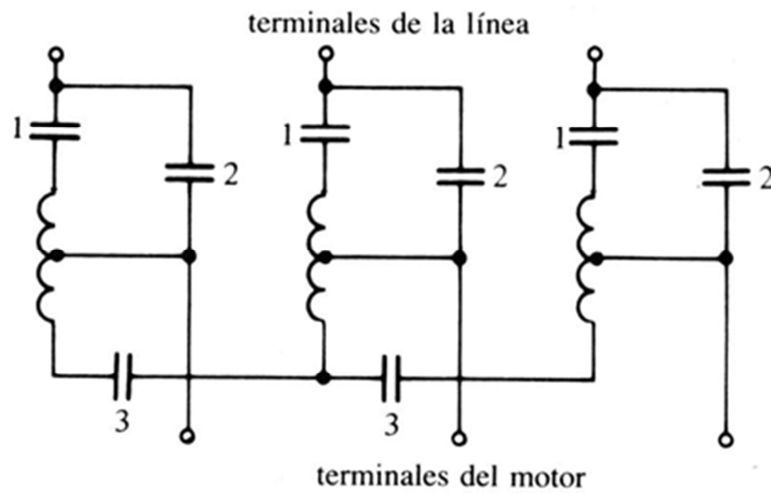


Figura 9.4 Arranque por autotransformador.

CONCLUSIONES

La guía de maestro sobre el tema motores de inducción consta de 9 capítulos de información recabada de libros, revistas, catálogos e internet, la cual servirá como material de apoyo tanto al maestro como al alumno de la materia de máquinas eléctricas II. Esta guía de motores de inducción es solo una parte del temario de máquinas de corriente alterna visto en dicha materia. Esta guía es la segunda que se elabora para esta materia, actualmente existe una guía de maestro acerca de transformadores. Espero que toda esta información acerca de motores de inducción sea de mucha utilidad para cualquier persona que la consulte y también sirva de ejemplo de elaboración de una guía de maestro para las futuras generaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Aller, José Manuel. Apuntes de conversión de energía eléctrica.

Arranque de los motores asíncronos trifásicos. 2010. Lerma electrical.

<http://www.lermaelectrical.com/download/Arranque%20a%20tension%20plena%20asincronos%20trifasicos.pdf>

Chapman, Stephen. 2005. Máquinas eléctricas. McGraw Hill.

Conexiones básicas de motores trifásicos. 2010. MR electromecánica.

<http://mrelectromecanica.blogspot.com/2010/08/conexiones-basicas-de-motores.html>

Estrada, Gabriel. 2010. Arrancador estrella delta para motor trifásico de inducción.

<http://www.slideshare.net/gabo07/arrancador-estrella-delta-para-motor-trifasico-de-induccion>

Formula de velocidad de un motor, 2010. Velocidad del motor AC.

http://www.unicrom.com/Tut_MotorAC.asp

García, Roger. 2009. Ahorro de energía en motores de inducción y variadores de frecuencia. Querétaro, Qro.

Harper, Enriquez. 2004. Curso de transformadores y motores de inducción.

Kosow, Irving L. 2005. Máquinas eléctricas, transformadores y controles. Prentice Hall.

Mantilla, Luis F.; Quispe, C. Enrique. 2005. Motores eléctricos de alta eficiencia.

Motor eléctrico, 2010. Wikipedia. www.wikipedia.com

Motores eléctricos trifásicos, 2010. Alipso. www.alipso.com

Muriel, Freddy. 2010. Placa de datos de un motor eléctrico. www.es.shvoong.com

Osorio, Mario. 2010. Motor eléctrico conceptos relacionados. www.educarchile.com

Partes del motor AC, 2010. Electricidad

<http://cienciaeducativa27563.blogspot.com/2009/05/motores-ac-y-dc.html>

Vallejo, María Jesús. 2010. Motores de corriente alterna.

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/motores-corriente-alterna/motores-corriente-alterna.pdf>.

Velázquez, Luis. 2005. Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. Pemex, (1-52).