



Universidad Nacional Autónoma de México

**Facultad de Estudios Superiores
Aragón**

Tesis:

**Consideración de una Instalación Eléctrica
para un Sistema de Control de Motores.**

Trabajo de Tesis Presentado por:

**Hernández Martínez Isaac
Ólvera Granados Oscar**

**Para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Eléctrico**

**Director de Tesis:
Verde Cruz Abel**

- 2007 -



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres:

A quienes me han heredado el tesoro más grande valioso que puede dársele a un hijo: Amor.

A quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme.

A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho.

A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos aún con las riquezas mas grandes del mundo.

Por eso y más... GRACIAS

Consideración de una Instalación Eléctrica para un Sistema de Control de Motores.

Temario

Unidad 1 Principios Electromagnéticos

- 1.1 Introducción
 - 1.1.1 Fundamentos de los Sistemas de Control.
 - 1.1.2 Características de un Sistema de Control.
 - 1.1.3 La Ingeniería en los Sistemas de Control.
 - 1.1.4 Control Automático.
- 1.2 Principios Electromagnéticos
 - 1.2.1 Ley de Faraday
- 1.3 Histéresis
- 1.4 Comparaciones Físicas entre Motores de C. A. y C. D.
- 1.5 Fuerza que actúa sobre un conductor (Ley de Ampere)
- 1.6 Fuerza Electromotriz Inducida
- 1.7 Los Electroimanes y sus aplicaciones.

Unidad 2 Generalidades de Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico

- 2.1 Selección del Control de Motores
- 2.2 Protección del Motor
 - 2.2.1 Protección Mecánica
 - 2.2.2 Protección contra Cortocircuitos
 - 2.2.3 Protección durante el Curso
 - 2.2.4 Protección contra Sobre Velocidad
 - 2.2.5 Protección Límite
 - 2.2.6 Protección de Mínima Tensión y de Tensión Nula
 - 2.2.7 Protección contra Fallo de Fases
 - 2.2.8 Protección Inversión de Fases
- 2.3 Protección de Sobrecarga
 - 2.3.1 Protección Térmica de Sobrecarga
- 2.4 Arrancador Manual
 - 2.4.1 Selección de Equipo de Arranque
 - 2.4.2 Control Manual
- 2.5 Arrancador Magnético
- 2.6 Dispositivo de Control (Dispositivo Piloto)
 - 2.6.1 Descripción de los Dispositivos Piloto
 - 2.6.2 Termóstato
 - 2.6.3 Caja de Pulsos
- 2.7 Arrancador a Tensión Plena
- 2.8 Relevadores de Control
 - 2.8.1 Relé de Tensión
 - 2.8.2 Relé de Intensidad
 - 2.8.3 Relé de Frecuencia
 - 2.8.4 Relé Temporizado
 - 2.8.5 Relé de Sobrecarga
- 2.9 Interruptor de Control.

- 2.9.1 Interruptor Flotador
- 2.9.2 Interruptor de Presión
- 2.9.3 Interruptor Limite
- 2.9.4 Interruptor Caudal
- 2.9.5 Interruptor de Velocidad Cero
- 2.10 Diagramas Eléctricos para Control de Motores.
- 2.11 Simbología.

Unidad 3 Clasificación y Funcionamiento

- 3.1 Constitución de un Motores Eléctricos de Inducción
- 3.2 Funcionamiento
 - 2.2.1 Clasificación
 - 2.2.2 Selección de Velocidades Nominales
 - 2.2.3 Aplicaciones Industriales de los Motores de Jaula de Ardilla.
 - 2.2.4 Aspectos Generales de un Motor Jaula de Ardilla en la Industria.
 - 2.2.5 Empresas Fabricantes de Motores Eléctricos de Inducción.
- 3.3 Pruebas para Motores Eléctricos
- 3.4 Análisis de Falla en los Motores Eléctricos
- 3.5 Pérdidas de Motores Eléctricos
- 3.6 Conexiones de Devanados de Motores Trifásicos
- 3.7 Resistencia de Aislamiento en una Máquina de Corriente Alterna

Unidad 4 Instalación de Control de Motores Eléctricos

- 4.1 Aspectos Importantes en la Instalaciones de Motores Eléctricos
- 4.2 Montaje Mecánico de Motores
- 4.3 Elementos de la Instalación Eléctrica
- 4.4 Cálculo Mecánico para la Instalación de Motores
- 4.5 Tablas para Cálculos Eléctricos para la Instalación
- 4.6 Cálculos Eléctricos para la Instalación
- 4.7 Información General
- 4.8 Recomendaciones en la Instalación y Operación
- 4.9 Certificaciones
 - 4.9.1 Normas para Motores Eléctricos
- 4.10 Recomendaciones Generales para el Ahorro de Energía en Motores Eléctricos

Unidad 5 Mantenimiento de los Equipos de Control de Motores Industriales

- 5.1 Mantenimiento en los Equipos de Control
 - 5.1.1 Procedimiento General
- 5.2 Mantenimiento de los Arrancadores de Motor
 - 5.2.1 Causas de Averías
- 5.3 Mantenimiento de los Relés
- 5.4 Mantenimiento de los Dispositivos Piloto
- 5.5 Mantenimiento de Frenos y Embragues
- 5.6 Diagnóstico de Averías de los Circuitos de Control
 - 5.6.1 Procedimiento General
- 5.7 Inspección General

Objetivo:

Es obtener recomendaciones, sugerencias, especificaciones técnicas y consideraciones en base de recopilación de datos e información para la instalación y mantenimiento a los sistemas de control de motores eléctricos trifásicos tipo industriales, ya que son de gran utilidad para la industria, para cualquier tipo de instalación de un sistema de control automático, sea o no automatizado ya que en la tesis abarca desde consideraciones en la selección de motores, cálculos sobre la instalación, hasta el mantenimiento del mismo.

En la industria actual, el control de motores eléctricos juega un papel importante ya que muchos de los procesos industriales no podrían cumplirse si las distintas actividades con que se desarrollan los elementos accionados con motores eléctricos no se realizaran con la secuencia y el orden apropiado, es decir sin los elementos de control.

Se puede decir en términos simples, que el control de motores es una parte importante de los sistemas eléctricos y que permite arrancar, parar e invertir el sentido de giro de los motores que accionan distintos tipos de cargas. Adicionalmente, el equipo seleccionado para el control de motores debe estar diseñado para limitar las corrientes de arranque y controlar también el par de arranque de los motores.

Con relación al equipo accionado, un sistema de control debe estar diseñado e instalado para proporcionar la secuencia apropiada de operación al equipo accionado. El diseñador de un sistema de control, debe apegarse a las disposiciones normativas indicadas en las normas técnicas para instalaciones eléctricas, debe también tomar en consideración las características de operación del equipo por accionar así como los aspectos de mantenimiento del equipo y seguridad del personal, proporcionando para esto último, entre otras cosas, los medios apropiados de desconexión.

A nivel industrial los motores que usualmente se utilizan son los de inducción trifásicos tipo jaula de ardilla y su uso es tan generalizado que al referirse a los motores eléctricos, muchas personas piensan en el motor tipo jaula de ardilla, suponiendo que este es el único que existe.

El motor de inducción, en particular el de tipo de jaula de ardilla, es preferible al motor de corriente continua para trabajo con velocidad constante, porque el costo inicial es menor y la ausencia de conmutador reduce el mantenimiento. También hay menos peligro de incendio en muchas industrias, como aserraderos, molinos de granos, fabricas textiles y fabricas de pólvoras. El uso del motor de inducción en lugares como fábricas de cementos es ventajoso, pues, debido al polvo fino, es difícil el mantenimiento de los motores de corriente continua.

Los motores de inducción son generalmente el tipo de maquinas mas barata. Particularmente en el caso de un rotor de simple jaula. Su precio aumenta a medida que se exige más por parte del control de la velocidad o de las corrientes de arranque y lo cual podría requerir el empleo de una maquina síncrona podría llegar a ser competitiva.

Capítulo 1.

Principios Electromagnéticos

1.1 Introducción.

Campo Magnético

Un imán permanente atraerá objetos de metal cuando el objeto está cerca o en de contacto con dicho el imán. El imán puede hacer esta función permanente debido a su fuerza magnética inherente, referida como "campo magnético". En la Figura 1, el campo magnético de dos imanes permanentes es representado por las "líneas del flujo". Estas líneas del flujo nos ayudan a visualizar el campo magnético de cualquier imán aunque representan solamente fenómenos invisibles. El número de líneas del flujo varía a partir de un campo magnético a otro. Cuanto más fuerte es el campo magnético, mayor es el número de las líneas del flujo que se dibujan para representar el campo magnético. Las líneas del flujo se dibujan con una dirección indicada puesto que debemos visualizar estas líneas y el campo magnético que representan movimientos que van del polo N al polo S, según lo demostrado en la Figura 1. Un campo magnético similar, se produce alrededor de un conductor eléctrico, cuando circula corriente eléctrica a través de él, según lo demostrado en la Figura 2-a. Estas líneas del flujo definen el campo magnético y están en la forma de círculos concéntricos alrededor del alambre. La vieja "regla de la mano izquierda" véase la Figura 2. indica que si usted señala con el pulgar de su mano izquierda la dirección de la corriente, sus dedos señalarán la dirección que presenta el campo magnético.

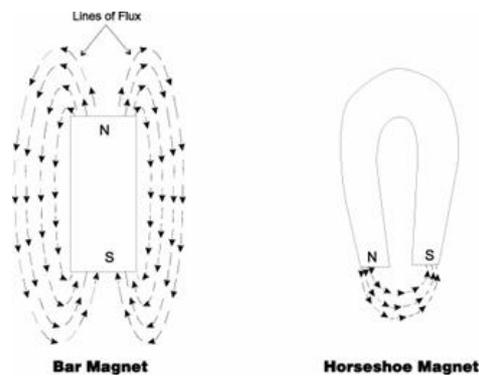


Figura 1. Las líneas del flujo de un campo magnético viajan del polo N al polo S.

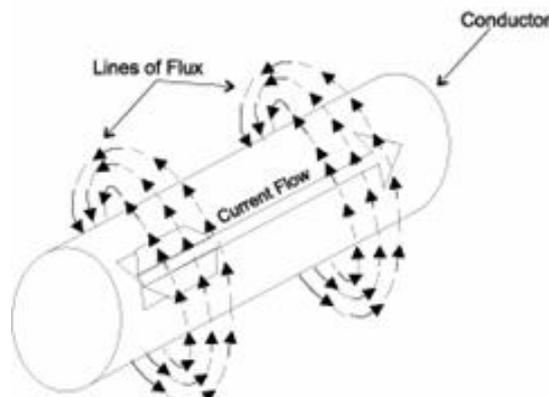


Figura 2. El flujo de la corriente eléctrica en un conductor genera un campo magnético representado por las líneas concéntricas de flujo alrededor del conductor.

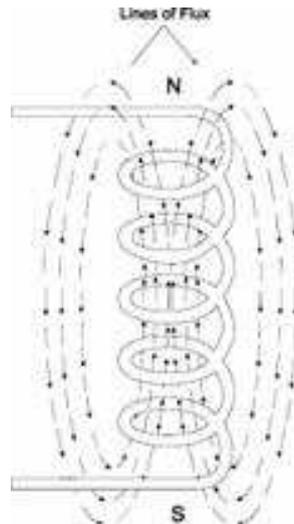


Figura 3. Las líneas magnéticas que circulan alrededor de un conductor salen del polo N y entran al polo S.

Cuando el alambre forma una bobina (véase Figura 3), todas las líneas individuales del flujo producidas por cada sección del alambre forman un gran campo magnético alrededor de la bobina. Como con el imán permanente, estas líneas del flujo dejan el norte de la bobina y vuelven a entrar la bobina por el polo sur. El campo magnético de una bobina de alambre es mucho mayor que el campo magnético generado alrededor de un simple conductor antes de ser formada en una bobina. Este campo magnético alrededor de la bobina puede ser consolidado aún más colocando una base de hierro o de metal similar en el centro de la bobina. La base del metal presenta menos resistencia a las líneas del flujo que al aire, de tal modo la fuerza del campo puede aumentar. (así es como se realiza la bobina del estator, bobina de alambre con base de acero). La ventaja de un campo magnético que sea producido por una bobina, es que cuando se invierte la corriente, los polos cambian de dirección debido al cambio de dirección flujo magnético (véase Figura 4). Si este fenómeno magnético no se presentara, el motor de CA no existiría.

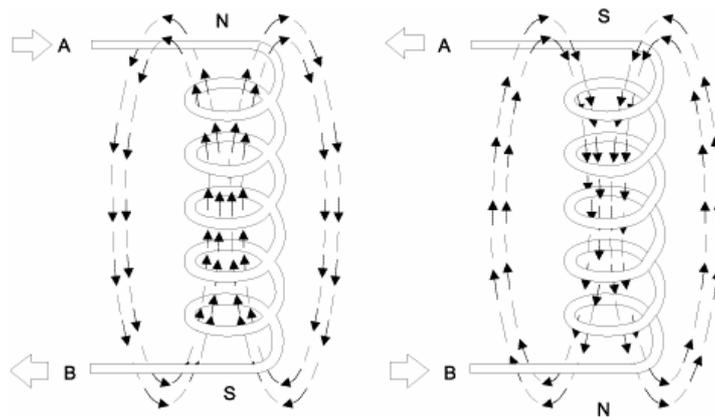


Figura 4. Los polos de una bobina electromagnética cambian cuando la dirección del flujo actual cambia.

Propulsión Magnética del Motor

El principio de operación de los motores se puede demostrar fácilmente usando dos electroimanes y un imán permanente. La corriente se pasa a través de la bobina No. 1 en dirección al polo Norte establecido y a través de la bobina No. 2 en dirección al polo Sur. Un

imán permanente con un polo Norte y Sur es la pieza móvil de este motor simple. En la figura 5-a el polo Norte del imán permanente está enfrente del polo Norte del electroimán. De manera semejante, los polos Sur están uno enfrente del otro. Como los polos magnéticos iguales se rechazan, empieza a girar el imán permanente. Cuando la fuerza de atracción entre los polos opuestos llega a ser lo suficientemente fuerte, el imán gira permanente. El imán rotativo continúa cambiando de dirección hasta que los polos opuestos se alinean. En este punto el rotor normalmente se detendría por la atracción entre los polos diferentes (Figura 5-b).

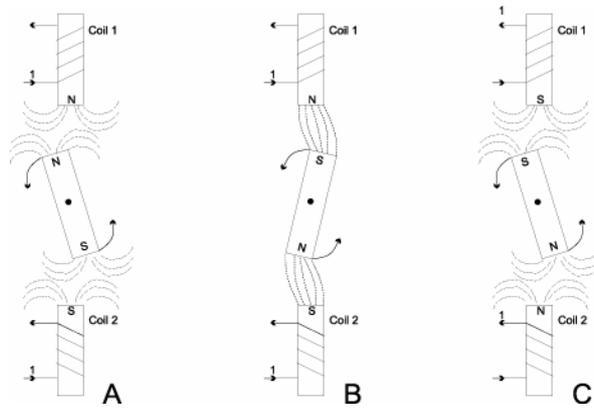


Figura 5. Propulsión Magnética del Motor

Sí la dirección de corrientes en las bobinas electromagnéticas fue invertida repentinamente, por consiguiente se invierte la polaridad de las dos bobinas, entonces, los polos otra vez sería opuestos y se repelerían entre ellos (Figura 5-c). Por lo tanto, el imán permanente continuaría rotando. Si la dirección actual en las bobinas electromagnéticas fuera cambiada todo el tiempo, el imán daría vuelta 180 grados a medio camino, entonces el imán continuaría rotando. Este dispositivo sencillo es un motor en su forma más simple. Un motor real es más complejo, sin embargo, el principio es igual.

Corriente Alterna

¿Cómo es que cuando se invierte la corriente en la bobina puede cambiar la polaridad de las mismas?. La diferencia entre la Corriente Directa (CD) y la Corriente Alterna (CA) es que con la CD la corriente fluye solamente en una dirección, mientras que con la CA la dirección del flujo de corriente actual cambia periódicamente de dirección. En el caso de la CA común que se utiliza a través de la mayoría de los Estados Unidos, el flujo actual cambia de dirección 120 veces por segundo. Esta corriente se refiere a la "CA de 60 o ciclos" o "CA de 60 Hertz" en honor del Sr. Hertz que fue la primera persona que concibió el concepto de la corriente de la CA. Otra característica del flujo de corriente actual es que puede variar en cantidad, es decir, podemos tener un flujo de 5, 10 ó 100 Amperes, por ejemplo. Con la CD absoluta, esto significa que el flujo actual sería de 5, 10 ó 100 Amperes continuos (véase Figura 6).

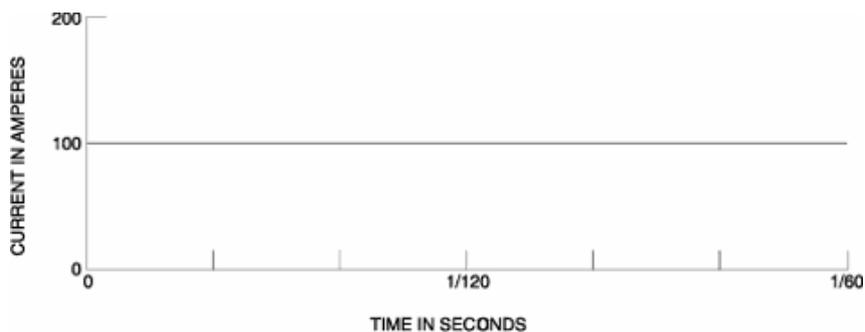


Figura 6. Visualización de la CD

Con la C. A es diferente. Sería bastante difícil que la corriente fluya de desde el punto de vista de 100 amperios en una dirección positiva e inmediatamente después esté fluyendo con dirección negativa de igual intensidad. En lugar de eso, como la corriente se alista para cambiar de direcciones, primero disminuye hasta que alcanza el flujo cero y después se acumula gradualmente en la otra dirección (véase Figura 7). Observe que el flujo actual máximo (los picos de la línea) en cada dirección es más que el valor especificado (100 Amperes). Por lo tanto, el valor especificado se da como valor promedio. Realmente se llama "raíz cuadrada media". Lo que es importante, es darse cuenta de que la fuerza del campo magnético producido por una bobina electromagnética de CA, aumenta y disminuye con el incremento y disminución del flujo de corriente alterna.

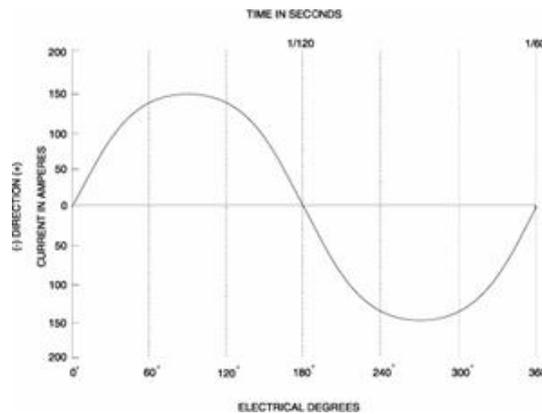


Figura 7. Visualización de la CA

Operación básica del Motor de CA

Un motor de CA tiene dos partes eléctricas básicas: un "estator" y un "rotor", como se muestra en la Figura 8. El estator está en el componente eléctrico estático. Consiste en un grupo de electroimanes individuales dispuestos de una manera tal que formen un cilindro hueco, con un polo de cada cara de los imanes hacia el centro del grupo. El término, "estator" se deriva de la palabra estática. El rotor es el componente eléctrico rotativo, el cual consiste en un grupo de electroimanes dispuestos alrededor de un cilindro, con los polos haciendo frente hacia los polos del estator. El rotor, está situado obviamente dentro del estator y montado en el eje del motor. El término "rotor" se deriva de la palabra rotar. El objetivo de estos componentes del motor es hacer que el rotor gire sobre el eje del motor. Esta rotación ocurrirá debido al fenómeno magnético previamente discutido que los polos opuestos se atraen y polos iguales se rechazan. Si cambiamos progresivamente la polaridad de los polos del estator de una manera tal que su campo magnético combinado rote, entonces el rotor seguirá girando con el campo magnético del estator.

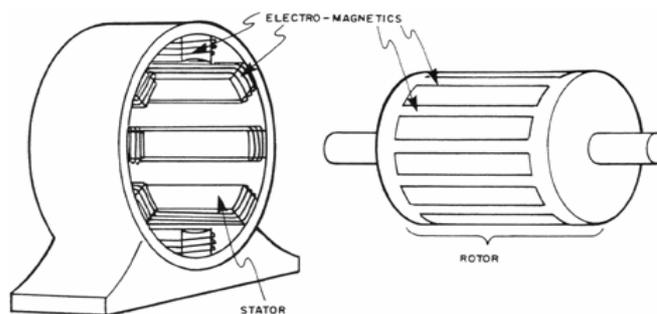


Figura 8. Componentes eléctricos básicos de un motor de CA.

En la Figura 9 se muestra como van rotando los campos magnéticos del estator. De acuerdo con la figura, el estator tiene seis polos magnéticos y el rotor tiene dos polos. En el tiempo 1, los polos A-1 del estator y el C-2 son polos Norte y los polos opuestos, A-2 y C-1, son los polos sur. El polo S del rotor es atraído por los dos polos N del estator y el polo N del rotor es atraído por los dos polos del sur del estator. En el tiempo 2, la polaridad de los postes del estator se cambia de modo que ahora el C-2 y B-1 son los polos N y C-1 y B-2 son los polos S. Entonces el rotor se ve forzado a rotar 60 grados para alinearse con los polos del estator según lo demostrado en la figura. En el tiempo 3, B-1 y A-2 son los polos N. En el tiempo 4, A-2 y C-1 son los polos N. Mientras que se realiza cada cambio, los polos del rotor son atraídos por los polos opuestos en el estator. Así, como el campo magnético del estator rota, el rotor se ve forzado a rotar con él.

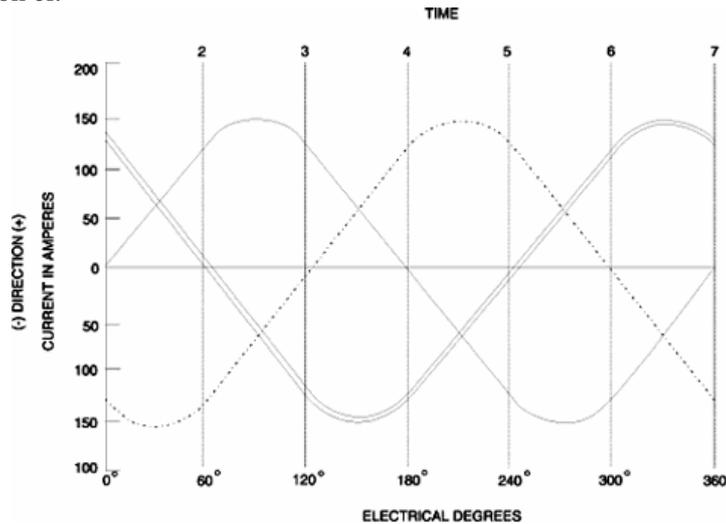
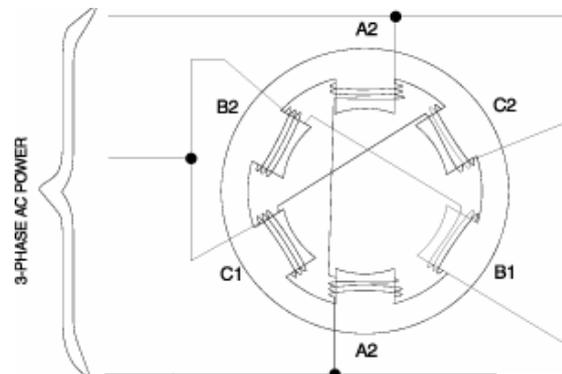


Figura 10. Patrón de fases separadas de la energía trifásica

Para producir un campo magnético que rota en el estator de un motor de CA trifásico, se necesita que las bobinas del estator estén correctamente conectadas a la fuente de alimentación de corriente. La conexión para un estator de 6 postes se muestra en la Figura 6. Cada fase de la fuente de alimentación trifásica está conectada con los polos opuestos y las bobinas asociadas se bobinan en la misma dirección. En la Figura 4, la polaridad de los polos del electroimán es determinada por la dirección de la corriente que circula por la bobina. Por consiguiente, si dos electroimanes opuestos del estator se bobinan en la misma dirección, la polaridad de los polos opuestos debe de estar enfrente. Por lo tanto, cuando el polo A1 es N, el polo A2 es S. Cuando el polo B1 es N, B2 es S y así sucesivamente.



Cuadro 11. Método para conectar energía trifásica con un estator de seis polos.

La Figura 12 muestra cómo se produce el campo magnético que rota. En el tiempo 1, el flujo actual en los polos de la fase "A" es positivo y el polo A-1 es N. El flujo actual en los polos de la fase "C" es negativo, haciendo C-2 un polo N y C-1 el polo S. No hay flujo actual en la fase "B", así que estos polos no se magnetizan. En el tiempo 2, las fases han cambiado de puesto 60 grados, haciendo los postes C-2 y B-1 N y C-1 y B-2 ambos polos S. Así, el flujo magnético produce el cambio de polaridad en las bobinas provocando que los polos resultantes N y S se mueven a la derecha alrededor del estator, lo que resulta en una rotación del campo magnético. Por lo tanto, el rotor actúa como un imán de barra arrastrado por el campo magnético que rota.

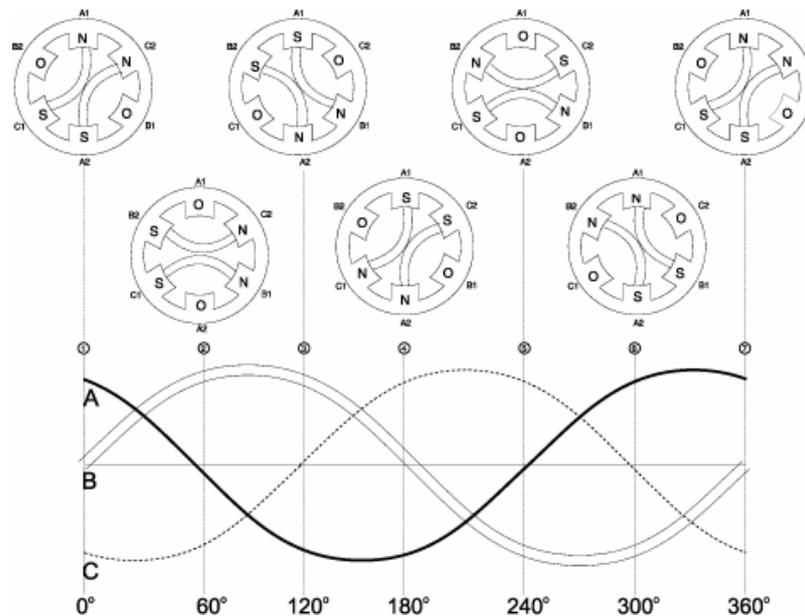


Figura 12. Cómo la energía trifásica produce un campo magnético que rota.

Hasta este punto poco se ha dicho acerca del rotor. En los ejemplos anteriores, se ha asumido que los polos del rotor son bobinas como los polos del estator provistos con CD para crear polos fijos en polaridad. Así es exactamente cómo funciona un motor de CA síncrono. Sin embargo, la mayoría de los motores de CA que son utilizados actualmente no son motores síncronos. En lugar de eso, los motores de inducción son los que prevalecen en la industria. ¿Cuál es la diferencia del motor de inducción? La gran diferencia es la manera en la que se provee la corriente al rotor. Ésta no es ninguna fuente de alimentación externa, en lugar de eso, se utiliza la técnica de inducción, la cual es un fenómeno natural que ocurre cuando un conductor (las barras de aluminio en el caso de un rotor, véase el Figura 13) se mueve a través de un campo magnético existente o cuando un campo magnético se pasa a un conductor. En cualquier caso, el movimiento relativo provoca que la corriente eléctrica circule por el conductor. Esto se refiere al flujo actual "inducido". En otras palabras, en un motor de inducción el flujo actual del rotor no es causado por cualquier conexión directa de los conductores a una fuente de voltaje, sino por la influencia de los conductores del rotor que provocan el corte de las líneas del flujo producidas por los campos magnéticos del estator. La corriente inducida que se produce en el rotor da lugar a un campo magnético alrededor de los conductores del rotor según lo mostrado en la Figura 14. Este campo magnético alrededor de cada conductor del rotor hará que cada conductor actúe como un imán permanente (véase Figura 9). Como el campo magnético del estator alterna debido al efecto de suministro de CA trifásica, el campo magnético inducido del rotor será atraído y seguirá la rotación. El rotor está conectado con el eje del motor, así que el eje rotará y conducirá la carga de la conexión. Así es como funciona un motor.

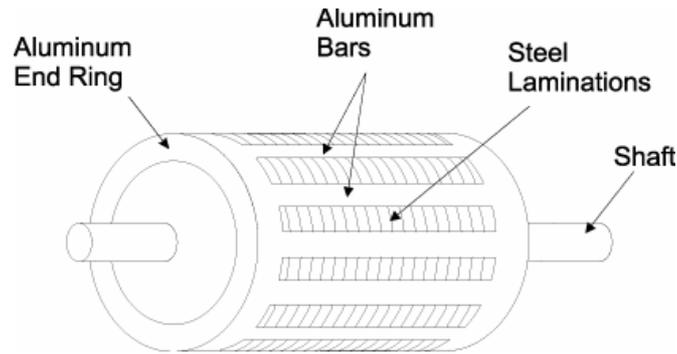


Figura 13. Construcción de un rotor del motor de inducción de la C A.

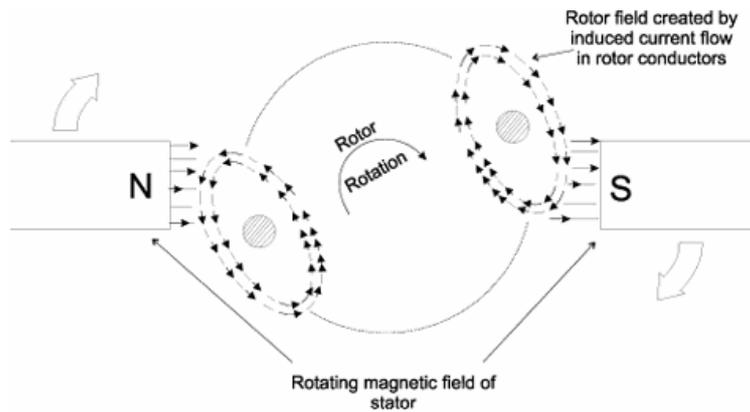
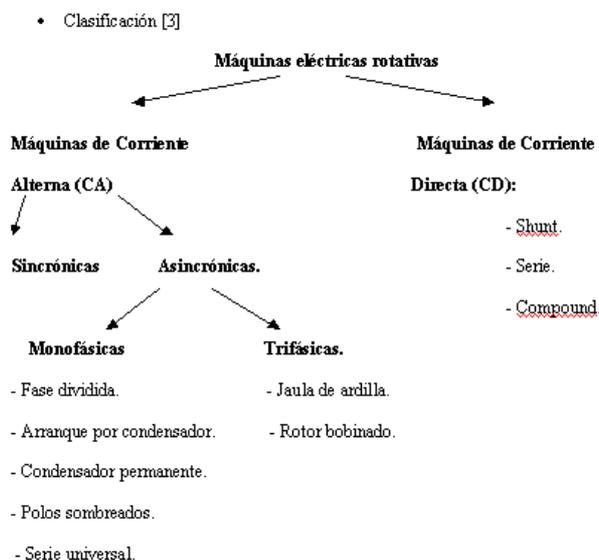
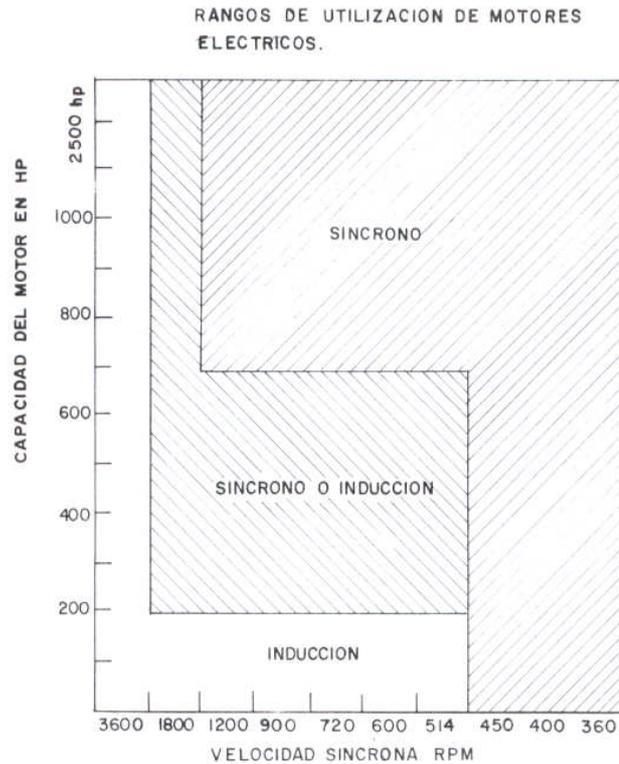


Figura 14. Cómo el voltaje se induce en el rotor, dando por resultado flujo actual en los conductores del rotor.

Motores de Corriente Alterna

Por el fácil manejo de transmisión, distribución y transformación de la C A, se ha constituido en la corriente con más uso en la sociedad moderna. Es por ello que los motores de C. A, son los más normales y con el desarrollo tecnológico se ha conseguido un rendimiento altísimo que hace que más del 90 % de los motores instalados sea de C. A.





Características Particulares de los Motores Eléctricos de Corriente Alterna.

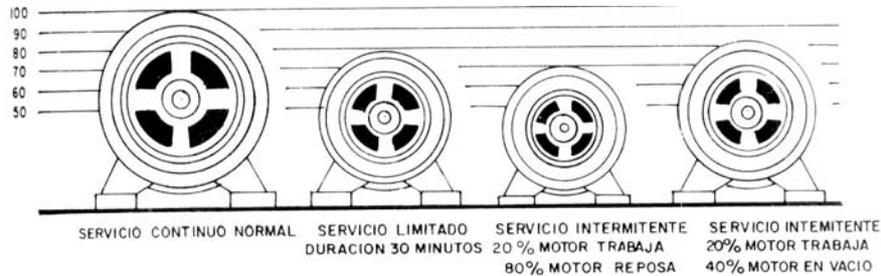
Los parámetros de operación de una máquina designan sus características, es importante determinarlas, ya que con ellas conoceremos los parámetros determinantes para la operación de la máquina.

Cualquier máquina eléctrica rotatoria tiene como aspecto importante su tamaño expresado en términos de potencia, la velocidad a que debe operar, el ciclo de trabajo que debe desarrollar, el tipo de motor o generador de acuerdo a normas, el tipo de montaje de la base, u algunos otros factores que algunas veces no se relacionan con la selección de los motores mismos. Los fabricantes de equipo motorizados (Por ejemplo: Aire Acondicionado, Compresores, Transportadores, Ventiladores, Etc.) especifican los tipos de motores y controles asociados que se requieren para una aplicación dada.

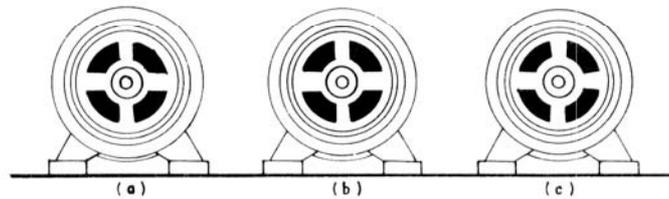
Estos motores por lo general los seleccionan los Ingenieros de Aplicación de la compañía fabricante, sin embargo, como medida general para la selección d los motores eléctricos se deben tomar en consideración los siguientes factores:

- Potencia en la Entrada y Salida, expresada en HP o kilowatts
- Características de la Carga por Accionar
- Velocidad Nominal en RPM
- Tamaño de la Carcasa
- Clasificación por velocidad
- Efecto del ciclo de trabajo
- Temperatura Ambiente
- Elevación de Temperatura de la Máquina
- Voltaje Nominal

- Tipo de Carcasa y Condiciones Ambientales
- Requerimientos de Mantenimiento y Accesibilidad
- Frecuencia del Sistema del cual se va alimentar
- Numero de Fases

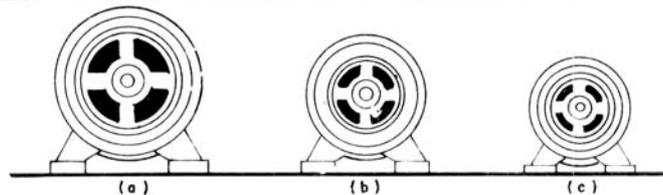


INFLUENCIA DEL TIPO DE SERVICIO SOBRE EL TAMAÑO DE LA MAQUINA ELECTRICA A IGUALDAD DE POTENCIA



LAS DIMENSIONES DE UN MOTOR ELECTRICO DEPENDEN DE SU PAR

CARACTERISTICAS	MOTOR (a)	MOTOR (b)	MOTOR (c)
POTENCIA----- kW	22	14,7	11
R P M-----	1500	1000	750
PAR----- kgm	14,4	14,4	14,4



A IGUALDAD DE POTENCIA LAS DIMENSIONES DE UN MOTOR AUMENTA AL DISMINUIR LA VELOCIDAD

CARACTERISTICAS	MOTOR (a)	MOTOR (b)	MOTOR (c)
POTENCIA----- kW	11	11	11
R P M-----	750	1000	1500
PAR----- kgm	14.4	10.8	7.2

1.1.1 Fundamentos de los sistemas de control

Con la demanda de mayor producción, la máquina adquirió un nuevo aspecto. Se prescindió del eje de transmisión y se introdujo el motor eléctrico en cada máquina individualmente. Este cambio permitió realizar con más frecuencia y más rápidamente los arranques, paradas e inversiones de la máquina. Una pequeña máquina podía tener un pequeño motor de alta velocidad, mientras una gran máquina contigua podía tener un motor grande de velocidad

constante o variable. En otras palabras, el taller de máquinas o la factoría llegó a ser flexible. Al acoplar el motor de accionamiento directamente a una sola máquina del equipo, se hizo posible introducir algunas operaciones automáticas.

Actualmente, en plantas industriales, es cada vez mayor el número de máquinas que trabajan de modo completamente automático. El operador se limita a iniciar el proceso, y la mayoría de todas las otras operaciones se realizan automáticamente. El funcionamiento automático de una máquina se obtiene exclusivamente por la acción del motor y del control de la máquina. Algunas veces este control es totalmente eléctrico y otras veces es una combinación de control mecánico y eléctrico. Sin embargo los principios básicos que se aplican son los mismos.

Una máquina moderna se compone de tres partes distintas que es necesario considerar. Primero, la máquina propiamente dicha, que está proyectada para realizar una determinada tarea o un tipo de trabajo. Segundo, el motor, que es seleccionado de acuerdo con los requisitos de la máquina en cuanto a carga, ciclo de servicio y tipo de funcionamiento. Tercero, el sistema de control. El sistema de control está supeditado a los requisitos de funcionamiento del motor y de la máquina. Si únicamente es necesario que la máquina arranque, funcione durante algún tiempo, y se pare, el control necesario puede quedar reducido a un simple interruptor de palanca. Pero si es necesario que la máquina arranque, realice varias funciones automáticas, se pare durante algunos segundos, y luego repita el ciclo, requerirá varias unidades integradas de control.

1.1.2 Características de un Sistema de Control

1. Señal de corriente de entrada: Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
2. Señal de corriente de salida: Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
3. Variable: Es el elemento que se desea controlar.
4. Conversión: Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.
5. Variaciones externas: Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.
6. Fuente de energía: Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.
7. Retroalimentación: La retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado. Es una relación secuencial de causas y efectos entre las variables del sistema. Dependiendo de la acción correctiva que tome el sistema, éste puede apoyar o no una decisión, cuando en el sistema se produce un retorno se dice que hay una retroalimentación negativa; si el sistema apoya la decisión inicial se dice que hay una retroalimentación positiva.

1.1.3 La Ingeniería en los Sistemas de Control

Los problemas considerados en la ingeniería de los sistemas de control, básicamente se tratan mediante dos pasos fundamentales como son:

1. El análisis
2. El diseño

En el análisis se investiga las características de un sistema existente. Mientras que en el diseño se escogen los componentes para crear un sistema de control que posteriormente ejecute una tarea particular. Existen dos métodos de diseño:

1. Diseño por análisis
2. Diseño por síntesis

El diseño por análisis modifica las características de un sistema existente o de un modelo estándar del sistema y el diseño por síntesis en el cual se define la forma del sistema a partir de sus especificaciones.

La representación de los problemas en los sistemas de control se lleva a cabo mediante tres representaciones básicas o modelos:

1. Ecuaciones diferenciales y otras relaciones matemáticas.
2. Diagramas en bloque.
3. Gráficas en flujo de análisis.

Los diagramas y las gráficas de flujo son representaciones gráficas que pretenden el acortamiento del proceso correctivo del sistema, sin importar si está caracterizado de manera esquemática o mediante ecuaciones matemáticas. Las ecuaciones diferenciales se emplean cuando se requieren relaciones detalladas del sistema. Cada sistema de control se puede representar teóricamente por sus ecuaciones matemáticas.

El control de la energía eléctrica, es básica cuando se usa maquinaria industrial. La electricidad industrial está relacionada en primer lugar con el control del equipo eléctrico industrial y sus procesos relacionados.

Cuando se trabaja con equipo eléctrico industrial, es necesario y fundamental, tener la habilidad para leer diagramas esquemáticos; aunque hay distintos tipos de diagramas relacionados con el equipo eléctrico. Existen otros diagramas relacionados con este equipo, como son: el diagrama de bloques, de interconexión, de alambrado, de disposición, los isométricos y los diagramas de construcción.

Existen, algunas condiciones que deben considerarse al seleccionar, diseñar, instalar o dar mantenimiento al equipo de control del motor eléctrico.

El control del motor era un problema sencillo cuando se usaba una flecha maestra común, a la que se conectaban varias máquinas, porque el motor tenía que arrancar para sólo unas cuantas veces al día. Sin embargo, con la transmisión individual el motor ha llegado a ser casi una parte integrante de la máquina y es necesario diseñar el controlador para ajustarse a sus necesidades.

Un controlador eléctrico es un dispositivo o grupo de dispositivos que controla o regula las funciones de un motor o una máquina de manera predeterminada en un orden de sucesión o secuencia asimismo predeterminado.

1.1.4 Control Automático

Un control automático está formado fundamentalmente por un arrancador electromagnético o contactor cuyas funciones están controladas por uno o más dispositivos piloto automáticos (fig. 1-4). La orden inicial de marcha puede ser automática, pero generalmente es una operación manual, realizada en un panel de pulsadores o interruptores.

En algunos casos puede haber una combinación de dispositivos manuales y automáticos en un circuito de control. Si el circuito contiene uno o más dispositivos automáticos, debe ser clasificado como control automático. Por ejemplo, consideremos un depósito que debe mantenerse lleno de agua entre límites definidos y una bomba para reponer el agua cuando sea

necesario, Si equipamos el motor de la bomba con un arrancador manual y utilizamos un operario para que lo accione cuando sea necesario, tendremos un control manual. Supongamos que ahora sustituimos el arrancador manual por un arrancador electromagnético y disponemos un panel de pulsadores en el pupitre del capataz. Si mediante un timbre se le avisa cuando el agua ocupa el nivel inferior y el nivel superior, a la vez que realiza su propio trabajo, también podrá accionar el pulsador correspondiente cada vez que suene el timbre. Esto sería un control semiautomático. Supongamos ahora que instalamos un interruptor de flotador que cierra el circuito cuando el agua llega al nivel bajo previamente determinado y lo abre cuando alcanza el nivel alto también predeterminado. Cuando el agua llega al límite inferior, el interruptor del flotador cerrará el circuito y pondrá en marcha al motor. El motor funcionará hasta que el agua alcance el nivel superior, y en este instante el interruptor de flotador abrirá el circuito y parará el motor. Esto sería un control automático.

Muchas veces se cree que un sistema automático resultará más caro, pero si se tiene en cuenta que se ahorra el trabajo de un operario, bien puede resultar este método más ventajoso. También se tendrá en cuenta que el control automático resultará más exacto a causa de que no hay retraso entre el instante en que el agua llega al nivel deseado y el cierre o la apertura del circuito de control

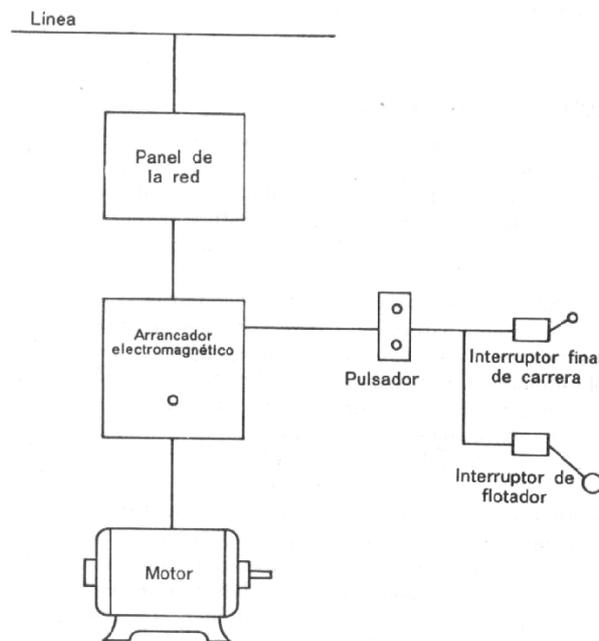


Fig. 1-4 Control automático de un motor.

1.2 Principios Fundamentales de Electromagnetismo

Del mismo modo que una carga eléctrica en reposo genera en su alrededor un campo eléctrico, un imán o una corriente eléctrica perturban el espacio que les rodea, dando origen a un campo magnético. Este campo magnético se representa, al igual que el eléctrico o el gravitatorio, por las líneas de inducción o líneas de campo, y se caracteriza por una magnitud vectorial, B , denominada inducción magnética, siendo su unidad en el SI el Tesla. Una diferencia importante entre el campo magnético y los otros mencionados es que las líneas de inducción son cerradas, es decir, parten del polo norte y llegan al polo sur del mismo imán. Este hecho se traduce en la inexistencia de un monopolo magnético análogo a una carga eléctrica positiva o negativa. Diversas experiencias muestran la estrecha relación que existe entre el magnetismo y la electricidad, fenómenos ambos relacionados con la carga eléctrica, entre los que destacan, por

su importancia en el estudio de las máquinas eléctricas, los denominados fenómenos de inducción electromagnética.

La Inducción Electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday quién lo expresó indicando que la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la variación del flujo magnético (Ley de Faraday).

1. Cuando una carga eléctrica se desplaza en el seno de un campo magnético, se produce una interacción entre la carga y el campo que da lugar a la denominada Fuerza de Lorentz que viene dada por la Ley de Lorentz: $\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

2. Si en lugar de tener una carga en movimiento, tenemos un conductor recorrido por una corriente de intensidad i , la fuerza que actuará sobre dicho conductor, como consecuencia de las fuerzas ejercidas sobre los electrones en movimiento en su interior, vendrá dada por: $\vec{F} = i \cdot (\vec{L} \times \vec{B})$

3. Ahora el caso de una espira de forma paralelepípeda de material conductor, recorrida por una corriente de intensidad i , en el seno de un campo magnético. Sobre cada uno de los lados de la espira se ejercerá una fuerza dada por la expresión anterior, y al ser los lados opuestos iguales y el sentido de la corriente en ellos opuesto, resultará una cancelación mutua entre las fuerzas dos a dos; es decir, la espira no se trasladará. Sin embargo, los momentos de fuerzas debidas a las fuerzas no se cancela, y por tanto la espira rotará sobre su eje, siendo el momento igual a:

$$\vec{M} = i(\vec{B} \times \vec{S})$$

Donde S es un vector perpendicular al plano de la espira y de modulo el área de la misma. Así pues, se deduce que el momento será nulo cuando la espira se sitúe perpendicular al campo magnético, momento en que S y B serán paralelos.

4. Una magnitud de especial importancia en el estudio de los fenómenos electromagnéticos: el flujo magnético. El flujo magnético, Φ , es una magnitud escalar relacionada con el número de líneas de inducción que atraviesan una superficie, real o imaginaria, situada en el interior de un campo magnético: Matemáticamente viene dado por el producto escalar de los vectores B y S : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$, siendo su unidad en SI el Weber (Wb).

5. Un conductor por el que circula una corriente i . Se comprueba que se genera un campo magnético entorno al conductor por efecto de la corriente eléctrica. Las líneas de inducción del mismo serán circulares y concéntricas al conductor, y el valor del vector inducción magnética vendrá dado por la Ley de Biot y Savart (expresión equivalente a la ley de Coulomb del campo eléctrico):

$$\vec{B} = k \cdot i \frac{\vec{L} \times \vec{r}}{r^2}$$

6. Ahora el caso de una barra conductora por la que inicialmente no circula una corriente, y que se desplaza en el interior de un campo magnético. Aunque no esté recorrida por una corriente, la barra posee electrones que también se están desplazando y por tanto actuará sobre ellos la fuerza de Lorentz. Esta fuerza provoca el desplazamiento de los electrones en el interior de la barra hacia uno de los extremos de la misma, lo que origina una separación de cargas, prosiguiendo esta separación hasta que el campo eléctrico creado compense a la fuerza magnética que actúa sobre los electrones. Si la barra se desliza sobre un bastidor

metálico en forma de U, mientras que dure su desplazamiento se originará una corriente a lo largo del circuito cerrado barra-bastidor, que tienda a disminuir el exceso de carga que hay en los extremos de la barra. Es decir, se está induciendo una corriente eléctrica.

1.2.1 Ley de Faraday

La fuerza electromotriz de esta corriente viene dada por la Ley de Faraday, que nos dice que “la fuerza electromotriz inducida (f.e.m. inducida) es la producida en un circuito inerte mediante la variación del número de líneas de inducción que atraviesan la superficie limitada por él”, cuya expresión matemática es:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{Ley de Faraday})$$

El valor de la f.e.m. inducida es independiente de las causas que provocan la variación del flujo, y solamente depende de la mayor o menor rapidez con que varía el flujo a través de la superficie. El sentido de la corriente inducida viene dado por la **Ley de Lenz**, que nos dice que: “el sentido de las corrientes inducidas es tal que, con sus acciones electromagnéticas (dadas por la ley de Biot y Savart), tienden a oponerse a las causas que las producen”.

Otros fenómenos de interés en el estudio de las máquinas eléctricas, pero relacionados mas que con su funcionamiento con sus inconvenientes, son las corrientes de Foucault y los fenómenos de histéresis magnéticas.

Las Corrientes de Foucault son corrientes eléctricas cerradas, originadas por inducción en los conductores macizos como consecuencia de variaciones del flujo magnético que los atraviesa. La aparición de estas corrientes conlleva una pérdida de energía en la generación de las mismas, además del calor disipado como consecuencia del efecto Joule. Para evitar, o disminuir, la aparición de estas corrientes y las pérdidas de energía correspondientes, se suelen emplear elementos metálicos que no sean macizos sino que estén formados por la superposición de láminas aisladas entre sí. No obstante, estas corrientes pueden tener aplicaciones de utilidad, como por ejemplo, los denominados hornos eléctricos de inducción.

Las sustancias ferromagnéticas son las que mantienen un momento magnético incluso cuando el campo magnético externo se hace nulo. Este efecto se debe a una fuerte interacción entre los momentos magnéticos de los átomos o electrones individuales de la sustancia magnética, que los hace alinearse de forma paralela entre sí. En circunstancias normales, los materiales ferromagnéticos están divididos en regiones llamadas ‘dominios’, en los que los momentos magnéticos atómicos están alineados en paralelo; pero los momentos de dominios diferentes no apuntan necesariamente en la misma dirección. Esto se traduce en que un trozo de hierro normal puede no tener un momento magnético total, pero puede inducirse su magnetización colocándolo en un campo magnético, que alinee los momentos de todos los dominios.

1.3 Histéresis

Si representamos la inducción magnética producida en el material en función del campo magnético aplicado, las curvas que se obtienen al aumentar y disminuir el campo externo no coinciden, fenómeno que se denomina histéresis, y en nuestro caso **histéresis magnética**; y se comprueba que siempre que un material ferromagnético se ve obligado a describir un ciclo de histéresis se produce un desprendimiento de calor, es decir, se producen pérdidas de energía.

Las pérdidas en el hierro se deben a los fenómenos de las corrientes de Foucault y de histéresis magnética. Para reducir las pérdidas por histéresis magnética se emplean materiales cuyo ciclo de histéresis sea lo más reducido posible, mientras que para las corrientes de Foucault se recurrir a construir todas las piezas de hierro por unión de chapas delgadas convenientemente separadas entre sí.

1.4 Comparación de las características físicas de los Motores de C. A. y C. D.

Como los motores de CA continúan siendo usados en aplicaciones que tradicionalmente se emplean los motores de CD, es apropiado mencionar algunas de las características que presentan estos motores, tales como: construcción típica, fuerza de torsión, circuitos equivalentes, rangos de carga y velocidad, etc.

Esta comparación también resaltarán algunas de las ventajas y desventajas de cada tipo de motor en aplicaciones con velocidad variable. Además, se podrá observar que los motores de CD se han venido sustituyendo por motores de CA en aplicaciones donde se requiere trabajos con velocidad variable, por lo que es necesario comprender los motores de CA, de tal manera que podamos optimizarlos en este tipo de aplicaciones.

En este subcapítulo se presentan comparaciones específicas de las características individuales de los motores de CA y CD, basadas en el tipo de tecnología (leyes físicas) en comparación con las históricas (estandarización, aplicaciones, etc.). La base de comparación será un motor de CD, 4 polos con campos excitados individualmente, contra un motor de inducción CA, 4 polos, 3 fases y tipo jaula de ardilla.

Construcción

Como se puede apreciar, algunas de las construcciones básicas de los motores de la CA y CD, algunas generalidades pueden aplicarse con respecto a diferencias en la construcción, sin embargo hay muchas excepciones, mientras que muchos de los motores de CA utilizan un marco del hierro fundido, con bases de montaje integradas al marco (Figura 15), también existen motores de CA con bases de sujeción montadas en la carcasa (Figura 16).

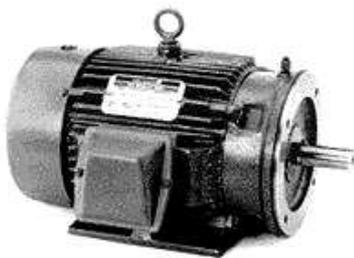


Figura 15. Motor de CA con base integrada al marco del hierro fundido

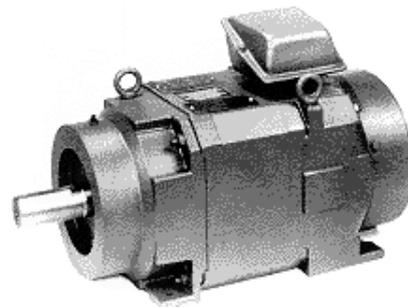


Figura 16. Motor de CA con bases de sujeción integradas a la carcasa

De la misma manera, mientras que muchos motores de la CD tienen las bases de montaje como parte de la carcasa (Figura 17), otros utilizan bases integradas al marco del motor (Figura 18).

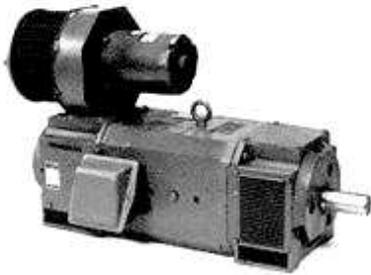


Figura 17. Motor de CD con bases integradas a la carcasa

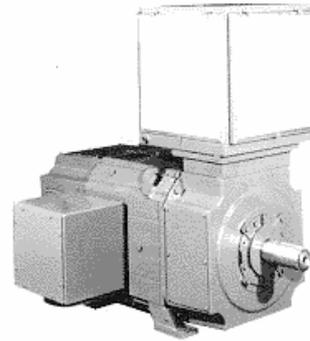


Figura 18. Motor de CD con bases integradas al marco

Con la proliferación de las fuentes de energía estáticas para controlar motores de CD, la construcción del marco laminado (Figura 19) llegó a ser popular. Los motores de CA utilizan fuentes electrónicas de energía, por lo que la construcción del marco laminado (Figura 20) es de considerar para el creciente uso de motores de CA (especialmente para usos con variadores de velocidad).

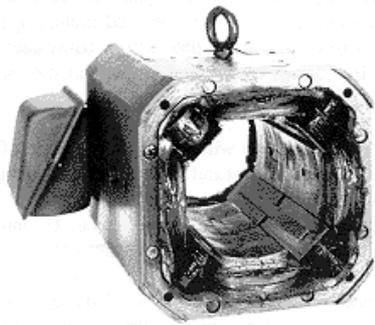


Figura 19. Motor de CD que utiliza un marco laminado

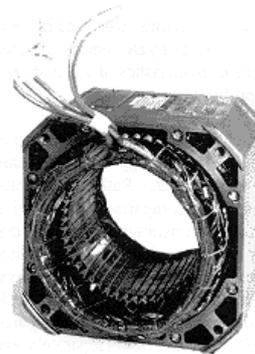


Figura 20. Motor de CD que utiliza un marco laminado

Terminología

Cada uno de los términos indicados en el capítulo 3 de motores eléctricos se referirá a piezas o partes de los motores indicados en las Figuras 21-24.

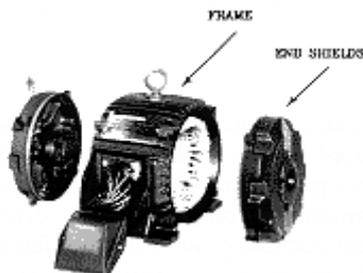


Figura 21. Componentes del Motor de CA

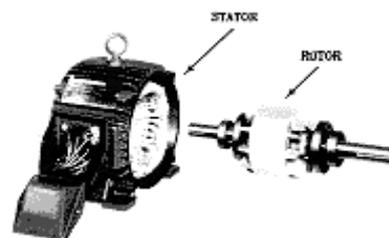


Figura 22. Componentes del Motor de CA

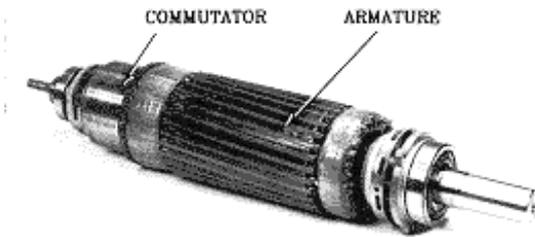


Figura 23. Componentes del Motor de CD

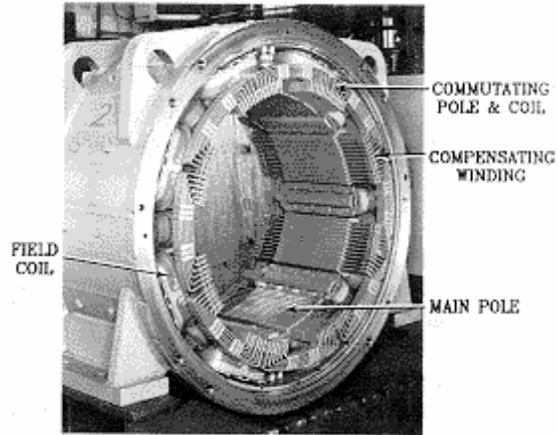


Figura 24. Componentes del Motor de CD

1.5 Ley de Ampere

El hecho de la no existencia de un "monopolo" magnético va a hacer que en cualquier situación "entren y salgan" líneas de campo magnético en cualquier volumen que queramos imaginar y que, por tanto, el flujo del campo magnético sea nulo siempre, con lo cual no hay ningún teorema similar al de Gauss para el campo magnético en cuanto a flujo se refiere. Pero no

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l}$$

obstante la circulación del campo magnético, es decir _____ si que va a ser una magnitud interesante debido a que, se puede demostrar, que la circulación del campo magnético a través

de una trayectoria cerrada cualquiera va a ser igual a μ_0 por la intensidad de corriente que atraviesa el plano encerrado por dicha superficie. Esta relación, expresada matemáticamente se convierte en

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

donde el símbolo \oint se utiliza para expresar integrales sobre trayectorias cerradas. El hecho de que la circulación del campo magnético no sea nula para cualquier trayectoria indica que este campo no es conservativo, y por tanto no vamos a lograr encontrar un potencial para él. No obstante esto se refiere únicamente al campo magnético, no a la fuerza magnética y no implica, por tanto, la no conservación de la energía. Es más, como la fuerza magnética siempre es perpendicular a la trayectoria esto supondrá que el trabajo magnético siempre es cero, es decir, no se produce trabajo magnético.

1.6 Fuerza Electromotriz Inducida (fem)

La fuerza electromotriz (f.e.m.) es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Es una característica de cada generador eléctrico. Con carácter general puede explicarse por la existencia de un campo electromotor ϵ cuya circulación, $\int \epsilon \cdot ds$, define la fuerza electromotriz del generador.

Se define como el trabajo que el generador realiza para pasar por su interior la unidad de carga positiva del polo negativo al positivo, dividido por el valor en Coulombs de dicha carga. Esto se justifica en el hecho de que cuando circula esta unidad de carga por el circuito exterior al generador, desde el polo positivo al negativo, es necesario realizar un trabajo o consumo de

energía (mecánica, química, etcétera) para transportarla por el interior desde un punto de menor potencial (el polo negativo al cual llega) a otro de mayor potencial (el polo positivo por el cual sale).

La f.e.m. se mide en voltios, al igual que el potencial eléctrico. Por lo que queda que:

$$E = T / q$$

Se relaciona con la diferencia de potencial V entre los bornes y la resistencia interna r del generador mediante la fórmula $E = V + Ir$ (el producto Ir es la caída de potencial que se produce en el interior del generador a causa de la resistencia óhmica que ofrece al paso de la corriente). La f.e.m. de un generador coincide con la diferencia de potencial en circuito abierto.

La Fuerza Electromotriz Inducida en un circuito cerrado es igual a la variación del flujo de inducción Φ del campo magnético que lo atraviesa en la unidad de tiempo, lo que se expresa por la fórmula

$$dE = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{Ley de Faraday}).$$

El signo - indica que el sentido de la f.e.m. inducida es tal que se opone a dicha variación.

1.7 Los Electroimanes y sus aplicaciones

Denominamos electroimán a un dispositivo formado por un núcleo de hierro dulce, en el que se ha arrollado, en forma de bobina, un hilo conductor recubierto de un material aislante tal como seda o barniz.

Este dispositivo se comporta como un imán mientras se hace circular una corriente por la bobina, cesando el magnetismo al cesar la corriente.

Los electroimanes se suelen construir con diversas formas, dependiendo de la aplicación a que estén destinados, aunque una forma muy común es la de núcleo en herradura, ya que así se aumenta extraordinariamente la intensidad del campo magnético que producen, por disminuir la distancia entre los polos.

Entre las aplicaciones de los electroimanes se pueden citar los timbres, el telégrafo, los relés o contactores eléctricos, etc. Si el núcleo de hierro se sustituye por un núcleo de acero, este núcleo queda magnetizado una vez que cesa la corriente, transformándose en un imán permanente, similar a un imán natural.

Capítulo 2

Generalidades de Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico.

El control de la energía eléctrica, es básica cuando se usa maquinaria industrial. La electricidad industrial está relacionada en primer lugar con el control del equipo eléctrico industrial y sus procesos relacionados.

El concepto de control de motores eléctricos en su sentido más amplio comprende todos los métodos usados para el control del comportamiento de un sistema eléctrico. El sentido que se pretende en este capítulo, está relacionado con el arranque, aceleración, reversa, desaceleración y frenado de un motor y su carga.

Por otra parte el control de motores eléctricos se ha asociado tradicionalmente con el estudio de los dispositivos eléctricos que intervienen para cumplir con las funciones descritas en el párrafo anterior; sin embargo, en la actualidad el concepto de control de motores eléctricos, no sólo se refiere a los dispositivos eléctricos convencionales, también a dispositivos electrónicos, cuyo estudio se relaciona con la llamada electrónica de potencia, lo cual da un mayor grado de complejidad a los circuitos de control y por lo cual, su estudio requeriría de mayor detalle, no sólo en las componentes, sino también en la variedad de circuitos para distintas funciones que se presentan en las instalaciones industriales.

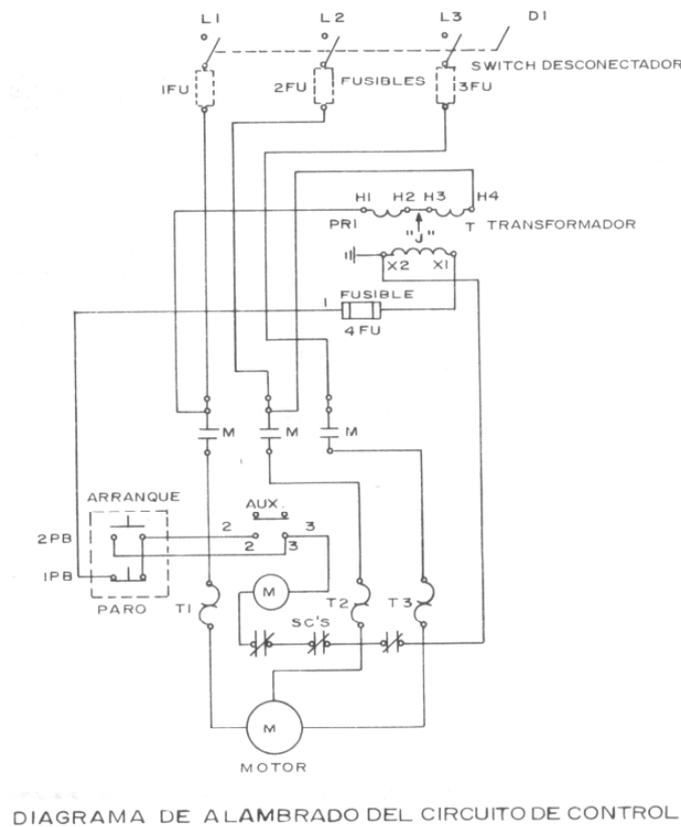
El motor se puede controlar desde un punto alejado, usando estaciones de botones. Deben incluirse interruptores magnéticos con las estaciones de botones para control remoto, o cuando los dispositivos automáticos no tengan la capacidad eléctrica para conducir las corrientes de arranque y marcha del motor. Si éste se controla automáticamente, pueden usarse los siguientes dispositivos.

El controlador de un motor eléctrico es un dispositivo que se usa normalmente para el arranque y paro, con un comportamiento en forma determinada Y en condiciones normales de operación. El controlador puede ser un simple desconectador (switch) para arrancar y parar al motor, también una estación de botones para arrancar a éste en forma local o a control remoto. Un dispositivo que arranque el motor por pasos o para invertir su sentido de rotación, puede hacer uso de las señales de los elementos por controlar, como son: temperatura, presión, nivel de un líquido o cualquier otro cambio físico que requiera el arranque o paro del motor, y que evidentemente le dan un mayor grado de complejidad.

Cada circuito de control, por simple o complejo que sea, está compuesto de un cierto número de componentes básicas conectadas entre sí para cumplir con un comportamiento determinado. El principio de operación de estos componentes es el mismo, y su tamaño varía dependiendo de la potencia del motor que va a controlar, aun cuando la variedad de componentes para los circuitos de control es amplia. Los principales elementos eléctricos para este fin, son los que a continuación se mencionan:

1. Desconectadores (switches).
2. Interruptores termomagnéticos.
3. Desconectadores (switches) tipo tambor.
4. Relevadores de control.
5. Relevadores térmicos y fusibles.
6. Contactores magnéticos

7. Switch de nivel, límite y otros tipos.



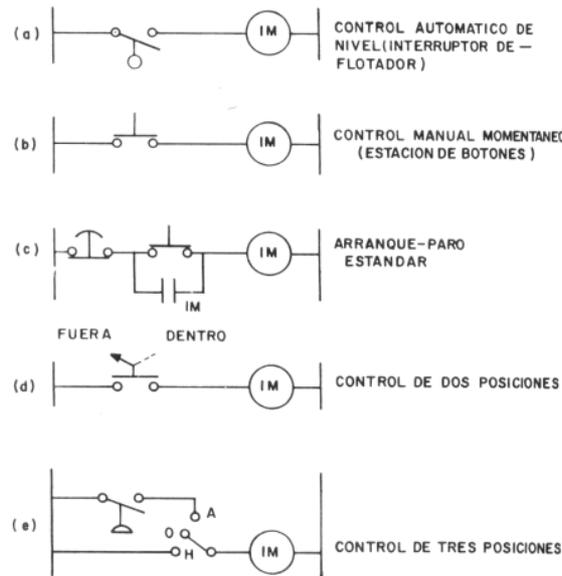
Desarrollo de los Circuitos de Control de Motores.

Muchos de los circuitos de control están diseñados por ingenieros electricistas o por diseñadores electricistas, el llamado diagrama esquemático es el que se usa por lo general cuando se diseñan los circuitos. Cuando se ha obtenido el diagrama esquemático deseado, entonces se puede pasar al llamado diagrama de alambrado.

Los circuitos de control que tienen cierto grado de complejidad están formados por circuitos de 2, 3 o más conductores. Los circuitos de control en general se deben diseñar en forma METODICA y cuidadosa, se sugiere que se prepare un arreglo físico de las distancias componentes que van a intervenir, comprender la operación de cada parte del circuito, por ejemplo, las lámparas piloto, los relevadores, los arrancadores de los motores, etc. Una completa comprensión de la operación del equipo o máquina a controlar.

El circuito de control se comienza con el dispositivo inicial, es decir, el botón de arranque, el interruptor (switch) de nivel y así sucesivamente, a partir de este punto se continúa con el diseño del circuito desarrollando la secuencia de operación correcta, no se continúa con el diseño. Es mejor localizar el error antes de continuar, y no olvidar:

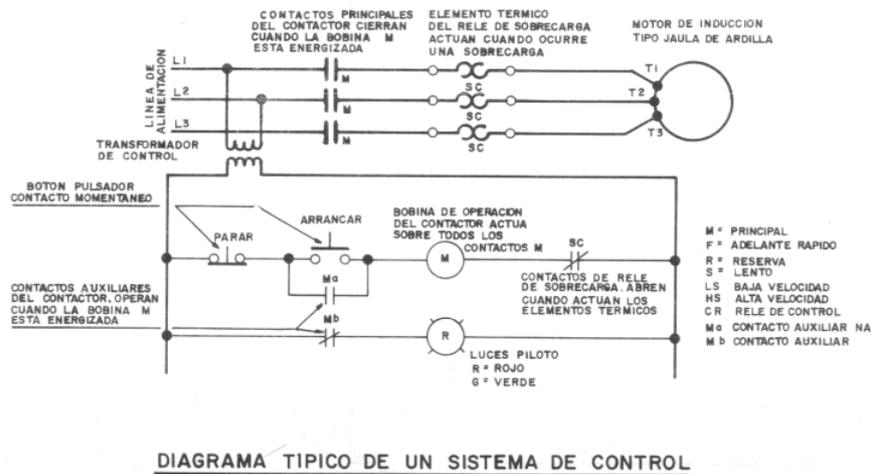
- Que los contactos abren o cierran para desenergizar o energizar bobinas.
- Que las bobinas son energizadas o desenergizadas para abrir o cerrar contactos.



Funciones básicas en un Sistema de Control de Motores

Características en los Sistemas electrónicos de control para motores

1. Disminuyen gastos por mantenimiento.
2. Optimizan los procesos en los cuales son implementados.
3. Aumentan la productividad y la calidad del producto terminado ya que tienen mayor precisión al controlar máquinas motrices que los controles convencionales.
4. Alargan la vida útil del motor y de las piezas mecánicas acopladas al eje del motor controlado.



Propósito del Controlador

Algunos de los factores a considerarse respecto al controlador, al seleccionarlo e instalarlo, pueden enumerarse como sigue:

Arranque

El motor se puede arrancar conectándolo directamente a través de la línea. Sin embargo, la máquina impulsada se puede dañar si se arranca con ese esfuerzo giratorio repentino. El

Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico

arranque debe hacerse lenta y gradualmente, no sólo para proteger la máquina, sino porque la oleada de corriente de la línea durante el arranque puede ser demasiado grande. La frecuencia del arranque de los motores también comprende el empleo del controlador.

Parada.

Los controladores permiten el funcionamiento hasta la detención de los motores y también imprimen una acción de freno cuando se debe detener la máquina rápidamente. La parada rápida es una función vital del controlador para casos de emergencia. Los controladores ayudan en la acción de parada retardando el movimiento centrífugo de las máquinas y en las operaciones de las grúas para manejar cargas.

Inversión de la rotación.

Se necesitan controladores para cambiar automáticamente la dirección de la rotación de las máquinas mediante el mando de un operador en una estación de control. La acción de inversión de los controladores es un proceso continuo en muchas aplicaciones industriales.

Marcha.

Las velocidades y características de operación deseadas, son, función y propósito directos de los controladores. Éstos protegen a los motores, operadores, máquinas y materiales, mientras funcionan.

Control de velocidad.

Algunos controladores pueden mantener velocidades muy precisas para propósitos de procesos industriales, pero se necesitan de otro tipo para cambiar las velocidades de los motores por pasos o gradualmente.

Seguridad del operador.

Muchas salvaguardas mecánicas han dado origen a métodos eléctricos. Los dispositivos piloto de control eléctrico afectan directamente a los controladores al proteger a los operadores de la máquina contra condiciones inseguras.

Protección contra daños.

Una parte de la función de una máquina automática es la de protegerse a sí misma contra daños, así como a los materiales manufacturados o elaborados. Por ejemplo, se impiden los atascamientos de los transportadores. Las máquinas se pueden hacer funcionar en reversa, detenerse, trabajar a velocidad lenta o lo que sea necesario para realizar la labor de protección.

Mantenimiento de los dispositivos de arranque.

Una vez instalados y ajustados adecuadamente, los arrancadores para motor mantendrán el tiempo de arranque, voltajes, corriente y troqué confiables, en beneficio de la máquina impulsada y el sistema de energía. Los fusibles, cortacircuitos e interruptores de desconexión de tamaño apropiado para el arranque, constituyen buenas prácticas de instalación que se rigen por los códigos eléctricos.

2.1 Selección del Control de Motores

Una vez determinadas las funciones de control que son necesarias para una máquina, deben ser seleccionados los componentes o dispositivos que realicen estas funciones. La selección debe hacerse meticulosamente. Por ejemplo, si es necesario un interruptor de flotador y su ciclo de servicio comprende sólo algunas operaciones por día durante un año, puede ser satisfactoria una unidad barata. Sin embargo, si el ciclo de servicio es de algunos centenares de operaciones por día permanentemente, se deberá utilizar la unidad de mejor calidad que se pueda adquirir. Las pequeñas reducciones de costo conseguidas mediante el uso de componentes baratos suelen ser pronto contrarrestadas por costosos tiempos de parada debidos a averías de los componentes o defectos de funcionamiento.

Es importante conocer la clase de servicio a la que estará sometida una máquina

Servicio Continuo

Corresponde a una carga constante durante un tiempo suficientemente largo como para que la temperatura llegue a estabilizarse.

Servicio Continuo Variable

Se da en máquinas que trabajan constantemente pero en las que el régimen de carga varía de un momento a otro.

Servicio Intermitente

Los tiempos de trabajo están separados por tiempos de reposo. Factor de marcha es la relación entre el tiempo de trabajo y la duración total del ciclo de trabajo.

Servicio Unihorario:

La máquina está una hora en marcha a un régimen constante superior al continuo, pero no llega a alcanzar la temperatura que ponga en peligro los materiales aislantes. La temperatura no llega a estabilizarse.

Rendimiento.

De manera general, se define como la relación entre la potencia útil y la potencia absorbida expresado en %

$$\eta = \frac{P_u}{P_{ab}} * 100$$

2.2. Protección del Motor

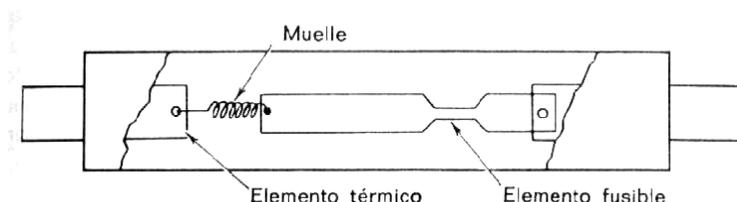
La Protección del Motor es importante en un Sistema de Control a continuación veremos las diferentes tipos de protecciones que existen que son:

2.2.1 Protección Mecánica

Una envolvente para una aplicación particular puede contribuir considerablemente a la duración y la operación sin dificultades de un motor y un controlador. Todas las envolventes, como las de propósito general, herméticas, a prueba de polvo, a prueba de explosión y resistentes a la corrosión, tienen aplicaciones e instalaciones específicas. Cada una debe pasar la aprobación de la división eléctrica del departamento local de construcción y seguridad.

2.2.2 Protección contra Cortocircuitos

Los motores de jaula y otros de corriente alterna pueden absorber hasta 600% de la intensidad nominal en condiciones severas de arranque. Cualquier carga que exceda de este límite se considera como corriente de cortocircuito. Como los relés térmicos antes mencionados necesitan un cierto tiempo para entrar en acción, no pueden proporcionar protección contra los cortocircuitos. La línea que alimenta a un motor debe estar provista de cortacircuitos fusibles o de un dispositivo automático que interrumpa rápidamente la corriente en el caso de cortocircuito en el motor. Los fusibles deben abrir el circuito mucho más rápidamente que los relés de sobrecarga en condiciones de cortocircuito. Probablemente la mejor protección se obtiene con un dispositivo doble que comprenda el fusible para el caso de cortocircuito y un elemento interruptor que actúe en caso de sobreintensidad.



El cortacircuitos representado en la figura, está formado por dos elementos, uno fusible que en caso de cortocircuito fundirá y abrirá rápidamente el circuito, y un elemento térmico que actuará con cierto retardo abriendo el circuito en el caso de una sobreintensidad que no afecte al fusible. El resultado definitivo del uso del cortacircuito indicado en el circuito del motor, es obtener protección contra cortocircuitos mediante el elemento fusible y además un grado de protección contra sobrecargas mediante el elemento térmico. Este tipo de fusible se emplea extensamente como único medio de protección en motores pequeños de potencia fraccionaria. El uso de estos dispositivos para la protección contra cortocircuitos ofrece un retardo de tiempo que permite la sobreintensidad de arranque sin que se abran los contactos del mecanismo térmico. Este retardo es inversamente proporcional a la intensidad de la corriente, Cuanto mayor es la sobrecarga, más corto es el tiempo necesario para que se abra el circuito.

2.2.3 Protección durante el Curso

En los circuitos de control de los arrancadores magnéticos, se utilizan dispositivos piloto para gobernar el arranque, la parada o la inversión de la rotación de los motores eléctricos. Pueden usarse, indistintamente, como dispositivos de control para operación regular o como interruptores de emergencia para impedir funcionamiento incorrecto de la maquinaria. Pueden usarse en sistemas de control automático, a fin de evitar la posibilidad del error humano en la operación de una máquina.

2.2.4 Protección contra Sobrevelocidad

En ciertos motores es posible que se desarrollen velocidades excesivas que pueden dañar una máquina impulsada, materiales en el proceso industrial, o el motor. La protección contra velocidad puede comprender la selección y uso adecuado del equipo de control en aplicaciones tales como plantas de papel e impresión, fábricas de productos de acero, plantas de proceso industria textil.

2.2.5 Protección Límite

La protección límite, como su nombre implica, tiene como misión limitar alguna operación de la máquina o de su motor impulsor. El tipo más conocido es el de control fin de carrera utilizado para limitar el desplazamiento de una herramienta de corte o mesa u otra parte de la máquina herramienta. Cuando la herramienta llega a una posición predeterminada, activa a un interruptor

fin de carrera, haciendo que se invierta el sentido de giro del motor y la máquina vuelva al otro extremo de su carrera. Hay otros tipos de protección límite tales como los de sobre o subvelocidad de la máquina impulsada.

También hay controles de límite que no reactivan la máquina y simplemente paran el motor hasta que han sido efectuadas las correcciones por el operario. Este tipo de protección se consigue mediante el uso de interruptores fin de carrera, de fundamentalmente, un interruptor fin de carrera es simplemente un interruptor accionado por un tope mecánico que la máquina traslada en su movimiento y que en una posición dada abre el interruptor. Los interruptores fin de carrera son uno de los dispositivos de control que más frecuentemente se utiliza actualmente en las máquinas.

2.2.6 Protección de Mínima Tensión y Tensión Nula

La tensión de la línea que alimenta los circuitos del motor puede disminuir hasta valores peligrosamente bajos o puede anularse en un instante imprevisto. Cuando la tensión es demasiado baja, los arrollamientos del motor se pueden deteriorar gravemente si quedan conectados a la línea. Por esta razón algunos motores de gran potencia emplean un relé especial de tensión para desconectar el motor en el caso de que la tensión descienda a valores peligrosos para el motor.

En la mayoría de los motores de poca potencia esta misión queda encomendada a los relés de sobrecarga que abrirán el interruptor o contactor.

Si el circuito de control es tal que el motor se pone por sí solo en marcha cuando la tensión de la línea vuelve a tener su valor correcto, la protección se denomina de desconexión por mínima tensión. El uso de dispositivos piloto de contacto mantenido en los arrancadores electromagnéticos proporciona este tipo de protección.

Si la protección utilizada requiere que el motor sea puesto nuevamente en marcha a mano, el dispositivo protector se llama protección por tensión nula. El uso de dispositivos piloto de contacto momentáneo en los arrancadores electromagnéticos proporciona este tipo de protección. El uso de protección contra tensión mínima o tensión nula depende de los requisitos de la máquina. Los ventiladores, radiadores eléctricos y muchas otras pequeñas unidades de una instalación pueden funcionar más convenientemente con protección de mínima tensión, lo que evita la necesidad de ponerlos nuevamente en marcha manualmente. En cualquier máquina en que haya el más ligero riesgo para ella o para la seguridad del operador por un arranque inesperado, se deberá emplear protección de tensión nula.

2.2.7 Protección contra el Fallo de Fase

Cuando en un motor trifásico se interrumpe la corriente en una fase, se dice que éste queda en funcionamiento monofásico. Ordinariamente las unidades de protección contra sobrecarga dispararán el arrancador y desconectarán de la línea al motor. Sin embargo, puede suceder que la intensidad debida a la carga que en ese momento tenga que soportar el motor no sea la suficiente para actuar las protecciones de sobrecarga. Esto ocurre generalmente con el 65 % de carga en la mayoría de motores de jaula. En motores pequeños el riesgo se considera generalmente demasiado pequeño para que esté justificado el costo de la protección adicional. Para motores de gran potencia se dispone un relé de tensión para cada fase, y sus contactos se conectan en serie con la bobina de retención del contactor del arrancador. El fallo de una fase hará que se desconecte el arrancador inmediatamente. El uso de tres unidades de relé de sobrecarga en el arrancador proporciona una protección contra el fallo de fase que se considera generalmente adecuada para la mayoría de instalaciones de hasta 100 CV.

2.2.8 Protección contra Inversión de Fases

Algunas máquinas pueden resultar gravemente deterioradas cuando los motores giran en sentido contrario, como ocurriría con *una* inversión de fases. Aunque no es muy utilizado este tipo de protección cuando sea necesario debe utilizarse para evitar mayores daños. La protección contra la inversión de fase se puede conseguir utilizando un relé sensible a la fase con sus contactos en serie con la bobina del contactor del arrancador.

2.3 Protección de Sobrecarga

La sobrecarga de un motor puede ser de origen mecánico o eléctrico; por consiguiente, la protección contra la sobrecarga debe satisfacer a ambas. La corriente que absorbe de la línea un motor es proporcional a la carga aplicada al motor, así pues, si esta corriente se emplea para activar el dispositivo de protección contra la sobrecarga, la máquina y el motor estarán protegidos.

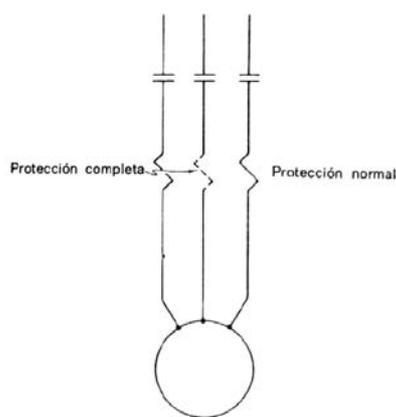


Fig. 2-6 Elementos protectores contra sobrecarga para motores trifásicos.

La protección contra las sobrecargas generalmente se obtiene en los controladores conectando elementos térmicos bimetálicos en serie con dos conductores del motor, por lo menos en los motores trifásicos (fig 2-6). Estos elementos térmicos, al calentarse debido a la intensidad, actúan sobre contactos que abren el circuito de la bobina excitadora de un contactor electromagnético. Cuando se utilizan en arrancadores o controladores manuales, los elementos térmicos disparan un dispositivo mecánico que abre los contactos del interruptor de línea. Este tipo de dispositivo contra sobrecargas es sensible al porcentaje de sobrecarga; por tanto, una pequeña sobrecarga tardará algún tiempo en disparar el relé, mientras una sobrecarga grande abrirá casi instantáneamente el circuito. Sin embargo el relé contra sobrecargas no proporciona protección en caso de cortocircuito. Es muy posible que en condiciones de cortocircuito el relé se mantenga atraído durante suficiente tiempo para que el motor y el equipo sufran un daño considerable.

Sería imposible subestimar la necesidad de hacer una selección correcta del equipo protector contra sobrecargas. En la selección de los elementos térmicos de los relés de sobrecarga habrá que atenerse a la intensidad nominal de funcionamiento indicada por el fabricante del motor. La práctica demasiado frecuente de aumentar el valor nominal del elemento térmico rebasando el valor requerido es probablemente la causa principal de los fallos de motores en las plantas industriales. Cuando un motor dispara reiteradamente sus dispositivos contra sobrecarga, deberá efectuarse una verificación meticulosa de la corriente que absorbe realmente a fin de determinar si el defecto radica en el dispositivo protector contra sobrecarga o es que el propio motor absorbe una corriente excesiva. Si ocurre esto último, habrá que determinar si está originado por una sobrecarga mecánica o porque los arrollamientos del motor están defectuosos. Actualmente ocurre muchas veces que las primas de producción inducen al operario a exigir de su máquina

más potencia de la que corresponde al motor que la acciona haciendo que éste trabaje forzado. La práctica de regular la protección contra sobrecarga para una intensidad mayor que la admisible conducirá a hacer más frecuentes los períodos de inactividad del equipo cada vez que sea necesario rebobinar o reemplazar el motor por avería.

Cuando falle una fase de un circuito del motor, éste trabajará como monofásico, lo que será causa de una intensidad excesiva en los otros arrollamientos y conductores del motor. En la mayoría de los casos, la sobreintensidad hará que se disparen las unidades de sobrecarga, desconectando así el motor de la línea e impidiendo que se quemen sus devanados. En ciertas condiciones de carga es posible que el motor trabaje como monofásico por la falta de una fase sin que lleguen a actuar los dispositivos térmicos y se quemen sus devanados, aunque el dispositivo de protección disponga de dos elementos térmicos. Por esta razón, muchos ingenieros y constructores consideran la necesidad de un tercer elemento térmico para mejorar la protección en caso de fallo de una fase.

2.3.1 Protección Térmica de Sobrecarga

Las unidades de sobrecarga térmicas, de aleación fusible, se emplean ampliamente en los arrancadores manuales de potencia, fraccionaria para la protección de motores eléctricos contra sobrecorrientes sostenidas resultantes de la sobrecarga provocada por la máquina impulsada, o por un voltaje de línea excesivamente bajo. Las bobinas calefactores calibradas muy cerca del valor de las corrientes a plena carga del motor, inician la fusión de la aleación y la acción de disparo del relevador de la unidad de sobrecarga.

Solamente se requiere un relevador en cualquiera de las versiones, de un polo o de dos polos, ya que la aplicación del arrancador se destina para el servicio de C.C. o monofásico de C.A. Estos relevadores ofrecen protección contra operación continua cuando la corriente de la línea es excesivamente alta. Los relevadores del tipo de aleación fusible no se pueden graduar y ofrecen una protección confiable contra sobrecarga. El disparo repetido no causa deterioro, ni afecta la exactitud del punto de disparo.

Existe amplia variedad de unidades de relevador, de manera que se puede seleccionar el adecuado sobre la base de la corriente verdadera del motor a plena carga. Las unidades de relevador son intercambiables y accesibles desde el frente del arrancador. Como la corriente del motor está, en realidad, en serie con la bobina calefactora, aquél no funcionará a menos que la unidad esté completa, con el elemento térmico instalado. Las unidades de sobrecarga pueden cambiarse sin desconectar los alambres del interruptor o desmontar éste de su envolvente. Sin embargo, el interruptor debe desconectarse por razones de seguridad.

La corriente normal de arranque del motor y las sobrecargas momentáneas no producirán acción de disparo, por las características de tiempo e inversión de los relevadores de aleación térmica. La sobrecorriente continua que pasa por la unidad calefactora eleva la temperatura de la aleación, y cuando se alcanza el punto de fusión, se libera el trinquete y dispara el mecanismo interruptor abriendo la línea o líneas que van al motor. El mecanismo interruptor es del tipo "gatillo libre", que significa que es imposible mantener cerrados los contactos contra una sobrecarga.

Arranque y Parada

Puede ser necesario, en el arranque y la parada, considerar las siguientes condiciones a que se pueden sujetar el motor y la máquina a él conectada:

Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico

El arranque y frenado está definido como una función en la cual el motor opera cuando se acciona un botón y frena cuando el botón se desacciona. Esta acción de arranque y frenado se usa con máquinas, en las cuales el motor debe operar por períodos breves para conducir a la máquina a su posición o punto de operación.

En la siguiente figura se muestra un circuito sencillo que incorpora un switch selector de un polo. Cuando el selector se coloca en la posición de operación el circuito de "retención" de la posición no se abre. Si ahora se oprime el botón de arranque, se completa el circuito de la bobina M y se sostiene. Girando el switch selector a la posición de frenado, se abre el circuito sostenido o retenido. Cuando el botón se restablece la bobina M se desenergiza. El botón de arranque juega una doble función como botón de frenado.

Frecuencia del arranque y la parada. El ciclo de arranque de todos los controladores es vital en su operación continua satisfactoria. Los interruptores magnéticos, como los que se emplean para los motores, relevadores y contactores, pueden estropearse, en realidad, a sí mismos, por la apertura y cierre repetidos y continuos. Es una de las principales fallas que busca un electricista experimentado en los tableros de control que no se encuentren funcionando. Éstos también pueden necesitar períodos más frecuentes de inspección y mantenimiento. Los controladores y accesorios de servicio pesado deben considerarse, definitivamente, cuando la frecuencia del arranque es grande.

Arranque ligero o de servicio pesado. Algunos motores arrancan sin carga y otros lo hacen fuertemente cargados. El arranque de los motores puede causar grandes perturbaciones en la línea de alimentación, que afectan todo el sistema de distribución eléctrica de una planta. Puede, aun, afectar al sistema de la compañía eléctrica. Existen ciertas limitaciones impuestas en el arranque de un motor, por las compañías generadoras y las agencias de inspección eléctrica.

Arranque rápido o lento. Usualmente, la mejor condición para el arranque de un motor de e-a, para obtener el máximo esfuerzo de giro de su rotor, es cuando en el arranque se aplica el voltaje total a sus terminales. Sin embargo, muy frecuentemente la maquinaria impulsada se puede dañar a causa de ese repentino impulso de movimiento. Para evitar tal choque a las máquinas, al equipo y los materiales que se elaboran, se han diseñado algunos controladores para arrancar los motores lentamente e ir aumentando su velocidad.

Arranque suave. Aun con impulsos eléctricos y mecánicos reducidos, mediante un método de arranque por pasos, pueden existir problemas que requieren medidas adicionales para remediarlos. Si se requiere un arranque suave y gradual, merecen investigación los diferentes métodos de control.

Arranque y parada manuales o automáticos. El arranque y la parada manuales de las máquinas realizados por un operario, indudablemente serán, actualmente, una parte de la gran variedad de producción industrial en los Estados Unidos de América, mientras las personas las controlen. Sin embargo, muchas máquinas y procesos industriales se arrancan y restablecen automáticamente mediante dispositivos automáticos, con un ahorro enorme de horas-hombre y materiales. Los dispositivos de parada automática se usan en los sistemas de control para motor, por las más razones. Estos dispositivos reducen grandemente los riesgos de funcionamiento de algunas máquinas, tanto para el operario como para los materiales que en ellas se elaboran.

Parada rápida o lenta. Es necesario que muchos motores paren instantáneamente. La producción y algunas exigencias de seguridad son tales, que es necesario hacer que las máquinas se detengan tan rápidamente como sea posible. Los controles automáticos y aplicados facilitan el retardo y frenan la velocidad de un motor y, en realidad, aplican un torque en la dirección opuesta a la rotación. Existen controladores para motor para casi cada condición práctica. La regulación de la desaceleración es una función de los controles para motor.

Paradas exactas. Dichas paradas exactas, como la detención de un elevador a nivel del piso, se facilitan con equipo automático de parada suave y rápida. Los dispositivos piloto automáticos se interconectan con los sistemas de control, para detener los carros de los elevadores en una posición exacta a determinados niveles.

Frecuencia de las inversiones de rotación necesarias. Una gran frecuencia de inversiones de rotación impone grandes exigencias sobre el controlador y el sistema de distribución eléctrica. También puede necesitarse un motor especial para este tipo de casos. Asimismo, debe prestarse especial atención a los dispositivos de protección para arranque y marcha, a fin de evitar fallas innecesarias.

El control de la velocidad del motor es esencial, no solamente para hacerlo funcionar, sino para controlar su velocidad durante la marcha. Respecto al control de la velocidad, se deben considerar las siguientes condiciones:

Velocidad constante. En una bomba de agua se usa un motor de velocidad constante. Como prácticamente funciona a la misma velocidad bajo una carga, normal, la velocidad constante es esencial para los grupos motogeneradores, en cualesquiera condiciones de carga. Los motores de velocidad constante se usan en unidades de transmisión directa de 80 r.p.m., con potencias hasta de 5,000 caballos de fuerza.

Velocidad variable. Para una grúa o elevador, una velocidad variable es, usualmente, la mejor. En este tipo de trabajo, la velocidad variable del motor disminuye con seguridad al aumentar la carga, y aumenta cuando ésta se reduce a fin de conducirla rápidamente.

Velocidad ajustable. Con los controles para ajustar la velocidad, un operario puede regularla gradualmente, en una amplitud considerable, durante la marcha. La velocidad también puede fijarse previamente, pero una vez ajustada permanece relativamente constante con cualquier carga dentro de la capacidad del motor.

Velocidad múltiple. Se utiliza una velocidad característica en un motor de velocidad múltiple como el que se usa en un torno revólver. Aquí, la velocidad se puede fijar en dos o más grados definidos, permaneciendo prácticamente constante, independientemente de los cambios en la carga.

2.4 Arrancador Manual

2.4.1 Selección de Equipo de Arranque

Cuando se seleccionan los equipos o controladores de arranque se deben tener en cuenta varias circunstancias. A continuación se incluyen algunas preguntas a las que hay que dar una respuesta antes de seleccionar un controlador:

1. ¿Está proyectado para el tipo de motor que se va a emplear?
2. ¿Requiere el motor arranque a tensión reducida?
3. ¿Es necesario control de velocidad?
4. ¿Ofrece el controlador todas las clases de protección que son necesarias?
5. ¿Son correctas las tensiones de línea y de control, así como la frecuencia?

Analizando los requisitos de la máquina y del motor antes de seleccionar el controlador se evitan confusiones onerosas.

Arranque de los Motores de Jaula de varias Velocidades

Los motores de jaula con una sola velocidad son generalmente puestos en marcha por arrancadores electromagnéticos directos. Un motor de jaula de varias velocidades requiere un controlador cuya construcción especial sea adecuada para sus arrollamientos.

Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico

Los motores de dos velocidades pueden tener dos arrollamientos independientes en el estator o ser de tipo de polos consecuentes (figura 2-3) el cual sólo posee un arrollamiento en el estator. En el motor de polos consecuentes, las dos velocidades se obtienen mediante diferente conexión de las bobinas del arrollamiento de modo que según una u otra conexión se obtiene uno y otro número de polos en el estator. Es característico de este tipo de motor que la relación de velocidades es de 2 a 1. Los motores de tres velocidades tienen usualmente un arrollamiento para una velocidad y un segundo arrollamiento del tipo polos consecuentes para las otras dos velocidades. Los motores de cuatro velocidades están devanados usualmente con dos arrollamientos, ambos de polos consecuentes. El número de contactores, el orden en que se cierran y el número y tipos de unidades de sobrecarga necesarias depende del método de obtención de las varias velocidades.

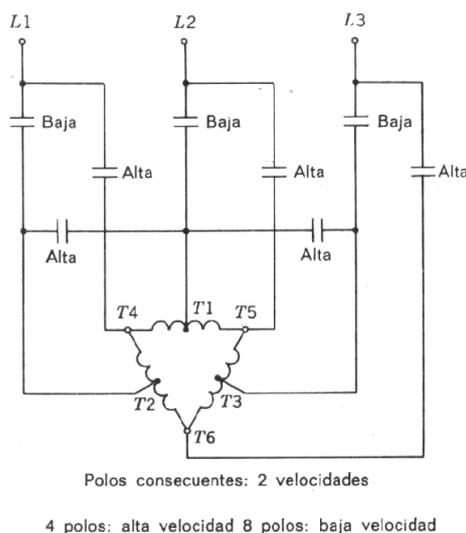


Fig. 2-3 Control de motor jaula de dos velocidades.

2.4.2 Control Manual

Interruptor de volquete.

Muchos motores pequeños se arrancan con interruptores de volquete. Esto significa que el motor arranca directamente, sin el empleo de interruptores magnéticos o equipo auxiliar. Los motores que se arrancan con interruptores de volquete se protegen mediante fusibles o cortacircuitos en el circuito derivado y, generalmente, impulsan ventiladores, sopladores u otras cargas por iluminación

Interruptor de seguridad.

En algunos casos se permite arrancar un motor directamente a través del voltaje completo de la línea, con un interruptor de seguridad accionado desde el exterior. El motor recibe protección en el arranque y durante la marcha, con la instalación de fusibles de doble elemento, retardadores de tiempo. El empleo de un interruptor de seguridad para el arranque es una operación manual, por supuesto, y tiene las limitaciones de la mayoría de los arrancadores manuales

Controlador de tambor.

Los controladores de tambor son dispositivos movimiento de los motores y controlar la velocidad de las máquinas de c-a y c-c. Se pueden utilizar sin otros componentes de control en

los motores de tamaño más pequeño, generalmente fraccionarios. En los motores de tamaño mayor, se emplean con arrancadores magnéticos, como dispositivos manuales de interrupción, del tipo rotatorio, que se usan, a menudo, para invertir la dirección del de control.

Tipo de placa frontal

Los controladores del tipo de placa frontal se han utilizado, durante muchos años, para el arranque de los motores de c-c. También se emplean para el control de la velocidad del motor de inducción con rotor devanado. Los contactos de interrupción múltiple, montados cerca de un brazo selector en el frente de una placa aislada, incorporan el uso adicional de resistencias montadas en la parte trasera, como una unidad completa. El empleo de arrancadores de placa frontal ofrece características que no se encuentran en otros controladores manuales.

El arrancador consiste, en su forma *más* simple, en un dispositivo que conecte o desconecte el motor a la red y que además realice funciones de protección contra sobrecargas del motor. A esta unidad básica se añaden otros dispositivos para obtener el grado deseado de control y de protección.

Hay muchos tipos y clases de arrancadores de motor, tomando el nombre con que se les designa, de la operación o clase del motor a que se destinan. Así, toman el nombre de manuales o automáticos, de tensión nominal o tensión reducida, monofásicos o trifásicos y de C. C. o C. A. Para describir un arrancador determinado de motor, es necesario utilizar varios de estos términos o clasificaciones. Por ejemplo, un determinado motor podría requerir un arrancador a tensión reducida, automático, trifásico y de C. A. no obstante estos datos, por sí solos, no definen por completo el arrancador, ya que se precisa además la tensión y potencias nominales del mismo según el proceso de trabajo a desempeñar. Igualmente debe tenerse en cuenta, si debe ser controlado a distancia, si el pulsador de accionamiento estará situado sobre el mismo arrancador y otros muchos detalles. En los arrancadores clasificados como manuales, el operador acciona el cierre de los contactos, bien mediante pulsador, bien mediante palanca unida mecánicamente a los contactos

Supongamos, por ejemplo, que disponemos de un arrancador manual o automático de calibre cero, con pulsador en la cubierta. Si es del tipo manual estará construido de modo que cuando se aprieta el pulsador arranque, un varillaje o articulación mecánica obliga a cerrarse los contactos y, una vez cerrados, la articulación queda enclavada o retenida en esta posición. Cuando se aprieta el pulsador de parada, o actúa la protección de sobrecarga, es disparada la articulación mecánica y se abren los contactos.

En cambio, cuando se aprieta el pulsador de parada en un arrancador electromagnético, se activa el electroimán del arrancador produciendo el cierre de los contactos. El pulsador de parada o el relé de sobrecarga al ser accionados interrumpen el circuito de la bobina, a el electroimán, abriéndose los contactos. El principal inconveniente del arrancador manual es la falta de flexibilidad de control. Debe ser accionado en el mismo emplazamiento del arrancador, y es muy limitado en cuanto a las posibilidades como control de protección. Cuando el grado de control que ofrece es satisfactorio para la instalación, tiene la ventaja de ser más económico. La mayoría de arrancadores manuales en servicio se hallan catalogados dentro de los tres tipos siguientes: arrancador con dispositivo térmico para pequeños motores monofásicos, arrancadores manuales directos de los calibres cero y 1 para motores monofásicos y trifásicos, y arrancadores manuales a tensión reducida mediante autotransformador para grandes motores.

2.5 Arrancador Magnético

Los arrancadores magnéticos del tipo para el voltaje de la línea, son dispositivos electromecánicos que proporcionan un medio seguro, conveniente y económico para arrancar y

Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico

parar motores. Estos dispositivos se utilizan ampliamente por sus características de economía y seguridad, pero, principalmente, porque se pueden controlar desde un punto alejado. Generalmente se usan cuando se puede aplicar con seguridad un torque de arranque a pleno voltaje a la maquina impulsada y cuando no hay objeción a la oleada de corriente resultante del arranque a través de la línea. Usualmente, estos arrancadores se controlan por medio de dispositivos piloto, tales como acciones, de botones, interruptores de flotador, o relevadores de control de tiempo. Los arrancadores magnéticos se fabrican en muchos tamaños, como el 00, para 10 amperes, hasta el tamaño 8, de 1,350 amperes. A cada tamaño se le ha asignado cierta capacidad en altos de fuerza que se pueden aplicar cuando se utiliza el motor para servicio normal arranque. Todas las capacidades corresponden con las normas de la Asociación Nacional de fabricantes de Aparatos Eléctricos.

**Tamaños de los controladores
(Designaciones NEMA)**

<i>Tamaño del arrancador</i>	<i>H.p. máximos del motor trifásico</i>	<i>Voltaje del motor</i>
00	1/3	110
0	1-1/2	
1	3	
2	7-1/2	
3	15	
4	25	208-220
00	1-1/2	
0	2	
1	5	
2	15	
3	30	
4	50	
5	100	
6	200	
7	300	
8	450	440-550
00	2	
0	3	
1	7-1/2	
2	25	
3	50	
4	100	
5	200	
6	400	
7	600	
8	900	

Los arrancadores de tres polos se construyen para aplicaciones con motores que operan en sistemas trifásicos, de 3 alambres, de c-a. Los arrancadores de dos polos se fabrican para el arranque de motores monofásicos. La designación "polo", se refiere a los contactos de energía o contactos de carga por motor, y no incluye los de control para la conexión de ese circuito.

2.6. Dispositivo de Control (Dispositivo Piloto)

Todos los componentes que se emplean en los circuitos de control de los motores se pueden clasificar en dispositivos de control primario y en dispositivos piloto o de mando. Un dispositivo primario de control es el que conecta la carga directamente a la línea, tal como un arrancador o controlador de motor, tanto si es manual como automático. Los dispositivos piloto de control son aquellos que controlan o modulan a los dispositivos primarios de control. Pertenecen a las categoría de dispositivos piloto o de mando los pulsadores, los interruptores de flotador, los interruptores o conmutadores de presión y los termostatos.

2.6.1 Descripción de los Dispositivos Piloto

Un ejemplo de control primario con dispositivo piloto sería un arrancador electromagnético de conexión directa controlado por un interruptor simple de palanca utilizado para excitar o desexcitar la bobina del arrancador.

Cuando se cierra el interruptor, es excitado el arrancador y éste pondrá en marcha al motor. Cuando se abre el interruptor, queda desexcitado el arrancador y el motor se para. El arrancador se clasificará como dispositivo primario de control puesto que conecta el motor directamente a la línea. El interruptor no conecta la carga a la línea sino que se utiliza para excitar y desexcitar la bobina del arrancador, por lo que se le clasificará como dispositivo piloto de control o de mando.

Generalmente en los motores se emplean dos dispositivos primarios de control. Son éstos los medios de desconexión o conmutación y el arrancador del motor. Se pueden emplear varios dispositivos piloto en conexión serie y paralelo para el control de arranque y parada y que accionarán el dispositivo primario de control. Por ejemplo, los relés de sobrecarga, generalmente incorporados al arrancador del motor, son realmente dispositivos piloto o de mando utilizados para controlar el dispositivo primario entrando en acción siempre que el motor sufre una sobrecarga.

Los requisitos de los dispositivos pilotos varían extensamente con su función y la finalidad a la que están destinados. Por ejemplo, un interruptor de flotador debe abrir y cerrar sus contactos cuando se eleva y desciende el nivel de un líquido contenido en un recipiente.

Un interruptor de presión debe abrir y cerrar sus contactos cuando la presión en un recipiente, tubo u otro contenedor varia excediendo los límites previstos en el interruptor de presión. Para comprender la diferencia entre los dispositivos primario y los dispositivos piloto recurriremos a la comparación entre un contactor y un relé de tensión.

El contactor se construye para intensidades relativamente grandes: por consiguiente, tiene contactos grandes capaces de interrumpir estas corrientes. El relé, diseñado para servicio de piloto, tiene contactos relativamente pequeños ya que la corriente que debe interrumpir es muy pequeña. En general, los dispositivos piloto se podrían denominar más apropiadamente dispositivos sensibles o detectores a causa de que generalmente se les utiliza para detectar magnitudes tales como la presión, la temperatura, el nivel líquido o la presión aplicada a un pulsador. La función de estos dispositivos piloto es convertir la información que detectan en control del dispositivo primario con el cual están conectados.

2.6.2 Termostato

Probablemente el termostato es el dispositivo piloto cuya construcción presenta la mayor variedad de disposiciones mecánicas. Unos aprovechan la acción de un fuelle para mover los contactos. Otros emplean láminas bimetálicas que detectan la temperatura y accionan los contactos. Hay otras muchas disposiciones posibles empleadas en este tipo de interruptor de control. Los termostatos para circuitos de control de motor abren o cierran simplemente un juego de contactos en respuesta a los cambios de temperatura, cualesquiera que sean su construcción y acción mecánica.

Además del termostato empleado como interruptor piloto, existe el termostato regulador, en el cual el órgano detector actúa sobre el contacto deslizante de una resistencia variable haciendo que el valor de ésta varíe según la temperatura. Conectado adecuadamente a un motor regulador puede conseguirse que la posición del eje de éste dependa de la temperatura. Si su eje se conecta a un registro de aire, por ejemplo, permitirá controlar el caudal de aire que pasa por un conducto. Si el eje acciona una válvula, el motor regulador puede controlar el caudal de agua o de otros líquidos o de gases en un tubo.

Aunque este termostato se emplea muy pocas veces para el control directo de un motor, puede iniciar el control por medio de contactos montados en el eje del motor regulador.

2.6.3 Caja de Pulsadores

La caja de pulsadores, aunque probablemente es el más sencillo de todos los dispositivos piloto, es el que más se emplea en los circuitos de control de motor. Las cajas o cuadros pulsadores son de dos tipos generales: de contacto mantenido y de contacto momentáneo. Cuando es apretado el pulsador de arranque en el tipo de contacto mantenido, los contactos se cierran y permanecen cerrados hasta que es pulsado el de parada. Esta acción se realiza mediante juego de palancas que enlazan el pulsador con el juego de contactos, dispuesto de modo que permanecen en cualquiera de sus posiciones hasta que son desplazados a la posición opuesta al empujar el otro pulsador.

El pulsador de contacto momentáneo normalmente abierto, tal como el utilizado para el arranque, cierra simplemente sus contactos durante el período de tiempo en que el pulsador es oprimido. El pulsador de contacto momentáneo normalmente cerrado abre sus contactos durante el período de tiempo en que es oprimido. También existen pulsadores del tipo bipolar, con un juego de contactos normalmente cerrado y otro juego normalmente abierto.

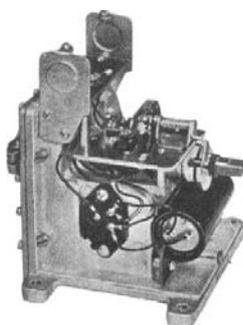


Fig. 4-10 Motor Regulador, (Minneapolis-Honeywed Regulator Co.)

Las cajas de pulsadores comprenden diversos pulsadores que pueden ser, unos de contactos normalmente abiertos, otros normalmente cerrados o bien bipolares con lo que puede obtenerse la combinación que se desee y que cumpla con las funciones de control predeterminadas. Una de las cajas de pulsadores más empleada es la utilizada en el arranque y paro de un motor. Además de las disposiciones y funciones normales, se construyen para otras funciones especiales.

En la mayoría de estos cuadros se incorporan lámparas piloto para indicar la posición de una operación, como por ejemplo la marcha o paro de un motor. También pueden incorporarse a la caja interruptores selectores para seleccionar control manual o automático, o simplemente un interruptor de puesta en servicio del control.

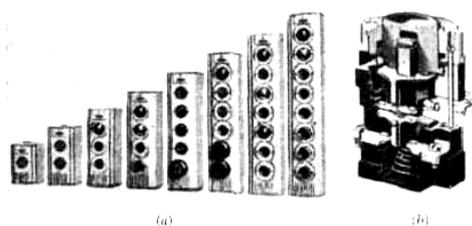


Fig. 4-11 (a) Diferentes tipos de cajas de pulsadores, (b) Vista en corte parcial de un solo pulsador. (Cutler-Hammer, inc.)

2.7 Arrancador a Tensión Plena

Los arrancadores para la puesta en marcha mediante conexión directa a la red son los más utilizados. Se emplean en la mayoría de los casos de arranque de los motores trifásicos, de jaula

y monofásicos. También se emplean para conectar a la red el devanado estatórico de los motores trifásicos de rotor bobinado con arrancador manual conectado al rotor. Utilizados en los motores de hasta 00 CV y 600 V, permiten obtener una protección satisfactoria del motor, la máquina y el operador. La limitación de uso en los motores trifásicos está forzosamente impuesta por el valor máximo de la intensidad de arranque en lo que respecta a sus efectos sobre las líneas y devanados, así como por el par de arranque. Los arrancadores directos se fabrican con variedad de cubiertas y cofrets para satisfacer los requisitos impuestos por las condiciones de ubicación del arrancador. Estas cubiertas satisfacen las normas publicadas por NEMA para adaptarse a cada condición de ubicación o emplazamiento. A la asequibilidad de los tipos manuales o magnéticos adecuados para las necesidades del usuario hay que añadir la flexibilidad de estas unidades.

Cualquier arrancador que conecta los bornes del motor directamente a la tensión de línea sin algún medio de reducir la tensión aplicada o limitar la corriente de arranque puede ser clasificado como arrancador directo o a tensión nominal.

2.8 Relevadores de Control

Los circuitos de control automático contienen generalmente un o más relés, principalmente a causa de que el relé confiere flexibilidad a los circuitos de control. El relé es por su propia construcción un amplificador mecánico.

El significado de la palabra amplificar. Significa aumentar, ampliar, extender o incrementar. Cuando nosotros activamos o excitamos la bobina de un relé con 24 voltios y los contactos están controlando un circuito de 440 voltios, estamos amplificando la tensión mediante el uso del relé. Las bobinas del relé sólo necesitan una corriente muy pequeña para su funcionamiento y se utilizan para controlar circuitos de corrientes intensas. Así pues, también son amplificadores de corriente. El relé es inherentemente un dispositivo de una sola entrada que sólo requiere una sola tensión o comente para activar su bobina. Sin embargo, utilizando varios contactos, el relé se puede convertir en un dispositivo de varias salidas, por lo que también puede considerarse como amplificador del número de operaciones, siendo controladas por una sola entrada.

Supongamos que disponemos de un relé cuya bobina funciona con 110 voltios y 1 amperio, y que los contactos de este relé controlan tres circuitos separados que funcionan con 440 voltios y 15 amperios cada una. Este relé se convierte en un amplificador de potencia en cuanto controla considerablemente más potencia en sus circuitos de salida que la que consume en su circuito de entrada. También se convierte en un amplificador en cuanto al número de circuitos, ya que una sola entrada controla tres salidas separadas.

Los relés se emplean generalmente para aceptar información de un dispositivo sensible o detector y la convierten en el nivel apropiado de potencia, número de diversos circuitos, u otro factor de amplificación para conseguir el resultado que se desea en el circuito de control. Estos dispositivos detectores utilizados conjuntamente con relés reciben el nombre de dispositivos piloto y están proyectados para que sean sensibles o detecten magnitudes físicas tales como la corriente, la tensión, las sobrecargas, la frecuencia y muchas otras, incluyendo la temperatura. El tipo apropiado de relé a utilizar en un circuito dado estará determinado por el tipo de dispositivo detector que le transmite la información. Por ejemplo, un dispositivo detector de tensión deberá ser conectado a un relé de tensión, y un dispositivo detector sensible a la corriente debe activar al relé de corriente. Cada uno de estos tipos los estudiaremos individualmente.

2.8.1 Relé de Tensión

Este tipo de relé (fig. 3-3) es probablemente el que más se emplea porque se presta a muchas aplicaciones y se le puede emplear para realizar muchas funciones. El relé de tensión es

Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico

simplemente un pequeño contactor que abre o cierra sus contactos, dependiendo de que estén normalmente cerrados o abiertos, siempre que es aplicada a su bobina la tensión correcta. Se fabrican con varios contactos que pueden estar normalmente abiertos o normalmente cerrados, según convenga. Los relés de tensión se utilizan frecuentemente para separar dos o más circuitos controlados por una fuente (fig. 3-4) o cuando la tensión de control es diferente de la tensión de la línea.

Debe recordarse que un relé de tensión no es primordialmente a dispositivo de control, y requiere un dispositivo piloto para activarlo.



Fig. 3-3 Relé de tensión.

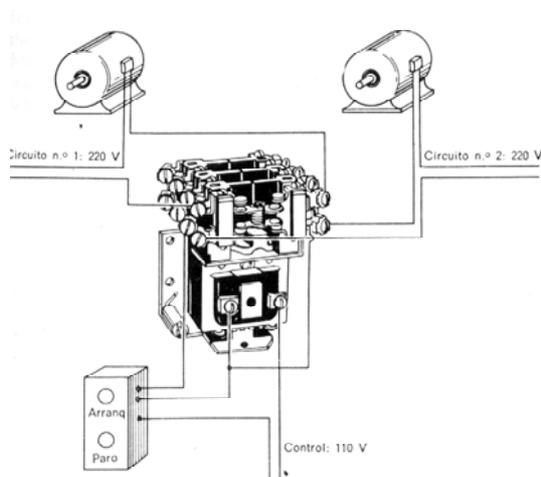
2.8.2 Rele de Intensidad

Este tipo de relé (figs. 3-7, 3-8 y 3-9) se emplea para abrir o cerrar uno o varios circuitos en respuesta a las variaciones de intensidad de otro circuito, tales como las de la corriente absorbida por un motor.

El relé de intensidad está diseñado de tal forma que si se le conecta en serie con el circuito que debe suministrar la señal a detectar, se activará cuando la intensidad de la corriente que pasa por su bobina alcanza un valor suficientemente elevado para producir el flujo magnético necesario para accionar el dispositivo de los contactos. En relación con los relés de intensidad se emplean algunos términos que deben conocerse.

Intensidad de conexión o de funcionamiento.

Es el valor de la intensidad que debe pasar por la bobina para cerrar o atraer la armadura del relé.



Esquema explicativo de un circuito con relés de tensión.

Intensidad de desconexión o de retorno.

Es el valor de la intensidad por debajo del cual el relé deja de actuar después de haber sido atraída su armadura.

La mayoría de los relés de este tipo están provistos de un resorte de tensión regulable y dispositivo de ajuste de la separación de los contactos que permite regular o ajustar los valores de conexión, desconexión y porcentaje de retorno. Este tipo de relé no debe funcionar con valores demasiado próximos a los de conexión o desconexión a no ser que sus contactos estén provistos de algún dispositivo de disparo rápido. Esto debe tenerse en cuenta ya que la presión del contacto depende de la diferencia entre intensidad que circula por la bobina del relé y la de conexión. Por ejemplo, cuando el relé mencionado funciona con una corriente de 5,01 amperios en la bobina, la presión de contacto será sólo la producida por 0,01 amperio.

Generalmente, los relés de intensidad propiamente dichos se utilizan sólo en circuitos de poca intensidad. Cuando se trata de intensidades más elevadas se emplean relés alimentados mediante el secundario de un transformador de intensidad.

Otro tipo de relé es el térmico, en el cual una lámina bimetálica, u otro elemento, se calienta por efecto de una resistencia conectada en serie con el circuito al que debe ser sensible. El relé térmico bimetálico se funda en la diferente dilatación de dos metales diferentes cuando se calientan. Se construye uniendo dos láminas delgadas de metales diferentes. Cuando la corriente que pasa por dichas láminas o por la resistencia encargada de calentarlas, es suficiente, éstas se dilatan y debido al diferente coeficiente de dilatación, se curva de conjunto formado por las dos láminas actuando sobre los contactos abriéndolos. Como ejemplos de estos relés pueden citarse los empleados para protección de sobrecarga en motores y los cebadores empleados en el alumbrado fluorescente.

2.8.3 Relé de Frecuencia.

El relé de frecuencia se utiliza para producir la conexión de la excitación de campo en los motores sincrónicos durante la maniobra de arranque y para el control de aceleración en los motores de rotor bobinado. Generalmente estas unidades se proyectan para una determinada aplicación. Uno de los tipos se compone de dos bobinas equilibradas que actúan sobre una armadura común. Estas bobinas actúan comparando una frecuencia de referencia con la del circuito en que se utiliza el relé, de forma que la armadura bascula a uno u otro lado según las frecuencias difieran en un valor determinado o dicha diferencia sea mayor que la prefijada.

2.8.4 Relé Temporizado.

Este tipo de relé se utiliza frecuentemente para el control de secuencia, protección relectiva, desconexión por baja tensión, control de aceleración y muchas otras, funciones.

Esencialmente, el relé temporizado es un relé de tensión con la adición de un elemento de acción diferida que puede ser del tipo membrana con toma de aire (fig. 3-5) o del tipo de cilindro con émbolo amortiguador empleando aire o un líquido (fig. 3-6) y que retarda la acción de sus contactos respecto al momento en que actúa el electroimán. Este retardo en la acción puede ser cuando el relé se excite o cuando se desexcite.

Si el retardo se produce al excitar el relé se dice que está temporizado al cierre y si se produce al desexcitarlo, que está temporizado a la apertura. Ambos tipos están provistos de un ajuste para poder regular el tiempo de retardo dentro de los límites especificados. Los contactos se representan siempre en la posición correspondiente al relé desactivado, tanto si son temporizados al cierre como a la apertura.

Estas unidades se fabrican de diversos tamaños dependiendo de la intensidad y tensión a que estén sometidos sus contactos.

Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico

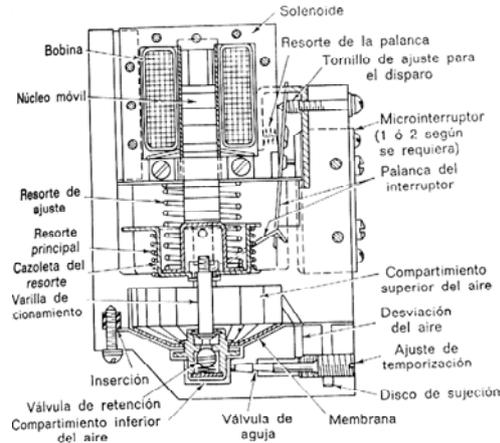


Fig. 3-5 Relé temporizado tipo membrana con toma de aire.
(Cutler-Hammer, Inc.)

2.8.5 Relé de Sobrecarga.

El relé de sobrecarga se encuentra en todos los arrancadores de motor en una u otra forma. En efecto, la adición de alguna forma de protección contra las sobrecargas a un contador ordinario lo convierte en un arrancador de motor. Esta unidad realiza las funciones de protección contra sobrecargas y la protección a falla de fase en el circuito del motor.

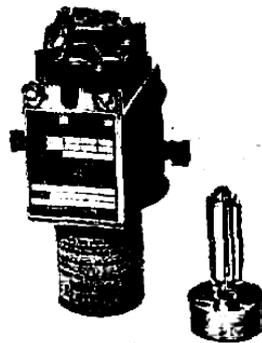


Fig. 3-6 Relé temporizado tipo cilindro amortiguador. (Square D Co.)

El requisito básico para la protección contra las sobrecargas es que el motor pueda trabajar a potencia nominal pero que se impida su funcionamiento al producirse cualquier sobrecarga prolongada o importante. Cuando un motor está sobrecargado mecánicamente, su corriente aumenta, lo que a su vez hace que aumente la temperatura del propio motor y de sus devanados.

También se producen aumentos de corriente y de temperatura a consecuencia de la falta de una fase en los motores polifásicos o de un defecto en los devanados del motor.

Por consiguiente, para obtener una protección completa contra las sobrecargas es necesario detectar, o medir, la corriente absorbida por el motor e interrumpir el circuito si esta corriente excede del valor nominal del motor.

Existen dos tipos básicos de relés de sobrecarga empleados generalmente en los arrancadores de conexión directa a la línea. El primero utiliza un metal con bajo punto de fusión que retiene una

rueda dentada que al ser liberada produce la abertura de un juego de contactos intercalados en el circuito de la bobina del arrancador. Independientemente del tipo de dispositivo que se utilice, siempre está activado por un elemento calefactor conectado en serie con el circuito del motor. La intensidad de la corriente necesaria para producir el funcionamiento del relé está determinada por el tamaño del elemento calefactor utilizado. Cuando éste es utilizado para la protección de pequeños motores que absorben poca corriente, como elemento calefactor se utiliza una resistencia de hilo o de cinta de poca sección, mientras que en el caso de motores de mayor potencia se emplean resistencias de mayor sección, de forma que se produzca en el elemento bimetálico la temperatura debida cuando circule una intensidad de valor prefijado. Los elementos térmicos utilizados en los relés de sobrecarga poseen, por sí mismos, un retardo en su acción que es inversamente proporcional a la sobrecarga a que esté sometido, como puede verse en el gráfico de la figura 3-8. Cuando la sobrecarga es ligera, el motor sigue funcionando durante algún tiempo sin que actúe el relé, pero si la sobrecarga es grande, actuará casi inmediatamente, desconectando el motor de su fuente de alimentación y evitando que se deteriore.

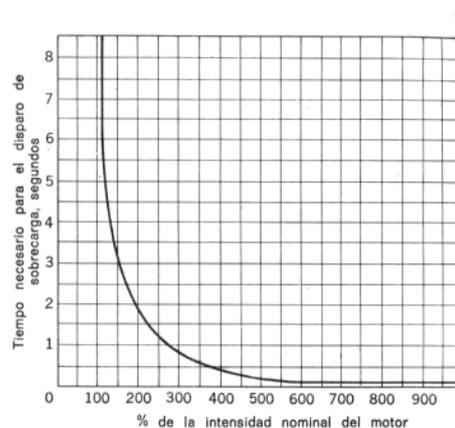


Fig. 3-8 Curva característica del relé de sobrecarga.

Los relés térmicos actúan sólo por efecto del calor, influyendo por lo tanto la temperatura del aire que los rodea, por lo que en los lugares donde se ha de prever altas temperaturas las resistencias de caldeo empleadas en el relé deben estar sobredimensionadas. También existen dispositivos bimetálicos destinados a compensar el efecto de los cambios de temperatura ambiente en el funcionamiento del relé. Los relés provistos de estos dispositivos reciben el nombre de relés de sobrecarga compensados. El tercer tipo de relé de sobrecarga es el electromagnético (figura 3-9). Su elemento básico es una bobina conectada de modo que sea sensible a la corriente del motor mediante el uso de transformadores de corriente o por conexión directa. Cuando la corriente excede el valor nominal del motor, la bobina del relé produce el desplazamiento del núcleo móvil situado en su interior y abre los contactos del circuito de control.

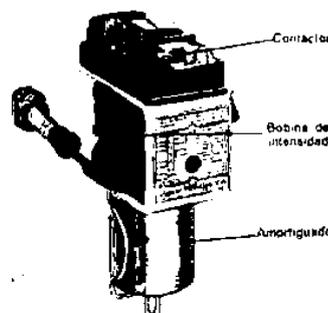


Fig 3-9 Relé de sobrecarga, tipo electromagnético.

Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico

Los relés electromagnéticos de sobrecarga se encuentran generalmente en arrancadores de motores grandes. Después de cada disparo o actuación del relé de sobrecarga debe volverse a su anterior posición (reenganche), ya sea automática o manualmente.

El tipo de reenganche automático sólo se empleará en los casos que no presenten peligro al conectarse nuevamente el circuito a la red sin haber revisado la causa del disparo del relé. Después de disparado el relé de sobrecarga, necesita algún tiempo para enfriarse por lo que siempre hay algún retardo antes de que se pueda realizar la reposición o reenganche

2.9 Interruptores de Control

2.9.1 Interruptor de Flotador

Los interruptores de flotador pueden tener formas diversas en lo que respecta a su construcción mecánica o física. Sin embargo, en esencia se componen de uno o más Juegos de contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados, accionados mediante un sistema de palancas. Muchos interruptores de flotación, así como otros dispositivos piloto, emplean un interruptor de mercurio en lugar de uno de contactos metálicos. La disposición mecánica más sencilla de un interruptor de flotador (fig. 4-1) consiste en una palanca provista de un eje con los contactos eléctricos fijados en un extremo y un flotador suspendido en el otro. Cuando el nivel del agua sube, empujará al flotador hacia arriba, haciendo girar la palanca sobre su eje y produciéndose el establecimiento o interrupción del circuito de mando según cierren o abran los contactos. Si requiriese una acción de doble efecto, se dispondrían dos contactos fijos situados uno a un nivel superior y el otro a uno inferior al correspondiente al contacto móvil al extremo de la palanca. Durante el tiempo en que el flotador se encuentre en su posición alta, cerrará el circuito correspondiente al contacto inferior, mientras que se cerrará el correspondiente al superior cuando el flotador esté en su posición baja.

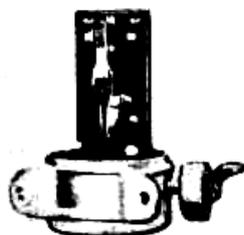


Fig. 4-1 Interruptor de flotador, tipo palanca. (Cutler-Hammer, Inc.)

Los interruptores de flotador requieren algún medio de ajuste del margen de funcionamiento, es decir, la distancia de desplazamiento del flotador entre el cierre y la apertura de los contactos. En el interruptor de flotador simple, esto se consigue ordinariamente suspendiendo el flotador de una varilla que pasa a través de un agujero del brazo del propio interruptor. Entonces si se colocan topes encima y debajo de los brazos de la varilla del flotador, la distancia que éste recorre antes de que se abra el interruptor se puede ajustar separando o acercando los topes.

Otro sistema que se emplea en la construcción del interruptor de flotador para obtener mayor margen de ajuste es suspender al flotador de una cadena o cable que se arrolla a una polea. La acción del flotador se transforma entonces en un movimiento giratorio que acciona al interruptor del tipo de tambor (fig. 4-2). Como se puede observar en las fotografías de la figura, éstas representan sólo dos de las muchas maneras posibles de conseguir que el flotador accione a uno o varios juegos de contactos.

Cualquier disposición con la que se consiga esto se puede clasificar como interruptor de flotador y utilizar como dispositivo piloto. Sin embargo, hay que señalar que también se construyen interruptores de flotador con contactos más dimensionados que permiten el control primario de

los motores de potencia fraccionaria. Cuando se les utiliza para control primario, se conectan entre la línea y el motor, siendo su misión simplemente establecer e interrumpir el circuito del motor en respuesta a la acción del flotador.

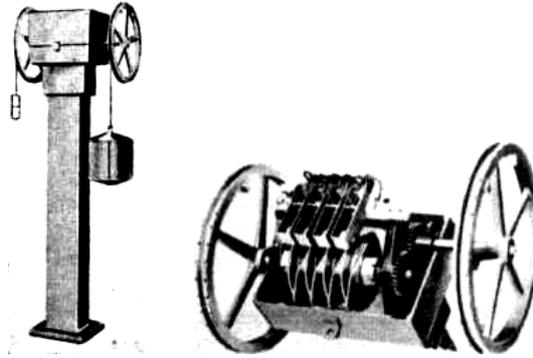


Fig. 4-2 Interruptor de flotador, tipo tambor. (Cutler-Hammer, Inc.)

Es conveniente, al estudiar los dispositivos piloto, y siempre que sea posible, disponer de diferentes tipos de ellos y estudiar los dispositivos mecánicos empleados en su funcionamiento. Se observará que varían grandemente en el diseño mecánico, pero todos pertenecen al mismo tipo básico de funcionamiento que el aquí descrito.

2.9.2 Interruptores de Presión (PREÓSTATOS)

Los interruptores de presión, lo mismo que los de flotador, son considerados en general dispositivos piloto. No obstante, también se construyen para control primario de motores de potencia fraccionaria. Con estos interruptores, como sucede con todos, también existen grandes diferencias de diseño mecánico de unos a otros. Pueden clasificarse en tres tipos fundamentales según su mecanismo detector.

Los pertenecientes al primer grupo se basan en la acción de un fuelle que se expande o contrae en respuesta al aumento o disminución de presión. Los contactos están montados en el extremo de una palanca, que es empujada hacia arriba por el fuelle. El fuelle se expande, moviendo a la palanca, y ésta establece o interrumpe los contactos, dependiendo de que estén normalmente abiertos o normalmente cerrados.

El segundo tipo utiliza un diafragma en lugar del fuelle (fig. 4-4) por lo demás, la acción del interruptor es idéntica tanto con muelle como con diafragma. La ventaja de un tipo sobre el otro depende mayormente de la instalación y de las presiones que intervienen y esto habrá que considerarlo en cada instalación.

Se observará que los interruptores de presión tienen un margen definido de presión dentro del cual pueden funcionar. Por ejemplo, un interruptor de presión construido para funcionar desde una presión muy baja hasta 1 kg/cm^2 de presión no será adecuado para utilizarlo en una tubería en que la presión pueda variar de 10 a 20 kg/cm^2 .

Un tercer tipo de interruptor de presión, el tubo bourdon, emplea un tubo de forma semicircular y diseñado de modo que cuando la presión aumenta tienda a enderezarse. Esta acción se transforma en un movimiento giratorio por un varillaje que dispara un interruptor de mercurio montado dentro de la caja o envolvente.

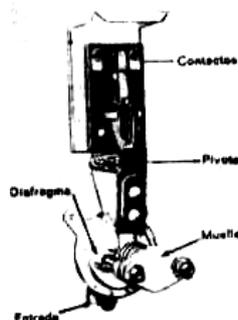


Fig. 4-4 Presostato tipo diafragma. (Cutler-Hammer, Inc.)

2.9.3 Interruptor Límite

Los interruptores de límite o de fin de carrera están contruidos de modo que un brazo, palanca o rodillo saliente del interruptor tropiece o sea empujado por alguna pieza del equipo móvil. El movimiento de este dispositivo se transfiere mediante, sistema de palancas a un juego de contactos, haciendo que éstos se abran o se cierren, según sean normalmente abiertos o normalmente cerrados (fig. 4-5).

Hay una gran variación en el diseño interior y en la acción de estas unidades, pero también pueden clasificarse en dos tipos básicos en cuanto a su diseño mecánico. En las unidades no destinadas a un control de precisión, generalmente sus contactos están accionados directamente por la palanca o rodillo de la unidad. La mayoría de los fabricantes también construyen unidades de precisión que emplean un microinterruptor para permitir el funcionamiento mediante movimientos muy pequeños del tope o rodillo exterior del interruptor de límite. Lo mismo que con los interruptores de flotador, hay interruptores de límite que están contruidos de modo que se arrolle un cable o cadena sobre un carrete que forma parte del propio interruptor de límite. Este movimiento de la cadena o cable se transforma en movimiento giratorio para el accionamiento del interruptor del tipo de tambor. Este tipo de interruptor de límite se utiliza cuando entre las posiciones límite del interruptor se debe prever un desplazamiento grande.

Muchos interruptores de límite de este tipo están acoplados por medio de un engranaje de reducción a fin de que sean necesarias muchas revoluciones de la máquina para producir una revolución del interruptor de límite o de fin de carrera, con lo que se consigue extender el margen de control.



Fig. 4-5 Interruptor fin de carrera. (Square D Co.)

Otro tipo de interruptor de límite (fig. 4-6) que emplea un interruptor del tipo de tambor está diseñado para montarlo directamente en un eje de modo que la rotación de la máquina haga girar el eje del interruptor. Los contactos de este tipo de interruptor de límite deben estar

diseñados de modo que sean accionados por una leva para su cierre y apertura durante la rotación continua en el mismo sentido.

2.9.4 Interruptor de Caudal

La finalidad de un interruptor de caudal es detectar el caudal líquido, aire o gas a través de una tubería o conducto y transformarlo en la acción de apertura o cierre de un juego de contactos. Un tipo de interruptor de caudal (fig. 4-7) utiliza una palanca con contactos en uno de sus extremos y una paleta o aspa en el otro. El extremo de la paleta se introduce en el tubo de modo que el flujo de líquido o gas actuando sobre ésta haga bascular la palanca y abra o cierre los contactos del accionador por el otro extremo.

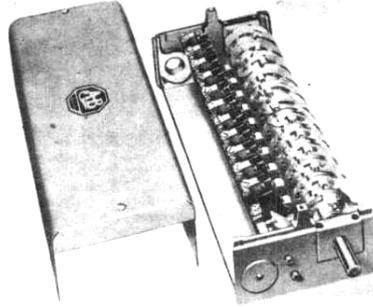


Fig. 4-6 interruptor de limite, tipo tambor, (Allen-BracUey Co.)

Otro tipo de interruptor de caudal utiliza la diferencia de presión producida al pasar el líquido a través del orificio de un plato o diafragma instalado en el tubo. Desde cada lado del orificio parte un tubo hasta el interruptor de presión. La correspondiente diferencia de presión actúa sobre el interruptor de presión en un sentido o en otro, abriéndose o cerrando sus contactos, lo que depende de su disposición.

2.9.5 Interruptor de Velocidad Cero

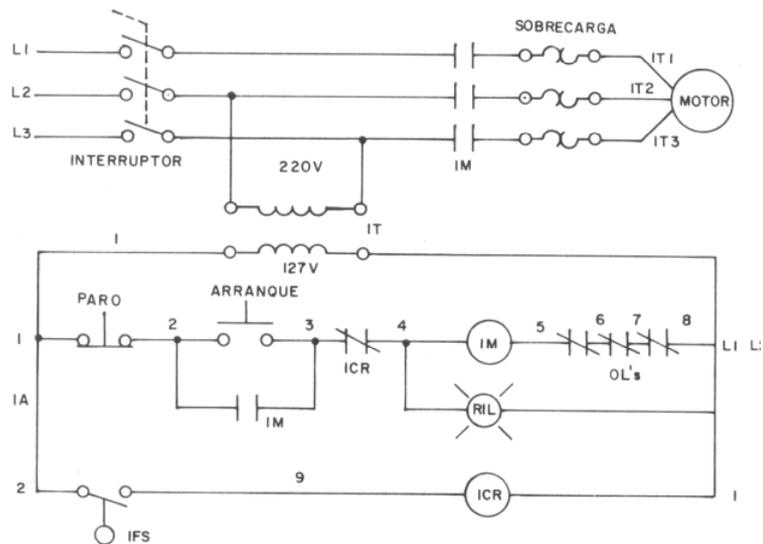
En el frenado por contracorriente o contramarcha se emplea un dispositivo especial de control llamado interruptor de velocidad cero (figura 4-12), siendo accionado por el eje del motor o por el de una polea accionada a su vez por algún elemento de la máquina. La rotación del eje hace que se cierre un juego de contactos, que mientras no se actúe sobre el pulsador o interruptor de paro no ejerce acción alguna sobre el circuito de control del motor. Al accionar el pulsador o interruptor de paro, mediante los mencionados contactos cerrados del interruptor de velocidad cero, el motor queda momentáneamente conectado para su giro en sentido contrario, lo que origina una fuerte acción de frenado, y al llegar el eje del motor a velocidad nula, abren los contactos del interruptor de velocidad cero que origina la desconexión de la red al motor impidiendo que empiece el giro en sentido contrario. Este frenado se emplea en muchas máquinas de precisión tales como prensas, fresadoras y otras máquinas herramienta. La finalidad de este tipo de frenado es obtener una parada brusca. Antes de adoptar este tipo de frenado debe comprobarse si la máquina y el motor están contruidos para soportar esta operación brusca y que dicho frenado no implique peligro para el operador de la máquina.



Fig. 4-12 Interruptor de velocidad cero. (Cutler-Hammer, Inc.)

2.10 Diagramas Eléctricos para Control de Motores

El concepto mas simple del control de motores eléctricos se refiere a los métodos de arranque, que básicamente se dividen de acuerdo al voltaje con que se alimenta al motor durante su arranque en: arranque a voltaje pleno y arranque a voltaje reducido, la forma de representar los circuitos de control de los motores, desde el caso mas elemental hasta el mas complejo, es por medio de diagramas. En general, cualquier sistema de control se puede representar para su desarrollo y fácil comprensión por cuatro tipos de diagramas, dependiendo del grado de detalle que se quiera obtener, estos diagramas se les conoce en el lenguaje técnico del control de motores.



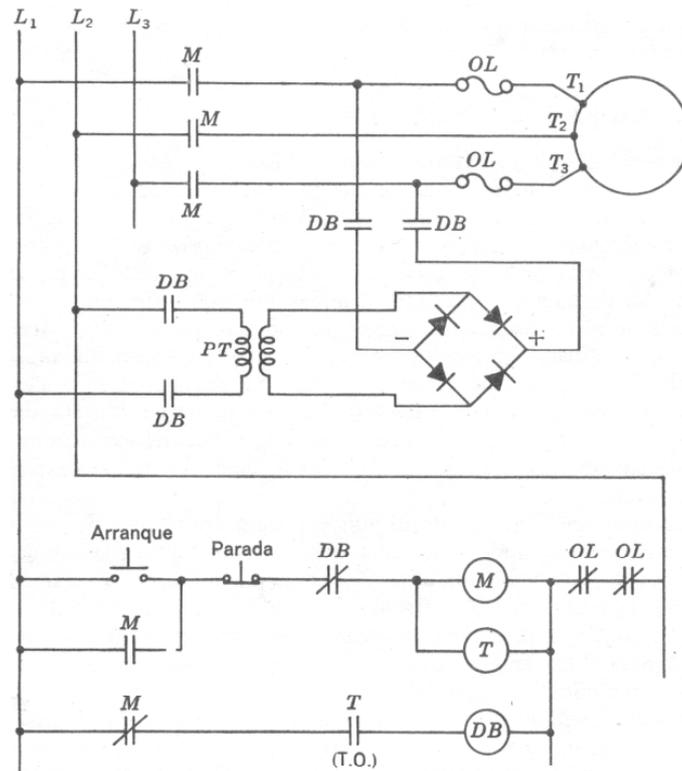
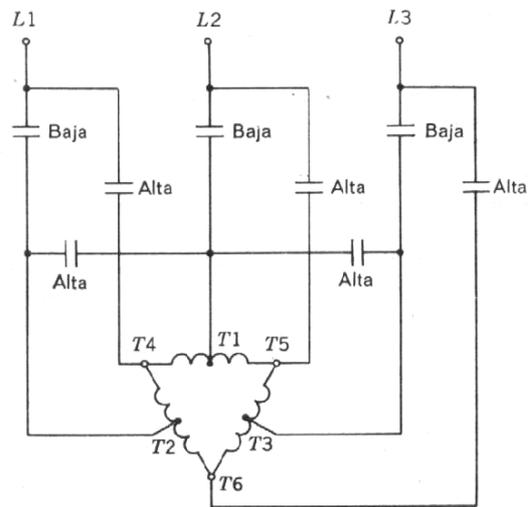


Fig. 7-3 Análisis del circuito 3. Freno dinámico para motor jaula. (Cutler-Hammer, Inc.)

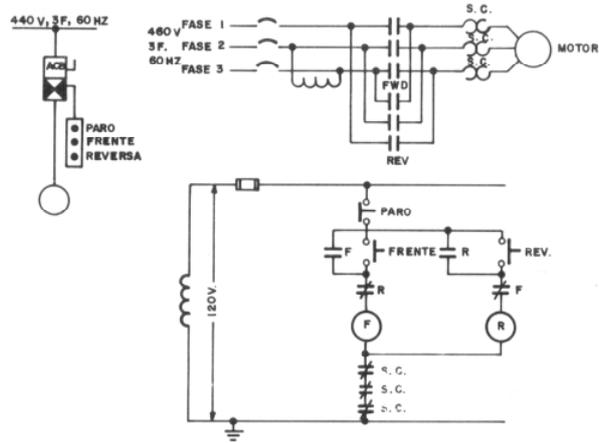


Polos consecuentes: 2 velocidades

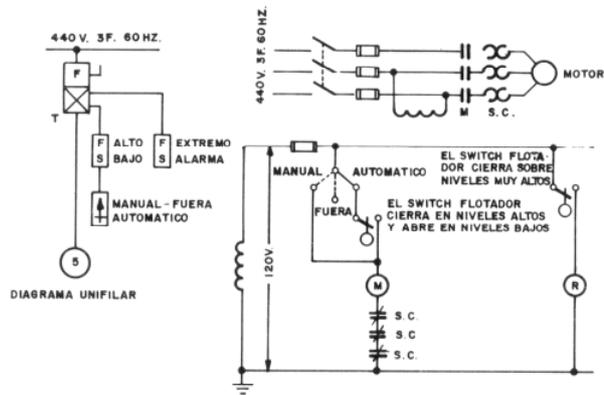
4 polos: alta velocidad 8 polos: baja velocidad

Fig. 2-3 Control de motor jaula de dos velocidades.

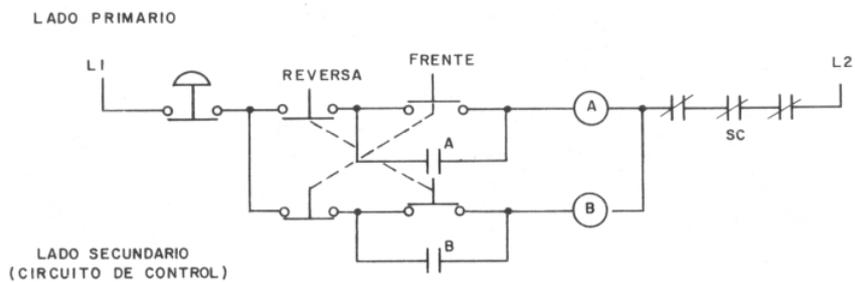
Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico



CONTROL PARA OPERACION EN AMBOS SENTIDOS DE GIRO DE UN MOTOR DE INDUCCION



ARRANCADOR DE MOTOR CON CONTROL AUTOMATICO



CONTROL REVERSIBLE DE MOTORES DE INDUCCION

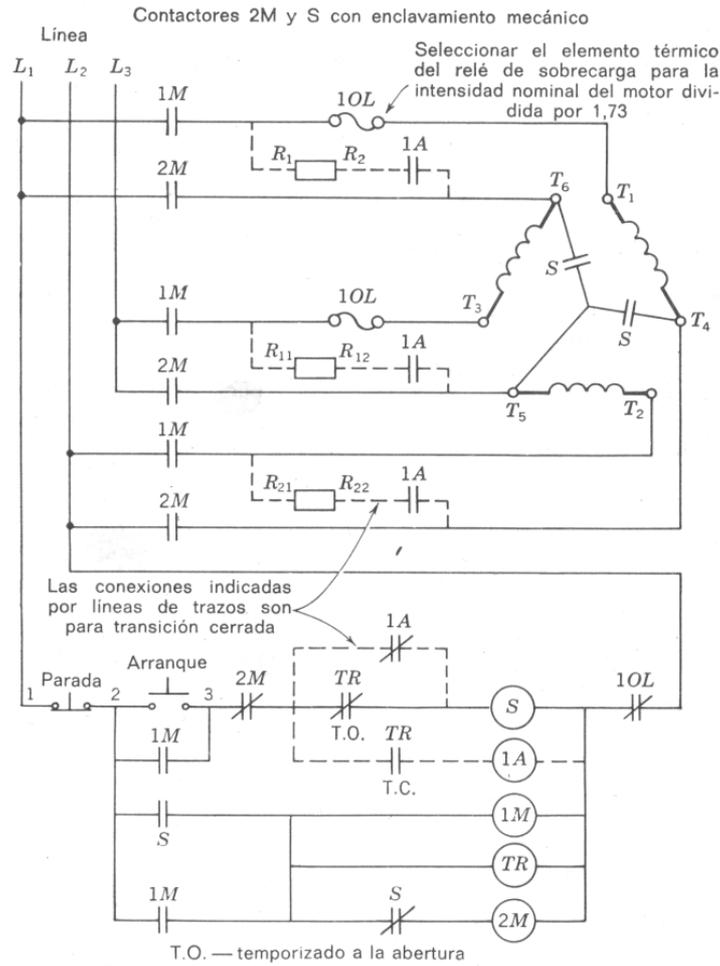
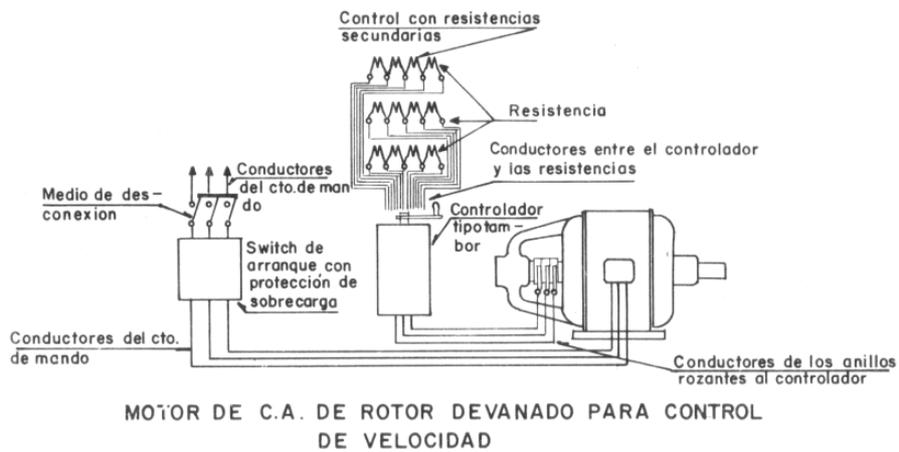
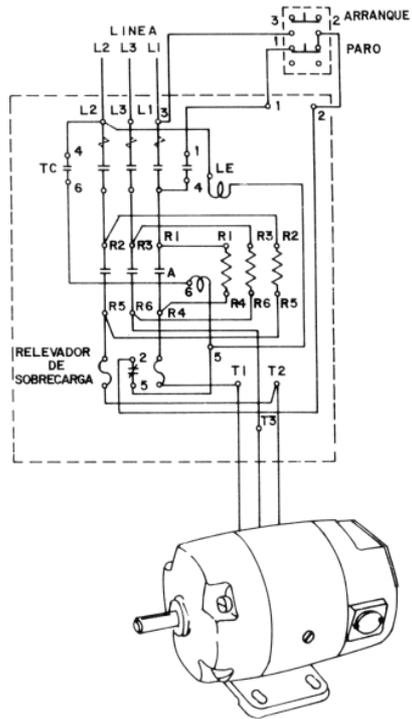


Fig. 7-4 Análisis del circuito 4. Arrancador estrella-triángulo para motor jaula. (Cutler-Hammer, Inc.)

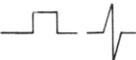


Dispositivos de Control y Protección del Motor Eléctrico



DIAGRAMAS DE CONEXIONES DE UN ARRANCADOR RESISTENCIAS PARA MOTOR TRIFASICO JAULA DE ARD

2.11 Simbología.

	Conductores que se cruzan
	Conductores conectados
	Bobina de operación
	Contactador
	Contacto normalmente abierto
	Contacto normalmente cerrado
	Desconectador
	Estación de botones normalmente abierto (cierre momentáneo)
	Estación de botones normalmente cerrado (De apertura momentánea)
	Fusible
	Elemento térmico
	
	MOTOR DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA
	MOTOR DE INDUCCION DE ROTOR DEVANADO
	INTERRUPTOR
	TRANSFORMADOR
	BATERIA
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
	DIODO
	TIRISTOR ÓRECTIFICADOR CON SEMICONDUCTOR

Capítulo 3

Clasificación y Funcionamiento de Motores Trifásicos de Inducción de Corriente Alterna.

Las máquinas asíncronas, o de inducción, han tenido un éxito espectacular en su implantación como elemento motor en las aplicaciones industriales de cierta potencia. De hecho, la práctica totalidad de los motores eléctricos de las características señaladas son motores de inducción.

¿Cuál es la cualidad que ha hecho imponerse a las máquinas asíncronas en el segmento de las aplicaciones industriales de media y gran potencia? La respuesta a esta pregunta está en la constitución de las máquinas de inducción que las hace: **robustas, compactas, y sin apenas mantenimiento.**

Efectivamente, un motor de inducción no tiene ningún contacto móvil (ni escobillas, ni anillos rozantes); el rotor viene a ser un simple pedazo de hierro con algunas incrustaciones de aluminio o cobre.

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor y un estator en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° . Cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Entonces se da el *efecto Laplace* (ó efecto motor): todo conductor por el que circula una corriente eléctrica, inmerso en un campo magnético experimenta una fuerza que lo tiende a poner en movimiento. Simultáneamente se da el *efecto Faraday* (ó efecto generador): en todo conductor que se mueva en el seno de un campo magnético se induce una tensión.

El rotor puede ser de dos tipos, de jaula de ardilla o bobinado.

El campo magnético giratorio gira a una velocidad denominada de sincronismo. Sin embargo el rotor gira algo más despacio, a una velocidad parecida a la de sincronismo. El hecho de que el rotor gire más despacio que el campo magnético originado por el estator, se debe a que si el rotor girase a la velocidad de sincronismo, esto es, a la misma velocidad que el campo magnético giratorio, el campo magnético dejaría de ser variable con respecto al rotor, con lo que no aparecería ninguna corriente inducida en el rotor, y por consiguiente no aparecería un par de fuerzas que lo impulsaran a moverse.

Constitución

En este tipo de máquinas se sitúa un devanado polifásico inductor (normalmente en el estator), que es el encargado de generar el campo magnético que unirá (magnéticamente) rotor y estator. Al devanado inductor se conecta un sistema de tensiones alternas de forma que el campo magnético que se cree, sea giratorio. Normalmente en el rotor, se sitúan, dentro de ranuras realizadas en el material magnético, una serie de conductores eléctricos en forma de jaula de ardilla o como bobinas cuyos extremos se cortocircuitan.

Funcionamiento

El motor asíncrono consta de un estator, ranura donde se alojan las espiras del bobinado y este se reparte en tres secciones iguales para formar un sistema trifásico que será conectado a una red de igual tipo. El rotor ofrece el aspecto de una jaula de ardilla, al ser conectado el conjunto a la red produce los siguientes fenómenos:

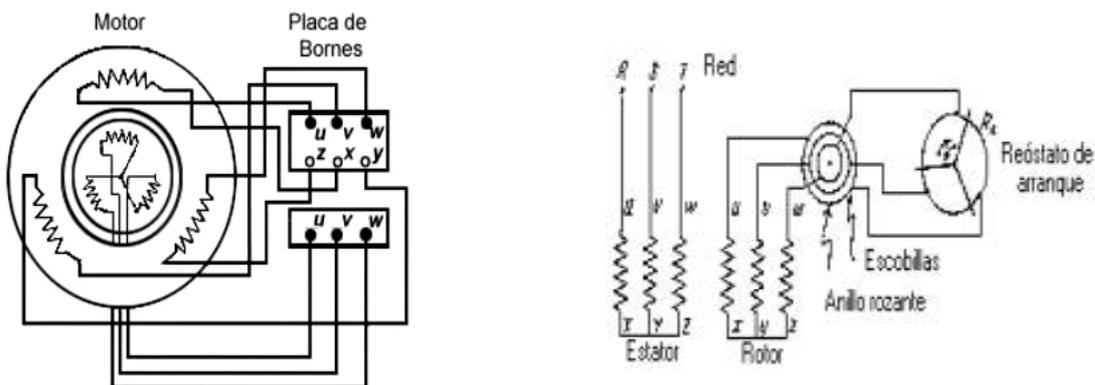
1. En el estator se forma un campo magnético giratorio que barrerá los conductores del rotor que está detenido. Cualquier conductor que es cortado por un campo magnético da lugar a la inducción de una f.e.m. (Fuerza electromotriz inducida) y como todas las barras del rotor, están en cortocircuito circularán por ellas intensa corriente.
2. Ello da lugar a la formación de un nuevo campo magnético propio del rotor. Como los conductores del rotor están dentro del campo del estator, se origina una acción dinámica que tenderá a oponerse a las causas que lo originan.
3. Estos conductores serán desplazados por una fuerza actuante y obligados a girar en el sentido que lo hace el campo del estator.
4. Las fuerzas de repulsión que impulsan al rotor existirán mientras el campo giratorio corta los conductores del rotor y desaparecerán si este gira a igual velocidad que dicho campo. Como el efecto de repulsión tiende a anularse por si mismo llevara al rotor a la velocidad del campo giratorio o sea a la velocidad del sincronismo pero al llegar a ella dejan de ser cortados los conductores del rotor desaparece el efecto motriz y el rotor pierde algo de velocidad. En cuanto esto sucede vuelve a aparecer la acción dinámica que lo impulsa a seguir el campo giratorio y se vuelve a producir el fenómeno.

Sometido a una corriente alterna, los polos del estator se trasladan continuamente creando un campo móvil llamado "campo giratorio". Si un cilindro de material conductor se introduce en el espacio libre que queda en el interior del estator, las líneas de fuerza magnéticas cortarán dicho cilindro induciendo fuerzas electromotrices en el mismo, haciendo girar el cilindro en el mismo sentido que giran los polos. Si el cilindro girara a la misma velocidad que los polos, el flujo magnético dejaría de cortar transversalmente al cilindro, desapareciendo la corriente inducida y por lo tanto el "par motor". Por este motivo se llama a este motor "asincrónico", en contraposición con el "sincrónico", que gira a la misma velocidad de la red.

La velocidad de giro del motor se mide en revoluciones por minuto (RPM) y cumple con la siguiente fórmula:

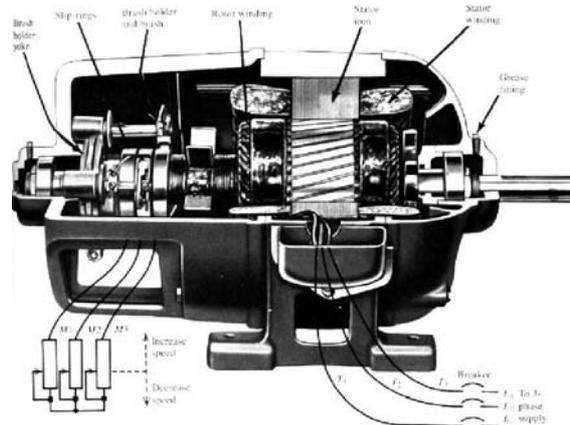
$$\text{RPM} = (f / 2n) * 60$$

Donde: f = ciclos por segundo (es la frecuencia de la red) y n = número de polos.



Motor de Inducción con Rotor Bobinado.

El motor de rotor bobinado tiene un rotor constituido en vez de por una jaula, por una serie de conductores bobinados sobre él, en una serie de ranuras situadas sobre su superficie. De esta forma se tiene un bobinado en el interior del campo magnético del estator, del mismo número de polos (ha de ser construido con mucho cuidado), y por tanto movimiento. Es mucho más complicado de fabricar y mantener que el de jaula de ardilla, pero permite el acceso al mismo desde el exterior a través de unos anillos que son los que cortocircuitan los bobinados, lo que tiene muchas ventajas, como permitir la utilización de un reostato de arranque que permite modificar velocidad y par en los arranques.



Características de Ambos Motores

Motor de Jaula de ardilla:

Es el más común, consiste en un núcleo de hierro laminado, en cuya periferia se efectúan ranuras donde se colocan conductores o barras de cobre, que se ponen en cortocircuito en sus extremos soldándolas a anillos de cobre.

Al no tener colectores, escobillas, etc, son muy simples y están prácticamente libres de fallas. Funcionan a velocidad prácticamente constante y se utilizan para el accionamiento de compresores, ventiladores, bombas, etc.

Motor de Rotor Bobinado:

El motor de jaula de ardilla tiene el inconveniente de que la resistencia del conjunto es invariable, no son adecuados cuando se debe regular la velocidad durante la marcha.

En estos casos se utiliza el motor de rotor bobinado que, como su nombre lo indica, está constituido por un bobinado trifásico similar al del estator, cuyos arrollamientos aislados terminan en anillos rozantes que se conectan por medio de escobillas a un dispositivo de control.

Este dispositivo permite:

1. Aumentar la cúpula de Arranque.
2. Variar la velocidad del motor en marcha.

Estas características los hacen útiles para aplicaciones en máquinas de gran inercia inicial y variación de velocidad, como grúas, elevadores, mecanismos pesados, etc.

Motor de Inducción con Rotor Jaula de Ardilla.

Es sin duda el más común de todos los motores eléctricos, por su sencillez y forma constructiva. Elimina el devanado en el rotor o inducido. Las planchas magnéticas forman el núcleo del rotor, una vez ensambladas dejan unos espacios cilíndricos que sustituyen a las ranuras de los rotores bobinados, por estas ranuras pasan unas barras de cobre (o aluminio) que sobresalen ligeramente del núcleo, estas barras o conductores están unidos en ambos lados por unos anillos de cobre. Se denomina Jaula de Ardilla por la similitud que tiene con una jaula.

En los motores de jaula de pequeña potencia, las barras son reemplazadas por aluminio inyectado igual que los anillos de cierre, a los que se les agregan unas aletas que actúan a su vez en forma de ventilador.

Las ranuras o barras pueden tener diferentes formas y lo que se pretende con ello es mejorar el rendimiento del motor, especialmente reducir las corrientes elevadas que producen los motores de jaula en el momento de arranque. Cuando el inducido está parado y conectamos el estator tienen la misma frecuencia que la que podemos medir en la línea, por lo tanto, la autoinducción en el rotor será muy elevada, lo que motiva una reactancia inductiva que es mayor donde mayor es el campo. De la manipulación de las ranuras y en consecuencia las barras dependerán que las corrientes sean más o menos elevadas, lo que en definitiva es el mayor problema de los motores de jaula.

Si analizamos el siguiente cuadro, se podría pensar en un motor que abarca las dos alternativas. Este motor existe, es el motor asincrónico sincronizado, su construcción es muy parecida a la del motor asincrónico con el rotor bobinado con anillos rozantes, con la diferencia de que una de la tres fase está dividida en dos partes conectadas en paralelo.

¿Cuál es el inconveniente que presenta este motor por lo que sólo es utilizado en grandes instalaciones?, Que para pasar de asíncrono a síncrono, necesita una serie de equipos tales como: Resistencia para el arranque como motor asíncrono, conmutador que desconecta esta resistencia y conecta la C. C. a los anillos rozantes cuando trabaja como síncrono.

	POSITIVAS	NEGATIVAS
SINCRONICOS	Elevado factor de potencia. Funcionamiento económico.	No arranca con carga.
ASINCRONICOS	Fuerte arranque.	Falta de potencia mediana.

3.1 Constitución de un Motor Trifásico Jaula de Ardilla

El motor en jaula de ardilla consiste en un bastidor o estator fijo que reciben los devanados estacionarios, y un miembro rotatorio, llamado "rotor". Éste se construye de laminaciones de acero montadas rígidamente en la flecha del motor. El devanado del rotor del motor en jaula de ardilla consiste en muchas barras de cobre o aluminio montadas dentro de unas ranuras del

rotor, con las barras conectadas en cada extremo mediante un anillo continuo. La estructura de las barras del rotor con los anillos de los extremos, semeja una jaula de ardilla y esto da su nombre al motor.

Cuando fluye una corriente de 60 ciclos en el devanado del estator, se produce un campo magnético. Este campo gira alrededor del rotor a una velocidad de 3,600 revoluciones por minuto divididas entre el número de pares de polos del estator. Por tanto, en un sistema de 60 ciclos, un motor que posee un par de polos girará a 3,600 r.p.m uno de cuatro polos funcionará a 1,800 r.p.m. Este campo giratorio induce corriente en barras del rotor en corto circuito; el valor de las corrientes será mayor cuando el motor encuentre en reposo y disminuirá al aumentar la velocidad. Modificando la resistencia y reactancia del rotor, se pueden cambiar las características del motor, pero para cualquier diseño de rotor, estas características son fijas. No hay conexiones externas al rotor.

El motor de inducción con rotor tipo jaula está diseñado para poder ser empleado en la gran mayoría de aplicaciones donde se requiera motores de un rendimiento

Entre las principales características de esta línea están:

Rango de potencias desde 0,25 HP hasta 12.5 HP, 2.4 y 6 polos, Totalmente cerrados con ventilación exterior ó abiertos ODP, Factor de Servicio 1.15, Armazón de lámina rolada, Operación Continua, Aislamiento clase F, Dimensiones NEMA, Incremento de temperatura clase B, Ventilador de plástico anti-flama (Auto extingüible), Tensiones normalizadas: 115/208-230 V, Frecuencia normalizada: 60 Hz, Grado de protección interna IP55 para motores cerrados e IP 21 para motores abiertos.

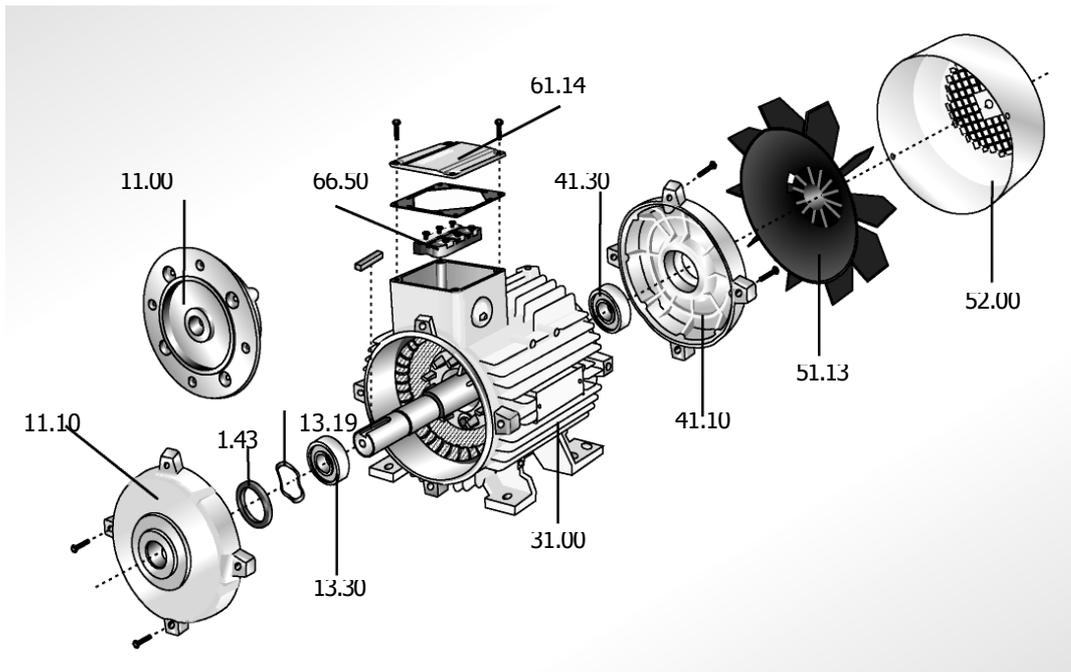
3.2. Funcionamiento

Estos motores provienen de los motores polifásicos de inducción. Suponiendo que un motor de inducción comercial de jaula de ardilla se haga arrancar con el voltaje nominal de las terminales de línea de su estator desarrollará un par de arranque que hará que aumente la velocidad. Al aumentar la velocidad a partir del reposo (100% de deslizamiento) disminuye su deslizamiento y su par disminuye hasta que se desarrolla un par máximo. Esto hace que la velocidad aumente todavía más, reduciéndose en forma simultánea el deslizamiento y el par que desarrolla el motor de inducción.

Los pares desarrollados al arranque y al valor de desplazamiento que produce el par máximo, en ambos exceden el par de la carga, por lo tanto la velocidad del motor aumentará hasta que el valor de desplazamiento sea tan pequeño que el par que se desarrolla se reduzca a un valor igual al aplicado por la carga. El motor continuará trabajando a esa velocidad y el valor de equilibrio del desplazamiento, hasta que aumente o disminuya el par aplicado.

La característica esencial que distingue a una máquina de inducción de los demás motores eléctricos es que las corrientes secundarias son creadas únicamente por inducción.

Cuando se desarrolló por primera vez el rotor de doble jaula de ardilla se creó tal variedad y adaptabilidad en el diseño de rotores para motores de inducción que ha llevado a diversas características de curva deslizamiento - par. Al dar la proporción correcta al devanado de doble jaula de ardilla, los fabricantes han desarrollado numerosas variaciones del diseño del rotor de vaciado o normal único. Estas variaciones tienen por consecuencia pares de arranque mayores o menores que el diseño normal y también menores corrientes de arranque.



- 1.43 Retenedor
- 11.00 Plátano AS/B5
- 11.10 Plátano AS/B3
- 13.19 Arandela
- 13.30 Rodamiento AS
- 31.00 Carcasa - Estator
- 41.10 Plátano BS/B3
- 41.30 Rodamiento BS
- 51.13 Ventilador
- 52.00 Caperuza
- 61.14 Tapa caja de bornes
- 66.50 Regleta de bornes

3.2.1 Clasificación

Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Eléctrica 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. Las propiedades de la construcción eléctrica y mecánica del rotor, en las cinco clases NEMA de motores de inducción de jaula de ardilla, se resume en la siguiente tabla 1. Los voltajes citados son para el voltaje nominal en el arranque.

MOTORES DE INDUCCION 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 producen 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.

MOTORES DE INDUCCION 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.

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.

Las aplicaciones típicas comprenden las bombas centrífugas de impulsión, las máquinas herramientas y los sopladores.

MOTORES DE INDUCCION 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. 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

MOTORES DE INDUCCION 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.

MOTORES DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA DE 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.

El rotor de clase F se diseñó para reemplazar 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.

Tabla 1 Características de los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla de acuerdo con la clasificación en letras NEMA.

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces el nominal)	Corriente de Arranque	Regulación de 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	De propósito general
C	2 - 2.5	3.5 - 5	4 - 5	De doble jaula alto par
D	2.5 - 3.0	3 - 8	5 - 8 , 8 - 13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2 - 4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.

Clasificación de los Motores de Inducción de Jaula de ardilla de Acuerdo en el Enfriamiento y el Ambiente de Trabajo.

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, y en general todos los motores eléctricos, se pueden clasificar también de acuerdo con el ambiente en que funcionan, sí también como en los métodos de enfriamiento.

La temperatura ambiente juega un papel importante en la capacidad y selección del tamaño de armazón para un dínamo, parte importante del motivo es que la temperatura ambiente influye en la elevación permisible de temperatura por sobre los 40° C normales. Por ejemplo un dínamo que trabaje a una temperatura ambiente de 75° C empleando aislamiento clase B tiene un aumento permisible de temperatura de tan solo 55° C. Si trabajara a su temperatura ambiente normal de 40 ° C se podría permitir un aumento de temperatura de 90° C, sin dañar su aislamiento.

También se hizo notar que la hermeticidad de la máquina afecta a su capacidad. Una máquina con un armazón totalmente abierto con un ventilador interno en su eje, permite un fácil paso de aire succionado y arrojado. Esta caja origina una temperatura final de trabajo en los devanados, menor en comparación que la de una máquina totalmente cerrada que evita el intercambio de aire con el exterior.

Esto da como resultado que existe una clasificación de los motores por el tipo de carcasa.

Tipo de Envoltentes o Carcasas:

La NEMA reconoce los siguientes:

Carcasa a prueba de agua. Envolvente totalmente cerrada para impedir que entre agua aplicada en forma de un chorro o manguera, al recipiente de aceite y con medios de drenar agua al interior. El medio para esto último puede ser una válvula de retención o un agujero en la parte más inferior del armazón, para conectar un tipo de drenado.

Carcasa a prueba de ignición de polvos. Envolvente totalmente cerrada diseñada y fabricada para evitar que entren cantidades de polvo que puedan encender o afectar desempeño o capacidad.

Carcasa a prueba de explosión. Envolvente totalmente cerrada diseñada y construida para resistir una explosión de un determinado gas o vapor que pueda estar dentro de un motor, y también para evitar la ignición de determinado gas o vapor que lo rodee, debido a chispas o llamaradas en su interior.



MOTOR TCCV-X TOTALMENTE CERRADO CON VENTILACION A PRUEBA DE EXPLOSION

Motor diseñado totalmente cerrado cuya armazón está construida para prevenir el paso de flama hacia el exterior y soportar explosión interna. Diseño NEMA B factor de servicio 1.0, para instalarse en áreas con sustancias explosivas. Normas de UNDERWRITERS LABORATORIES, INC. para atmósferas explosivas. NEMA clase I Grupo D ó C, Clase II Grupo E, F ó G. Hasta 600 H.P.

Carcasa totalmente cerrada. Envolvente que evita el intercambio de aire entre el interior y el exterior de ella pero que no es lo suficientemente cerrada para poderla considerar hermética al aire.



MOTOR TCCV TOTALMENTE CERRADO CON VENTILACION

Motor diseñado totalmente cerrado con ventilación exterior, mediante un ventilador como parte integral del motor, pero fuera del armazón y provisto de una cubierta. Diseño NEMA B, factor de servicio 1.0, para condiciones ambientales normales o especiales. Hasta 600 H. P.

Carcasa protegida al temporal. Envolvente abierta cuyos conductos de ventilación están diseñados para reducir al mínimo la entrada de lluvia o nieve y partículas suspendidas en el aire, y el acceso de estas en las partes eléctricas.

Carcasa protegida. Envolvente abierta en la cual todas las aberturas conducen directamente a partes vivas o giratorias, exceptuando los ejes lisos del motor, tienen tamaño limitado mediante

el diseño de partes estructurales o parrillas coladeras o metal desplegado etc. Para evitar el contacto accidental con las parte vivas

Carcasa a prueba de salpicaduras. Envolvente abierta en la que las aberturas de ventilación están fabricadas de tal modo que si caen partículas de sólidos o gotas de líquidos a cualquier ángulo no mayor de 100° con la vertical no puedan entrar en forma directa o por choque de flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.



MOTOR VERTICAL DE FLECHA HUECA

Motor vertical abierto a prueba de salpicaduras para bombas de pozo profundo, adaptado con flecha hueca para permitir paso a la flecha de la bomba, con trinquete, servicio continuo, para ambiente normal o especial.

Carcasa a prueba de goteo. Envolvente abierta en que las aberturas de ventilación se construye de tal modo que si caen partículas sólidas o gotas de líquido a cualquier ángulo no mayor de 15° con la vertical no pueda entrar ya sea en forma directa o por choque y flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.



MOTOR TIPO P ABIERTO A PRUEBA DE GOTEO

Motor diseñado con aberturas de ventilación que permiten el paso de aire externo para enfriar el embobinado del motor, no permite que gotas de un líquido o partículas sólidas penetren al motor. Diseño NEMA B. Factor de servicio 1.15, para condiciones ambientales normales. Hasta 600 H. P.

3.2.2 Selección de Velocidades Nominales de Motores De Inducción de Jaula de Ardilla o de Rotor de Devanado.

Dado que el deslizamiento de la mayor parte de los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, a la velocidad nominal en general de alrededor de un 5%, no se pueden alcanzar velocidades mayores a 3600 r.p.m. A 60 Hz, las velocidades son muy múltiplos de los inversos del números de polos en el estator: 1800, 1200, 900, 720 r.p.m. Etc. En general, se prefieren los motores de alta velocidad a los de baja velocidad, de la misma potencia y voltaje, debido a que:

1. Son de tamaño menor y en consecuencia de menor peso
2. Tienen mayor par de arranque
3. Tienen mayores eficiencias
4. A la carga nominal, tienen mayores factores de potencia

5. Son menos costosos.

Por estas razones se suele dotar de cajas de engranes o embrague a los motores de inducción de jaula de ardilla para permitir velocidades de eje de cerca sobre 3600 r.p.m. y por debajo de 200 r.p.m. En muchos usos o aplicaciones comerciales particularmente en capacidades de menor potencia, la caja de engranes o de embrague va incorporada en la caja del motor, formando unidad integral con este.

Efecto de la variación de Voltaje sobre la Velocidad de un Motor de Inducido de Jaula de Ardilla o de Rotor devanado

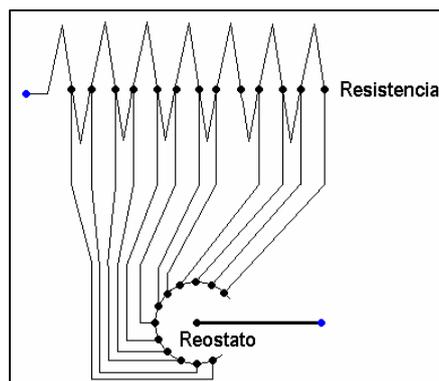
Si solo hacemos variar el voltaje del estator no se produce una variación correspondiente en el deslizamiento y la velocidad. Entonces si los demás factores permanecen constantes, el par del motor es directamente proporcional al cuadrado del voltaje. Esto significa que si se aumenta el voltaje en el estator, se produce un aumento mucho mayor en el par y, correspondientemente, una reducción en el desplazamiento, es decir el deslizamiento varía inversamente con el cuadrado del voltaje o en proporción al inverso del par.

El cálculo del deslizamiento con un cambio en el voltaje del estator (y del rotor) es un tanto más complejo, porque el deslizamiento varía también con la resistencia del rotor, el voltaje del estator y/o el par.

Regulación de la Velocidad de los Motores de C. A.

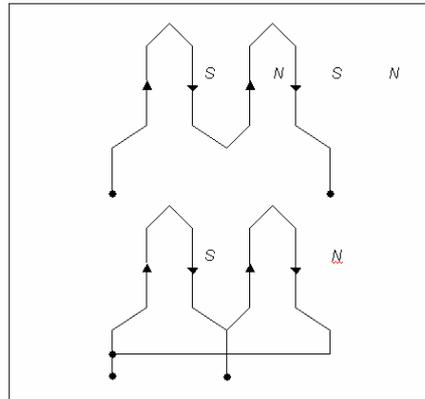
❖ Regulación Reostática

1. Utilizada para regulación a par constante
2. La gama de regulación no es constante.
3. Grandes pérdidas de energía.
4. Aplicación en servicio intermitente.
5. La progresividad de regulación depende del número de escalonamientos de la resistencia.

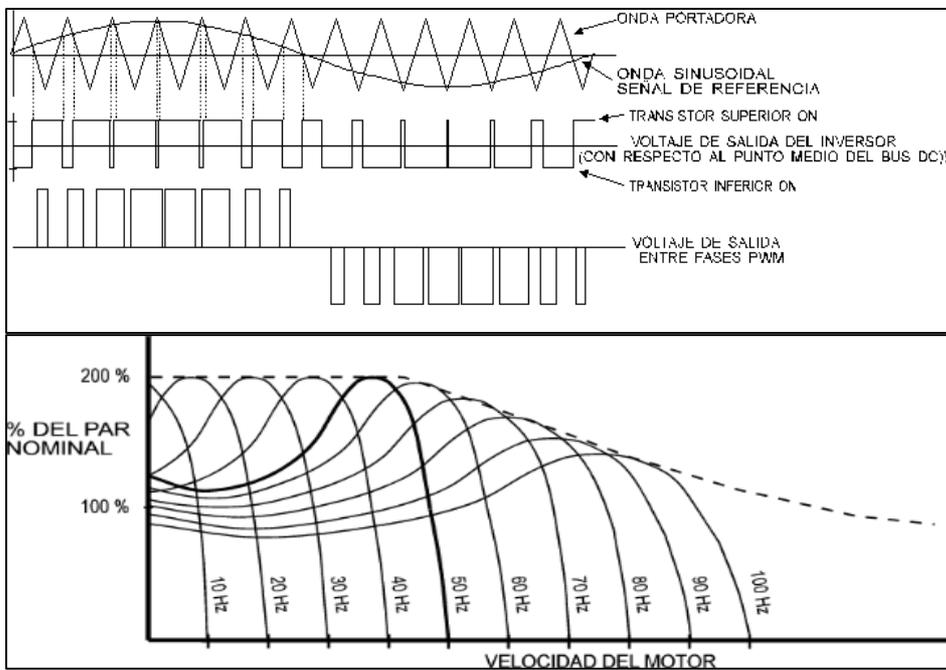


❖ Regulación por cambio del número de polos

1. No hay progresividad en el aumento ó disminución de la Velocidad.
2. Poca aplicabilidad en procesos precisos y delicados.



❖ Regulación por cambio del número de polos



Clasificación y Funcionamiento

<i>Motores trifásicos con rotor en jaula de ardilla</i>										
Tipo	Potencia KW	Potencia HP	Velocidad min⁻¹	Rendimiento %	Factor de potencia Cos f	Intensidad de la corriente (380 V) A	Intensidad de la corriente inicial Ia/In	Momento de rotacion Inicial Cm/Cn	Momento de rotacion maxima Cm/Cn	Peso kg
2 – Polos, 3000 min⁻¹										
RA 71A2	0.37	0.5	2835	71.0	0.78	1.0	5.0	2.7	2.7	6.8
RA 71B2	0.55	0.75	2815	74.0	0.82	1.4	5.0	2.5	2.6	7.8
RA 80A2	0.75	1.0	2820	74.0	0.83	1.9	5.3	2.5	2.7	8.7
RA 80B2	1.1	1.5	2800	77.0	0.86	2.5	5.2	2.6	2.8	10.5
RA 90S2	1.5	2.0	2835	79.0	0.87	3.3	6.5	2.8	3.0	13
RA 90L2	2.2	3.0	2820	82.0	0.87	4.7	6.5	3.2	3.4	15
RA 100L2	3.0	4.0	2835	82.6	0.86	6.5	6.5	2.9	3.2	17
RA 112M2	4.0	5.5	2865	85.0	0.90	8.0	6.0	2.0	3.0	39
RA 132SA2	5.5	7.5	2895	86.0	0.89	11	6.5	2.4	3.0	43
RA 132SB2	7.5	10.0	2895	87.0	0.89	15	7.0	2.5	3.2	49
RA 160MA2	11.0	15.0	2940	88.4	0.89	22	6.8	2.0	3.3	112
RA 160MB2	15.0	20.0	2940	90.0	0.86	29	7.5	2.0	3.2	116
RA 160L2	18.5	25.0	2940	90.0	0.88	35	7.5	2.0	3.2	133
RA 180M2	22.0	30.0	2940	90.5	0.89	42	7.5	2.1	3.5	147
RA 200LA2	30.0	40.0	2940	91.4	0.88	57	7.0	2.3	3.6	205
RA 200LB2	37.0	50.0	2950	92.0	0.88	70	7.5	2.3	3.2	230
RA 225M2	45.0	60.0	2940	92.7	0.90	83	7.5	2.4	3.3	255
RA 250M2	55.0	75.0	2955	93.0	0.90	100	7.5	2.3	4.0	320
RA 280S2	75.0	100.0	2965	94.0	0.89	136	7.5	2.6	4.0	450
RA 280M2	90.0	125.0	2960	94.5	0.91	159	7.5	2.7	4.0	490
RA 315S2	110.0	150.0	2970	94.0	0.90	198	8.0	3.0	4.0	590

Capítulo 3

RA 315M2	132.0	180.0	2970	94.0	0.90	237	8.5	2.5	3.0	620
RA 315LA2	160.0	220.0	2970	95.5	0.90	282	7.5	2.2	3.8	905
RA 315LB2	200.0	270.0	2970	95.5	0.90	353	7.5	2.2	3.8	1080
4 - Polos, 1500 min⁻¹										
RA 71A4	0.25	0.35	1410	63.0	0.72	0.8	4.0	1.9	2.3	6.4
RA 71B4	0.37	0.5	1410	65.0	0.74	1.2	4.0	1.9	2.3	7.0
RA 80A4	0.55	0.75	1410	70.0	0.78	1.5	4.0	1.7	2.0	8.5
RA 80B4	0.75	1.0	1415	73.0	0.74	2.0	4.5	2.0	2.5	10
RA 90S4	1.1	1.5	1420	77.0	0.80	2.7	5.5	2.3	2.6	14
RA 90L4	1.5	2.0	1420	78.5	0.80	3.6	5.5	2.3	2.8	16
RA 100LA4	2.2	3.0	1390	81.0	0.82	5.2	5.0	2.2	2.6	17
RA 100LB4	3.0	4.0	1395	82.6	0.80	7.3	5.5	2.7	3.0	21
RA 112M4	4.0	5.5	1425	84.2	0.84	8.5	6.5	2.2	2.9	37
RA 132S4	5.5	7.5	1450	87.0	0.85	11.3	7.0	2.4	3.0	45
RA 132M4	7.5	10.0	1455	88.0	0.83	15.6	7.0	2.8	3.2	52
RA 160M4	11.0	15.0	1460	88.5	0.86	22	6.5	1.8	2.8	110
RA 160L4	15.0	20.0	1460	90.0	0.87	29	7.0	1.9	2.9	129
RA 180M4	18.5	25.0	1460	90.5	0.89	35	7.0	1.9	2.9	149
RA 180L4	22.0	30.0	1460	91.0	0.88	42	7.0	2.1	2.8	157
RA 200L4	30.0	40.0	1465	91.5	0.86	58	7.0	2.3	3.2	210
RA 225S4	37.0	50.0	1465	92.0	0.87	70	7.5	2.2	3.5	230
RA 225M4	45.0	60.0	1465	92.5	0.87	86	7.0	2.2	3.2	260
RA 250M4	55.0	75.0	1470	93.0	0.87	104	7.5	2.6	3.4	325
RA 280S4	75.0	100.0	1470	93.6	0.90	137	7.0	2.5	3.2	450
RA 280M4	90.0	125.0	1470	94.0	0.86	171	7.5	2.5	3.5	495

Clasificación y Funcionamiento

<i>Motores trifásicos con rotor en jaula de ardilla</i>										
Tipo	Potencia KW	Potencia HP	Velocidad min^{-1}	Rendimiento %	Factor de potencia Cos f	Intensidad de la corriente (380 V) A	Intensidad de la corriente inicial Ia/In	Momento de rotacion inicial Cm/Cn	Momento de rotacion máximo Cm/Cn	Peso kg
6 – Polos, 1000 min^{-1}										
RA 90S6	0.75	1.0	930	71.0	0.70	2.3	4.0	2.0	2.4	14
RA 90L6	1.1	1.5	930	72.0	0.72	3.2	4.0	2.0	2.4	16
RA100L6	1.5	2.0	925	72.0	0.71	4.5	4.5	2.4	2.8	18
RA112M6	2.2	3.0	960	80.0	0.75	5.6	5.0	1.8	2.3	33
RA132S6	3.0	4.0	960	83.0	0.79	7	5.9	2.2	2.6	41
RA132MA6	4.0	5.5	960	84.0	0.80	9	6.0	2.2	2.6	50
RA132MB6	5.5	7.5	950	84.0	0.82	12.2	5.0	2.2	2.5	56
RA160M6	7.5	10.0	970	87.0	0.80	16	6.0	2.0	2.8	110
RA160L6	11.0	15.0	970	88.5	0.82	23	6.5	2.2	2.9	133
RA180L6	15.0	20.0	970	89.0	0.82	31	7.0	2.3	3.0	155
RA200LA6	18.5	25.0	970	87.0	0.82	39	5.5	1.8	2.7	190
RA200LB6	22.0	30.0	970	87.0	0.84	46	6.0	2.0	2.5	195
RA225M6	30.0	40.0	970	89.5	0.86	59	6.5	2.0	2.7	240
RA250M6	37.0	50.0	980	91.0	0.84	74	6.5	2.0	2.3	308
RA280S6	45.0	60.0	980	92.5	0.81	91	6.0	2.4	2.5	450
RA280M6	55.0	75.0	980	91.0	0.77	126	5.5	2.7	2.8	455
RA315S6	75.0	100.0	985	93.2	0.80	154	6.5	2.7	2.8	570
RA315M6	90.0	125.0	985	93.8	0.89	164	7.6	2.6	3.0	705
RA 315LA6	110.0	150.0	985	94.0	0.89	199	7.0	1.4	2.7	890
RA 315LB6	132.0	180.0	990	94.5	0.89	238	7.0	1.5	2.8	960
8– Polos, 750 min^{-1}										
RA 160MA8	4.0	5.5	730	84.0	0.71	10	4.8	1.8	2.2	107
RA 160MB8	5.5	7.5	730	84.0	0.71	14	4.8	1.8	2.2	112
RA 160L8	7.5	10.0	730	85.0	0.73	18	5.5	1.8	2.4	131
RA 180L8	11.0	15.0	730	87.0	0.75	26	5.5	1.8	2.4	158
RA 200L8	15.0	20.0	730	88.0	0.80	32	5.7	2.0	2.5	195
RA 225S8	18.5	25.0	730	88.5	0.80	38	5.8	2.1	2.5	210
RA 225M8	22.0	30.0	725	89.5	0.77	44.5	6.0	2.0	2.4	225
RA 250M8	30.0	40.0	730	90.0	0.80	60	5.5	2.2	2.2	360
RA 280S8	37.0	50.0	735	91.5	0.84	73	5.5	1.7	2.5	430
RA 280M8	45.0	60.0	735	92.0	0.80	93	6.0	1.8	2.6	470
RA 315S8	55.0	75.0	735	93.0	0.80	113	6.5	1.9	3.0	570

3.2.3 Aplicaciones Industriales de los Motores de Jaula de Ardilla.

Para trabajo de velocidad variable, como es grúas, malacates, elevadores y para velocidades ajustables, las características del motor de corriente continua son superiores a las del motor de inducción. Incluso en este caso, puede convenir y ser deseable utilizar motores de inducción ya que sus características menos deseables quedan más que compensadas por su sencillez y por el hecho de que la corriente alterna es más accesible y para obtener corriente continua, suelen ser necesarios los convertidores. Cuando haya que alimentar alumbrados y motores con el mismo sistema de corriente alterna, se utiliza el sistema trifásico, de cuatro conductores de 208/120 V. Esto permite tener 208 V trifásico para los motores y 120 V de fase a neutro para las lámparas.

La velocidad a plena carga, el aumento de temperatura, la eficiencia y el factor de potencia, así como el aumento máximo de torsión y la torsión al arranque, han sido desde hace mucho tiempo los parámetros de interés en la aplicación y compra de motores. Otras consideraciones es el factor de servicio. El factor de servicio de un motor de corriente alterna es un multiplicador aplicable a la potencia nominal en caballos. Cuando se aplica en esa forma, el resultado es una carga permisible en caballos en las condiciones especificadas para el factor de servicio. Cuando se opera a la carga del factor de servicio, con un factor de servicio de 1.15 o mayor, el aumento permisible en la temperatura ocasionado por resistencia es el siguiente: aislamiento clase A, 70 °C; clase B, 90 °C; clase F, 115 °C.

Se requieren alojamientos, conexiones, sellos, sistemas de ventilación, diseño electromagnético, etc., especiales cuando el motor va a funcionar en condiciones inusitadas de servicio, como la exposición a:

- a) Polvos combustibles, explosivos, abrasivos o conductores.
- b) Condiciones de pelusa o mugre excesivas, en donde la acumulación de mugre y polvo podría entorpecer la ventilación.
- c) Vapores químicos o vapores y gases inflamables o explosivos.
- d) Radiación nuclear.
- e) Vapor, aire cargado de sal o vapores de aceite.
- f) Lugares húmedos o muy secos, calor radiante, infestación de plagas o atmósferas que favorezca el crecimiento de hongos.
- g) Choques, vibraciones o carga mecánica externa, anormales.
- h) Empuje axial o fuerzas laterales anormales sobre el eje del motor.
- i) Desviación excesiva de la intensidad de voltaje.
- j) Factores de desviación del voltaje de línea que excedan de 10 %.
- k) Desequilibrio mayor que el 1 % en el voltaje de línea.
- l) Situaciones en donde se requiere bajo nivel de ruido.
- m) Velocidades mayores que la velocidad máxima especificada.
- n) Funcionamiento en un cuarto mal ventilado, en fosas o con el motor inclinado.
- o) Cargas torsionales de impacto, sobrecarga anormales repetidas, funcionamiento en reserva o frenado eléctrico.
- p) Funcionamiento con la máquina impulsada parada con cualquier devanado excitado en forma constante.
- q) Operación con ruido muy bajo transportado por la estructura o en aire.

3.2.4 Aspectos Generales de un Motor Jaula de Ardilla en la Industria.

Son muchos los factores que deben tenerse en cuenta al elegir un motor. La solución por lo general no es única, pudiendo existir diversas opiniones respecto al cual es el motor adecuado. Sin embargo, puede resumirse que el motor apropiado es aquel que ajusta a los requerimientos técnicos solicitados con un costo mínimo. Este último requisito no es factor difícil de calcular. Deben incluirse, no solo el costo de adquisición, sino también los gastos de explotación. El

costo de adquisición incluye la provisión de cualquiera de los equipos de alimentación y control necesarios para hacer funcionar al motor.

Los gastos de explotación incluyen asimismo los intereses del equipo principal y edificios y los gasto por la energía consumida en los circuitos de la maquina y en su control.

Los valores del factor de potencia y el rendimiento son importantes. El mantenimiento es también un gasto corriente que explotación y normalmente es mas elevado cuanto mas complicado es el equipo de control, o cuando las maquinas son de anillos rozantes o tienen colectores.

Los gastos de instalación también pueden ser decisivos. Por ejemplo: se necesitan cimentaciones especiales para los equipos motor- generador, pero no para los equipos convertidores estáticos. Estos últimos equipos requieren además de menos espacio y son menos ruidosos que las maquinas rotativas. Por ello contrario en que estos equipos existen una considerable generación de armónicos, lo cual plantea el problema de su supresión. Algunos motores se excluyen de una aplicación determinada debido a que el ambiente de trabajo es hostil, tal como las condiciones de elevada temperatura., elevado vacío, elevada velocidad o debido a la presencia de líquidos o ambientes corrosivos. En este caso es esencial el empleo de un tipo de maquina si escobillas.

Si se necesita un control de velocidad ajustable a cualquier valor dentro de un rango determinado, entonces se requieren motores de corriente continua, a menos que este justificado el empleo de un equipo de alimentación podría compensarse en parte con la de los aparatos de corriente continúa o corriente alterna alimentados con tensión variable.

3.2.5 Empresas fabricantes de Motores Eléctricos de Inducción..

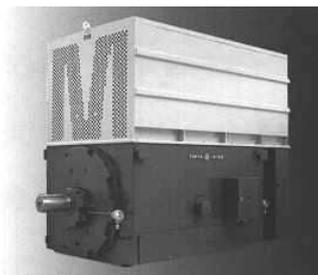
1. ABB MOTORS.
2. GENERAL ELECTRIC.
3. IEM
4. SIEMENS

Motores Línea 8000 GENERAL ELECTRIC.

Confiabilidad, robustez y facilidad de matenimiento. Los motores eléctricos GE Industrial Systems son proyectados y fabricados para atender los requisitos particulares de una amplia variedad de aplicaciones en las industrias: química, petroquímica, papel y celulosa, siderúrgica, minera, saneamiento y transporte.

Motor de Inducción - Jaula de Ardilla

Simplicidad, Bajo Costo, Adaptabilidad, Horizontal y vertical, estado sólido Con potencias por fase de 100 hasta 20.000 HP



Horizontal

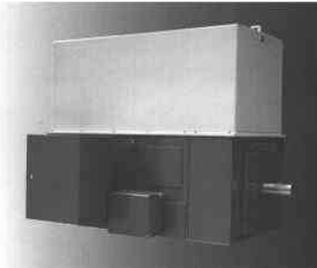


Vertical

El motor de inducción con rotor tipo jaula de ardilla es el más ampliamente utilizado para accionamiento de bombas, ventiladores y compresores. Entre sus principales ventajas se incluyen su inherente simplicidad de construcción del rotor y controles; su bajo costo y, obviamente, su adaptabilidad a ambientes más agresivos. Los motores de inducción, rotor de jaula, están disponibles con niveles de rendimiento normales y "premium" (alto rendimiento).

Motor de Inducción - Rotor Devanado

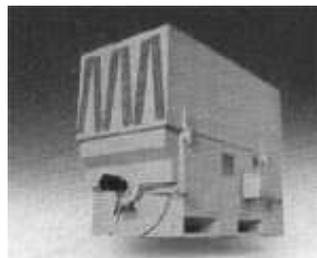
Partida suave, Velocidad de ajuste Horizontal y vertical, con potencias entre 300 y 20.000 HP



Los motores de inducción con Rotor Devanado, a pesar de costos mas elevado, son comparados con los motores de jaula de ardilla, porque hacen posibles importantes ventajas de aplicación por encima de estos.

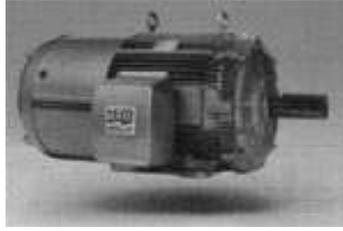
Históricamente han sido utilizados para partir cargas de alta inercia o que exijan conjugados de partida elevados, o aunada, cuando el sistema de accionamiento requiere partidas suaves. Con reóstato líquido o con un sistema estático de control de velocidades, los motores anteriores son una importante alternativa donde se requieren fases limitadas de control de velocidades.

MOTORES ELÉCTRICOS IEM

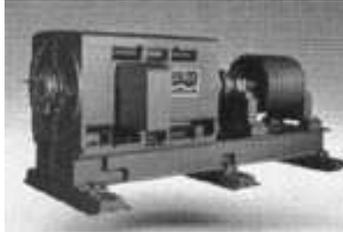


Motor horizontal cerrado con intercambiador de calor tipo tubo 500 a 1750 HP, 440 a 6600 V

Clasificación y Funcionamiento



Motor horizontal totalmente cerrado con ventilación exterior, rotor devanado 5 a 200 HP, 440 V



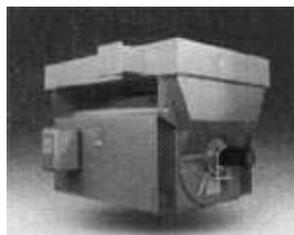
Motor horizontal totalmente cerrado con ventilación exterior y a prueba de explosión 200 a 1000 HP, 440 a 6600 V



Motor horizontal totalmente cerrado con ventilación externa 0.5 a 300 HP, 220/440 V



Motor totalmente cerrado con ventilación y a prueba de explosión 3 a 300 HP, 220/440 V



Motor horizontal a prueba de intemperie tipo II 300 a 2250 HP, 440 a 6600 V



Motor horizontal a prueba de intemperie tipo I 200 a 225 HP, 440 a 6600 V



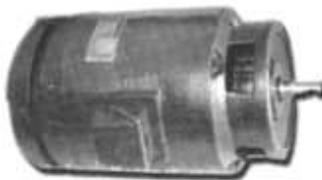
Motor horizontal a prueba de explosión de 0.75 a 250 HP, 220/440 V

ABB MOTORS



MOTOR DEVANADO BIPARTIDO

Para arranque con la mitad de su embobinado y la otra mitad segundos después. Tiene como propósito reducir la corriente de entrada durante arranque. Requiere un arrancado específico.



MOTOR CARA C O BRIDA D HORIZONTAL

Motor para adaptarse con tornillos y su flecha con cara NEMA C. Facilita integrar el motor a la máquina accionada. Normal o especial. Motor especial para velocidad variable por control de frecuencia variable.



MOTOR MULTI-VELOCIDAD

Motores de dos o más velocidades en distintos tipos y diseños. Uno o más devanados, uno o más núcleos-estator. Par constante o variante. Con o sin caja de engranes.

3.3 Pruebas para Motores Eléctricos.

Diagnóstico fuera de línea de motores de inducción

El diagnóstico fuera de línea permite probar motores de inducción desenergizados a través de la medición de sus parámetros básicos y los de su circuito de fuerza asociado. Con base en estas mediciones se determina la condición del equipo. Actualmente la Gerencia de Equipos Eléctricos basa su diagnóstico fuera de línea de motores de inducción de hasta 13.8 kV en las siguientes pruebas:

Prueba de resistencia de aislamiento

La confiabilidad del motor depende de la integridad de su sistema aislante, por lo que éste resulta ser la parte más importante. El sistema de aislamiento de los motores se encuentra sujeto a diversos esfuerzos de tipo mecánico, térmico y eléctrico. La prueba de resistencia de aislamiento detecta la presencia de humedad y sustancias contaminantes en la superficie de los devanados. A partir de esta prueba se determinan los índices de polarización y de absorción dieléctrica que indican la variación de la resistencia a tierra del aislamiento respecto al tiempo. Valores adecuados de estos índices [ANSI/IEEE, 1992] garantizarán que los devanados del motor se encuentren libres de la presencia de humedad y contaminación antes de ser sometidos a los esfuerzos eléctricos propios de la operación del motor.

Pruebas estándar de C. A.

Estas pruebas se aplican para determinar la condición general del motor; se pueden utilizar en todos los motores, ya sean nuevos o reparados. Las que aplica el IIE como pruebas estándar de c.a. miden lo siguiente:

1. Resistencia a tierra
2. Capacitancia a tierra.
3. Resistencia óhmica.
4. Inductancia fase a fase

Los valores obtenidos de la medición de la resistencia a tierra permiten evaluar la condición del aislamiento a tierra del motor y sus cables de alimentación en caso de ser evaluados de manera conjunta. Los valores de la capacitancia a tierra son un indicador adicional de la condición del motor, el cual facilita identificar la presencia de elementos contaminantes depositados en el aislamiento del estator. A partir de la medición de la resistencia de fase a fase en el motor se identifican desbalances resistivos, lo cual permite evaluar sus devanados. Altos desbalances resistivos indican que durante la operación el motor presentará puntos calientes por conexiones de alta resistencia.

Los valores de inductancia de fase a fase que se obtienen durante esta prueba son útiles para evaluar los devanados, núcleo magnético y componentes del rotor del motor. Altos desbalances inductivos indican fallas en el devanado del estator y defectos en el rotor.

Prueba de comparación de pulsos

Por lo común, las fallas en los devanados de los motores se inician como cortos entre espiras dentro de las bobinas; estos cortos generan puntos calientes que degradarán el aislamiento en vueltas adyacentes hasta que falle la bobina y por lo tanto el motor. El mecanismo de falla puede tomar largo tiempo para que se manifieste como una falla a tierra, así que la prueba de resistencia de aislamiento no puede detectarla. Este tipo de fallas se pueden descubrir mediante la prueba de comparación de pulsos, la cual localiza defectos en el aislamiento, espira-espira, bobina-bobina o fase-fase, fallas que no pueden revelar fácilmente las demás pruebas. El equipo

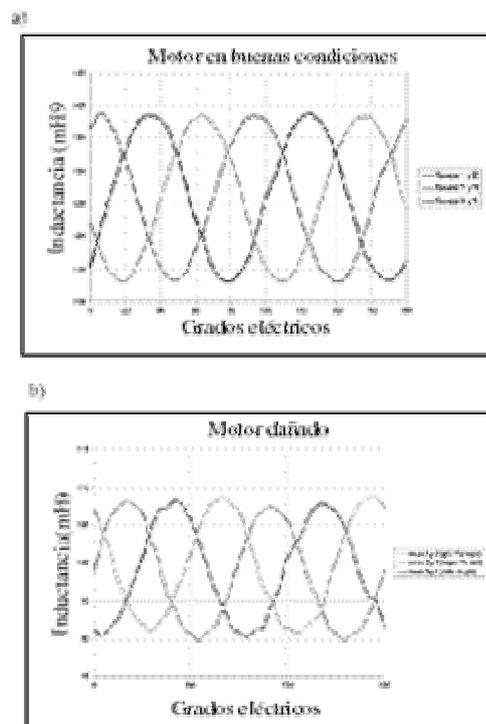
utilizado por el IIE para realizar esta prueba inyecta pulsos de voltaje a la bobina del motor; los pulsos reflejados resultantes son la respuesta de la inductancia de la bobina. En un motor trifásico sin fallas, los devanados de las tres fases deben tener inductancias y capacitancias similares, por lo que la respuesta al impulso en cada fase debe ser similar también. En un motor trifásico, la inductancia de una fase dañada por un cortocircuito entre espiras es diferente a la inductancia de las otras dos bobinas y, por lo tanto, su respuesta al impulso también. Un corto entre espiras en el motor probado ocasionará un defasamiento y una disminución en el valor pico de la forma de onda reflejada.

Prueba fuera de línea al rotor

La prueba fuera de línea al rotor de motores de inducción del tipo jaula de ardilla que actualmente aplica la Gerencia de Equipos Eléctricos se basa en la medición de las inductancias de fase a fase del motor, con el rotor colocado en diferentes posiciones predeterminadas. Los resultados obtenidos de esta prueba son una representación gráfica de la relación rotor-estator y con base en su análisis detectar excentricidades y defectos del rotor, además de verificar fallas del estator. Un motor es similar a un electromagneto, donde el rotor actúa como el núcleo y el estator actúa como el devanado del electromagneto. Esta prueba fuera de línea del rotor nos muestra cómo el magnetismo residual del rotor colocado en diferentes posiciones dentro del estator afecta su inductancia. Dado que el campo magnético del rotor interactúa con las tres fases del devanado del estator, las inductancias de cada fase cambian con las diferentes posiciones del rotor. Esta prueba se realiza mediante la aplicación de una señal de voltaje a cada fase del estator y el giro manual del rotor en incrementos específicos de grados, hasta cubrir al menos un paso polar. Con el rotor colocado en cada posición se genera y se mide un valor de la inductancia del circuito por fase, mismo que se puede graficar. Para motores en buen estado se obtienen curvas regulares que se repiten cada paso polar con formas de onda senoidales.

El análisis de estas gráficas permite determinar la condición del rotor y del estator, así como correlacionar los resultados de las diferentes pruebas fuera de línea aplicadas al motor.

FIGURA 3
Resultados de la prueba fuera de línea del rotor: a) en un motor en buen estado; b) en un motor con fallas en las burras de la jaula.



3.4 Análisis de Fallas en Motores Eléctricos

El determinar problemas en motores debe ser confiable y seguro, por esto un análisis de motores eléctricos debe contener resultados en las siguientes zonas de falla: Circuito de Potencia, Aislamiento, Estator, Rotor, Entrehierro y Calidad de energía. Las pruebas a realizar deben de contemplar pruebas tanto con motor detenido como con motor energizado.

Las pruebas eléctricas aplicadas a un motor deben de ser confiables y nos deben dar un diagnóstico completo de todas las zonas o áreas de falla de un motor. Las pruebas a realizar deben incluir pruebas tanto con motor energizado como con motor detenido. Las pruebas con motor detenido son de particular importancia en aquellos casos en que un motor se este disparando y su puesta en funcionamiento puede terminar de dañarlo, o en el caso de pruebas de puesta en marcha al instalarse un nuevo equipo de producción.

Para el diagnóstico de un motor, se han establecido las siguientes zonas o áreas de fallas.

- I. Circuito de Potencia
- II. Aislamiento
- III. Estator
- IV. Rotor
- V. Excentricidad (entrehierro)
- VI. Calidad de energía

El análisis de estas 6 zonas nos permite distinguir entre un problema mecánico o eléctrico. Y en el caso de un problema eléctrico detallar la solución.

I. Circuito de Potencia

Generalmente se establece desde el Centro de Control del Motor (CCM) hasta la caja de bornes del mismo, e involucra a todos los conductores con sus bornes, interruptores, protecciones térmicas, fusibles, contactores y cuchillas. Los problemas de conexiones de alta resistencia (se oponen al paso de la corriente) son variados, entre ellos: Generación de armónicas, Desbalances de voltaje, Desbalances de corriente. Típicamente las conexiones de alta resistencia son causadas por: Terminales corroídos, Cables sueltos, Barras sueltas, Prensa fusibles corroídos, Hilos abiertos, Conexiones entre Aluminio – cobre, Diferentes tamaños de conductores.

Los métodos que usan para detectar defectos en el circuito de potencia en un motor / generador, trifásico es la medición de resistencia entre fases, es una prueba estática con motor detenido. En un equipo en buen estado las tres lecturas entre las fases deberían ser casi idénticas, su desbalance resistivo debe ser menor a un 5%. Dinámicamente, con motor energizado el circuito es evaluado completamente al detectarse desbalances de voltaje en cualquiera de las fases. Otro de los métodos utilizados para complementar el diagnóstico del circuito de potencia es la termografía IR, sin duda una de las técnicas más conocidas para detectar falsos contactos.

II. Calidad de energía

La calidad de energía ha sido ignorada en muchos casos por el personal de mantenimiento y sin duda es una zona de falla con mucha influencia en la vida de un motor. Existen varios factores involucrados en la calidad de energía; distorsión armónica tanto de voltaje como de corriente, picos de voltaje, desbalances de voltaje y factor de potencia son algunos de estos. Sin embargo, con relación a las fallas en motores eléctricos nos concentraremos en dos de estos factores: desbalance de Voltaje y Armónicas.

III. Aislamiento

Cuando hablamos de la condición de aislamiento nos referimos a la resistencia que existe entre este a tierra (RTG, en inglés). La RTG indica que tan limpio o sano está un aislamiento. Para

que se de una falla a tierra, deben de ocurrir dos cosas. Primero debe crearse un camino de conducción a través del aislamiento. Conforme el aislamiento envejece se fisura y posibilita que se acumule material conductor. Segundo, la superficie exterior del aislamiento se contamina de material conductor y conduce suficiente corriente a la carcasa o núcleo del motor que esta conectado a tierra. Hoy en día los sistemas de aislamiento han mejorado notablemente y son capaces de soportar mayores temperaturas sin sacrificar su vida esperada. La máxima temperatura de operación de un motor / generador depende principalmente de los materiales usados en su construcción, existen varias clases, pero las más usadas son:

- a. Aislamiento clase B, temperatura máxima 130°C
- b. Aislamiento clase F, Temperatura máxima 155°C
- c. Aislamiento clase H, temperatura máxima 180°C

Dichas temperaturas máximas, son a las cuales el aislamiento podría colapsar. Es posible detectar una falla en el aislamiento de un motor si se tiene la clase de aislamiento del mismo (dato de placa). Generalmente al medir la temperatura de la carcasa del motor, asumimos que el aislamiento esta en 20° C más alto que esta.

IV. Estator

En un estator es importante el diagnosticar: los devanados, el aislamiento entre vueltas, juntas de soldado entre las espiras y el núcleo del estator o laminaciones. Tal vez, la falla más común es un corto entre vueltas, esto reduce la habilidad de producir un campo magnético balanceado. Esto a la vez trae otras consecuencias como un aumento en la vibración de la máquina, y por ende degradación del aislamiento y daños a los rodamientos del motor. Generalmente este tipo de cortos aumenta la temperatura y el corto se expande a un corto entre espiras y eventualmente destruye todo el motor. Aún más grave que esta es la falla entre fases, un corto de este tipo acelera rápidamente la destrucción del motor. Fallas de este tipo pueden ocurrir varias veces en un motor y no resultan en una falla a tierra. Debido a esta razón, el utilizar solamente un megger como herramienta predictiva es insuficiente ya que este tipo de fallas pueden ser pasadas por alto. Sí el núcleo del motor se llegase a dañar el reemplazo del motor sería total.

V. Rotor

Cuando nos referimos a la condición de un rotor se deben de revisar; las barras, laminaciones y los anillos de corto circuito. Un estudio del EPRI mostró que un 10% de fallas en motores se debió al rotor. Una barra rota genera un calor intenso en la zona de ruptura y puede destruir el aislamiento cercano a las laminaciones y el devanado estático colapsara. Desdichadamente, muchas veces, los problemas en las barras del rotor no son fácilmente detectables con tecnologías comunes y se obvia como causa-raíz.

VI. Excentricidad

El rotor de un motor / generador debe estar centrado, existe un claro entre estos denominado "Air Gap", si este Air Gap no esta bien distribuido en los 360° del motor se producen campos magnéticos desiguales. Se ha discutido ampliamente el efecto adverso que provocan estos campos magnéticos desiguales que a la larga resultará en una falla en el aislamiento y falla en los rodamientos. Este problema se le conoce como excentricidad, existen básicamente dos tipos, la estática en la cual el rotor esta descentrado pero fijo en un lugar generalmente este tipo de problemas es causado cuando los alojamientos de los roles están desalineados, por un inadecuado alineamiento o por que la carcasa del motor fue torcida cuando se instalo en su base. El otro tipo de excentricidad es la dinámica, y como resultado el rotor se balancea dentro del estator, por lo tanto la inductancia varía. La excentricidad dinámica es producida por un deflexión en el eje generalmente

3.5 Pérdidas en Motores Eléctricos

Se tiene por pérdidas a la potencia eléctrica que se transforma y disipa en forma de calor en el proceso de conversión de la energía eléctrica en mecánica que ocurre en el motor. Las pérdidas por su naturaleza se pueden clasificar en 5 áreas: pérdidas en el cobre del estator, pérdidas en el cobre del rotor, pérdidas en el núcleo, pérdidas por fricción y ventilación y pérdidas adicionales.

Pérdidas en los conductores.

Las pérdidas en los conductores se dividen en dos zonas: estator (en las bobinas del estator) y rotor (en los bobinados del rotor). Estas pérdidas dependen del cuadrado de la corriente.

Pérdidas en los conductores del estator.

Estas pérdidas son una función de la corriente que fluye en el devanado del estator y la resistencia de ese devanado. Son mínimas en vacío y se incrementan al aumentar la carga. En función del factor de potencia (FP). Cuando se desea mejorar el comportamiento del motor, es importante reconocer la interdependencia entre la eficiencia (EF) y el factor de potencia (FP). Por lo tanto si se incrementa la eficiencia, el factor de potencia tendrá a decrecer. Para que el factor de potencia permanezca constante, la corriente del estator debe reducirse en proporción al aumento de la eficiencia. Si se pretende que el factor de potencia mejore, entonces la corriente debe disminuir más que lo que la eficiencia aumente.

Pérdidas en los conductores del rotor.

Son directamente proporcionales a la resistencia del bobinado rotórico, dependen del cuadrado de la corriente que circula en el bobinado rotórico (barras y anillos) y dependen del flujo magnético que atraviesa el entrehierro. Son prácticamente cero en vacío y se incrementan con el cuadrado de la corriente en el rotor y también se incrementan con la temperatura. Las pérdidas en el rotor se pueden expresar en función del deslizamiento

Pérdidas en el núcleo magnético.

Estas pérdidas tienen dos componentes, las pérdidas por corrientes de Eddy y las pérdidas por el fenómeno de histéresis, incluyendo las pérdidas superficiales en la estructura magnética del motor. Las pérdidas en el núcleo del rotor debido al flujo magnético principal, son virtualmente cero.

Pérdidas por Histéresis.

Son causadas debido a la propiedad de remanencia que tienen los materiales magnéticos al ser excitados por un flujo magnético en una dirección. Estas pérdidas dependen del flujo máximo de excitación, de la frecuencia de variación del flujo y de la característica del material que determina el ancho del ciclo de histéresis.

Pérdidas por corrientes de Eddy.

Son causadas por las corrientes inducidas o corrientes de Eddy que circulan en las laminas magnéticas del núcleo estatórico las que son inducidas por el flujo magnético giratorio estatórico. En efecto de acuerdo a la ley de Faraday el campo magnético variable en el tiempo crea campos eléctricos de trayectoria cerrada en el núcleo magnético y como el acero es un material conductor estos campos hacen circular corrientes (corrientes de Eddy) a través de su trayectoria cerrada, por esta razón el núcleo magnético se hace de láminas magnéticas. Por lo tanto estas pérdidas dependen del flujo magnético máximo, de la frecuencia de variación del flujo magnético y de la resistividad del acero magnético.

Pérdidas adicionales en carga.

Son pérdidas residuales difíciles de determinar por medio de mediciones directas o de cálculos. Estas pérdidas están relacionadas con la carga y general mente se suponen que varían con el cuadrado del momento de salida. La naturaleza de estas pérdidas es muy compleja. Están en

función de muchos factores de diseño y de fabricación del motor. Algunos de los elementos que influyen en estas pérdidas son: el diseño del devanado, la relación entre la magnitud del entrehierro y la abertura de las ranuras; la relación entre el número de las ranuras del estator y del rotor, la inducción en el entrehierro; las condiciones en la superficie del rotor, el tipo de contacto superficial entre las barras y las laminaciones del rotor.

Distribución de las pérdidas.

Dentro de un intervalo limitado de eficiencia, las distintas pérdidas analizadas son independientes unas de las otras. Sin embargo, cuando se procuran mejoras sustanciales en la eficiencia, se encuentra que las mismas están fuertemente entrelazadas. El diseño final de un motor es un balance entre las eficiencias pérdidas, con el objetivo de obtener una eficiencia elevada y aun poder satisfacer otros requerimientos operacionales como el momento de arranque, la corriente de arranque, el momento máximo y el factor de potencia. La forma en que se distribuye relativamente estas pérdidas depende del tipo y tamaño del motor y, para tener una idea general, en la Tabla 1 se muestra como se distribuyen las pérdidas en motores de diseño NEMA B de distinta potencia nominal. En esta tabla se puede evidenciar que a potencia nominal resulta relativamente amplio el intervalo que varía cada una de las pérdidas dependiendo de la potencia del motor.

Tabla 1. Distribución típica de pérdidas en los motores diseño NEMA B.

Potencia (HP)	5	50
Tipo de pérdidas	% Pérdidas	% Pérdidas
Conductores Estator	40	38
Conductores Rotor	20	22
Núcleo Magnético	29	20
Fricción y Ventilación	4	8
Adicionales en Carga	7	12
Eficiencia %	83	90.5

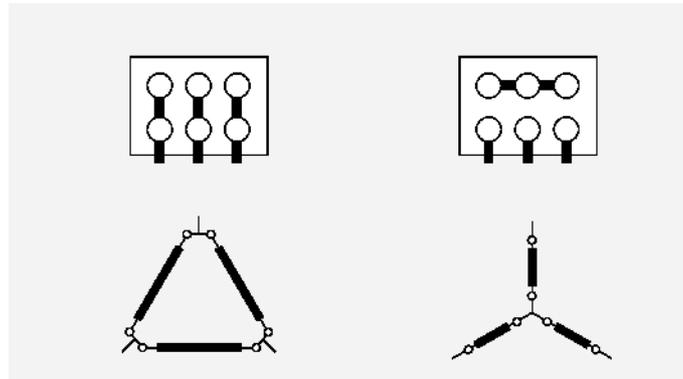
Potencia (HP)	100	200
Tipo de pérdidas	% Pérdidas	% Pérdidas
Conductores Estator	28	30
Conductores Rotor	18	16
Núcleo Magnético	13	15
Fricción y Ventilación	14	10
Adicionales en Carga	27	29
Eficiencia %	91.5	93

Tabla 2. Distribución de pérdidas Promedio Motores Diseño NEMA B

Componentes Pérdidas en el Motor	% Pérdidas totales
Pérdidas Conductores Estator	37
Pérdidas Conductores Rotor	18
Pérdidas Núcleo Magnético	20
Pérdidas Fricción y Ventilación	9
Pérdidas Adicionales en carga	16

3.6 Conexiones en Motores Eléctricos y Tipo de Arranques

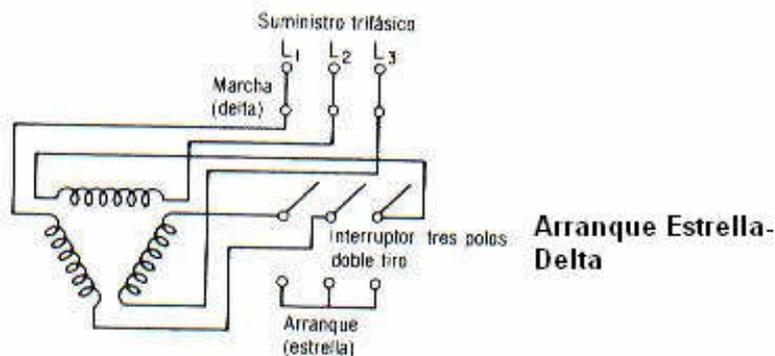
Conexión motores trifásicos Y y Δ
220-260 V - A **440 V - Y**



Arranque Estrella – Delta

Cuando un motor se arranca directamente, la intensidad en ese momento es de 5 a 7 veces mayor que a plena carga. Por esta razón cuando los motores tienen potencias grandes, es necesario buscar algún método para reducir esa corriente de pico. A estos procedimientos se los llaman indirectos y entre ellos se encuentra el arranque Estrella - Delta, entre otros. Este método es el más utilizado en los motores de media y baja potencia. Con este método el aumento de intensidad en el arranque será solo de 2 a 4 veces la intensidad nominal, o sea 3 veces menos que con un arranque directo. Un requisito es que el motor este embobinado para funcionar con los devanados de su estator conectados en Estrella (delta), y con todas las puntas de ellos instaladas en el exterior, para la conexión adecuada que el electricista efectúa en el campo. Para que a un motor se le pueda hacer el arranque estrella - triangulo la tensión de red y la de triangulo del motor deben ser iguales.

Ejemplo: Si tenemos una red de 220 y la placa del motor nos dice 220/380 V el motor es compatible para la conexión estrella - triangulo ya que para triangulo debe alimentarse con 220 Volts y esa es la tensión de red. Nota: El arranque en Estrella también se hará en 220 V o sea $\sqrt{3}$ (1.73) veces menor que la tensión requerida ($380/\sqrt{3}$).

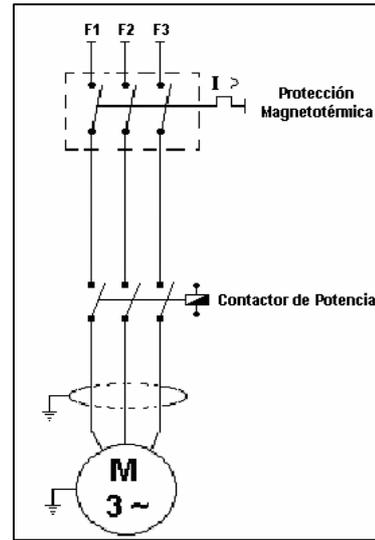
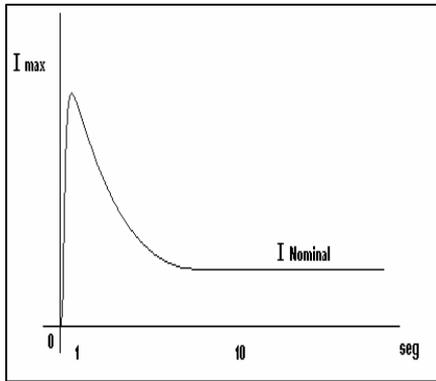


Arranques de Motores más utilizados en la Industria actual

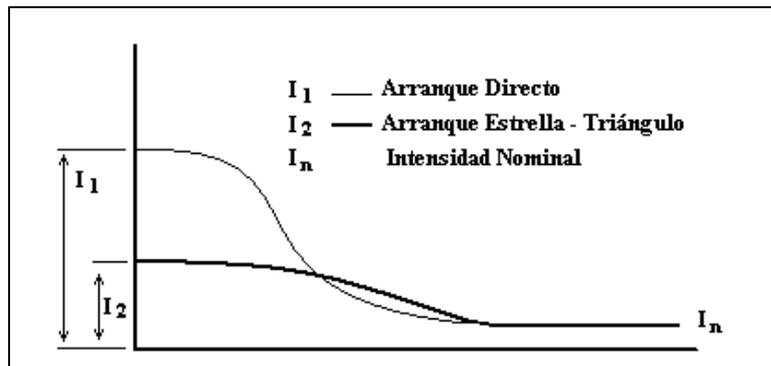
1. Arranque Directo

2. Arranque Estrella – Delta

Arranque Directo



Arranque Estrella - Delta



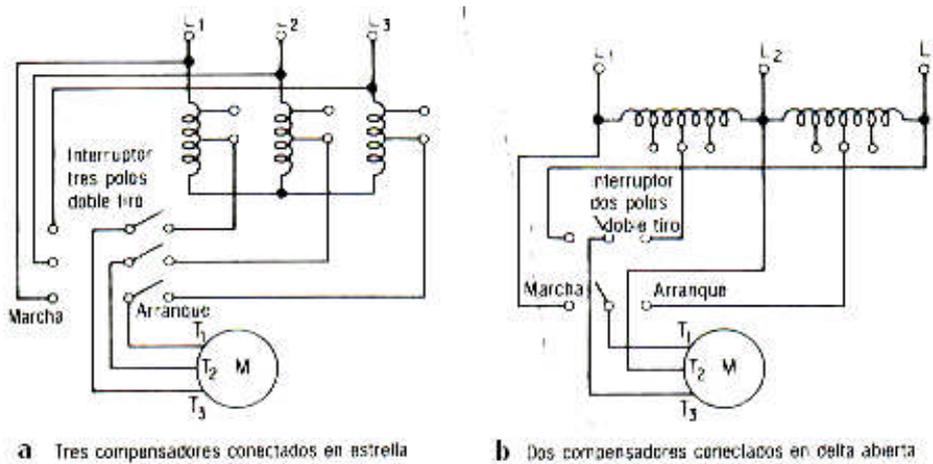
Arranque a Voltaje reducido con Autotransformador

Se pueden poner en marcha los motores trifásicos comerciales de inducción de jaula de ardilla a voltaje reducido empleando un autotransformador trifásico único o *compensador*, o bien con tres autotransformadores monofásicos como se muestra en la figura (a).

La figura (a) es un diagrama que representa un tipo comercial. El esquema no incluye los relevadores, la protección de bajo voltaje ni los contactos que tienen normalmente los arrancadores manuales. El interruptor de tres polos doble tiro se lleva a la posición “arranque” y se deja allí hasta que el motor ha acelerado la carga casi hasta la velocidad nominal. A continuación se pasa rápidamente a la posición de “marcha”, en la cual queda conectado el motor en la línea directamente.

Ya que el compensador se usa solo en forma intermitente, se tiene un ahorro (eliminación de un transformador) si se usan dos transformadores en delta abierta, o V-V , como se muestra en la

figura (b), produce un pequeño desbalanceo de la corriente en la toma central pero no afecta al funcionamiento del motor.



Arranque a voltaje reducido con autotransformador.

3.7 Resistencia de Aislamiento en una Máquina de Corriente Alterna.

La resistencia de aislamiento en máquinas rotatorias es la razón entre la tensión continua aplicada entre bobinados y tierra y la corriente resultante.

Respecto al equipo de prueba, estos pueden ser accionados manualmente, a través de baterías propias o entregando tensiones continuas por medio de rectificadores conectados a la red alterna. El instrumento de medición más conveniente es aquel alimentado con baterías. La lectura de las mediciones usualmente es tomada después de un minuto de haberse iniciado estas y luego de diez minutos posteriores.

Los valores de resistencia de aislamiento medidos deben ser corregidos a los valores esperados en las bobinas a una temperatura de 40 °C. El valor de resistencia debe ser corregido de acuerdo a la siguiente fórmula que aparece en la guía ANSI/IEEE Std.43 – 1974:

$$R_c = K_t \times R_t$$

Donde:

R_c = Resistencia de aislamiento (en Meghoms) corregida a 40 °C.

R_t = Resistencia de aislamiento (en Meghoms) medida a una temperatura t.

K_t = Coeficiente de temperatura asociada a la resistencia de aislamiento a temperatura t.

En lo que respecta a valores de resistencia de aislamiento, el valor mínimo recomendado para un minuto de medición según ANSI/IEEE Std. 43-1974 viene dado por la siguiente fórmula:

$$R_m = kV + 1$$

Donde:

R_m = Valor mínimo recomendado de resistencia de aislamiento en Meghoms si las bobinas están a 40 °C.

Para motores modernos de bobinado formado el estándar IEEE 43 recomienda un valor mínimo de resistencia de aislamiento de 100 MΩ a 40 °C. En la tabla 1 se aprecian los valores de resistencia de aislamiento mínimos para 40 °C.

Tabla 1. Valores mínimos de resistencia de aislamiento para 40° C.

Resistencia de aislamiento (MΩ)	Tipo de máquina
$R (1 \text{ min}) = kV + 1$	Para bobinados fabricados antes de 1970, todos los bobinados de campo y otros no descritos abajo
$R (1 \text{ min}) = 100$	Para armaduras DC y estatores AC construidos después de 1970
$R (1 \text{ min}) = 5$	Para máquinas de bobinado aleatorio y formado y con tensiones menores a 1 kV.

En cuanto a las tensiones de prueba a aplicar por el instrumento de medición esto se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Tensiones de prueba para la medición de resistencia de aislamiento en máquinas rotatorias.

Rango de tensiones del bobinado (V)	Tensión de prueba (V)
< 1000	500
1000 - 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
> 12000	5000 - 10000

Capítulo 4**Instalación de Sistemas de Control de Motores Eléctricos Industriales**

Aun cuando no se puede considerar que la instalación eléctrica o el montaje de los motores eléctricos esté directamente relacionado con su control o con mayor precisión con las componentes del control, es de interés el estudio de la instalación de los motores, ya que en el caso más simple de control, se puede tener un sistema de arranqué-paro a través de un desconectador en forma directa o bien por medio de una estación de botones a control remoto.

El criterio adoptado para la instalación eléctrica de un motor se puede hacer extensivo para la instalación de varios motores, ya sea controlados en forma aislada o bien por medio de elementos que lo centralicen como es el caso de un centro de control de motores.

La instalación eléctrica para motores se debe hacer siempre de acuerdo con las disposiciones de las “Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas” que se refieren no solo a la instalación misma de los motores, sino, también a los requisitos que deben llenar los elementos que la conforman.

Aspectos a considerar en la selección para la Instalación de Motores

La selección del tamaño (Potencia) apropiado del motor depende de la potencia requerida del equipo por accionar, si se selecciona una potencia pequeña se tienen algunos problemas ya que el motor se sobrecarga y entonces no se le puede dar la protección adecuada, ya que la sobrecarga hace que los dispositivos de protección abran el circuito frecuentemente con lo que se interrumpe la alimentación al motor y éste se para. Un concepto que interviene en la aplicación de los motores eléctricos, es el que se conoce como “Factor de Servicio” y que se indica cuanta carga en forma temporal puede tomar un motor. Por ejemplo, si un motor tiene un factor de servicio de 1.25 y es de 1 Hp (0.746 kW) el motor puede entregar 1.25 o bien $1.25 \times 0.746 = 0.932$ kW.

Al operar un motor con una capacidad superior a la de la placa, la temperatura tiende también a elevarse, por ejemplo si el motor de 1 Hp opera a 40°C, es de esperar que cuando opere 1.25 Hp eleve su temperatura a un valor superior, por ejemplo 50°C.

En la selección del tamaño o potencia del motor se deben considerar principalmente los siguientes factores:

1. El efecto de la potencia requerida en un equipo del tamaño de motor seleccionado.
2. El hecho que por norma fabrican sólo determinadas potencias de motores asociadas a un valor de voltaje de alimentación y estas potencias deben ser adaptadas al servicio requerido por los equipos o elementos por accionar.
3. El efecto del voltaje disponible en una instalación en el tamaño (Potencia) del motor seleccionado, se puede decir que:

Los motores trifásicos utilizan voltajes de: 220v, 440v, 575v, 2300v, 4000v, 4600v. Estos motores desde luego que requieren de una alimentación trifásica al voltaje asociado a la potencia que tengan. Generalmente para aplicaciones industriales se recomienda el uso de este tipo de motores, algunas de las ventajas que tiene la utilización de motores trifásicos sobre los monofásicos son las siguientes:

- a) Disminución o eliminación de problemas de parpadeo.
- b) Los motores trifásicos tienen un costo menos que los monofásicos a una potencia equivalente.

- c) Los motores trifásicos se encuentran disponibles en potencias mayores.

Una desventaja importante es que la alimentación trifásica representa un costo mayor. Cuando el suministro de potencia eléctrica es adecuado, el siguiente punto a considerar es si la alimentación es suficientemente grande, ya que esta alimentación constituye el control principal y puede representar un punto de interrupción del servicio.

La línea de alimentación debe tener del orden de tres veces más la capacidad de corriente que la de placa del motor por alimentar. Esto es necesario para tomar en consideración la corriente de arranque del motor, ya que cuando la capacidad del alimentador o circuito derivado al motor es muy pequeña, alguno de los dispositivos de seguridad, ya sea fusible o interruptor (termomagnético por lo general) puede interrumpir la alimentación al motor y desconectarlo. Cuando es necesario alimentar varios motores a un mismo voltaje, se acostumbra centralizar la alimentación por medio de un alimentador y alimentar cada motor a través de los llamados circuitos derivados.

Cuando se conoce la potencia apropiada para un motor de acuerdo al equipo por accionar, el siguiente paso es determinar la velocidad correcta. Los elementos por accionar o cargas para los motores pueden operar a distintas velocidades, de manera que el motor seleccionado debe satisfacer el requerimiento apropiado de velocidad de la carga.

Antes que nada, se debe determinar a que velocidad debe operar el equipo por accionar, a partir de esto se selecciona el motor o bien el motor con un elemento de accionamiento para modificar la velocidad cuando es necesario. Esto es por medio de poleas o engranes, por ejemplo, la velocidad de los motores como se sabe, se expresa en revoluciones por minuto (RPM).

En el aspecto de la velocidad interviene uno de los problemas específicos del control de motores eléctricos, por ejemplo, existen algunos equipos, como los ventiladores, o las licuadoras, que requieren motores que operen a distintas velocidades, también se encuentran estos motores en los extractores de aire y una característica común es que se adquieren a través de los propios equipos o aparatos que accionan. Como se sabe, la velocidad de un motor para una frecuencia dada, por ejemplo, 60 Hz, depende del número de polos, que es un aspecto de diseño, de manera que para diseños típicos, las velocidades de vacío (sin carga) disponibles pueden ser 3600, 1800 y 1200 rpm, las velocidades con carga que son el dato de placa, son un poco menores, por ejemplo para 1800 rpm de vacío las velocidades de placa se encuentran en el rango de 1710^a 1750 rpm.

4.1. Aspectos importantes en la Instalación de Motores Eléctricos

Normalmente se tiene en mente la forma en como debe accionar un equipo, para poder seleccionar el tipo apropiado y tamaño de accionamiento o acoplamiento para el motor ya seleccionado.

El tipo y tamaño del elemento de accionamiento es importante por las siguientes razones:

1. Este factor determina la velocidad a la cual el equipo opera.
2. Debe ser suficientemente fuerte como para soportar la carga, por lo que se deben considerar los dos aspectos básicos en la selección del elemento de acoplamiento.

- a) Que tipo de accionamiento seleccionar

Accionamiento Directo: Son para conectar un motor al equipo que opera a la misma velocidad que el motor y hoy se estima que solo el 20% de las máquinas accionadas lo hacen a la misma velocidad. Existen 3 tipos: Acoplamiento flexible con manguera, Acoplamiento con brida, Acoplamiento con brida y cojinete.

Accionamientos para conversión de velocidad: se usa cuando el motor no opera a la velocidad requerida por el equipo que se debe accionar. Para convertir la velocidad en un acoplamiento existen básicamente 3 medios: Por medio de un accionamiento de poleas y bandas, por accionamiento de engranes, por medio de poleas y cadenas.

Accionamiento por poleas y bandas: es uno de los más usados para distintos tipos de aplicaciones, y dependiendo de éstas, existen básicamente 3 modalidades de convertidores que son:

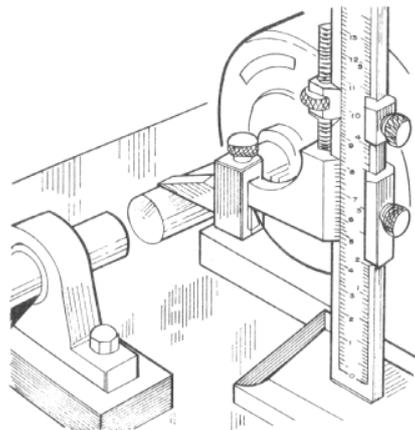
- Con poleas para bandas en V
- Con poleas para multibandas en V
- Con poleas para bandas planas
- Combinación de poleas para bandas plana y en V

Accionamiento por medio de engranes: en algunas aplicaciones industriales se requiere de potencia con alto par y baja velocidad, en estos casos es conveniente el uso de acoplamiento por medio de engranes, o por medio de los llamados “motores de engranes” o MOTOREDUCTORES.

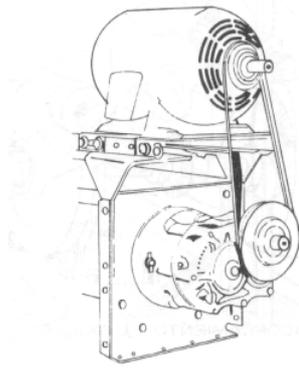
En este caso, el piñón de la flecha del motor impulsa a un engrane o a una serie de engranes que se encuentran en una caja metálica y sumergidos en aceite. El motoreductor es un motor reductor de velocidad que proporciona la transmisión de potencia en forma directa sin el problema de mantenimiento que requieren los engranes al exterior. Su tamaño es bastante compacto y esto constituye otra ventaja.

Accionamiento por medio de poleas y engranes: De hecho las condiciones o reglas para la aplicación de estos métodos de transmisión son los mismos que para la transmisión con banda y poleas, y en ambos casos la NEMA establece ciertos límites prácticos para asegurar buena vida en las chumaceras y prevenir esfuerzos severos en la flecha.

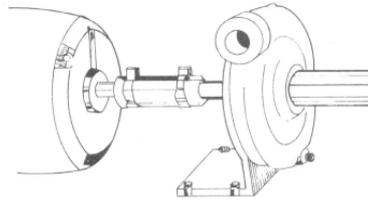
b) Que tamaño de accionamiento seleccionar



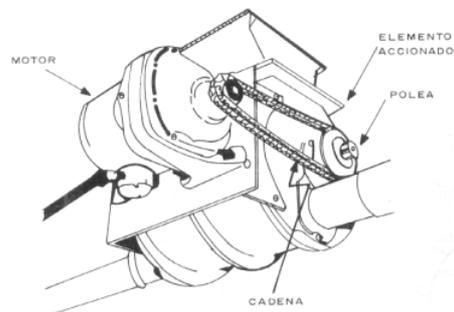
ALINEACION DE LOS EJES DEL MOTOR Y
EL ELEMENTO ACCIONADO POR MEDIO DE
VERNIER



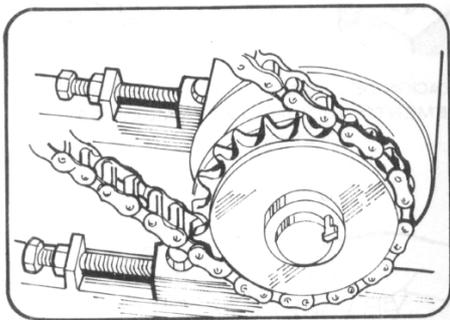
ACOPLAMIENTO POR POLEAS Y BANDA



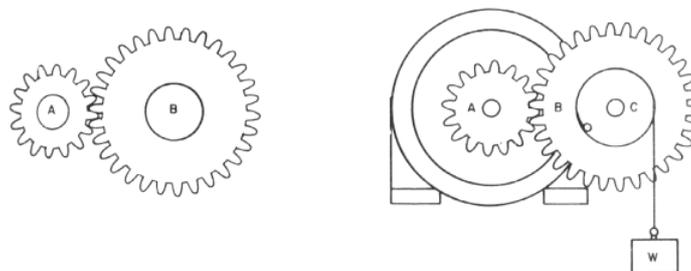
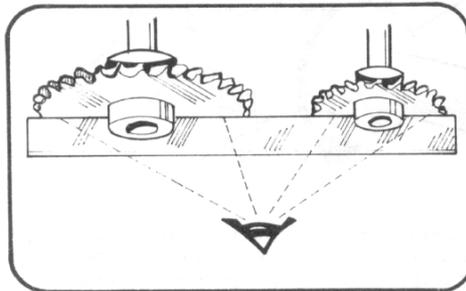
ACOPLAMIENTO POR TUBO FLEXIBLE



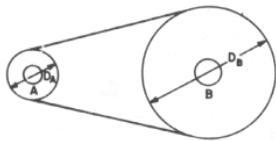
ACOPLAMIENTO POR MEDIO DE POLEAS Y CADENAS



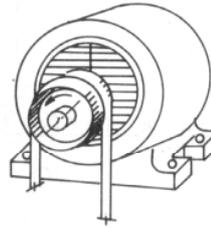
VISTA Y PROCEDIMIENTO DE ALINEACION DE POLEAS PARA CADENA .



ACCIONAMIENTO POR MEDIO DE ENGRANES

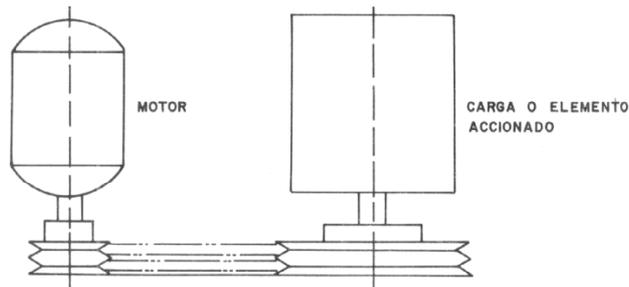


D_A = DIAMETRO DE LA POLEA IMPULSORA
 D_B = DIAMETRO DE LA POLEA IMPULSADA



TRANSMISION DE POTENCIA POR BANDA Y POLEA

BANDA PLANA APLICADA A LA POLEA DE UN MOTOR



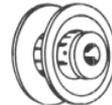
VISTA EN PLANTA DE UN ACCIONAMIENTO POR MEDIO DE BANDA Y POLEAS

POLEA ESTANDAR

POLEA EN V CON ESCALONES



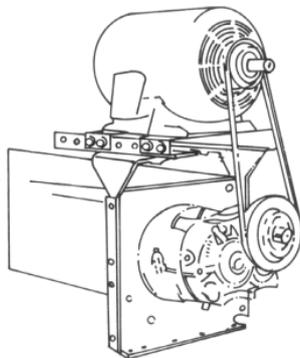
POLEAS V AJUSTABLES



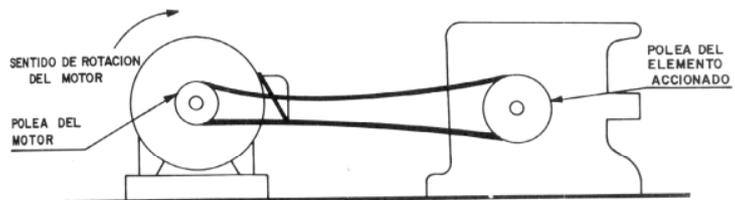
CERRADA

ABIERTA

TIPOS DE POLEAS "V" PARA ACCIONAMIENTO POR BANDA

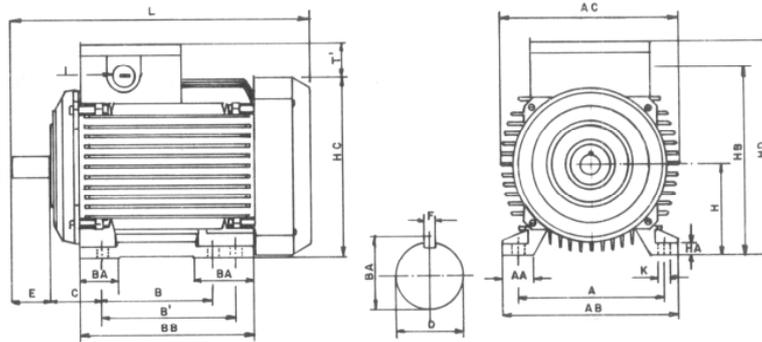


CARGA ACCIONADA POR POLEA



MOTOR ACCIONANDO A UNA CARGA CON ACCIONAMIENTO DE POLEAS Y BANDA

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales



Normas IEC

Dimensiones en milímetros.

CARCAZA

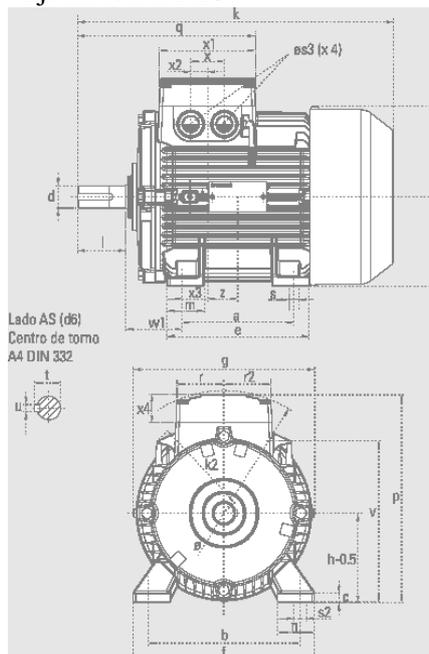
NEMA	(2E)	(J)	(A)	(P)	(2F)	(2F')	(K)	(K')	(B)	(BA)	(U)	Nomenclatura NEMA
(48)	112	27	140	140	(70)	90	31	49	113	45	14	
(143T)	140	27	186	178	100		39	57	149	86	24	
(145T)	140	27	168	178		125	39	57	149	56	24	
(182T)	190	39	222	221	114		41	68	174	70	28	
(184T)	190	39	222	221		140	41	68	174	70	28	
(213T)	216	42	250	248	140		51	89	230	89	38	
(215T)	216	42	250	248		178	51	89	230	89	38	
(254T)	254	66	311	307	210		64	110	292	108	42	
(256T)	254	66	311	307		254	64	110	292	108	42	
(284T)	280	66	350	351	241		70	110	340	121	48	
(286T)	280	66	350	351		279	70	110	340	121	48	
(324T)	318	66	400	395	267		74	90	360	133	55	
(326T)	318	66	400	395		308	74	90	360	133	55	
(364TS)	356	78	446	441	286		70	90	360	149	60	
(364T)	356	78	446	441	286		70	80	360	149	60	
(365TS)	356	78	446	441		311	70	80	360	149	55	
(365T)	356	78	446	441		311	70	80	360	149	60	

CARCAZA

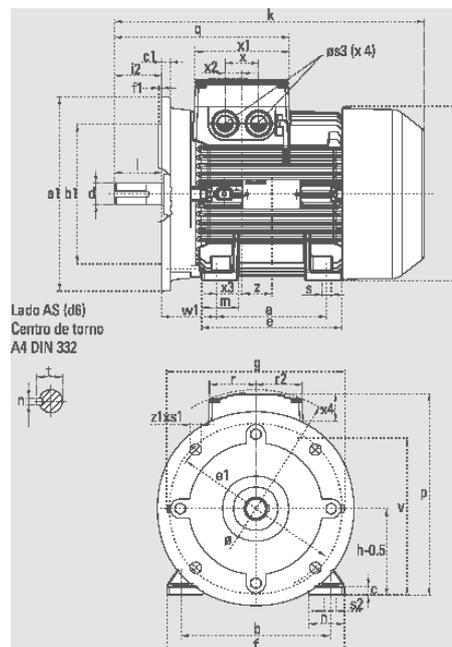
NEMA	(S)	(R+S)	(D)	(G)	(AE-AF)	(O)	(O+T)	(AA)	(H)	(C)	Nomenclatura NEMA
(48)	30	5	16	71	12.7	156	146	180	21	8	242
(143T)	50	8	27	90	12.7	186	179	210	21	9	326
(145T)	50	8	27	90	12.7	186	179	210	21	9	326
(182T)	60	8	31	112	14.3	225	225	257	27	12	374
(184T)	60	8	31	112	14.3	225	225	257	27	12	374
(213T)	80	10	41	132	16.5	252	257	284	27	12	470
(215T)	80	10	41	132	16.5	252	257	284	27	12	470
(254T)	110	12	45	160	17	327	312	365	38	14	620
(256T)	110	12	45	160	17	327	312	365	38	14	620
(284T)	110	14	51.5	180	25	366	352	404	38	14	690
(286T)	110	14	51.5	180	25	366	352	404	38	14	690
(324T)	110	16	59	200	28	405	397	452	51	18	746
(326T)	110	16	59	200	28	405	397	452	51	18	746
(364TS)	110	16	59	225	32	460	450	505	2x51	18	800
(364T)	140	18	64	225	32	460	450	505	2x51	18	830
(365TS)	110	16	59	225	32	460	450	505	2x51	18	800
(365T)	140	18	64	225	32	460	450	505	2x51	18	830

Tamaños 71 a 160

Ejecución IM B3



Ejecución IM B35



4.2. Montaje Mecánico de los Motores Eléctricos

La sección del tipo de motor debe responder a las exigencias de la máquina accionada, del uso y de las condiciones ambientales en particular.

Para los motores acoplados en forma directa, la velocidad debe ser la que requiere la máquina accionada. En el caso de accionamiento por polea y banda se pueden tener, velocidades distintas. En estos casos conviene seleccionar motores de alta velocidad, es decir con el menor número de polos posibles, ya que, a igual de potencias, dimensiones, el peso y el costo son menores, respetando los límites de conveniencia de la relación de transmisión (no mayor de 3 a 4 con banda plana, de 8 a 10 con banda para polea profunda y de 10 a 15 con bandas trapezoidales).

Es necesario que las condiciones de las instalaciones no perjudiquen la eficiencia del sistema de enfriamiento previsto para la máquina con el objeto de evitar sobrecalentamientos superiores a los previstos, entre otras consideraciones se deben tener esencialmente:

1. Una fijación sólida a la base o cimentación, que debe estar oportunamente dimensionada y predispuesta con una nivelación previa.
2. En los motores que accionan cargas por medio de polea, se debe regular bien la tensión de la banda, que no debe ser excesiva para no provocar cargas mecánicas anormales sobre los pernos y chumaceras y tampoco debe quedar muy suelta para que no exista deslizamiento de la banda sobre la polea.
3. En los motores acoplados directamente en su eje a la carga, es necesario asegurar el exacto alineamiento de los ejes.
4. Es conveniente hacer girar a mano el grupo máquina – elemento accionado, a fin de asegurarse que no se tenga una resistencia mecánica excesiva o anormal.
5. Las máquinas y sus instrumentos o aparatos complementarios deben ser fácilmente accesibles.

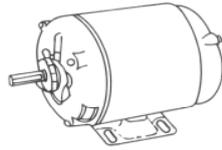
En general se debe considerar que un montaje mal realizado para una máquina, pueden dar lugar a numerosos inconvenientes que perjudican su operación normal. Con este propósito es conveniente mencionar que los motores de inducción montados sobre chumaceras de esferas con flecha horizontal, se pueden montar en cualquier posición (sobre el suelo, en la pared, en techo, etc.).

Todos los motores destinados a operar con flecha vertical debe estar provistos de chumaceras especiales, en el caso de los motores que operan sólo en posición horizontal, no hay prácticamente disposiciones especiales en cuanto a las chumaceras, para evitar, como en el montaje vertical, escurrimientos de aceite.

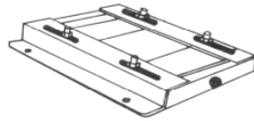
Recomendaciones para el arranque

Antes de efectuar el arranque de un motor eléctrico es conveniente asegurarse de que se tenga aceite en las chumaceras, el aceite necesario en los eventuales aparatos de maniobra que se usen y que tienen recipiente para ello, como es el caso de los reostatos, interruptores, conmutadores, etc. Que los aparatos de arranque estén dispuestos en la posición precisa para cumplir con sus operaciones. En particular, es importante que los reostatos se encuentren en la posición de máxima resistencia y los dispositivos de corto circuito de los motores con rotor devanado que usan anillos rozantes se encuentren bien apoyados con sus portaescobillas.

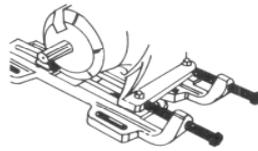
Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales



BASE RIGIDA
(FIJA A LA CARCAZA DEL MOTOR)



BASE RIGIDA
CON TORNILLOS AJUSTABLES

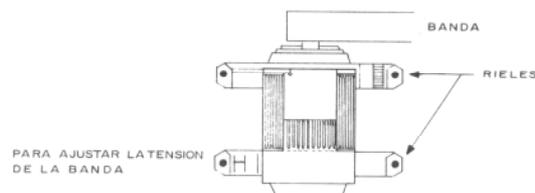
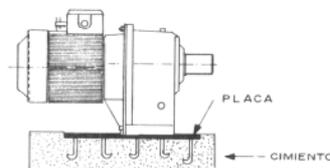
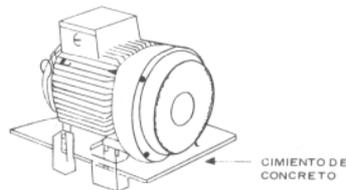


RIELES DESLIZANTES CON TORNILLOS AJUSTABLES

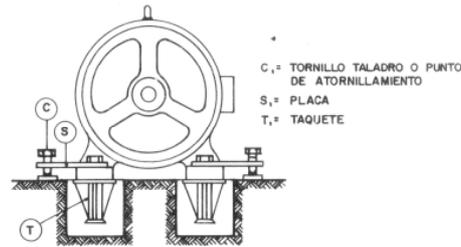
TIPOS DE BASES RIGIDAS PARA MOTORES

Notas Prácticas para el Montaje Mecánico

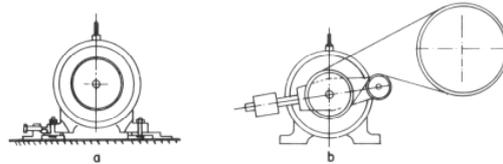
Para la instalación del motor, la base debe ser plana y de ser posible libre de vibraciones, por lo que se recomienda usar un cimiento de concreto con pernos de cimentación o una placa base. Cuando la transmisión se hace por banda, el motor se debe montar sobre rieles tensores, de manera que se pueda ajustar la tensión de la banda. Por otra parte, las máquinas deben estar alineadas con gran precisión ya que en caso contrario se pueden presentar vibraciones, fallas en las chumaceras y hasta rotura en la flecha.



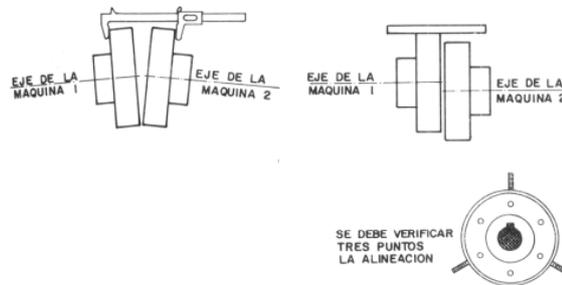
MONTAJE DE MOTORES



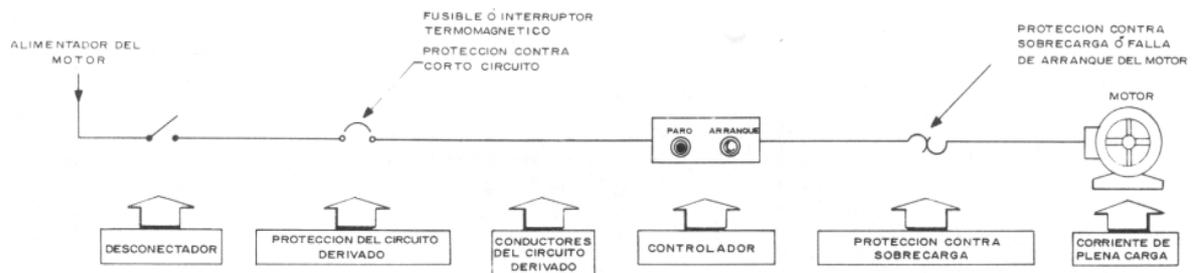
SISTEMA PARA LA NIVELACION DE UNA MAQUINA ANTES DEL COLADO DE LA BASE



METODOS DE REGULACION DE LA TENSION DE LA BANDA POR MEDIO DEL MONTAJE DE SU GUIA O PUESTA DE CORRIMIENTO (A) Y CON TENSOR (B)



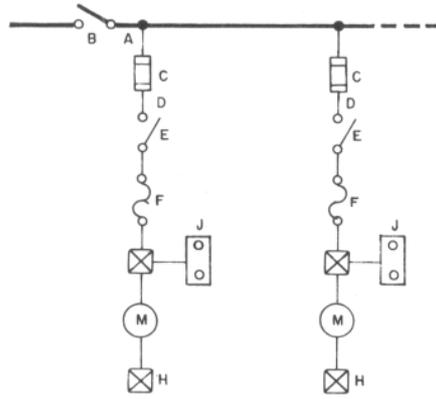
4.3 Elementos de la Instalación Eléctrica para motores



ELEMENTOS A CONSIDERAR EN LA INSTALACION ELECTRICA DE MOTORES.

En la figura siguiente se muestran los elementos principales en la instalación eléctrica de uno o varios motores:

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales



Para el cálculo de los distintos elementos de la instalación eléctrica de un motor se parte del dato básico que es:

La corriente a Plena Carga

Es la corriente que toma o consume un motor cuando desarrolla su potencia nominal y se indica por lo general en su placa de características.

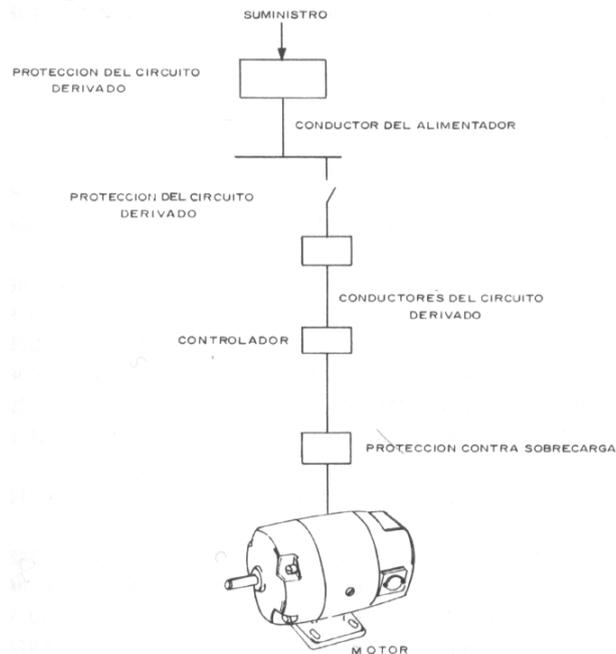
Alimentador (A)

El calibre del alimentador para dos o mas motores se calcula para la siguiente corriente

$$I = 1.25 \times I_{pc} (\text{Motor mayor}) + \sum I_{pc}$$

Donde:

I_{pc} = Corriente a plena carga



Protección del alimentador (B)

La protección del alimentador ya sea que se haga por medio de fusibles, interruptores automáticos (termomagnéticos o electromagnéticos) o cualquier otro tipo de interruptores se

debe calcular para una corriente que tome en consideración la corriente máxima del motor mayor más la suma de las corrientes a plena carga de los otros motores conectados al mismo circuito, es decir:

$$I = I_{\text{arranque máx}} (\text{Motor Mayor}) + \Sigma I_{pc} (\text{otros motores})$$

La corriente de arranque es la que toma un motor justamente durante el periodo de arranque, y es considerablemente mayor que su corriente nominal, cuando el motor ha alcanzado su velocidad normal. Esto significa que los conductores que alimentan a los motores deben estar protegidos por un elemento contra sobrecarga con una capacidad suficientemente grande como para soportar la corriente de arranque por un tiempo corto.

La corriente de arranque de un motor depende principalmente de su reactancia, y se designa en algunos motores por medio de una letra, correspondiendo las primeras letras del abecedario a motores de alta reactancia y las últimas a motores de baja reactancia. Estas cantidades se expresan como kVA/HP a rotor frenado y se dan como la corriente nominal, también en tablas.

Protección del circuito derivado (C)

Esta protección se puede hacer en los casos más simples por medio de fusibles, o bien por medio de interruptores automáticos. Ésta protección tiene como objetivo proteger a los conductores del circuito derivado contra corto circuito y debe tener una capacidad tal que permita el arranque del motor sin que se desconecte (abra) el circuito. Se calcula de acuerdo con la tabla 3.

Circuito derivado (D)

A los conductores que conectan el motor con el tablero de distribución o con el alimentador se les denomina “el circuito derivado del motor”. A estos conductores para su cálculo se les considera una sobrecarga del 25%, es decir, para su cálculo se considera la siguiente expresión:

$$I = 1.25 \times IPC$$

Desconectador (E)

El propósito del desconectador es aislar el motor mediante un control del circuito derivado, para que, en caso necesario se puedan hacer trabajos de mantenimiento o ajustes en el motor sin ningún problema para la persona que los efectúe. El desconectador es básicamente un interruptor de navajas que debe tener una capacidad dada por la corriente

$$I = 1.15 \times IPC$$

Por lo general el desconectador no tiene la función de apertura estando el motor en operación.

Protección del motor (F)

Esta protección es contra una sobrecarga para evitar que el motor se sobrecaliente, para lo cual se calcula para un valor máximo permisible del 25%. Es decir el elemento de protección se calcula para una corriente

$$I = 1.25 \times IPC$$

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales

Por lo general este elemento se encuentra dentro del control del motor, formando parte del mismo.

Control del motor (G)

En el concepto elemental, este control se refiere al dispositivo que permite arrancar, poner en operación y para un motor.

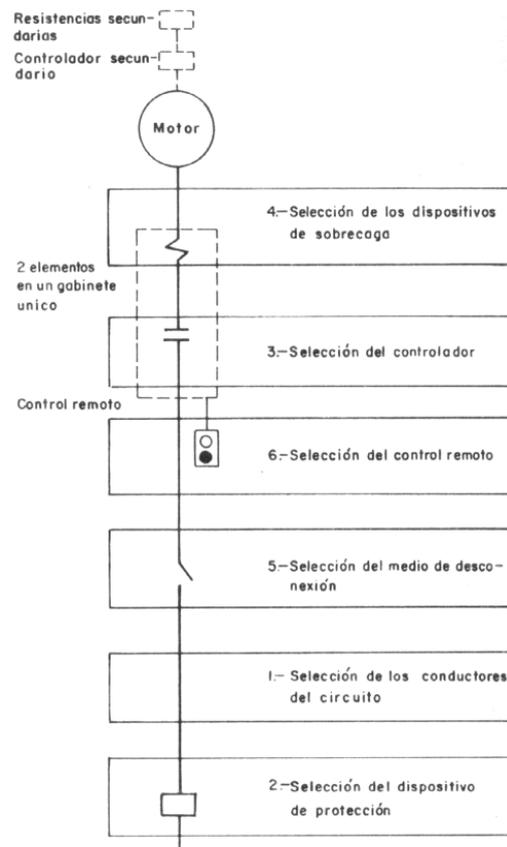
Según el tamaño y el tipo del motor este dispositivo puede ser un simple interruptor de navajas o bien un desconectador manual o automático o en ocasiones otros elementos adicionales para arrancar a voltaje reducido o con resistencias en el rotor, como es el caso de los motores con rotor devanado.

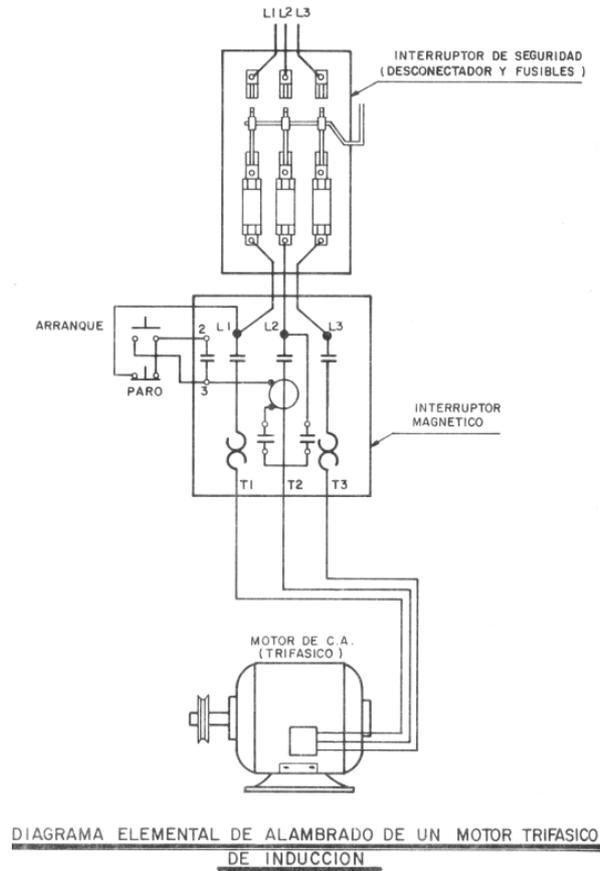
Control secundario (H)

Cuando se tienen motores eléctricos con rotor devanado, su control se efectúa mediante un reóstato que se conecta al devanado del rotor a través de los anillos rozantes.

Estación de botones para control remoto (J)

Cuando los motores están controlados por medio de dispositivos electromagnéticos o termomagnéticos, se puede accionar la operación de arranque o para por medio de una estación de botones que normalmente no se encuentra cercana al motor (de aquí que se le denomine de control remoto).





4.4 Cálculos Mecánicos para Instalación de Motores Eléctricos

Los siguientes ejemplos nos darán una idea para aplicar el cálculo indicado para la instalación mecánica a realizar.

1. En la aplicación de acoplamientos por medio de bandas y poleas, se recomienda que para motores hasta 0.4Kw (1/2 Hp), la polea que se acople a su eje no tenga un diámetro superior a 51 mm (2 pulgadas) y para potencias mayores, este diámetro no sea menor de 76 mm (3 pulgadas), si se tiene en este caso un motor de 1 Hp (0.80 kW) que opera a una velocidad de 1725 rpm y tiene una polea acoplada a su eje, una polea de 76 mm de diámetro para accionar a una carga que va a operar a 2100 rpm. Calcular el diámetro de la polea que se debe acoplar a la carga.

Solucion:

rpm del motor / rpm de la máquina accionada = diámetro de la polea de la máquina accionada / diámetro de la polea del motor

$$N_{\text{motor}} / N_{\text{carga}} = D_{\text{carga}} / D_{\text{motor}}$$

$$D_{\text{carga}} = (D_{\text{motor}}) N_{\text{motor}} / N_{\text{carga}} = (76) (1725/2100) = 62.4 \text{ mm}$$

Se usa una polea de 62 mm de diámetro.

2. En la determinación de la longitud de las bandas tipo V en los acoplamientos por poleas y banda se aplican distintos métodos para determinar la longitud de la banda:

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales

- a) Cuando el motor ya se encuentra montado, se debe medir esta longitud.
- b) Si el motor no se va a montar en un cierto lugar con relación al equipo por accionar, entonces la distancia se debe calcular considerando los diámetros de las poleas del motor y del equipo accionado de acuerdo al siguiente procedimiento:

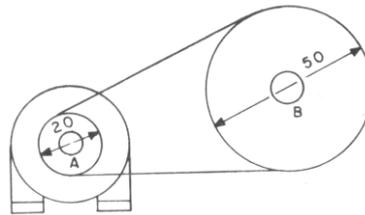
$$\begin{aligned} \text{Longitud de la banda} &= 4 \times \text{diámetro mayor de las poleas} \\ \text{requerida} &+ 1.6 \times \text{diámetro de la polea del motor} \\ &+ 1.6 \times \text{diámetro de la polea del equipo} \end{aligned}$$

En este ejemplo, si el diámetro de la polea del motor es 76 mm y la polea del equipo accionado tiene un diámetro de 203 mm, calcular la longitud de la banda V de acoplamiento.

Solución:

$$\begin{aligned} \text{Longitud de la banda requerida} &= (4 \times 203) + (1.6 \times 76) + (1.6 \times 203) \\ &= 1258.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. En la figura se muestra un motor de 10 Hp (7.5 kW) que transmite potencia por medio de un acoplamiento de poleas y banda a una carga. Si el motor opera a 900 rpm, calcular la velocidad y par que se transmite a la carga.



Solución:

De la relación:

$$\begin{aligned} N_{\text{motor}} / N_{\text{carga}} &= D_{\text{carga}} / D_{\text{motor}} \\ N_{\text{carga}} &= N_{\text{motor}} \times D_{\text{carga}} / D_{\text{motor}} \end{aligned}$$

$$N_{\text{carga}} = 900 (20/50) = 360 \text{ rpm}$$

Para calcular el par transmitido se hace uso de la expresión para el cálculo de la potencia.

$$CP = \tau \times \text{rpm} / 716$$

Donde τ es el par en Kg/m, en este caso la fuerza superficial en las dos poleas es igual, por lo que el par es

$$\tau = 716 \times CP / \text{rpm} = (716 \times 10) / 360$$

$$\tau = 19.8 \text{ kg/m}$$

4. Un motor acciona a una carga por medio de un acoplamiento de engranes. El engrane acoplado a la flecha del motor tiene 36 dientes y gira a una velocidad de 1750 rpm, se desea saber cuantos dientes debe tener el engrane de la carga para que gire a 450 rpm.

Solución:

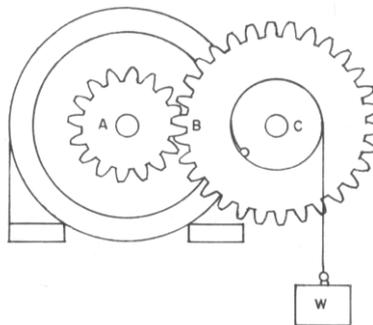
La relación de velocidad a número de dientes en los engranes es similar a la usada para los acoplamientos por poleas.

$$N_{\text{motor}} / N_{\text{carga}} = N_{\text{dientes de carga}} / N_{\text{dientes motor}}$$

$$N_{\text{dientes carga}} = N_{\text{dientes motor}} \times N_{\text{motor}} / N_{\text{carga}}$$

$$N_{\text{dientes carga}} = 36 (1750/450) = 140$$

5. En la figura se tiene un motor de 5 Hp que opera a 1200 rpm. En su eje se tiene montado un engrane de 10 cm de diámetro que se acopla a otro de 60 cm de diámetro que está montado en una flecha de 15 cm de diámetro. Calcular ¿Cuál es el peso que se puede levantar?



Solución:

La fuerza desarrollada en la superficie de A es:

$$F = 72712 \times \text{Hp} / N \times R \text{ (Kg)}$$

Donde:

Hp = Potencia del motor en Hp

N = Velocidad del engrane del motor

R = Radio del engrane del motor

$$F = (72712 \times 5) / (1200 \times 5) = 61 \text{ Kg}$$

Debido a que esta fuerza actúa también sobre B. El efecto de torsión es:

$$T_B = F \times R_B = 61$$

$$T_B = 61 (30/100) = 18.3 \text{ kg/m}$$

El par debido al peso W en el extremo del arreglo debe ser igual y opuesto al de la polea B, de aquí, la fuerza F sobre la superficie de C es:

$$F = (18.3 \times 100) / 7.5 = 244 \text{ kg}$$

6. Para determinar la capacidad de un motor a un ciclo de carga variable, se probó por un período de 1 hora, haciéndolo operar con 8.21 kW (11 Hp) durante 4 minutos, 0.933 kW (1.25 Hp) por 6 minutos, 4.55 kW (6.1 Hp) por 11 minutos y estuvo fuera de servicio durante 9 minutos el ciclo se repitió. Calcular la potencia requerida por la máquina.

Solución:

$$\text{Valor Eficaz de potencia} = \sqrt{(P_1^2 t_1) + (P_2^2 t_2) + \dots + (P_n^2 t_n) / t + t + \dots t_n + t_r/3}$$

Donde:

P = Potencia en kW o Hp

t = Tiempo

t_r = Tiempo de reposo o fuera de servicio

$$H_p = \sqrt{(11^2 \times 4) + (1.25^2 \times 6) + (6.1^2 \times 11) / (4 + 6 + 11 + 9/3)}$$

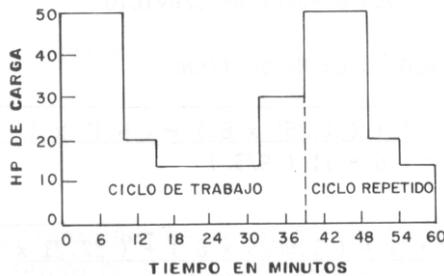
$$H_p = \sqrt{37.612} = 6.133 \text{ Hp}$$

$$\text{kW} = 4.576$$

Para verificar:

$$\text{kW} / 0.746 \text{ kw} / H_p = 6.134 \text{ Hp}$$

7. Calcular el valor eficaz de potencia en Hp para un motor que opera con un perfil de carga como el mostrado en la figura:



Solución:

Los productos de las potencias por los tiempos de acuerdo a la gráfica son:

- 50 Hp durante 10 minutos = 50 x 50 x 10 = 25000
- 20 Hp durante 5 minutos = 20 x 20 x 5 = 2000
- 14 Hp durante 17 minutos = 14 x 14 x 17 = 3332
- 30 Hp durante 7 minutos = 30 x 30 x 7 = 6300

$$\text{Total} = 36632$$

$$\text{De modo que } H_p = \sqrt{36632 / (10 + 5 + 17 + 7)}$$

Se puede usar un motor de 30 Hp.

4.5 Tablas para Cálculos Eléctricos para Instalación Eléctrica

Un resumen para los siguientes cálculos necesarios para los alimentadores de este grupo de motores se da a continuación en las tablas siguientes:

CORRIENTE A PLENA CARGA DE MOTORES TRIFASICOS DE CORRIENTE ALTERNA

C.P.	MOTOR DE INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA Y ROTOR DEVANADO - (AMPERES)			MOTOR SINCRONO, CON FACTOR DE POTENCIA UNITARIO (AMPERES)		
	220 V.	440 V.	2 400 V.	220 V.	440 V.	2 400 V
1/2	2.1	1.0				
3/4	2.9	1.5				
1	3.8	1.9				
1 1/2	5.4	2.7				
2	7.1	3.6				
3	10.0	5.0				
5	15.9	7.9				
7 1/2	23.0	11.0				
10	29.0	15.0				
15	44.0	22.0				
20	56.0	28.0				
25	71.0	36.0		54	27	
30	84.0	42.0		65	33	
40	109.0	54.0		86	43	
50	136.0	68.0		108	54	
60	161.0	80.0	15	128	64	11
75	201.0	100.0	19	161	81	14
100	259.0	130.0	25	211	106	19
125	326.0	163.0	30	264	132	24
150	376.0	188.0	35	---	158	29
200	502.0	251.0	47	---	210	38

Estos valores de corriente a plena carga son para motores que funcionen a velocidades normales para transmisión por banda y con características de par también normales. Los motores de velocidad especialmente baja o de alto par motor pueden tener corrientes a plena carga mayores, y los de velocidades múltiples tendrán una corriente a plena carga que varía con la velocidad; en estos casos debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos.

Protecciones del Motor Contra Sobrecarga y Corto Circuito

Con el fin de proteger el motor y el circuito derivado requiere:

1. Protección térmica de sobrecarga, protegiendo el motor contra daños por su sobrecalentamiento.

La protección deberá ser ajustada a la corriente nominal del motor. Se hace normalmente por medio de elementos bimetálicos adyacentes al arrancador.

2. Fusibles protegiendo la línea y el motor contra corto circuito. Los fusibles se eligen dependiendo de la corriente nominal del motor, según la tabla siguiente:

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales

SELECCION DE FUSIBLES PARA PROTECCION DE MOTORES

CORRIENTE NOMINAL DEL MOTOR (A)		TAMAÑO FUSIBLE (A)
CON ARRANQUE DIRECTO	CON ARRANQUE ESTRELLA/ DELTA	
1.5	4.	4
1.6- 2	4.1- 5	6
2.1- 4	5.1- 10	10
4.1- 5	10.1- 12	16
5.1- 8	12.1- 18	20
8.1- 9	18.1- 20	25
9.1- 12	20.1- 28	35
12.1- 17	28.1- 44	50
17.1- 25	44.1- 60	63
25.1- 30	60.1- 70	80
30.1- 37	70.1- 85	100
37.1- 50	81.1-125	125
50.1- 75	126 -160	160
75.1- 90	161 -200	200
90.1-120	201 -250	250
121 -145	251 -315	315
146 -185	316 -355	355

VALORES DE LA CORRIENTE DE OPERACION PARA INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS NO COMPENSADOS A TEMPERATURAS DIFERENTES DE LOS 40°C.

M A R C O	CORRIENTE NOMINAL A:		CORRIENTE DE OPERACION A:	
	40°C	25°C	50°C	60°C
FA	15	17	13	11
	20	22	18	16
	30	33	28	26
	40	44	37	34
	50	55	46	42
	70	77	65	60
1,2,3, polos	100	110	94	87
FB,HFB	15	17	13	11
	20	22	18	16
	30	33	28	26
	40	44	37	34
	50	55	46	42
	70	77	65	60
2,3 polos	100	110	94	87
	125	137	116	105
	150	165	138	125
LB-225,HLB	125	145	116	106
	150	188	132	111
	175	210	159	141
	200	243	180	157
	225	255	212	198
LB 400, HLB	250	294	230	208
	300	364	270	236
	350	412	322	291
	400	471	368	333
LA	500	550	468	435
	600	660	564	525
NB	700	770	658	613
	800	880	754	704
	900	990	828	749
	1000	1100	900	825
	1200	1320	1090	1000
PB	1400	1540	1304	1148
	1600	1760	1500	1320
	1800	1980	1690	1485
	2000	2200	1880	1650
	2500	2750	2350	2060
	3000	3300	2820	2470

AMPACIDAD DE CONDUCTORES AISLADOS DE COBRE DE 1 A 3 CONDUCTORES
EN CONDUIT (BASADO EN UNA TEMP. AMBIENTE DE 30°C.

RANGO DE TEMPERATURA DEL CONDUCTOR (VER TABLA C)

	60°C	75°C	90°C	110°C	125°C	200°C	250°C
	140°F	167°F	194°F	230°F	257°F	392°F	482°F
T I P O S							
CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG MCM	T TW	RH RHW RUH THW THWN	TA TBS RHH RHHN	AVA AVL	AIA	A AA	TFE
18	---	---	21	---	---	---	---
16	---	---	22	---	---	---	---
14	15	15	25	30	30	30	40
12	20	20	30	35	40	40	55
10	30	30	40	45	50	55	75
8	40	45	50	60	65	75	95
6	55	65	70	80	85	95	120
4	70	85	90	105	115	120	145
3	80	100	105	120	130	145	170
2	95	115	120	135	145	165	195
1	110	130	140	160	170	190	220
1/0	125	150	155	190	200	225	250
2/0	145	175	185	215	230	250	280
3/0	165	200	210	245	265	285	315
4/0	195	230	235	275	310	340	370
250	215	255	270	315	335	---	---
300	240	285	300	345	380	---	---
350	260	310	325	390	420	---	---
400	280	335	360	420	450	---	---
500	320	380	405	470	500	---	---
600	355	420	455	525	545	---	---
700	385	460	490	560	600	---	---
750	400	475	500	580	620	---	---
800	410	490	515	600	640	---	---
900	435	520	555	---	---	---	---
1000	455	545	585	680	730	---	---
1250	495	590	645	---	---	---	---
1500	520	625	700	785	---	---	---
2000	560	665	775	840	---	---	---

1. Para temperaturas mayores ver tabla C de factores de corrección
2. Ampacidad para los tipos de conductores RRH, THHN calibre 14, 12 y 10 debe ser el mismo para conductores de 75°C en esta tabla.

FACTORES DE CORRECCION-TEMPERATURAS AMBIENTES

ARRIBA DE 30°C (86°F)

°C	°F	60°C 140°F	75°C 167°F	90°C 195°F	110°C 230°F	125°C 257°F	200°C 392°F	250°C 482°F
40	104	0.82	0.88	0.91	0.94	0.95	----	----
45	113	0.71	0.82	0.87	0.90	0.92	----	----
50	122	0.58	0.75	0.82	0.87	0.89	----	----
55	131	0.41	0.67	0.76	0.83	0.86	----	----
60	140	----	0.58	0.71	0.79	0.83	0.91	0.95
70	158	----	0.35	0.58	0.71	0.76	0.87	0.91
75	167	----	----	0.50	0.66	0.72	0.86	0.89
80	176	----	----	0.41	0.71	0.69	0.84	0.87
90	194	----	----	----	0.50	0.61	0.80	0.83
100	212	----	----	----	----	0.51	0.77	0.80
120	248	----	----	----	----	----	0.69	0.72
140	284	----	----	----	----	----	0.59	0.59
160	320	----	----	----	----	----	----	0.54
180	356	----	----	----	----	----	----	0.50
200	392	----	----	----	----	----	----	0.43
225	437	----	----	----	----	----	----	0.30

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales

La corriente nominal de los Motores de Inducción

Este valor representa la corriente que demanda un motor de su fuente de alimentación cuando desarrolla su potencia nominal. Debido a que las potencias de los motores (expresadas en Kilowatts o Hp) se encuentran normalizadas de acuerdo al número de fases y voltaje de alimentación y considerando también que para las velocidades de operación más comunes a la frecuencia de alimentación, para un número de polos dados, estos valores se encuentran dentro de rangos típicos que aparecen en las normas técnicas de instalaciones eléctricas, en los catálogos de los fabricantes de motores y equipo de control, en reglas de cálculo diseñadas exprefeso, etc., y estos valores son los que se usan para el cálculo de las componentes de su instalación eléctrica.

CORRIENTES DE MOTORES A PLENA CARGA-VALORES APROXIMADOS

MOTORES DE C.A. TRIFASICOS

H. P.	VELOCIDAD SINCRONA	CORRIENTE DE CARGA PLENA AMPERES		
		110 V	220 V	230 V
1/6	1800	1.2	0.62	0.31
	1200	1.6	0.80	0.40
1/4	1800	1.6	0.78	0.39
	1200	2.2	1.10	0.54
1/3	1800	2.3	1.1	0.57
	1200	2.8	1.4	0.70
1/2	3600	3.2	1.6	0.8
	1800	3.6	1.8	0.9
	1200	4.0	2.0	1.0
	900	4.4	2.2	1.1
3/4	3600	4.6	2.3	1.1
	1800	4.8	2.4	1.2
	1200	3.8	2.4	1.2
	900	5.0	2.5	1.2
1	3600	6.0	3.0	1.5
	1800	6.0	3.0	1.5
	1200	6.8	3.4	1.7
	900	6.8	3.4	1.7
1 1/2	3600	8.4	4.2	2.1
	1800	9.0	4.5	2.25
	1200	9.6	4.8	2.4
	900	11.2	5.6	2.8
2	3600	11.6	5.8	2.9
	1800	11.4	5.7	2.85
	1200	11.4	5.7	2.85
	900	13.6	6.8	3.4
3	3600	16.8	8.4	4.2
	1800	16.4	8.2	4.1
	1200	16.4	8.2	4.1
	900	19.0	9.5	4.75
5	3600		13.0	6.5
	1800		13.0	6.5
	1200		14.0	7.0
	900		15.2	7.6
7 1/2	3600		19.0	9.5
	1800		19.0	9.5
	1200		20.2	10.1
	900		22.0	11.0
10	1800		25.0	12.5
	1200		26.5	13.3
	900		28.0	14.0
	600		32.0	16.0
15	1800		37.0	18.5
	1200		38.0	19.3
	900		41.0	20.5
	600		46.0	23.0

MOTORES DE C.A. TRIFASICOS.

H. P.	VELOCIDAD SINCRONA	CORRIENTE DE CARGA PLENA AMPERES		
20	1800	---	49.0	24.5
	1200	---	50.0	25.0
	900	---	53.0	26.5
	600	---	59.0	29.5
25	1800	---	60.0	30.0
	1200	---	62.5	31.2
	900	---	65.5	33.0
	600	---	73.5	36.7
30	1800	---	71.0	35.0
	1200	---	75.0	38.0
	900	---	75.0	38.0
	600	---	89.0	45.0
40	1800	---	96.0	48.0
	1200	---	97.5	49.0
	900	---	103	52.0
	800	---	111	56.0
50	1800	---	116	58.0
	1200	---	116	60.0
	900	---	125	63.0
60	1800	---	141	71.0
	1200	---	144	72.0
	900	---	149	75.0
75	1800	---	175	88.0
	1200	---	180	90.0
	900	---	183	92.0
100	1800	---	232	116
	1200	---	236	118
	900	---	241	120
125	1800	---	---	145
	1200	---	---	145
	900	---	---	147
150	1800	---	---	170
	1200	---	---	170
	900	---	---	177
200	1800	---	---	229
	1200	---	---	229
	900	---	---	230

CALCULOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE LOS CIRCUITOS DERIVADOS DE ALGUNOS TIPOS DE MOTORES TRIFASICOS DE INDUCCION

TIPO DE MOTOR A 60 HZ	TIPO DE DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DERIVADO	CORRIENTE A PLENA CARGA	CAPACIDAD MÍNIMA DEL DESCONECTADOR	CAPACIDAD MÁXIMA DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN	CAPACIDAD MÍNIMA PARA EL CÁLCULO DE CONDUCTORES	TIPO Y CALIBRE DEL CONDUCTOR THW (COBRE)	TAMAÑO DEL CONTROLADOR	MÁXIMA CAPACIDAD DEL DISPOSITIVO DE SOBRECARGA
5 HP, LETRA DE CÓDIGO A, 220 VOLTS	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO DE TIEMPO INVERSO	15.9	PARA 5 HP LA CAPACIDAD ES: $1.15 \times 15.9 = 18.29 \text{ A}$	$1.5 \times 15.9 = 23.85$	$1.25 \times 15.9 = 19.87 \text{ A}$	No. 12 AWG	5 HP	$1.15 \times 15.9 = 18.29 \text{ A}$
25 HP, 440 VOLTS, JAULA DE ARDILLA FACTOR DE SERVICIO 1.2	FUSIBLE SIN RETARDO DE TIEMPO	36 A	PARA 25 HP LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR ES: $1.15 \times 36 = 41.4 \text{ A}$	$3 \times 36 = 108 \text{ A}$	$1.25 \times 36 = 45 \text{ A}$	No. 8 AWG	25 HP	$1.25 \times 36 = 45 \text{ A}$
30 HP, 440 VOLTS, ROTOR DEVANADO CON ELEVACIÓN DE TEMPERATURA DE 40°C	FUSIBLE SIN RETARDO DE TIEMPO	42 A	PARA 30 HP LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR ES: $1.15 \times 42 = 48.3$	$1.5 \times 42 = 63 \text{ A}$	$1.25 \times 42 = 52.5 \text{ A}$	No. 8 AWG	30 HP	$1.25 \times 42 = 52.5 \text{ A}$
50 HP, 440 VOLTS, JAULA DE ARDILLA	FUSIBLE SIN RETARDO DE TIEMPO	68 A	PARA 50 HP LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR ES: $1.15 \times 68 = 78.2 \text{ A}$	$3 \times 68 = 204 \text{ A}$	$1.25 \times 68 = 85 \text{ A}$	No. 4 AWG	50 HP	$1.15 \times 68 = 78.2 \text{ A}$

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales

CORRIENTES DE MOTORES A PLENA CARGA-VALORES APROXIMADOS

MOTORES DE C.A. MONOFASICOS

H. P.	VELOCIDAD SINCRONA	CORRIENTE DE CARGA PLENA AMPERES	
		115 V.	230 V.
1/8	3600	2.4	1.2
	1800	2.8	1.4
	1200	3.4	1.7
1/6	3600	2.8	1.4
	1800	3.0	1.5
	1200	3.8	1.9
	900	4.6	2.3
1/4	3600	3.6	1.8
	1800	4.2	2.1
	1200	5.0	2.5
	900	6.4	3.2
1/3	3600	4.4	2.2
	1800	4.0	2.5
	1200	6.0	3.0
	900	7.2	3.6
1/2	3600	6.4	3.2
	1800	7.2	3.6
	1200	8.4	4.2
	900	10.4	5.2
3/4	3600	8.8	4.4
	1800	10.0	5.0
	1200	12.0	6.0
	900	13.6	6.8
1	3600	11.6	5.8
	1800	12.4	6.2
	1200	14.0	7.0
	900	14.8	7.4
1 1/2	3600	17.6	8.8
	1800	18.2	9.1
	1200	20.6	10.3
	900	24.6	12.3
2	3600	22.4	11.2
	1800	23.4	11.7
	1200	26.0	13.0
	900	30.0	15.0
3	3600	32.0	16.0
	1800	33.6	16.8
	1200	36.0	20.0
	900	40.0	20.0
5	3600	50	25
	1800	52	26
	1200	56	28
	900	66	33

4.6 Cálculos Eléctricos para Instalación Eléctrica

Los siguientes ejemplos nos darán una idea para aplicar el cálculo indicado para la instalación eléctrica a realizar.

1. Calcular para un motor trifásico de inducción de 5 Hp, 60 Hz, 220v con letra de código H.
 - a) La mínima y máxima corriente de arranque posible
 - b) La corriente nominal de operación a plena carga
 - c) La máxima corriente de arranque como una relación de la corriente nominal.

Solución:

- a) De tablas, para la letra de código H el motor tiene de 6.3 a 7.09 kVA/Hp, por lo tanto:

Los kVA mínimos que demanda son:

$$\text{kVA mínimos} = 6.3 \text{ kVA} / \text{Hp} (5 \text{ Hp}) = 31.5$$

Los kVA máximos que demanda:

$$\text{kVA máximos} = 7.09 \text{ kVA} / \text{Hp} (5 \text{ Hp}) = 35.45$$

Como se trata de un motor trifásico, entonces su potencia se puede expresar como:

$$P = \sqrt{3} V I_L$$

De donde para el caso de la mínima corriente de línea

$$I_{\min} = \text{VA min} / \sqrt{3} V = 31.5 (1000) / \sqrt{3} (220) = 82.66 \text{ Amp.}$$

$$I_{\max} = \text{VA max} / \sqrt{3} V = 35.45 (1000) / \sqrt{3} (220) = 93.03 \text{ Amp.}$$

- b) La corriente normal de operación a plena carga se obtiene de la tabla para corriente a plena carga de motores. De manera que para 5 Hp a 220 volts la corriente es de 5 Amp.
- c) La máxima corriente de arranque como una relación de la corriente nominal es:

$$I_{\max} / I_{\text{nom}} = 93.03/15 = 6.202 \text{ Amp.}$$

Es decir aproximadamente 6.2 veces mayor que la corriente de operación.

2. Calcular las características principales para los alimentadores de los motores trifásicos de inducción a 60 Hz cuyos datos principales se dan a continuación:
- Motor de 5 Hp, 220 Volts con letra de código A y a corriente nominal de 15.9, Jaula de Ardilla.
 - Motor de 25 Hp, 440 Volts con una corriente nominal de 36 Amp.
 - Motor de 30 Hp a 440 Volts, El motor tiene el rotor devanado
 - Motor de 50 Hp, Jaula de Ardilla a 440 Volts con corriente a plena carga de 68 Amp.

Solución:

Para el motor Jaula de Ardilla de 5 Hp, 220 Volts con letra de código A, el circuito derivado se puede proteger por medio de un interruptor termomagnético de $1.5 \times 15.9 = 23.85$ Amp. debido al bajo valor que da su letra de código a rotor bloqueado. El máximo ajuste del dispositivo de sobrecarga (Elemento Térmico) es:

$$1.15 \times 15.9 = 18.29 \text{ Amp.}$$

Para el motor de 25 Hp a 440 Volts, como no se dan datos de letra de código, se puede suponer un factor de servicio de 1.2, con lo que el elemento de protección contra sobrecarga se puede ajustar a un valor:

$$1.25 \times 36 = 45 \text{ Amp.}$$

Se puede usar un fusible de tiempo no retardado para proteger el circuito y cuyo valor es:

$$3 \times 36 = 108 \text{ Amp.}$$

Para el motor de 30 Hp a 440 Volts con una elevación máxima de temperatura de 40 °C, con rotor devanado se hacen las siguientes consideraciones:

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales

Debido a que el motor tiene rotor devanado se usa fusible de tiempo no retardado como dispositivo de protección del circuito derivado, el valor de este dispositivo no se puede ajustar a más del 150% de la corriente a plena carga, que en este caso de tablas se sabe que es: 42 Amperes, es decir que el 150% es entonces:

$$1.5 \times 42 = 63 \text{ Amp.}$$

En este caso probablemente sea recomendable usar un arrancador de 30 Hp con medio de desconexión.

En el caso del motor de 50 Hp a 440 Volts, como se trata de un motor de Jaula de Ardilla, de tablas, la corriente a plena carga es 68 Amperes, se debe usar un arrancador para 50 Hp y el dispositivo de protección no se debe ajustar a un valor mayor de:

$$1.15 \times 68 = 78.2 \text{ Amp.}$$

3. Se tiene un motor trifásico de inducción de 5 Hp, 220 Volts con letra de código H, se desea calcular:
 - La capacidad máxima de un fusible de tiempo retardado para la protección del circuito derivado
 - La capacidad máxima que tendría un interruptor termomagnético de tiempo inverso para proteger el circuito derivado.

Solución:

- Los kVA a rotor bloqueado varían de 6.3 a 7.09kVA/Hp, tomando el valor máximo

$$kVA_{\text{máximos}} = 7.09 \text{ kVA/Hp (5 Hp)} = 35.45$$

La corriente máxima (correspondiente a esta potencia) es:

$$I_{\text{max}} = VA_{\text{max}} / \sqrt{3} V = (35.45 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 220) = 93.03 \text{ Amp.}$$

De la tabla de capacidad máxima o ajuste de los dispositivos de protección, para letra de código H y corriente nominal de 15 A (de tablas) para uso de fusible con tiempo retardado, la capacidad máxima de 175% de la corriente a plena carga, es decir:

$$1.75 \times 15.9 = 27.83 \text{ Amp.}$$

El fusible recomendado es entonces de 30 Amp.

- Si se usa interruptor termomagnético, la capacidad máxima de la tabla correspondiente es 250% de la corriente a plena carga, es decir:

$$2.5 \times 15.9 = 39.75 \text{ Amp}$$

Por lo que se puede usar un interruptor de 40 Amp.

4. Se tienen dos motores de inducción de 5 Hp y 10 Hp que se alimentan de un circuito monofásico a 127 Volts. Si se van a proteger por medio de fusibles de tiempo no retardado, calcular las características principales del alimentador.

Solución:

Para calcular la capacidad de corriente, se da valores de corriente a plena carga para estos motores. Para el motor monofásico de 5 Hp a 127 Volts.

$$I_{pc} = 51 \text{ Amp.}$$

Para el motor de 10 Hp a 127 V.

$$I_{pc} = 91 \text{ Amp.}$$

La corriente para calcular el calibre del alimentador es:

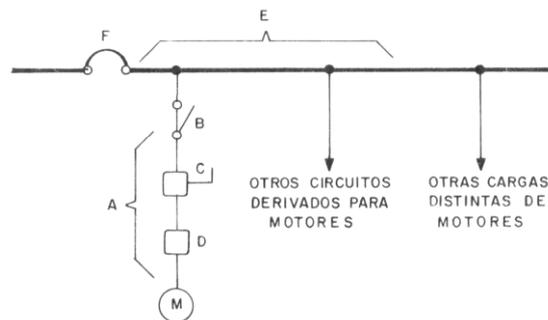
$$I_{AL} = 1.25 I_{pc} \text{ motor mayor} + \Sigma I_{pc} \text{ otros motores}$$

$$I_{AL} = 1.25 \times 91 + 51 = 164.75 \text{ Amp.}$$

De tablas de conductores, se pueden usar 2 conductores No. 3/0 tipo TW en tubo conduit de 51 mm de diámetro.

Calculo de Alimentadores para Motores

En el diagrama correspondiente al cálculo de los circuitos derivados, el alimentador alimenta el circuito derivado del motor y se protege por separado, de manera que para incluir al alimentador se debe usar el diagrama que se muestra a continuación:



A = CONDUCTORES DEL CIRCUITO DERIVADO DEL MOTOR
 B = MEDIO DE DESCONEXION DEL MOTOR
 C = PROTECCION DEL CIRCUITO DERIVADO

- A = Conductores del Circuito Derivado del Motor
- B = Medio de Desconexión del Motor
- C = Protección del Circuito Derivado
- D = Control de Motor y Protección de Operación
- E = Conductores del Alimentar.
- F = Elementos de Protección del Alimentador.

Calculo de las Componentes del Alimentador

El método de cálculo de las componentes del alimentador, es de hecho el mismo que el usado para calcular las componentes del circuito derivado de un motor.

- La capacidad de conducción de corriente (ampicidad) de los conductores del alimentador (E) se calcula con 1.25 veces la corriente a plena carga del motor de mayor

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales

capacidad mas la suma de las corrientes a plena carga de los motores restantes, cargas adicionales o bien otros motores se agregan a esta suma en forma directa.

$$I_A = 1.25 I_{PC} M \text{ mayor} + \sum I_{PC} \text{ otros motores} + I \text{ otras cargas}$$

- El dispositivo de protección del alimentador (F) para protegerlo contra corto circuito y fallas a tierra se calcula agregando la suma de las cargas adicionales a la corriente máxima para el dispositivo de protección del motor contra corto circuito o falla a tierra, que se obtiene de la tabla correspondiente para el motor mayor.
- Cuando se consideren cargas adicionales para el futuro, se incluyen en los cálculos para determinar la capacidad apropiada de los alimentadores y los dispositivos de protección. El circuito alimentador que distribuye la potencia desde el servicio hasta el circuito derivado de un motor, se puede realizar en distintas formas, de hecho el diseñador debe seleccionar el arreglo que sea mas fácilmente realizable, evaluando algunas consideraciones como el costo, voltaje de alimentación, disponibilidad de espacio, forma de control de motores, etc.

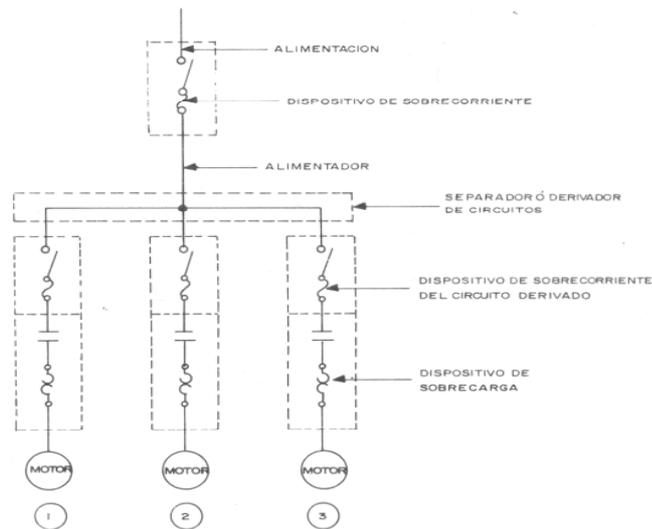
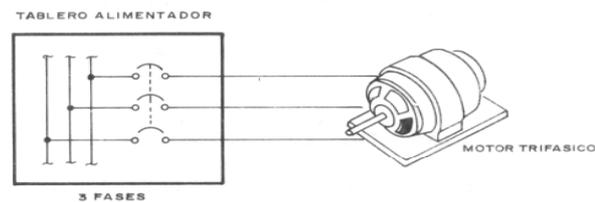
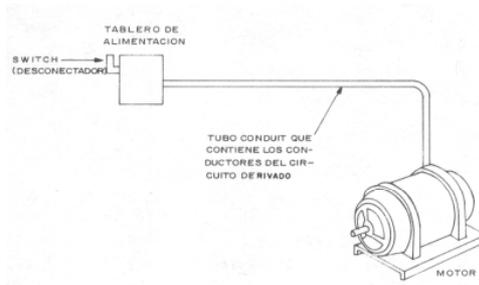


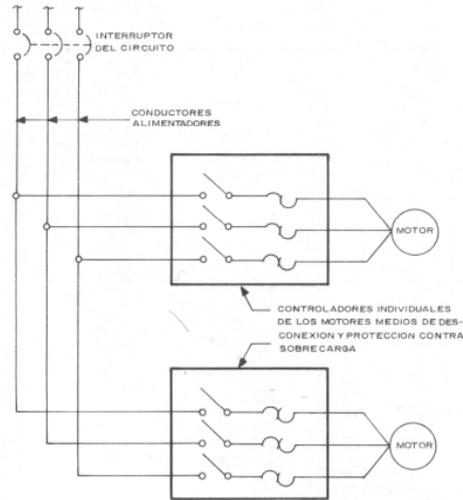
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACION DE VARIOS MOTORES



CIRCUITO DERIVADO DEL MOTOR



ESQUEMA BASICO DE LA INSTALACION DE UN MOTOR ELECTRICO



ALIMENTACION A DOS MOTORES POR UN ALIMENTADOR SENCILLO.

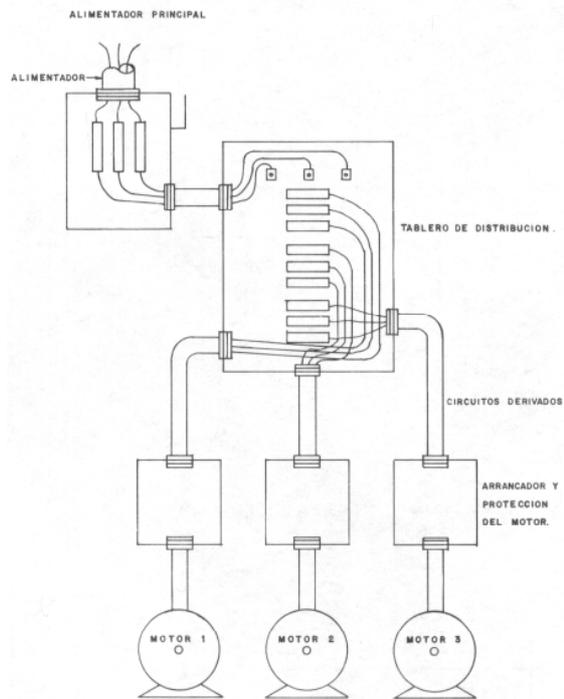


DIAGRAMA ELEMENTAL DE LA INSTALACION DE TRES MOTORES TRIFASICOS DE CORRIENTE ALTERNA.

4.7 Información General

La información a continuación contiene los procedimientos de índole general que son aplicables a los motores de Inducción. Antes de instalar, operar o efectuar mantenimiento en el equipo, familiarizarse con lo siguiente:

1. Normas de seguridad para la Instalación y uso de motores eléctricos.
2. Código Eléctrico Nacional.
3. Códigos y métodos locales.

Avisos de seguridad: Se sugiere leer y entender los manuales de instalación, operación y mantenimiento que prevé el fabricante del equipo, y no pase desapercibidos los avisos de “Advertencia” y “Cuidado”. Generalmente, un aviso de “Advertencia” indica una condición posiblemente insegura que podría causar lesiones a personas, mientras que un aviso de “Cuidado” indica una condición que podría ocasionar daños a equipos.

Advertencias

1. Verificar a que tensión opera el equipo.
2. No tocar ninguna conexión eléctrica sin antes asegurarse que se ha desconectado la alimentación de potencia.
3. Antes de conectar la alimentación, asegúrese que el sistema está debidamente puesto a tierra. Es preciso cumplir cuidadosamente con lo indicado en el Código Eléctrico Nacional y los códigos locales.
4. Evite exponerse durante un tiempo prolongado a máquinas con alto nivel de ruido. Asegúrese de usar dispositivos de protección para los oídos de modo de reducir los efectos auditivos perjudiciales.
5. Verificar que el motor no esté conectado a otras máquinas que tengan piezas rotativas o piezas accionadas por el mismo.
6. No pase por alto ni desactive dispositivos protectores ni guardas de seguridad.
7. Evite usar dispositivos de reposición automática si la reiniciación automática del motor poner en peligro a personas o equipos.
8. Asegúrese que la carga está debidamente acoplada al eje (flecha) del motor antes de alimentar potencia.
9. Tenga sumo cuidado y use procedimientos seguros durante el manejo, levantamiento, instalación, operación y mantenimiento del equipo.
10. Antes de hacer mantenimiento en el motor, asegúrese que el equipo conectado al eje del motor no pueda causar rotación del eje. Si la carga podría producir rotación del eje, desconecte la carga del eje del motor antes de efectuar el mantenimiento.
11. Antes de desarmar el motor, desconecte completamente la alimentación de electricidad de los devanados del motor y los dispositivos accesorios.
12. Verificar que la aplicación de los motores sea realmente para las condiciones que fueron diseñados: exposición al polvo, vapores inflamables o combustibles, condiciones de operación a prueba de explosión, etc.
13. Los motores que se utilicen en atmósferas inflamables y/o explosivas deberán incluir el rótulo UL correspondiente en la placa de fábrica.
14. Cerciorarse de que las condiciones de servicio específicas se encuentre dentro del rango de valores establecidos en el Código Eléctrico Nacional.

Cuidados

1. Para evitar los daños o la falla prematura del equipo, el mantenimiento deberá ser realizado únicamente por personal de mantenimiento calificado.
2. No levantar el motor y su carga accionada usando los herrajes para alzar el motor.

3. Si se usan pernos de ojo para levantar el motor, asegúrese que están bien apretados y verificar en el manual cuál es el ángulo máximo de la dirección de levantamiento a fin de no dañar el motor.
4. Para evitar que se dañe el equipo, asegúrese que el servicio eléctrico no exceda el amperaje nominal máximos del motor indicado en su placa.

Recepción

Generalmente, los motores son probados minuciosamente en fábrica y empacados cuidadosamente para su transporte. Al recibir su motor, usted deberá hacer de inmediato lo siguiente:

1. Evalúe las condiciones del cajón de transporte y, si se observan daños, informe cuanto antes a la empresa que transportó el motor.
2. Verifique si el número de parte del motor que recibió es el mismo que el número de parte indicado en su orden de compra.

Almacenamiento:

Si el motor no será puesto inmediatamente en servicio, se deberá almacenar en un lugar limpio, seco y tibio. Para evitar que el motor resulte dañado durante el almacenamiento, es preciso tomar varios pasos preventivos.

1. Use periódicamente un “Megger” (megóhmetro) para asegurar que se mantiene la integridad del aislamiento de los devanados. Registre las lecturas del Megger. Cualquier caída significativa en la resistencia del aislamiento deberá investigarse de inmediato.
2. No lubrique los cojinetes (chumaceras) durante el almacenamiento. Los cojinetes del motor son llenados de grasa en la fábrica. Un exceso de grasa puede deteriorar la calidad del aislamiento.
3. Haga girar el eje del motor 10 vueltas como mínimo cada dos meses durante el almacenamiento (de ser posible, con mayor frecuencia). Ello evitará los daños en los cojinetes resultantes del almacenamiento.
4. Si el lugar de almacenamiento está mojado o húmedo, los devanados del motor deberán ser protegidos contra la humedad. Ello puede hacerse alimentando potencia al calentador unitario del motor (si lo tiene) mientras el mismo está almacenado.

Desembalaje

Si no hay disponibles instalaciones para el resguardo del equipo, no lo saque del embalaje antes de estar listo para el uso. Si se piensa almacenar este equipo durante algún tiempo antes de la instalación, se recomienda que el área de almacenamiento esté seca, protegida y no esté sujeta a cambios extremos de humedad, suciedad y aceite excesivos ni condiciones adversas similares. Cada motor debe ser empacado de modo que se facilite su manejo e impida la entrada de contaminantes.

1. Para evitar la condensación dentro del motor, no desempaque el motor hasta que el mismo haya alcanzado temperatura ambiente (la temperatura ambiente en este caso es la temperatura de la sala donde será instalado).
2. Una vez que el motor alcance la temperatura ambiente, quite todo el material de envoltura protectora del motor.
3. Después del desembalaje y la inspección para comprobar que todas las partes hayan sido recibidas en buenas condiciones, gire el eje a mano para asegurarse que gire libremente.

Manejo

El motor deberá levantarse utilizando las orejas para alzar [de izar] o los pernos de ojo suministrados.

1. Para levantar el motor, use las orejas o pernos de ojo provistos para ello. No trate de levantar a la vez el motor y los equipos adicionales conectados al mismo empleando este método.
2. Al levantar un motor a prueba de intemperie, no lo haga introduciendo orejas para alzar en los agujeros de la parte superior de la cubierta de enfriamiento.
3. Si el motor está montado en una plancha conjuntamente con el equipo accionado, por ejemplo una bomba, un compresor, etc., quizás no se pueda levantar el motor por sí mismo. En tal caso, el conjunto deberá levantarse colocando una eslinga alrededor de la base de montaje. El conjunto puede levantarse como unidad completa para ser instalado. No lo levante utilizando las orejas o pernos de ojo que vienen con el motor. Si la carga está desequilibrada (como cuando incluye acoplamientos o accesorios adicionales), será necesario usar otros elementos para evitar que se vuelque. En cualquier caso, antes de levantar la carga se la deberá asegurar debidamente.

Accesorios

A continuación se mencionan algunos accesorios que se pueden instalar en motores de reciente tecnología que permiten mejorar o proteger la operación adecuada del motor.

RTD y termopares para cojinetes

Utilizados para medir o monitorear la temperatura del cojinete del motor durante su operación.

Termostato del cojinete

Dispositivo térmico que se activa cuando las temperaturas del cojinete son excesivas. Se utilizan con un circuito externo para dar advertencia de temperatura excesiva del cojinete o para parar un motor.

Cajas de conexión

Hay cajas opcionales de conexión de varios tamaños para acomodar dispositivos accesorios.

Conjunto de cordón y enchufe

Cordón de alimentación y enchufe para utilizar en aplicaciones portátiles.

Vaciadores y respiraderos

Se dispone de vaciadores de acero inoxidable con respiraderos por separado.

Tapas de goteo

Diseñadas para usarse cuando el motor está montado en posición vertical.

Tapa de ventilador y filtro de pelusas

Se utilizan para evitar la acumulación de desechos en el ventilador de enfriamiento.

Placa de fábrica

Se dispone de placas de fábrica de acero inoxidable adicionales.

Cojinetes de rodillos

Recomendables para las aplicaciones de accionamiento por correa con velocidad de 1800 r.p.m. o menos.

Etiquetas de flechas de rotación

Las flechas de rotación se suministran en los motores diseñados para operar en una sola dirección.

Calentador unitario

Se instalan para evitar la condensación de humedad dentro de la caja del motor durante períodos de inactividad o almacenamiento.

Herrajes de acero inoxidable

Se dispone de herrajes de acero inoxidable. Los herrajes estándar son de acero zincado resistente a la corrosión.

RTD y termopares para devanados

Utilizados para medir o monitorear la temperatura del devanado del motor durante su operación.

Termostato del devanado

Dispositivo térmico que se activa cuando las temperaturas del devanado son excesivas. Se utiliza con un circuito externo para dar advertencia de temperatura excesiva del devanado o para parar un motor.

Nota: En algunos motores, los cables para dispositivos accesorios salen a una caja de conexión diferente, ubicada al costado de la caja del motor (a menos que se especifique lo contrario).

4.8 Recomendaciones en la Instalación y Operación.

La instalación deberá hacerse en conformidad con el Código Eléctrico Nacional así como con códigos y métodos locales. Cuando se acoplen otros dispositivos al eje del motor, asegúrese de instalar dispositivos de protección para evitar futuros accidentes. Algunos dispositivos de protección son los acoplamientos, las guardacorreas, guardacadenas, tapas de eje, etc. Los mismos protegen contra el contacto accidental con piezas en movimiento. La maquinaria accesible al personal deberá contar con protección adicional, como ser barandillas de guarda, pantallas, carteles de advertencia, etc.

Código Nacional Eléctrico

Las prácticas de cableado, los interruptores con conexión a tierra, selección de un arrancador y la protección contra la corriente excesiva tienen particular importancia, por lo que se sugiere que el usuario vele por el cumplimiento de las normativas del Código Nacional Eléctrico y de cualquier otro Código Local aplicable.

Ubicación

El motor deberá instalarse en un ambiente para el cual fue diseñado: exposición directa al sol, substancias corrosivas, líquidos o gases nocivos, polvo, a las partículas metálicas y a la vibración. La exposición de los mismos en ambientes para los cuales no fueron diseñados, puede reducir la vida útil y degradar el rendimiento del motor. Cerciorase de dejar espacio suficiente para ventilación y acceso para la limpieza, reparación, servicio e inspecciones. La ventilación es extremadamente importante. Asegúrese que el área de ventilación no se encuentre obstruida. Las obstrucciones limitan el paso libre del aire. Los motores se calientan y es preciso disipar el calor para evitar daños.

Montaje

El motor deberá instalarse asegurándolo bien a una superficie de montaje o cimientos rígidos, de modo de minimizar la vibración y mantener el alineamiento entre el motor y la carga del eje. De no utilizarse una superficie de montaje adecuada, pueden experimentarse vibraciones, desalineamiento y daños a los cojinetes.

Alineamiento

El alineamiento correcto del motor con el equipo accionado es de suma importancia.

Acoplamiento directo

Para el accionamiento directo, use de ser posible acoplamientos flexibles. Si requiere más información, consulte al fabricante del equipo. La vibración mecánica y el funcionamiento abrupto pueden indicar un alineamiento incorrecto. Utilice instrumentos indicadores tipo cuadrante para chequear el alineamiento. El espacio entre los cubos del acoplamiento deberá mantenerse al nivel recomendado por el fabricante del acoplamiento.

Ajuste del juego axial

La posición axial del bastidor del motor con respecto a su carga es también muy importante. Los cojinetes del motor no están diseñados para cargas con excesivo empuje axial externo. El ajuste incorrecto resultará en fallas.

Relación de poleas

Verificar que la relación de poleas sean las especificadas por el fabricante.

Accionamiento por correa

Alinee cuidadosamente las poleas de manera de minimizar el desgaste de la correa y las cargas de cojinetes axiales. La tensión de la correa deberá ser la necesaria para impedir el deslizamiento de la correa bajo velocidad y carga nominal. Pero durante el arranque pueden producirse deslizamientos de la correa. ¡CUIDADO!: No sobretensione las correas.

Cargas acopladas

Los motores con cojinetes de manguito (camisa) son adecuados únicamente para cargas acopladas.

Colocación de clavijas y pernos

Luego de verificar que el alineamiento es apropiado, deberán insertarse clavijas (espigas) a través de las patas del motor hasta los cimientos. De este modo se mantendrá la posición correcta del motor si se hace necesario sacarlo. Algunos motores están diseñados para enclavijamiento.

1. Perfore agujeros para clavijas en patas diagonalmente opuestas del motor, en los lugares provistos.
2. Perfore en los cimientos los agujeros correspondientes.
3. Escarie todos los agujeros.
4. Instale clavijas de tamaño apropiado.
5. Los pernos de montaje deberán apretarse cuidadosamente para evitar cambios en el alineamiento. Use una arandela plana y una arandela de seguridad bajo cada tuerca o cabeza de perno para mantener bien aseguradas las patas del motor. Como alternativa a las arandelas se pueden usar pernos o tuercas con reborde.

Conexión de la alimentación

El cableado del motor y del control, la protección contra sobrecarga, los seccionadores, los accesorios y las conexiones a tierra deberán cumplir con lo especificado en el Código Eléctrico Nacional y los códigos y métodos locales.

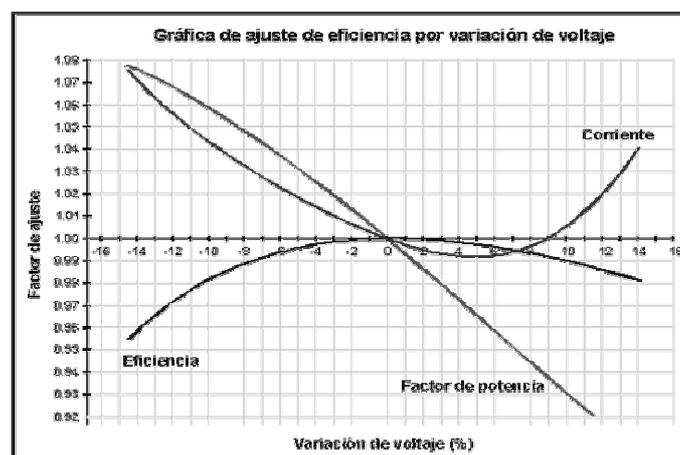
Caja de conexión

Algunos fabricantes suministran un caja para facilitar las conexiones del equipo, e incluso en estas cajas se pueden colocar accesorios adicionales detectores de temperatura por resistencia (RTD's), etc.

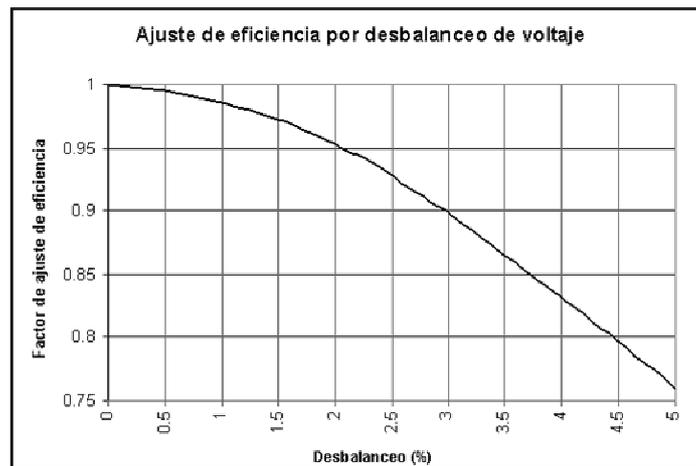
Alimentación de CA

La conexión del motor a la toma de corriente debe ser tal y como lo indica el fabricante del equipo en el diagrama de conexiones, generalmente ubicado en la placa de fábrica o en la parte interior de la tapa en la caja de conexión. Se sugiere analizar las gráficas que proporcionan los fabricantes en relación al ajuste de eficiencia por variación del voltaje, desbalanceo de fases con el fin de que la alimentación de energía no afecte gravemente la eficiencia del motor (véase gráfica 1 y 2).

Gráfica 1. Gráfica de ajuste de eficiencia por variación de voltaje.



Gráfica 2. Ajuste de eficiencia por desbalanceo de voltaje.



Conexión a tierra

Se recomienda conectar a tierra los motores para limitar su potencial a tierra en caso de conexión o contacto accidental entre las partes eléctricas energizadas y las partes exteriores metálicas. Consultar el Código Nacional Eléctrico y/o Códigos Locales.

Al efectuar la conexión a tierra, el instalador debe asegurarse que exista una firme conexión metálica y permanente entre el punto de conexión a tierra y el motor o la caja de terminales del motor. No se debe usar conexiones externas a tierra en motores ubicados en entornos peligrosos.

Existen aplicaciones donde la conexión a tierra de las partes externas de un motor puede resultar en mayor riesgo al aumentar la probabilidad de que una persona en el área pueda hacer contacto simultáneo con la conexión a tierra y con alguna otra parte eléctrica energizada de otro equipo eléctrico sin conexión a tierra. En equipos portátiles es difícil asegurar que se mantiene la conexión positiva a tierra al trasladar el equipo, y la instalación de un conductor a tierra puede llevar a un falso sentido de seguridad.

Cuando la consideración cuidadosa de los riesgos involucrados en una aplicación particular indique que los bastidores de la máquina no se deban conectar a tierra o cuando las condiciones inusuales de funcionamiento dicten que no se puede usar un bastidor conectado a tierra, el instalador debe asegurarse que la máquina esté permanente y eficazmente aislada de tierra. En aquellas instalaciones donde el bastidor de la máquina esté aislado de tierra, se recomienda que el instalador coloque etiquetas o letreros apropiados de advertencia en el área del equipo.

Arranque

El rotor debe poder girar libremente al girar a mano el eje. El motor debe funcionar uniformemente sin mucho ruido. Si el motor no arranca y produce un zumbido muy marcado, quizá la carga sea demasiado grande para el motor o quizá se haya conectado erróneamente. Apague inmediatamente el motor e investigue el problema. Haga funcionar el motor bajo carga normal durante un período inicial para verificar que no haya ruidos inusuales, calentamiento o corriente excesivos. Para invertir la dirección de giro, intercambie cualesquiera dos de los conductores de alimentación eléctrica.

El usuario deberá seleccionar un arrancador de motor y protección contra sobrecorriente adecuados para este motor y su aplicación. Se sugiere consultar los datos de aplicación del arrancador del motor y el Código Nacional Eléctrico o los códigos locales aplicables.

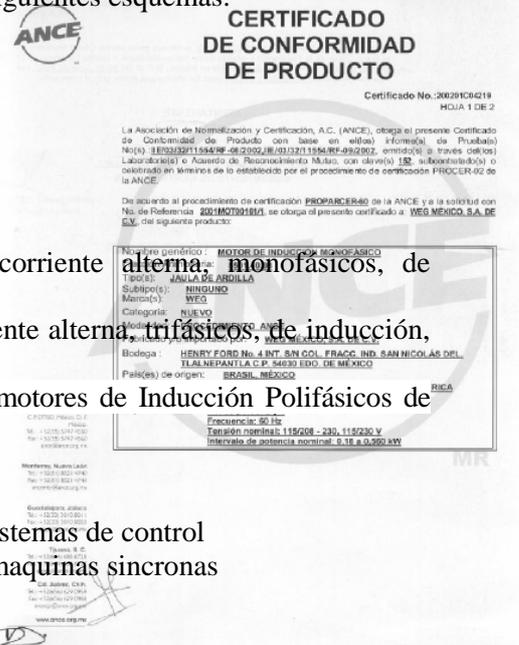
Calentamiento

El régimen de servicio y la máxima temperatura ambiente se indican generalmente en la placa de fábrica del motor. El exceso de calentamiento del motor disminuye la eficiencia del mismo.

4.9 Certificaciones

La línea de los Motores Eléctricos son certificados por los siguientes esquemas:

- i. NOM: Eficiencia Energética
- ii. UL: Sistema de Aislamientos y componentes
- iii. CSA: Seguridad



4.9.1 Normas para Motores Eléctricos.

- NOM 014-1997. Eficiencia energética de motores de corriente alterna monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla
- NOM 016-2002. Eficiencia energética de motores de corriente alterna trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla
- NEMA MG-2. La Selección y uso de la frecuencia fija, motores de Inducción Polifásicos de Jaula de Ardilla de CA
- ANSI/ UL 1004-84 instalación de motores
- ANSI/ UL 674-89 motores intemperie
- ANSI/ IEEE 421-1 identificación, prueba y evaluación de sistemas de control
- ANSI/ IEEE serie 421 definición y pruebas de sistemas de maquinas sincronas
- ANSI/ NEMA MG-1 motores y generadores
- ANSI C50-41-1982 motores de inducción con multifases
- ANSI C37.10 estudios de corto circuito en sistemas de control
- ANSI C37.13 para fallas de sistemas industriales

4.10 Recomendaciones generales para el ahorro de energía en Motores Eléctricos

1. Elegir correctamente la potencia del motor. El rendimiento máximo se obtiene cuando éste opera entre el 75% y el 95% de su potencia nominal y cae bruscamente para cargas reducidas o cuando trabaja sobrecargado. Adicionalmente los motores de inducción a cargas bajas o en vacío tienen un factor de potencia muy bajo.
2. Seleccionar el motor de acuerdo con su ciclo de trabajo. Operar un motor para servicio continuo, en accionamientos de operación intermitente, con frecuentes arranques y paros, ocasiona una depreciación de sus características de operación y eficiencia. Además de que se puede dañar el aislamiento de los devanados por la elevación de la temperatura.
3. Seleccionar el armazón del motor, de acuerdo con el ambiente en que va a estar trabajando. Los motores abiertos son más sencillos y por lo tanto menos costosos, además de operar con mayor factor de potencia. Sin embargo, en condiciones adversas del medio, los motores cerrados serán los indicados.
4. Seleccionar correctamente la velocidad del motor. Si la carga lo permite prefiere motores de alta velocidad, son más eficientes y si se trata de motores de corriente alterna, trabajan con un mejor factor de potencia.
5. Utilizar motores de inducción trifásicos en lugar de monofásicos. En motores de potencia equivalente, su eficiencia es de 3 a 5% mayor y su factor de potencia mejora notablemente.
6. Utilizar motores síncronos en lugar de motores de inducción. Cuando se requieren motores de gran potencia y baja velocidad la elección de un motor síncrono debe ser considerada. Compare en costo con uno de inducción de características similares, su eficiencia es de 1 al 3% mayor, su velocidad es constante y contribuye a mejorar el factor de potencia de la instalación.

Instalación de Control de Motores Eléctricos Industriales

7. Sustituir los motores antiguos o de uso intenso. Los costos de operación y mantenimiento de motores viejos o de motores que por su uso han depreciado sus características de operación, pueden justificar su sustitución por motores normalizados y de alta eficiencia.
8. Efectuar correctamente la instalación eléctrica y el montaje de los motores y su carga. Las Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas en su capítulo referente a motores, y las recomendaciones de los fabricantes son consulta obligada para asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos.
9. Realizar en forma correcta la conexión a tierra de los motores. Una conexión defectuosa o la ausencia de ésta, puede poner en peligro la vida de los operarios si se presenta una falla a tierra. Además de ocasionar corrientes de fuga que no son liberadas por el equipo de protección con un dispendio de energía.
10. Evitar concentrar motores en locales reducidos o en lugares que puedan dificultar su ventilación. Un sobrecalentamiento del motor se traduce en una disminución de su eficiencia.
11. Corregir la caída de tensión en los alimentadores. Una tensión reducida en las terminales del motor, acarrea entre otros, un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída máxima del 3% (o del 5% en la combinación de alimentador y circuito derivado) pero es recomendable que no rebase el 1%.
12. Balancear la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe excederse en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalance, los motores operan con mayor eficiencia.
13. Compensar la energía reactiva demandada por los motores de corriente alterna más importantes o con mayor número de horas de funcionamiento, mejorando el factor de potencia de la instalación, con lo que se reducen las pérdidas de la potencia y de la tensión en los conductores.
14. Procurar que los motores síncronos funcionen con un factor de potencia cercano a la unidad, para mejorar el factor de potencia de la instalación.
15. Evitar hasta donde sea posible el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.
16. Utilizar arrancadores a tensión reducida, en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques. Con esto se evita un calentamiento excesivo en los conductores y se logra disminuir las pérdidas durante la aceleración.
17. Utilizar arrancadores estrella-delta o de devanado partido, como alternativa de los arrancadores a tensión reducida cuando la carga impulsada no requiera de alto par de arranque. Son más económicos y eficientes en términos de energía, pero tienen el inconveniente de que el par de arranque se reduce notoriamente.
18. Sustituir en los motores de rotor devanado, los reguladores con resistencias para el control de la velocidad, por reguladores electrónicos más eficientes. En las resistencias se llega a consumir hasta un 20% de la potencia que el motor toma de la red.
19. Instalar arrancadores electrónicos en lugar de los reóstatos convencionales para el arranque de los motores de corriente directa. Permiten una mayor eficiencia en el arranque con el consiguiente ahorro de energía.
20. Sustituir motores con engranes, poleas, bandas u otro tipo de transmisión, para reducir la velocidad del motor, por motores de velocidad ajustable con reguladores electrónicos.
21. Instalar motores de velocidad ajustable con reguladores electrónicos, en aquellos accionamientos, en donde la carga sea variable y se pueda controlar ajustando la velocidad. Por ejemplo en sistemas de bombeo o compresión que deben suministrar caudales variables y que para hacerlo utilicen válvulas u otros dispositivos de control. La eficiencia total del motor y su carga se eleva notablemente con ahorros importantes de energía.
22. Evaluar la posibilidad de conectar la ventilación solamente durante las bajas velocidades, en aquellos motores de velocidad ajustable y ventilación separada provista por equipos auxiliares. Con esto se puede reducir el consumo de energía en el sistema de ventilación.
23. Preferir el acoplamiento individual, en accionamientos con un grupo de, motores, así se consigue mejor que cada motor trabaje lo más cerca posible de su máxima carga.

24. Acoplar directamente el motor a la carga siempre que el accionamiento lo permita. Con esto se evitan pérdidas en el mecanismo de transmisión.
25. Instalar acoplamientos flexibles en aquellos motores sometidos a un número elevado de arranques súbitos. Con esto se pueden atenuar los efectos de una alineación defectuosa, reducir los esfuerzos de torsión en la flecha del motor y disminuir las pérdidas por fricción.
26. Instalar equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia.
27. Mantener en buen estado y correctamente ajustados los equipos de protección contra sobrecalentamientos o sobrecargas en los motores. Los protegen de daños mayores y evitan que operen con baja eficiencia.
28. Revisar periódicamente las conexiones del motor, junto con las de su arrancador y demás accesorios. Conexiones flojas o mal realizadas con frecuencia originan un mal funcionamiento del motor y ocasionan pérdidas por disipación de calor.
29. Mantener en buen estado los portaescobillas, escobillas, conmutadores y anillos colectores en motores de corriente directa, síncronos y de rotor devanado. Un asentamiento incorrecto de las escobillas sobre el conmutador en los anillos colectores, provoca sobrecalentamientos y pérdidas de energía.
30. Mantener bien ajustado y en óptimas condiciones el interruptor de arranque de los motores monofásicos de fase partida. El mal funcionamiento de este accesorio que se emplea para desconectar el devanado de arranque (y el condensador en los motores de arranque por condensador) provoca un sobrecalentamiento en los conductores con una pérdida de energía y en caso extremo la falla del motor.
31. Mantener en óptimas condiciones los sistemas de ventilación y enfriamiento de los motores, para evitar sobrecalentamientos que puedan aumentar las pérdidas en los conductores del motor y dañar los aislamientos.
32. Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.
33. Reparar o cambiar los ejes del motor y de la transmisión, si se han doblado por sobrecarga o por mal uso. Un eje en mal estado incrementa las pérdidas por fricción y puede ocasionar daños severos sobre todo en los cojinetes del motor.
34. Mantener en buen estado los medios de transmisión entre el motor y la carga, tales como: poleas, engranes, bandas y cadenas. Si estos no se encuentran en condiciones apropiadas o su instalación es incorrecta, pueden ocasionar daños importantes, además de representar una carga inútil para el motor.
35. Mantener en óptimas condiciones los cojinetes del motor. Una cantidad considerable de energía se pierde en cojinetes en mal estado o si su lubricación es inadecuada (insuficiente o excesiva). Repárelos o sustitúyalos si tienen algún desperfecto y siga las instrucciones del fabricante para lograr una correcta lubricación.
36. Realizar la inspección periódica del motor, incluyendo lecturas de corriente, potencia (kW), velocidad (rpm), resistencia de aislamiento, etc., con objeto de verificar si se mantienen en condiciones apropiadas de funcionamiento y eficiencia, y poder tomar acciones correctivas, cuando se requieran.
37. Efectuar rutinariamente la limpieza del motor, con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños, que impidan su óptimo funcionamiento. La regularidad con que ésta se realice dependerá de las condiciones en las que el motor este trabajando, pero es recomendable desmontarlo al menos una vez al año para realizar la limpieza completa de todos sus componentes.
38. Mantener actualizados los manuales de operación de los motores, incorporando en éstos las modificaciones que tengan lugar.
39. Colocar carteles con instrucciones concretas para los operarios, con la finalidad de que los motores operen con la mayor seguridad y eficiencia

Conclusiones:

En conclusión de la tesis podemos observar que en la industria actual, el control de motores eléctricos juega un papel importante ya que muchos de los procesos industriales no podrían cumplirse si las distintas actividades con que se desarrollan los elementos accionados con motores eléctricos no se realizaran con la secuencia y el orden apropiado, es decir sin los elementos de control.

A nivel industrial los motores que usualmente se utilizan son los de inducción trifásicos tipo jaula de ardilla y su uso es tan generalizado que al referirse a los motores eléctricos, muchas personas piensan en el motor tipo jaula de ardilla, suponiendo que este es el único que existe.

El motor de inducción, en particular el de tipo de jaula de ardilla, es preferible al motor de corriente continua para trabajo con velocidad constante, porque el costo inicial es menor y la ausencia de conmutador reduce el mantenimiento. También hay menos peligro de incendio en muchas industrias, como aserraderos, molinos de granos, fabricas textiles y fabricas de pólvoras. El uso del motor de inducción en lugares como fábricas de cementos es ventajoso, pues, debido al polvo fino, es difícil el mantenimiento de los motores de corriente continua.

Los motores de inducción son generalmente el tipo de maquinas mas barata. Particularmente en el caso de un rotor de simple jaula. Su precio aumenta a medida que se exige más por parte del control de la velocidad o de las corrientes de arranque y lo cual podría requerir el empleo de una maquina síncrona podría llegar a ser competitiva.

Con relación al equipo accionado, un sistema de control debe estar diseñado e instalado para proporcionar la secuencia apropiada de operación al equipo accionado. El diseñador de un sistema de control, debe apegarse a las disposiciones normativas indicadas en las normas técnicas para instalaciones eléctricas, debe también tomar en consideración las características de operación del equipo por accionar así como los aspectos de mantenimiento del equipo y seguridad del personal, proporcionando para esto último, entre otras cosas, los medios apropiados de desconexión.

Glosario

Parámetros Eléctricos empleados:

1. Potencia:

Es la rapidez con la que se realiza un trabajo; en física la Potencia = Trabajo/tiempo, la unidad del Sistema Internacional para la potencia es el joule por segundo, y se denomina watt (W). Sin embargo estas unidades tienen el inconveniente de ser demasiado pequeñas para propósitos industriales. Por lo tanto, se usan el kilowatt (kW) y el caballo de fuerza (HP) que se definen como:

1 kW	=	1000 W
1 HP	=	747 W = 0.746 kW
1kW	=	1.34 HP

2. Voltaje:

También llamada tensión eléctrica o diferencia de potencial, existe entre dos puntos, y es el trabajo necesario para desplazar una carga positiva de un punto a otro:

<i>Donde:</i>	E	=	Voltaje o Tensión
	V_A	=	Potencial del punto A
	V_B	=	Potencial del punto B

La diferencia de tensión es importante en la operación de una máquina, ya que de esto dependerá la obtención de un mejor aprovechamiento de la operación. Los voltajes empleados más comúnmente son: 127 V, 220 V, 380 V, 440 V, 2300 V y 6000 V.

3. Corriente:

La corriente eléctrica, es la rapidez del flujo de carga [Q] que pasa por un punto dado [P] en un conductor eléctrico en un tiempo [t] determinado.

<i>Donde:</i>	I	=	Corriente eléctrica
	Q	=	Flujo de carga que pasa por el punto P

4. Factor de Servicio:

Es la relación entre la potencia máxima verdadera de la máquina, y su potencia nominal de placa. Un generador con un factor de servicio de 1.15 puede ser operado indefinidamente sin daño a 115% de la carga nominal. El factor de servicio de una máquina provee un margen de error en caso de que las cargas sean estimadas equivocadamente.

Bibliografía

1. Gilberto Enríquez Harper, **El ABC de las Máquinas Eléctricas Tomo III Instalación y Control de Motores de Corriente Alterna**, Editorial Noriega Limusa, México 2004.
2. Joseph Rosenberg, **Reparación de Motores Eléctricos Tomo I y II**, Editorial Gustavo Gilly, México 1970.
3. R. L. Intyre, **Control de Motores Eléctricos Segunda Edición**, Publicaciones Marcombo S.A., México 1982.
4. Stephen J. Chapman, **Máquinas Eléctricas Tercera Edición**, Editorial Mc Graw Hill, México 2003.
5. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), **Diagnóstico en línea y fuera de línea de motores de inducción de baja, mediana y alta tensión**

Manuales

1. EWG, **Manual de Instalación y Mantenimiento**
2. EWG, **Manual de Motores Eléctricos**
3. Telemecanique, **Manual de Arranque de Tensión plena**
4. FIDE-SIEMENS, **Características energéticas garantizadas Motores eléctricos de inducción trifásicos cerrados, 220/440 V**
5. Duty master de CA Reliance Electric Company Rockwell Automation Power Systems, **Manual de Instalación, operación y mantenimiento de los motores**
6. Siemens **Catalogo general de motores eléctricos**
7. Siemens **Catalogo Motores trifásicos de baja tensión con rotor de jaula 1LA 1LG**
8. GE Industrial Systems **Motores de inducción horizontales**

Internet

www.google.com