

MOTORES ELÉCTRICOS

1. EL MOTOR ELEMENTAL

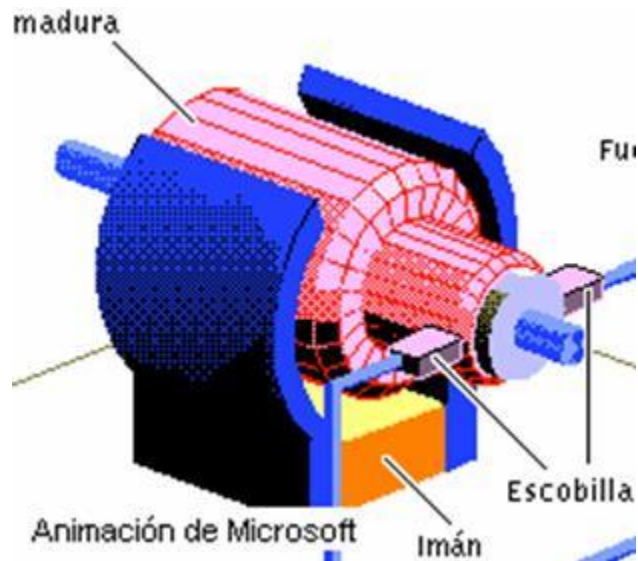
El motor eléctrico es un dispositivo electromotriz, esto quiere decir que convierte la energía eléctrica en energía motriz. Todos los motores disponen de un eje de salida para acoplar un engranaje, polea o mecanismo capaz de transmitir el movimiento creado por el motor.



Un motor eléctrico elemental dc de 2 polos tiene las siguientes partes :

- Una armadura o rotor.
- Un conmutador.
- Escobillas.
- Un eje.
- Un Imán de campo.
- Una fuente de poder DC de algún tipo.

El funcionamiento de un motor se basa en la acción de campos magnéticos opuestos que hacen girar el **rotor** (eje interno) en dirección opuesta al **estator** (imán externo o bobina), con lo que si sujetamos por medio de *soportes o bridas la carcasa del motor el rotor con el eje de salida será lo único que gire.*



2. EL MOTOR DE CC

Para cambiar la dirección de giro en un motor de Corriente Continua tan solo tenemos que invertir la polaridad de la alimentación del motor.

Para **modificar su velocidad** podemos variar su tensión de alimentación con lo que el motor perderá velocidad, pero también perderá par de giro (fuerza) o para no perder par en el eje de salida podemos hacer un circuito modulador de anchura de pulsos (pwm) con una salida a transistor de mas o menos potencia según el motor utilizado.

Si se aplica un voltaje en los bornes de un motor de c.c. circula por los conductores del inducido una corriente que al estar en un campo magnético se produce una fuerza que hace girar los conductores y por lo tanto al inducido, la fuerza ejercida sobre un conductor es proporcional al campo magnético y a la corriente, por lo tanto, el momento del par, llamado "par motor" se puede expresar como sigue:

$$\text{Par motor} = K\phi I_a$$

Donde I_a es la corriente del inducido.

Al girar los conductores con el inducido, cortan líneas de fuerza y en el arrollamiento se induce una fem que se opone al voltaje aplicado en los bornes. Por esta razón, la fem inducida en un motor se llama "fuerza contra electromotriz" f.c.e.m. la corriente en el inducido es *igual a*:

$$I_a = (E_a - E_b) / R_a \quad \text{entonces } E_a = E_b + I_a R_a$$

Donde:

$E_b = f.c.e.m.$

$E_a = \text{voltaje aplicado}$

$I_a = \text{corriente en el inducido}$

$R_a = \text{Resistencia del inducido y escobillas.}$

El **colector** desempeña un papel muy importante en el funcionamiento de un motor de c.c. y consiste en invertir el sentido de la corriente en la espira en el instante en que están enfrentados los polos de nombre contrario. Esto hace que se invierta la polaridad del campo, con lo que hay repulsión en lugar de atracción, y la espira continúa girando. En la figura A, se observa que el polo N del campo principal repele al polo N del campo del inducido.

Al completar media revolución, figura B, el colector invierte la corriente en el inducido, por lo tanto el sentido del campo del inducido se invierte. Esta inversión hace que el polo S del campo principal y del inducido se repelen de nuevo y continúe así la rotación.

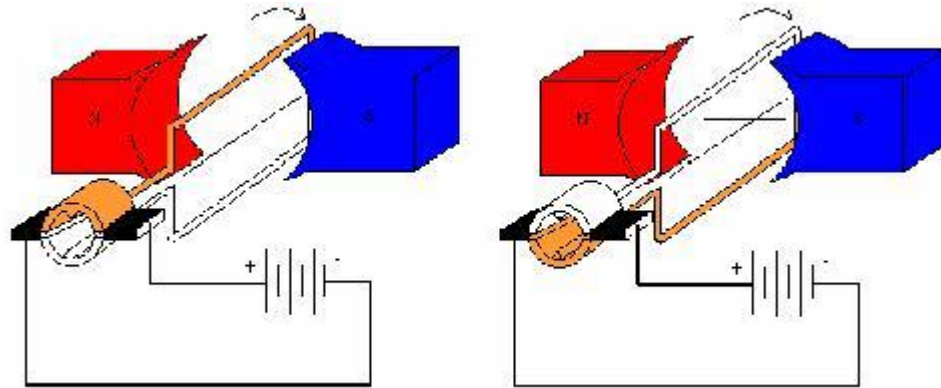


FIGURA A

FIGURA B

En un **inducido** de varias espiras, se mantiene sobre él un par motor uniforme y continuo. Como las espiras están próximas entre sí, el campo resultante producido por el inducido permanece en la misma posición, resultando por tanto en "campo magnético estacionario".

Teoría de funcionamiento. La potencia absorbida de la red por un motor varía automáticamente, para acomodarse a la carga mecánica. Inicialmente cuando el motor parte del reposo, el inducido tendrá una corriente de $I_a = E_a / R_a$, debido a que la **f.c.e.m.** $E_b = 0$. Cuando el motor aumenta la velocidad, la **f.c.e.m.** E_b aumentará también, por lo tanto, $I_a = (E_a - E_b) / R_a$ disminuye. El motor dejará de acelerar cuando la corriente haya descendido hasta un valor tal, que el par motor sea igual a la suma del par de rozamiento y del par de frenado ocasionado por la carga mecánica. Si la carga mecánica aumenta. La velocidad disminuye, la

f_{cem} también disminuye y la I_a aumenta. Al aumentar la corriente, aumenta el par motor .

La velocidad del motor dejará de disminuir cuando el par motor se haga igual al par resistente. Si disminuye la carga, la velocidad aumenta, la f_{cem} aumenta, la corriente I_a disminuye y el par motor disminuye. El motor dejará de acelerar cuando el par motor y resistente se igualen.

ECUACIONES DEL MOTOR DE CC.

$$\text{Par motor} = K\phi I_a$$

$$F_{em} = K\phi \text{ rpm.}$$

$$hp = 2\pi \times \text{par motor} \times \text{rpm}/33000$$

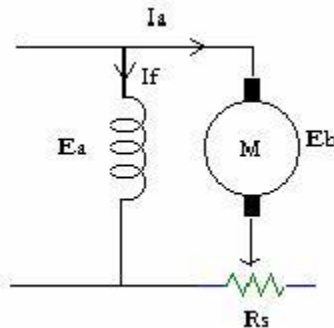
$$1 \text{ hp} = 746 \text{ w}$$

K y ϕ son constantes que dependen de la construcción y del sistema de unidad adoptado.

3. TIPOS DE MOTORES DE CC

3.1 MOTOR SHUNT O PARALELO

Para el motor shunt de la figura, tenemos:



$$I_f = E_a/R_f$$

$$I_a = (E_a - E_b)/R_a.$$

Inicialmente la f_{cem} es cero, debido a que el inducido está en reposo, por lo tanto, la $I_a = E_a / R_a$ que es de un valor elevado. Como la corriente es elevada, entonces el par motor también lo es, ya que $\text{par} = K\phi I_a$.

Esto hace que aumente la velocidad, por consiguiente E_b aumenta. Al aumentar E_b disminuye el par motor que se hace constante cuando el motor adquiere finalmente una velocidad constante.

Si se impidiese el giro del inducido, la corriente de arranque sería muy intensa, continuaría circulando y quemaría el inducido en poco tiempo. En la práctica los motores se protegen generalmente con fusibles que, al fundirse, abren el circuito antes de que se quemé el inducido.

Como la corriente de arranque es elevada (varias veces el valor de la corriente nominal de carga) es necesario intercalar una resistencia R_s en serie para disminuir la corriente de arranque.

Esta resistencia se suprime paulatinamente cuando el motor adquiere velocidad. La fig 4.2. representa la corriente con y sin el reóstato de arranque.



CURVAS CARACTERÍSTICAS

Las curvas características de un motor indican como varían el par motor y la velocidad con la corriente en el inducido, siendo constante el voltaje aplicado.

$$\text{Par motor} = K\phi I_a$$

Como $E_a = \text{constante}$, entonces, I_f es también constante, por lo tanto, el flujo por polo también lo es.

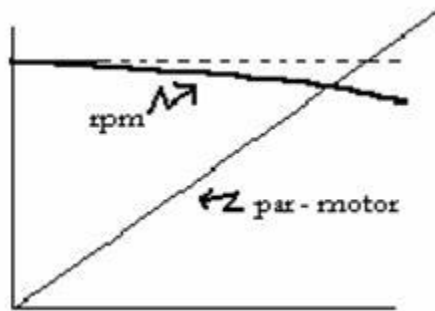
$\text{Par motor} = K\phi I_a = K \times \text{constante} \times I_a = K I_a$, que representa la ecuación de una recta que pasa por el origen.

$$F_{em} = E_b = K \phi \text{ rpm}$$

$$\text{rpm} = (E_a - I_a R_a) / K\phi$$

$$\text{Rpm} = \text{constante} \times (E_a - I_a R_a)$$

Como la resistencia R_a es pequeña el valor $I_a R_a$ es pequeño comparado con E_a , por lo tanto, al aumentar la corriente, disminuye muy poco la velocidad. Por lo tanto el motor shunt es un motor de velocidad constante.



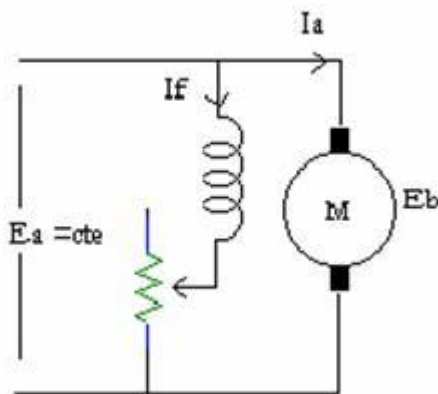
CONTROL DE VELOCIDAD

Aunque el motor shunt es de velocidad constante, su característica más importante, es la de ser un motor de velocidad regulable.

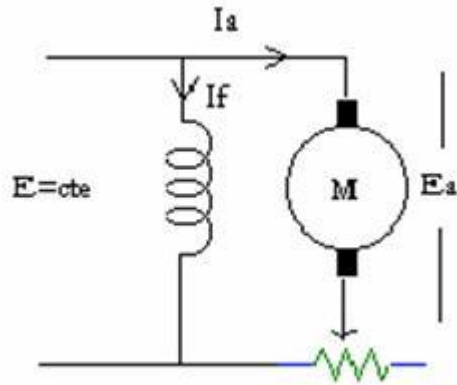
Utilizando la ecuación de la velocidad, tenemos:

$$Rpm = (Ea - Ia Ra) / K\phi$$

La velocidad se puede aumentar, disminuyendo el flujo por polo (ϕ). Para esto, es necesario colocar un reóstato en el circuito de campo, tal como se indica en la figura.



Intercalando un reóstato en el circuito del inducido podemos disminuir la velocidad nominal. Esto es debido a que al aumentar la resistencia en el circuito en el inducido el voltaje E_a disminuye.



INVERSIÓN DE GIRO

El sentido de rotación de un motor shunt se puede invertir, cambiando la dirección de la corriente, ya sea en el circuito de campo o en el circuito del inducido.

Parada del motor.

Para parar el motor se introducen todas las resistencias del reóstato de arranque antes de cortar la corriente.

Propiedades

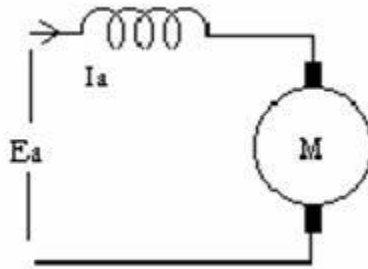
- Par de arranque débil
- No soportan grandes sobrecargas.
- Velocidad constante cualquiera sea la carga .
- No se disparan en vacío.

Utilización

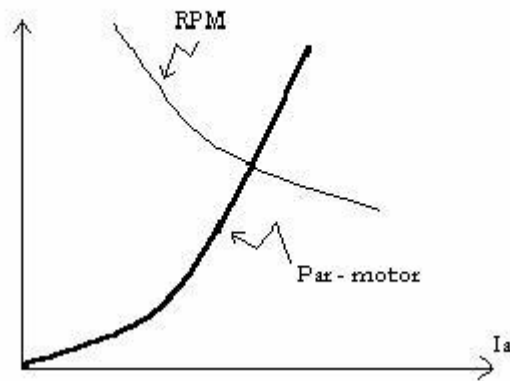
La velocidad constante de estos motores los hace adecuados para el accionamiento de máquinas - herramientas (tornos, taladros) y aparatos de elevación.

3.2 MOTOR SERIE

El motor serie se conecta a la red como se indica en la figura. El voltaje aplicado E_a es constante, mientras que el campo de excitación aumenta con la carga, puesto que la corriente I_a es la misma corriente de excitación.



El par producido $K\phi I_a$ es directamente proporcional al flujo ϕ y a la corriente en el inducido. Como el ϕ también aumenta con I_a , entonces, el par motor es directamente proporcional al cuadrado de I_a , por lo tanto, su curva será parabólica.



$$Par_{motor} = K I_a^2$$

Arranque del motor:

Como en el caso del motor shunt se debe intercalar un reóstato de arranque en serie con el inducido. Esta resistencia se reduce gradualmente cuando el motor adquiere velocidad.

Características de carga

Las curvas características se pueden obtener a partir de las fórmulas fundamentales:

$$Par_{motor} = K\phi I_a = K I_a^2, \text{ debido a que } \phi = K I_a$$

$$Rpm = (Ea - Ia Ra) / K\phi = K (Ea - Ia Ra) / Ia,$$

o sea, que al aumentar la corriente, disminuye la velocidad, y su curva de velocidad, se observa que para cargas ligeras, la velocidad se hace peligrosamente elevada, y por esta razón un motor serie ha de estar siempre engranado o acoplado directamente a la carga. Si un motor serie estuviera unido a la carga mediante una correa y ésta se rompiera o soltase, el motor se embalaría y probablemente se dañaría.

Inversión del sentido de rotación:

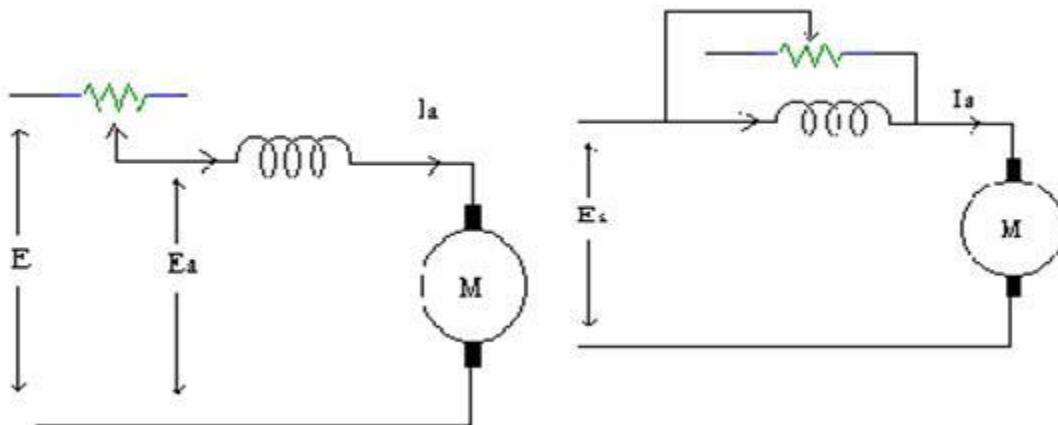
La rotación se puede invertir cambiando la dirección de la corriente, ya sea del campo en serie o del inducido.

Parada del motor:

Para parar un motor serie, es preciso introducir progresivamente las resistencias del reóstato de arranque y cortar luego la alimentación, para evitar una fuerte corriente de ruptura que sería peligrosa para los arrollamientos.

Control de velocidad:

La velocidad se puede variar, cambiando el voltaje aplicado E_a , colocando un reóstato en serie con la bobina de campo. De esta manera se disminuye la velocidad. Se puede aumentar la velocidad, disminuyendo el flujo por polo. Esto se puede realizar, colocando un reóstato en paralelo con la bobina de campo, de modo que la corriente total la solo se permita circular una parte por la bobina de excitación.



Propiedades:

- Gran par de arranque.

- Velocidad variable con la carga.
- Tendencia al aceleramiento excesivo.
- Soporta bien las sobrecargas.
- Se dispara fácilmente en vacío o cuando la carga decrece.

Utilización

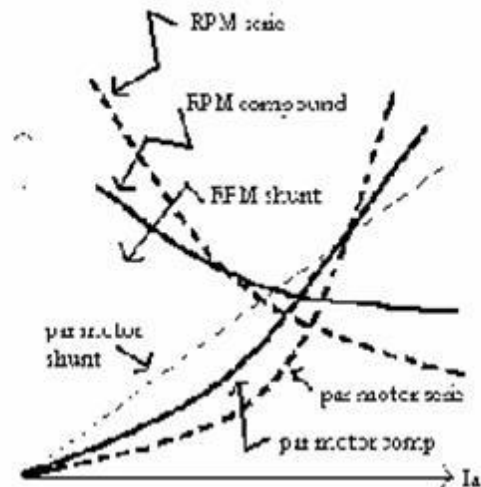
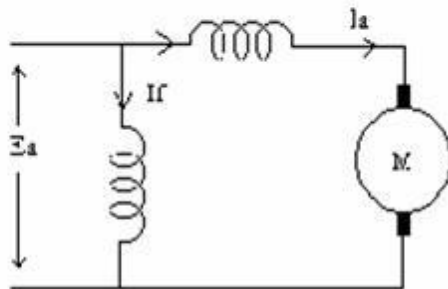
Se usa en los aparatos de elevación: Montacargas, ascensores, grúas, frenos eléctricos.

3.3 MOTOR COMPOUND

Comparando las ventajas de los motores serie y shunt se encuentra que:

- 1) El motor shunt tiene una velocidad más constante, pero
- 2) Un motor serie del mismo régimen de capacidad puede ejercer un par mucho mayor, cuando sea necesario, sin aumentar terriblemente la corriente.

Estas dos características pueden obtenerse en un mismo motor colocando dos bobinados de campo: Uno en serie y otro shunt, en los polos del motor, y que se llamará motor compound. Las características de velocidad y par motor para un motor compound se dan en la siguiente figura.



La velocidad de un motor compound se puede disminuir por debajo de la normal por medio de un reóstato colocado en el circuito del inducido y aumentarse por encima de la normal mediante un reóstato en el circuito de campo.

A diferencia de los motores en serie, el motor compound tiene una velocidad definida sin carga y no alcanzará velocidades destructivas si ésta se suprime.

La regulación de la velocidad es inferior a la de un motor shunt y mayor a la de uno serie. La rotación se invierte cambiando la dirección de la corriente del circuito de campo o del circuito del inducido. Puesto que si se invierte el campo shunt se debe invertir el serie, el procedimiento más sencillo es invertir la corriente en el inducido.

Si las conexiones del arrollamiento serie de un motor compound se permutan para invertir el sentido de circulación de corriente en el mismo, las bobinas serie se opondrán al flujo y este decrecerá, en lugar de crecer cuando aumente la carga. Esto obligará al motor a acelerar, en lugar de decrecer cuando aumenta la carga. Este motor se conoce con el nombre de "motor compound diferencial".

4. MOTOR PASO A PASO

Los motores paso a paso (PAP), son un tipo especial de motores que permiten el **avance de su eje en ángulos muy precisos y por pasos** en las dos posibles direcciones de movimiento, izquierda o derecha. Aplicando a ellos una determinada secuencia de señales digitales, avanzan por pasos hacia un lado u otro y se detienen exactamente en una determinada posición.

Cada paso tiene un ángulo muy preciso determinado por la construcción del motor, lo que permite realizar movimientos exactos sin necesidad de un sistema de control por lazo cerrado.

A un motor paso a paso se le puede ordenar por medio del control, que avance cinco o diez pasos hacia la derecha, luego un determinado número de pasos hacia atrás o simplemente que no gire, lo cual permite el control de posición, velocidad, y sentido (dirección).

Este sistema simplificado enormemente la implementación de automatismos y las aplicaciones de la **robótica**.

Los motores paso a paso presentan grandes **ventajas** con respecto a la utilización de servomotores debido a que se pueden manejar digitalmente sin realimentación, su velocidad se puede controlar fácilmente, tiene una larga vida, son de bajo costo, la interfase es sencilla y su mantenimiento es mínimo debido a que no tienen escobillas.

4.1 FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de los motores paso a paso se basa en el simple **principio de atracción y repulsión** que ocurre entre los polos magnéticos. Como ya sabemos un imán tiene dos polos llamados Norte y Sur.

El principio básico del magnetismo establece que polos iguales se repelen y polos diferentes se atraen.

Para lograr un movimiento mucho más suave, los motores paso a paso se fabrican aumentando el número de polos del estator y se les practican una serie de ranuras tanto en el rotor como en el estator. Así se logran movimientos que van hasta 1.8° por paso. Los grados de avance por paso son una de las características más importantes en este tipo de motores y generalmente está indicada en su carcasa o cuerpo.

Existen diferentes tipos de motores de pasos, de los cuales se utilizara y veremos el funcionamiento de uno ellos, el **Motor de Magneto Permanente**.

En la figura, se muestra un diagrama del Motor paso a paso de Magneto Permanente, el cual está construido de un rotor que incluye polos magnéticos de polaridad contraria colocados uno junto al otro. El estator contiene bobinas alineadas de tal forma que sus energización secuencial provoca que el rotor se desplace a las posiciones de mínima reluctancia magnética.

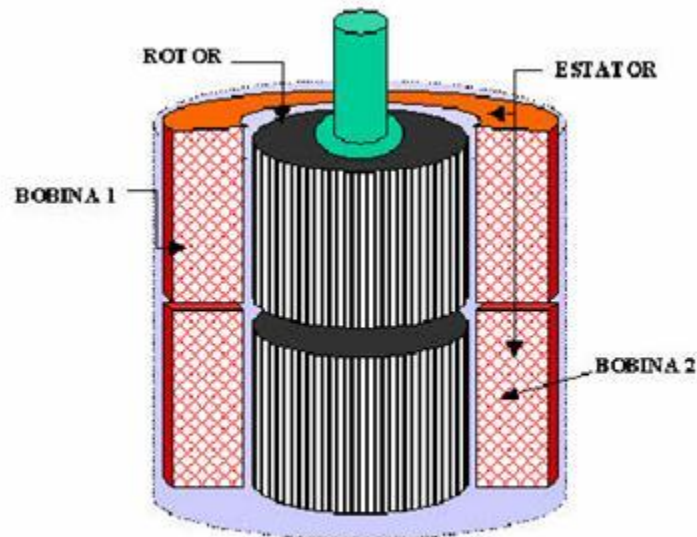


Fig. 1 Motor de imán Permanente

El número de pasos varía según sea la aplicación. Existen en el mercado desde **0.1 a 120 grados**. Los ángulos más comunes son de 1.8, 2.0, 2.5, 5.0, 15 y 30 grados, que respectivamente dan 200, 180, 144, 72, 24 y 12 pasos/revolución. Estos motores son alimentados con fuentes de corriente directa y manejados con circuitos digitales.

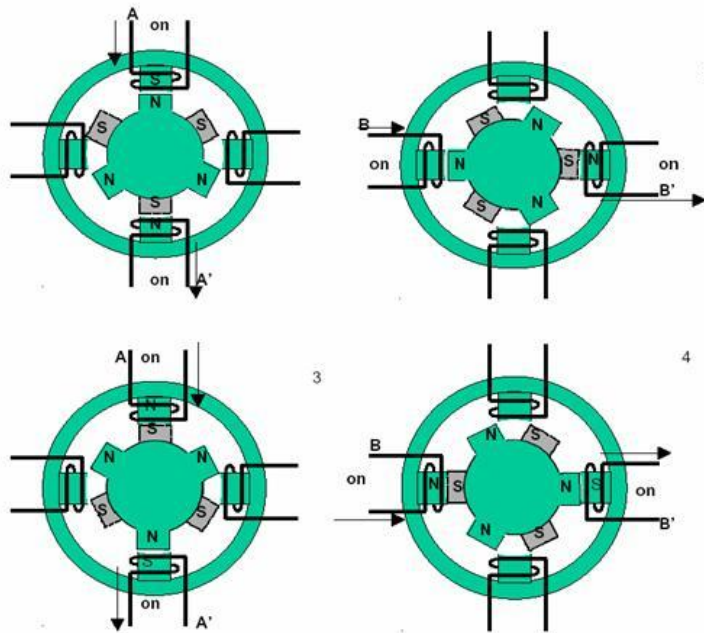


Fig. 2 Principio de funcionamiento de un motor de pasos

En la figura anterior se presenta el principio de funcionamiento. La bobina A-A' se energiza haciendo circular la corriente de A hacia A' por lo cual el polo inferior se polariza positivamente, atrayendo al polo sur del rotor (parte inferior del rotor), y el superior negativamente el cual atrae, al polo norte del rotor, (parte superior del rotor), de tal manera que se realiza el primer paso .

Para que realice un segundo paso en el mismo sentido consideremos, ahora, la desactivación de la bobina A-A' y la activación de las bobinas B-B', al circular la corriente la bobina B polariza negativamente lo que atrae al polo positivo del rotor (N) y la bobina B' se polariza positivamente atrayendo al polo negativo (S) del rotor. Esto hace que gire un otro paso.

Para que gire un tercer paso, se desenergizan las bobinas B-B' y ahora volvemos a activar las bobinas A-A', pero ahora haciendo circular la corriente de A' hacia A por lo cual el polo superior se polariza positivamente, atrayendo al polo sur del rotor (parte inferior del rotor), y el inferior negativamente, el cual atrae, al polo norte del rotor (parte superior del rotor).

Siguiendo con un cuarto paso en el mismo sentido, sea la bobina B-B', ahora alimentada en sentido contrario, es decir haciendo circular la corriente de B' hacia B, con la bobina A-A' desactivada. El polo de la derecha se polariza positivamente atrayendo al polo sur del rotor (parte inferior del rotor), y el de la izquierda negativamente, el cual atrae, al polo norte del rotor, (parte superior del rotor).

Por último para completar el ciclo, volvamos a conectar las cuatro bobinas como al inicio por lo cual el rotor girará un cuarto de paso. Si el ciclo se vuelve repetitivo podremos observar el movimiento del rotor en sentido de las manecillas del reloj. La velocidad dependerá de la activación y desactivación de las bobinas. Como podemos observar 4 pasos fueron necesarios para que el motor girara 90 grados de su posición original, si quisiéramos que el motor girara una vuelta completa tendríamos que darle 12 pasos, es decir repetir el ciclo 4 veces.

De aquí se observa que, el número de pasos de un motor está condicionado al número de polos del imán permanente (rotor), o bien al número de bobinas, (estator). Por ejemplo, para un motor de 2 bobinas y 200 pasos se requiere que el rotor tenga 50 polos.

4.2 MODOS DE OPERACIÓN

Los motores PAP tanto unipolares como bipolares pueden trabajar en dos modos de operación : *de paso completo y de medio paso.*

En el primer caso, con cada secuencia el rotor gira un determinado ángulo dado por la fabricación del motor. En el modo de medio paso, cada secuencia produce un giro en grados correspondiente a la mitad de su paso normal. En las siguientes tablas podemos observar la secuencia de señales que se deben aplicar al motor en cada caso.

PASO COMPLETO

Un motor de 200 pasos tiene esta secuencia :

T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0

MEDIO PASO

El motor recorre 400 pasos con esta secuencia :

T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	1
0	0	1	1
0	0	1	0
0	1	1	0
0	1	0	0
1	1	0	0
1	0	0	0
1	0	0	1

5. EL MOTOR DE IMÁN PERMANENTE

En general el campo magnético de un motor de cd se puede producir por bobinas o imanes permanentes. Los motores de cd de imán permanente se pueden clasificar de acuerdo con el esquema de conmutación y al diseño de la armadura.

Los motores de cd convencionales tienen escobillas mecánicas y conmutadores.

Sin embargo, en una clase importante de motores de cd la conmutación se hace en forma electrónica; este tipo de motor se llama motor de cd sin escobillas.

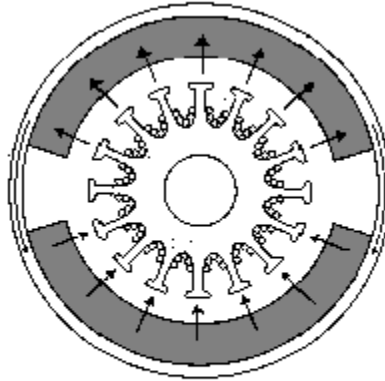
De acuerdo con la construcción de la armadura, el motor de cd de imán permanente tiene tres tipos de diseño de armadura :

1. de núcleo de hierro
2. de devanado superficial
3. de bobina móvil.

5.1 DE NÚCLEO DE HIERRO

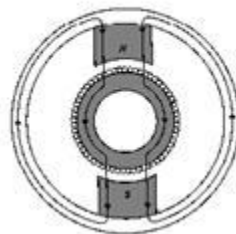
La configuración del rotor y estator de un motor de cd de imán permanente de núcleo de hierro se muestra en la Fig. (5). El material del imán permanente puede ser bario-ferrita, Alnico, o un compuesto de "tierras raras". El flujo magnético producido por el imán pasa a través de la estructura del rotor laminado que tiene ranuras. Los conductores de la armadura están localizados en las ranuras del

rotor. Este tipo de motor está caracterizado por una inercia del motor relativamente alta (ya que la parte giratoria está formada por las bobinas de la armadura), una inductancia alta, bajo costo y alta confiabilidad.



5.2 DE DEVANADO SUPERFICIAL

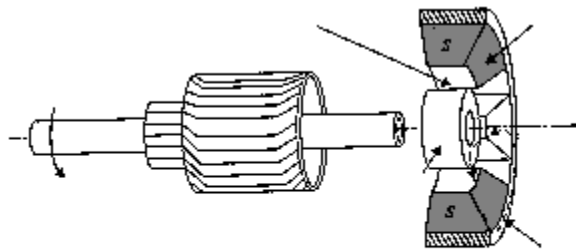
La Figura muestra la construcción del rotor de un motor de cd de imán permanente de devanado superficial. Los conductores de la armadura están pegados a la superficie de la estructura cilíndrica del rotor, la cual está hecha de discos laminados sujetos al eje del motor. Ya que en este diseño no se emplean ranuras sobre el rotor, no presenta el efecto de "rueda dentada". Puesto que los conductores están proyectados en el entrehierro de aire que está entre el rotor y el campo de imán permanente, este campo tiene menor inductancia que el de estructura de núcleo de hierro.



5.3 DE BOBINA MÓVIL

Los motores de bobina móvil están diseñados para tener momentos de inercia muy bajos e inductancia de armadura también muy baja. Esto se logra al colocar los conductores de la armadura en el entrehierro entre la trayectoria de regreso del flujo estacionario y la estructura de imán permanente. En este caso la estructura del conductor está soportada por un material no magnético normalmente resinas

epóxicas o fibra de vidrio - para formar un cilindro hueco. Uno de los extremos del cilindro forma un eje, el cual está conectado al eje del motor. Una vista de la sección transversal de este tipo de motor se muestra en la figura abajo. Ya que se han eliminado todos los elementos no necesarios de la armadura del motor de bobina móvil, su momento de inercia es muy bajo. Como los conductores del motor de bobina móvil no están en contacto directo con el hierro, la inductancia del motor es muy baja; valores menores a 100 mH son comunes en este tipo de motor. Las propiedades de inercia e inductancia bajas hacen que el motor de bobina móvil sea una de las mejores elecciones de **actuadores** para sistemas de control de alto desempeño.



6. EL MOTOR MONOFÁSICO

Como la mayor parte de la energía generada, lo es bajo la forma de c.a. muchos motores están proyectados para funcionar con c.a. Los motores de c.a. pueden suplir a los de c.c., en la mayoría de los casos están menos sometidos a perturbaciones o averías. Esto es debido a que **las máquinas de c.c. trabajan en condiciones más difíciles por la acción de conmutación que requiere el uso de escobillas, porta escobillas, colector, etc.** Por el contrario, algunos motores de c.a., no utilizan ni siquiera anillos deslizantes, lo que hace que el funcionamiento esté exento de averías durante largos periodos de tiempo.

Los motores de c.a. son particularmente adecuados para aplicaciones de velocidad constante, ya que **la velocidad está determinada por la frecuencia** de c.a. aplicada a los bornes del motor. No obstante también se construyen motores de c.a. que tienen características de velocidad variable dentro de ciertos límites.

Los motores de c.a. se proyectan para un suministro de c.a. monofásica o trifásica. Tanto el motor monofásico como el trifásico funcionan basados en el mismo principio. Este principio es que la c.a. aplicada al motor genera un **campo**

magnético giratorio y a su vez este campo magnético giratorio hace girar al rotor del motor.

Los motores de c.a. se clasifican generalmente en dos tipos:

- a) **Sincrónicos**
- b) **Asincrónicos.**

El **motor sincrónico** es un alternador al que se le hace funcionar como motor y en el cual al estator se le aplica corriente alterna y al rotor corriente continua. En el **motor asincrónico** el rotor no está conectado a fuente alguna de energía. De los dos tipos de motores de c.a. el asincrónico es el más empleado.

Los motores monofásicos asincrónicos se clasifican en :

- a) **Motores monofásicos de inducción,**
- b) **Motores monofásicos de repulsión.**

6.1 MOTOR MONOFÁSICO DE INDUCCION



Los motores monofásicos de inducción poseen un bobinado único en el estator. Este bobinado está devanado generalmente en varias bobinas que se distribuyen en la periferia del estator, y genera un campo magnético único alternado a lo largo del eje de los campos.

Estando inmóvil el rotor, las alternancias del campo del estator induce corriente en el rotor. Estas corrientes producen a su vez, campos del mismo signo que el estator, que tienden a hacerlo girar 180° hasta enfrentarlo con los polos opuestos. Pero esta fuerza se ejerce a lo largo del eje del rotor y por lo tanto la fuerza de giro es igual en ambos sentidos y el rotor no se mueve. Si en estas condiciones, se da al rotor un impulso con la mano, éste se pondrá en marcha y girará en la dirección

en que se le dio el impulso. Al ir aumentando la velocidad del rotor, llega a un punto en que aproximadamente cumple medio giro, es decir, 180° de rotación, por cada alternancia completa de la corriente que circula por el estator.

Si las velocidades del campo magnético giratorio y la del rotor son iguales, no se inducirá f.e.m., debido a que no habría movimiento relativo entre los campos del estator y rotor. Al no haber f.e.m., no existirá corriente inducida y por lo tanto no se inducirá el par motor, entonces se hace necesario que el rotor gire a una velocidad menor que el campo magnético giratorio del estator. Esta diferencia de velocidad se llama "resbalamiento".

Deslizamiento del rotor

Se refiere al movimiento relativo del motor con respecto a la velocidad de deslizamiento

$$n_{des} = n_{sinc} - n_m$$

Donde: n_{des} es la velocidad de deslizamiento en la maquina

n_{sinc} es la velocidad de los campos magnéticos

n_m es la velocidad mecánica

Por tanto el deslizamiento del motor se define como :

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} (*100\%) = \frac{\omega_{sinc} - \omega_m}{\omega_{sinc}} (*100\%)$$

Frecuencia eléctrica en el motor

En el motor se induce tensiones y corrientes eléctricas que conllevan a compararlo con un transformador rotante, en el que el estator es el primario que induce un voltaje en el rotor tomado como el secundario.

A diferencia de un transformador normal, la frecuencia del secundario (f_r) no es necesariamente la misma del primario (f_e) para el motor.

$$\begin{array}{l} \text{Si :} \\ n_m = 0 \text{ RPM} \\ n_m = n_{sinc} \end{array} \quad \begin{array}{l} \Rightarrow \\ \Rightarrow \end{array} \quad \begin{array}{l} f_r = f_e \\ f_r = 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} \Rightarrow \\ \Rightarrow \end{array} \quad \begin{array}{l} S = 1 \\ S = 0 \end{array}$$

Para : $0 \text{ Hz} < f < f_e \Rightarrow fr$ es proporcional a $(n_{\text{sinc}} - n_m)$

$$n_{\text{sinc}} = \frac{120 \cdot f_e}{P}$$

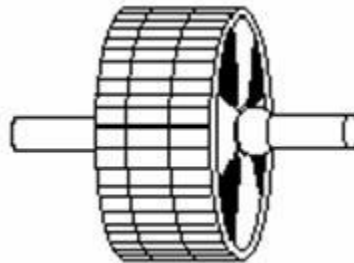
$$fr = S \cdot f_e$$

entonces,

$$fr = \frac{P}{120} (n_{\text{sinc}} - n_m)$$

Como hacer arrancar a mano un motor eléctrico no es muy cómodo, se han ideado medios que permitan el arranque automático. Según el modo de arranque se distinguen principalmente los motores de inducción de fase partida y los motores de arranque por condensador.

El rotor de un motor de inducción consta de un cilindro de chapas de acero o hierro al silicio, prensadas para formar un solo cuerpo. La superficie de este rotor está ranurada y por ellas se pasan barras de cobre cuyos extremos se sueldan a las coronas que son también de cobre. Este tipo de rotor se llama también rotor en **Jaula de ardilla** o rotor en **corto circuito**. Actualmente, las jaulas de ardilla se construyen de aluminio fundido.



6.1.1 MOTOR DE FASE PARTIDA

El motor de inducción de fase partida consta esencialmente de cinco partes: Estator, rotor, interruptor centrífugo, escudos y bastidor.

- **Estator:** Consiste de dos devanados sujetos en su lugar por unas ranuras en el núcleo de acero laminado, los dos devanados consisten de dos bobinas aisladas dispuestas y conectadas para que formen dos devanados separados el uno del otro a 90° eléctricos; uno de estos devanados es el principal y el otro es

el de arranque. El devanado principal es de alambre grueso y colocado en el fondo de las ranuras del estator. El de arranque es de alambre delgado y situado en lo alto de las ranuras, encima del devanado principal.

- **Rotor:** Lo constituye un núcleo cilíndrico hecho con piezas de acero laminado. Cerca de la superficie del rotor hay montadas unas barras de cobre unidas a dos anillos de cobre. En algunos motores el rotor es una unidad de una sola pieza colada de aluminio. El mantenimiento de este rotor es relativamente poco, ya que no hay devanados en los que puedan crearse fallas. Además tampoco hay escobillas, colectores ni conmutadores que se tengan que cuidar. Por lo general, cerca del rotor hay montado sobre el mismo eje un ventilador, que hace que circule el aire por el motor y que la temperatura de los devanados no llegue a ser excesiva.
- **Interruptor centrífugo:** Consta de una parte estacionaria y una parte giratoria. La parte estacionaria está montada en uno de los escudos y tiene dos contactos cuya acción es la misma que la de un interruptor unipolar de una dirección. La parte giratoria va montada en el rotor.
- **Escudos:** Va sujeto a la carcasa o bastidor mediante tornillos y tuercas y sirven para mantener el rotor en la posición adecuada. Cada escudo lleva un orificio para el cojinete. Los cojinetes sirven para mantener bien centrado el rotor a fin de que no haya roce con el estator y además reducir el rozamiento al mínimo.
- **Bastidor:** Es de hierro colado en el que el núcleo del estator está encajado en él a presión.

Funcionamiento:

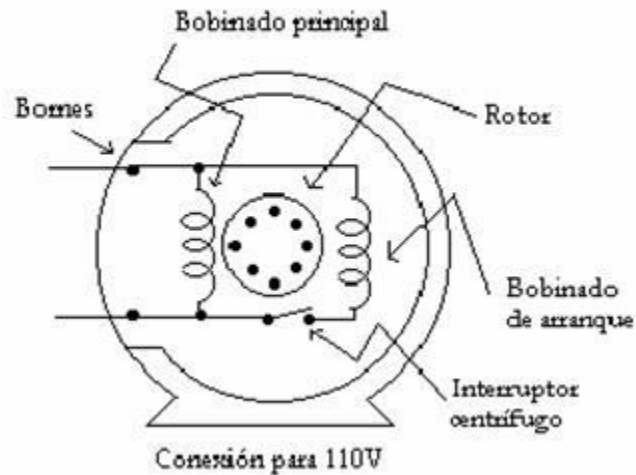
La corriente en el devanado principal está retardada 90° eléctricos con respecto al devanado de arranque. Cuando por estos devanados pasan dos corrientes desfasadas 90° se establece en campo magnético giratorio que gira a una velocidad sincrónica de polos.

$$rpm = 120 \times f/p$$

f = frecuencia en ciclos / seg. (hertz).

p = número de polos.

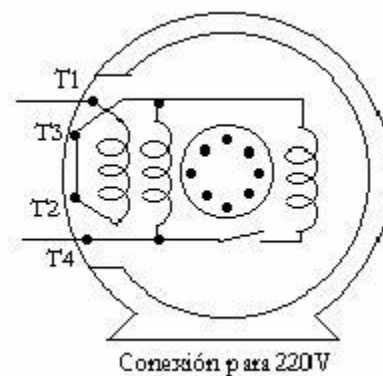
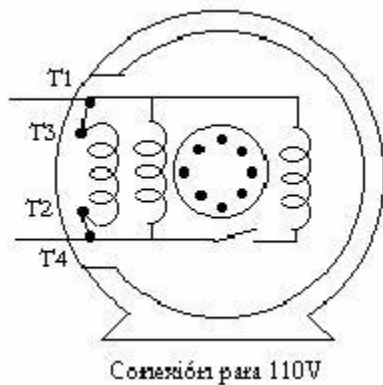
Mientras este campo rotatorio gira, se induce un voltaje en el rotor. Este voltaje inducido crea el campo magnético del rotor. El campo del rotor reacciona con el campo del estator creando así, el par torsor que hace que el rotor gire. Cuando el rotor alcanza los $\frac{3}{4}$ de la velocidad normal el interruptor centrífugo se abre desconectando el devanado de arranque. El motor sigue funcionando solamente con el devanado principal.



Si por alguna razón, el interruptor centrífugo falla y los contactos no se cierran al pasar el motor entonces el devanado de arranque quedará desconectado y cuando se active de nuevo el motor, éste no arrancará. Si se pone en marcha el motor con una carga demasiado grande, quizá no alcance una velocidad suficiente que haga que el interruptor centrífugo se abra, también si el voltaje de alimentación al motor es bajo, el interruptor puede no funcionar.

Si se invierten los conductores del devanado de arranque, se invierte el sentido del campo establecido por los devanados del estator y por lo tanto, se invierte el sentido de rotación del rotor.

Los motores monofásicos son por lo general de 110 y 220 voltios. El devanado principal tiene dos secciones y cada sección funciona a 110V. Por lo tanto, si se conecta 110V los dos devanados se conectan en paralelo y si se conecta a 220V los devanados se deben conectar en serie.



Propiedades:

- Buena regulación de velocidad.
- Par de arranque pequeño igual a 1 o 2 veces el par en marcha.
- Intensidad de arranque de 5 a 6 veces la nominal.
- Resbalamiento del 4% al 6%.
- Desfasaje entre devanados de 40 a 50 grados eléctricos.
- Se fabrican para potencias menores a 1 ½ hp.

Aplicación:

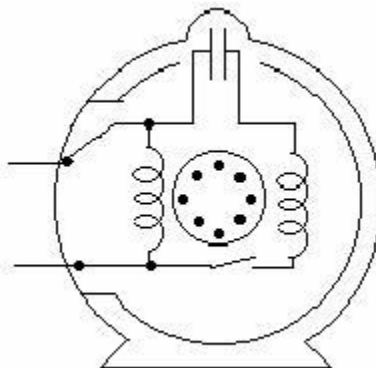
Lavadoras de ropa, bombas de agua pequeñas, bombas neumáticas etc.

6.1.2 MOTOR DE ARRANQUE POR CONDENSADOR.

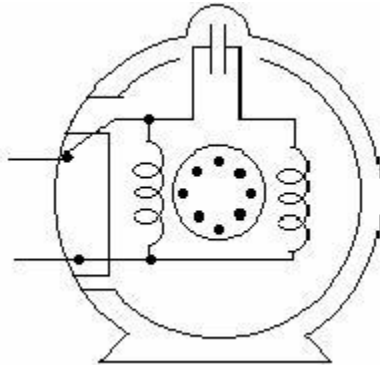
La construcción de este tipo de motor es prácticamente la misma que la de un motor de fase partida, salvo que en él hay un condensador conectado en serie con los devanados de arranque. El condensador proporciona un par de arranque mayor y además limita la corriente de arranque a un valor menor que el de fase partida.

El funcionamiento de este motor es exactamente igual al de fase partida. La causa frecuente de dificultades son los condensadores defectuosos. Si el motor se arranca y se para muchas veces en un corto tiempo, es muy posible que entren en corto circuito los condensadores. Por lo tanto, este motor se utiliza en aplicaciones domésticas e industriales en las que hay pocos arranques en cortos periodos.

El sentido de rotación se invierte, intercambiando los terminales del devanado de arranque. También funcionan para dos régimen de voltaje 110V y 220V.



Existe otra clase de motor que es el de arranque y marcha con condensador, el cual no tiene interruptor centrífugo, por lo tanto, el condensador siempre estará conectado y así el factor de potencia es del 100%.



Propiedades:

- Buena regulación de velocidad.
- Par de arranque muy fuerte igual a 3 o 4 veces al par de marcha.
- Intensidad de arranque menor que el de fase partida.
- Factor de potencia igual a 1,0.
- No están hechos para arranques y paradas frecuentes.
- Se fabrican desde 1/3 hp hasta 5 hp.
- La ventaja de los de arranque y marcha por condensador es que casi no requieren mantenimiento.
- Son los más populares donde no se usa la trifásica.

Aplicación:

Bombas unidades de refrigeración, compresores de aire y sierras.

6.2 MOTOR MONOFÁSICO DE REPULSIÓN

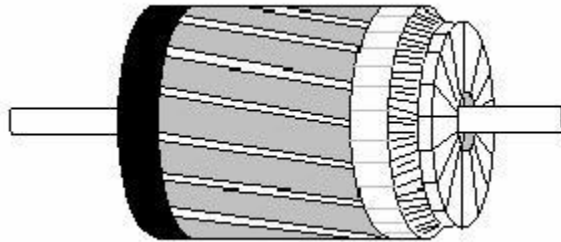
Los motores con colector o de repulsión pueden dividirse en tres tipos: Motores de repulsión, motores de arranque por repulsión y marcha por inducción, y motores de inducción-repulsión.

6.2.1 MOTORES DE REPULSIÓN

Las partes esenciales son:

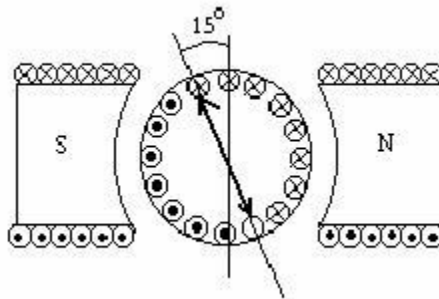
1. Un núcleo laminado del estator con un devanado similar al de la fase partida. El estator tiene generalmente, cuatro, seis u ocho polos.
2. Un rotor con ranuras en la que va colocado un devanado, similar al de un motor de c.c. El colector es de tipo axial. Fig 7.8.

3. Escobillas de carbón, conectadas entre sí por medio de alambres de cobre relativamente gruesos. El porta escobillas es desplazable.
4. Dos escudos en los extremos de hierro colado, que alojan los cojinetes y sujetos al bastidor del motor.
5. Dos cojinetes que sostienen el eje del inducido centrado, pueden ser lisos o de balas.



Funcionamiento:

Al conectarse a la corriente monofásica se crea un campo magnético en el estator y se induce otro campo en el inducido. Si estos dos campos están descentralizados una 15° eléctricos, entonces, se crea un par de arranque que hace que el inducido del motor gire. Así pues, la aplicación el principio de que polos iguales se repelen da al motor su nombre de motor de repulsión.



Para invertir el sentido de rotación se desplazan las escobillas a unos 15° eléctricos del centro de los polos del estator en el sentido contrario al original.

Propiedades:

- Buen par de arranque.
- Mala regulación de velocidad.
- La velocidad se puede controlar, variando el voltaje aplicado al motor.
- La rotación se invierte desplazando las escobillas 15° al otro lado del centro del polo del estator.

Aplicación:

Prensas de imprenta en las que se desea una regulación de la velocidad del miembro impulsor.

6.2.2 MOTOR DE ARRANQUE POR REPULSIÓN Y MARCHA POR INDUCCIÓN

Existen dos tipos: **El de levantamiento de escobillas y el de escobillas rodantes.**

El estator y el rotor son iguales al de un motor de repulsión. Se diferencia en que tiene un mecanismo centrífugo que funciona al 75% de la velocidad de régimen. En el tipo de levantamiento de escobillas al llegar al 75% de la velocidad de régimen, levanta las escobillas y el motor sigue funcionando por inducción.

En el tipo de escobillas rodantes, el mecanismo centrífugo corto-circuita las delgas del colector al llegar el inducido al 75% de la velocidad de régimen y sigue funcionando por inducción.

Propiedades:

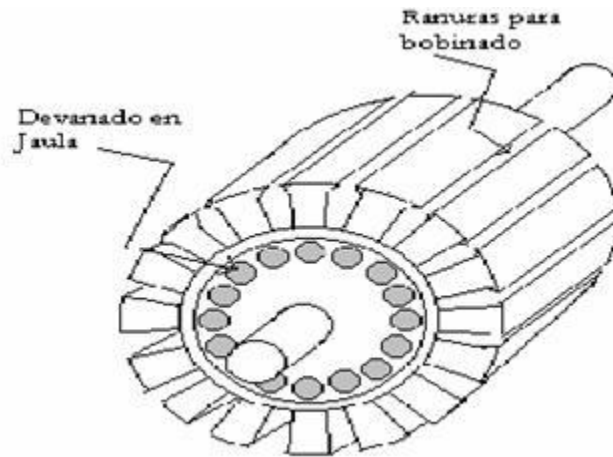
- Fuerte par de arranque.
- Buena regulación de la velocidad.
- La rotación se invierte de la misma forma que para el motor de repulsión.

Aplicación

Refrigeradores, compresores, bombas.

6.2.3 MOTORES DE INDUCCIÓN - REPULSIÓN

El funcionamiento es igual al de un motor de arranque por repulsión y marcha por inducción, sin embargo, no tiene mecanismo centrífugo. Este motor tiene un devanado en jaula de ardilla debajo de las ranuras del inducido.



Propiedades

- Buen par de arranque.
- Buena regulación de la velocidad.
- Debido a que no tiene mecanismo centrífugo tiene poco mantenimiento.
- Actualmente es el más utilizado de los motores de repulsión.

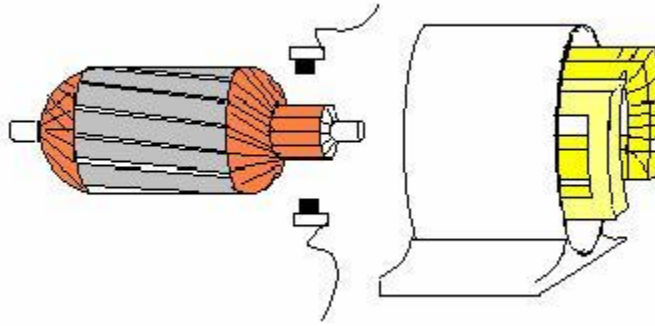
Aplicación

Aplicación similar al motor de arranque por repulsión y marcha por inducción.

7. EL MOTOR UNIVERSAL

Funcionan con c.a. y c.c. y son de fracción de 1 hp y son usados principalmente en aparatos electrodomésticos. El inducido es igual al de un motor de c.c. funciona a la misma velocidad con c.c. o c.a. La velocidad se puede regular por medio de reóstatos y bobinas de tomas múltiples devanadas en torno del campo. Como **es un motor serie**, la carga siempre debe estar conectada al motor.

La rotación se puede invertir cambiando la dirección de la corriente ya sea en el circuito de campo o en el inducido. El motor universal es el mismo motor serie de c.c. en el cual se ha alterado el diseño básico: Las pérdidas por histéresis se reducen empleando hierro al silicio laminado de alta permeabilidad; las pérdidas por corrientes parásitas se reducen al mínimo construyendo los circuitos magnéticos (estator, núcleo) con láminas de hierro - silicio especial; la reactancia del bobinado de campo se reduce empleando núcleos de polos cortos y bobinados de pocas vueltas; la reactancia del inducido se reduce utilizando bobinas compensadoras que se montan en el núcleo del estator.



Aplicación:

Licadoras, aspiradoras, batidoras, etc.

8. EL MOTOR TRIFÁSICO ASÍNCRONO

Los motores trifásicos son los aplicados en la industria por su gran eficiencia. **Un motor trifásico de igual potencia a uno monofásico tiene mayor eficiencia y menor tamaño.** La diferencia fundamental entre un motor trifásico y uno monofásico consiste en que en la carcasa o estator se alojan tres (3) bobinados (en estrella o triángulo) de trabajo (uno por cada fase) y además no poseen bobinado de arranque, ya que se ponen en marcha por sí solos. **Para potencias mayores a 2 hp es recomendable usar los trifásicos.**

Con respecto a los motores de gasolina o diesel, tienen las **siguientes ventajas:**

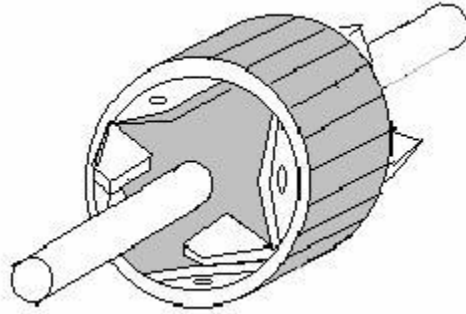
- La puesta en marcha es inmediata.
- Son más livianos (fácil transporte) y se acoplan fácilmente a cualquier clase de máquina.
- El arranque, parada y control es rápido y efectivo y es posible controlarlo remotamente.
- Tiene gran potencia de arranque.
- El funcionamiento y servicios de mantenimiento son seguros.
- Operan silenciosamente.
- Mantenimiento es muy poco y su vida es larga.
- Son compactos y ocupan un espacio muy limitado.
- Su costo de operación es más económico.

Dentro de los motores sincrónicos existe el :

- a) Motor en jaula de ardilla y**
- b) Motor con rotor bobinado.**

8.1 MOTOR EN JAULA DE ARDILLA

Es un motor de inducción que tiene el rotor en jaula de ardilla como los monofásicos. Existen de jaula de ardilla sencilla y doble. En la figura se muestra este tipo de rotor.



8.1.1 PARTES DEL MOTOR

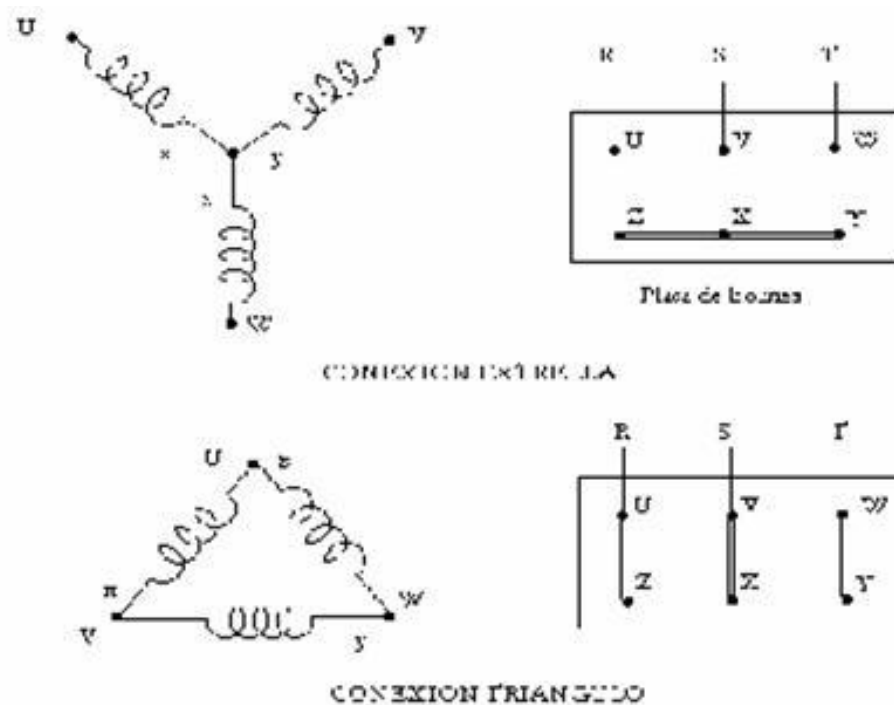
Las partes del motor, son las siguientes :

- **Carcasa** : se construye de varias formas según el tamaño del motor; la base forma parte integral de la carcasa para que el motor descansa bien asentado sobre su estructura.
- **Caja de bornes** : Se emplea para conectar los terminales de las bobinas y concentrar los conductores de alimentación.
- **Escudos** : Sirven para cerrar el motor y sostener el eje del motor por medio de sus cojinetes. Se unen a la carcasa por medio de tornillos de fijación.
- **Eje** : Es la parte donde se sostienen los componentes del rotor y además sirve para la fijación de la polea en uno de sus extremos y el ventilador en el otro.
- **Ventilador**: Viene colocado en uno de los extremos del eje y mantiene refrigerado el motor para evitar su recalentamiento.
- **Rotor**: Es sólido montado sobre el eje y es en forma de jaula de ardilla, puede ser sencillo o doble.
- **Estator**: Está formado por su núcleo y bobinado. El núcleo es laminado hecho de chapas laminadas y viene ranurado para alojar las bobinas. Las bobinas cubren el ranurado del estator y deben estar bien aisladas para asegurar el perfecto funcionamiento del motor.

8.1.2 CONEXIONES

Las conexiones básicas del bobinado del estator de un motor trifásico son en estrella o en triángulo, según las características del motor y el voltaje de la red.

En la figura se presentan estos dos tipos de conexiones y la conexión a realizar en la placa de bornes.



8.1.3 MOTOR DE DOS VELOCIDADES.

El motor de dos velocidades es con frecuencia una solución elegante y económica de problemas complejos. Según sea la naturaleza de la corriente, la relación de velocidades y las de potencias, estos motores tienen uno o dos bobinados.

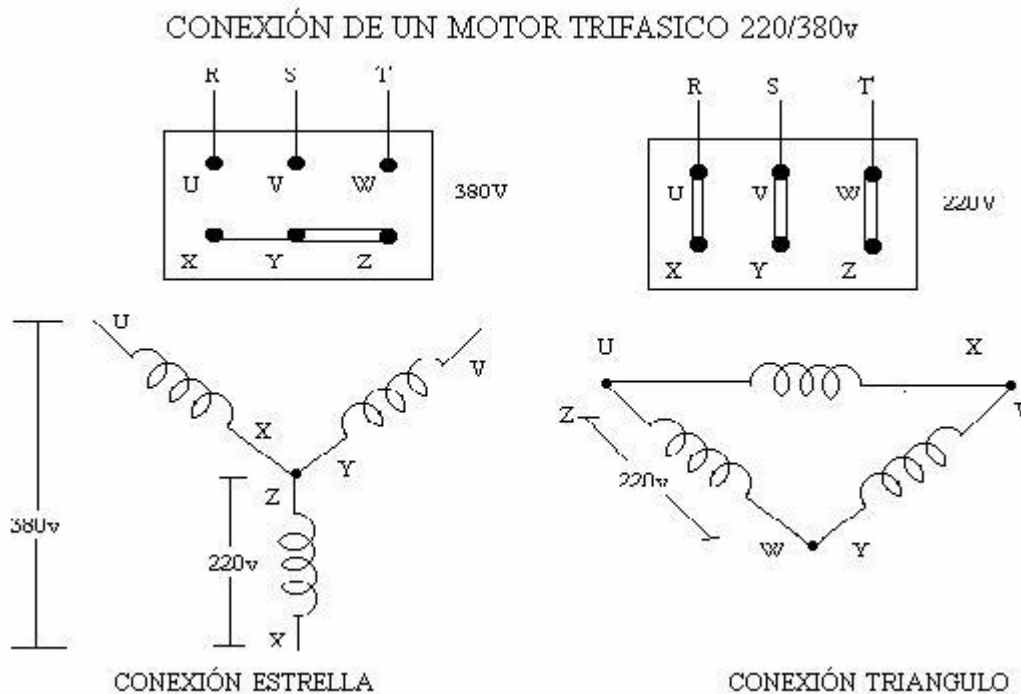
Motor de un solo bobinado : Es el más sencillo y más usado de los motores de dos velocidades, sus características son las siguientes:

- Velocidades en la relación de 1 a 2. Ejemplo: 3000 y 1500 rpm; 1500 y 750 rpm; 1000 y 500 rpm.
- Relación de potencias bien definidas para un tipo de motor y una gama de velocidades dada. Ejemplo: 4hp y 1500 rpm; 2 hp y 750 rpm.
- Una sola tensión de alimentación.

Motor de dos bobinados: Cuando la aplicación prevista requiere una relación diferente de velocidades y potencias se adopta un motor de dos bobinados, cada uno de los cuales corresponde a una polaridad y son alimentados alternativamente según la velocidad que se desee. Sus características son :

- Las potencias y velocidades pueden elegirse según sea su aplicación. Ejemplo: 3 hp a 3000 rpm o ½ hp a 500 rpm; 3hp a 1500 rpm o 2hp a 1000 rpm.
- Una o dos tensiones de alimentación
- Corriente de arranque mayor a la de un motor con un solo bobinado.

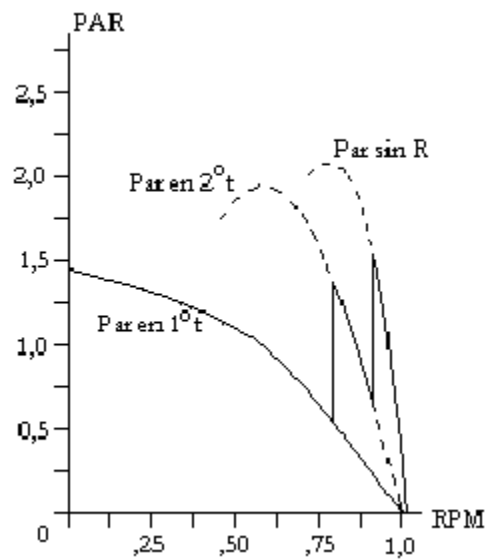
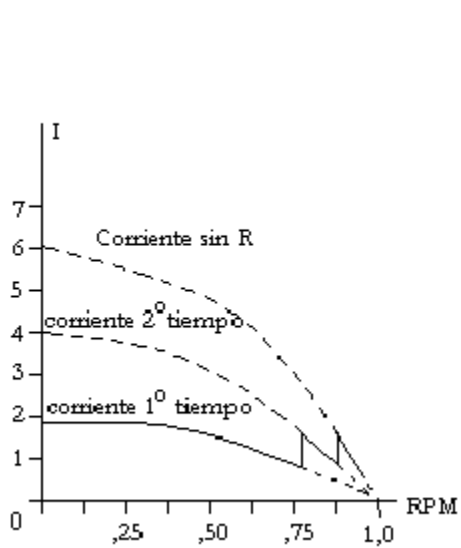
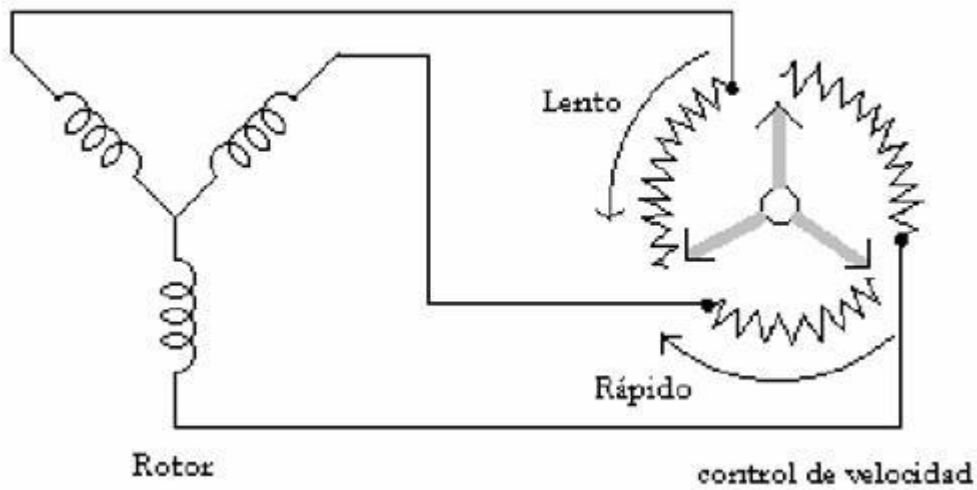
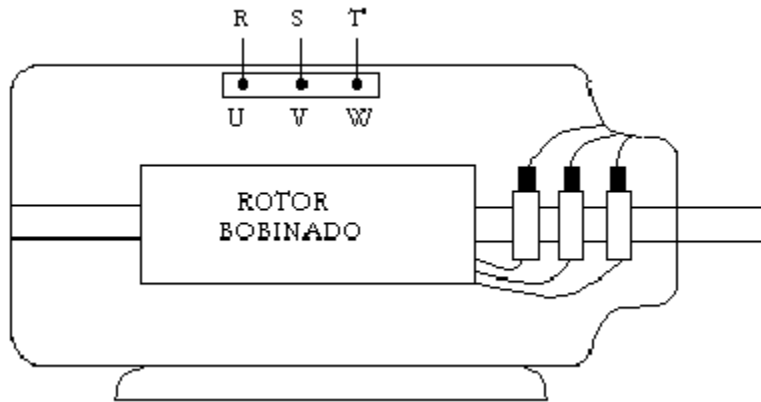
Existen también motores de doble tensión cuyo bobinado de estator es doble. Ejemplo: 220V /440. Para conectar el motor a 220V sus bobinados se conectan en paralelo y para hacerlo a 440 V sus bobinados se conectan en serie.



8.2 MOTOR CON ROTOR BOBINADO

Es un motor que tiene estator igual al de jaula de ardilla y el rotor viene bobinado en estrella cuyos terminales van conectados a tres (3) anillos colectores rozantes fijados en el eje del motor. Los anillos colectores se conectan a un control de velocidad conformado por resistencias rotatorias y hace el oficio de arrancador.

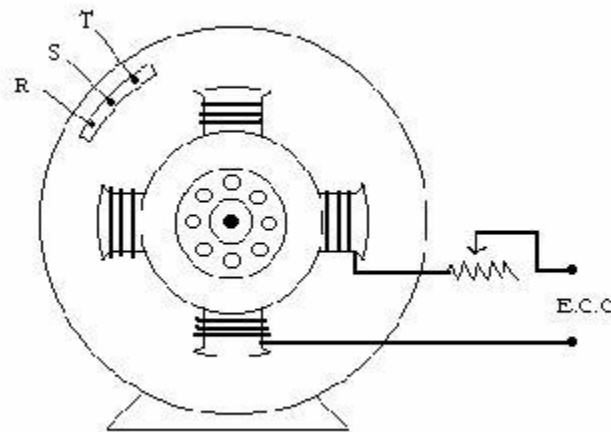
La puesta en marcha se hace en 2,3,5 tiempos, según el caso por eliminación de las resistencias intercaladas en el circuito del rotor .



9. MOTOR TRIFÁSICO SINCRÓNICO

Contrario a los anteriores motores trifásicos, el motor trifásico sincrónico tiene la velocidad del rotor igual a la velocidad del campo magnético del estator, esto es, su deslizamiento es cero.

Su estator es igual al de jaula de ardilla, pero su rotor está compuesto por un bobinado de polos salientes y en su interior otro en jaula de ardilla.



Inicialmente se aplica la corriente trifásica al bobinado del estator y con el rotor en jaula de ardilla arranca funcionando como motor asincrónico, o sea, V_r menor a V_s . Luego se conecta corriente continua al bobinado del rotor de polos salientes arrastrando la velocidad del campo del estator al rotor por tener polos fijos igualando de esta forma las velocidades y volviéndose sincrónico. La c.c. es aplicada al rotor por medio de los dos anillos rozantes y sus correspondientes escobillas.

Características :

- Velocidad rigurosamente constante y funcionamiento estable si la carga no sobrepasa cierto límite. De lo contrario, se inmoviliza rápidamente y el estator puede tomar corrientes peligrosas para su bobinado.
- La velocidad es función de la frecuencia de la red y del número de polos del estator
- $\text{rpm} = 120f/p$ donde f = frecuencia de la red, p = No de polos
- Colocando un reóstato en el circuito del rotor se puede sobre excitar y con ello mejorar el factor de potencia de la red. Hace las veces de un condensador y por esos se le llama condensador sincrónico.

- Se usa cuando se requiere una velocidad rigurosamente constante como en telares, máquinas - herramientas, etc.

10. CONTROL DE MOTORES

El motor constituye el corazón de una planta industrial de cualquier empresa productiva y por tanto, todo técnico o ingeniero debe conocer sus características, su forma de arrancado y sus protecciones.

10.1 PLACA CARACTERÍSTICA

De las cosas importantes que se debe tener claridad es sobre el significado de los datos en la placa característica del motor.

MOTOR TRIFÁSICO EN JAULA DE ARDILLA

220 - 380v		5,38 - 9,3 AMP
PH = 3	Hz = 60	COSφ = 0,85
RPM = 1710	HP = 3	KW = 2,2
CODIGO: B		

Su interpretación es la siguiente:

Tensión aplicada en triángulo	= 220 V
Tensión aplicada en estrella	= 380 V
Corriente consumida en estrella	= 5,38 Amp.
Corriente consumida en triángulo	= 9,3 Amp.
Número de fases de motor	= 3 (trifásico)
Frecuencia en ciclos por segundo	= 60 Hz.
Factor de potencia del motor	= 0,85
RPM del motor con carga	= 1710
Potencia en caballos fuerza	= 3 HP
Potencia en Kilovatios	= 2,2 Kw
Tipo de motor trifásico	= Jaula de ardilla, código B.

10.2 INTERPRETACIÓN

Con esta información se puede calcular su eficiencia, deslizamiento y par motor así:

$$\begin{aligned} \text{Potencia de salida} &= 3 \text{ HP} = 3 \times 746 = 2238 \text{ W.} \\ \text{Potencia de entrada} &= 1,73 \times E.I \cos\varphi \\ &= 1,73 \times 220 \times 9,3 \times 0,85 = 3008,6 \text{ W} \end{aligned}$$

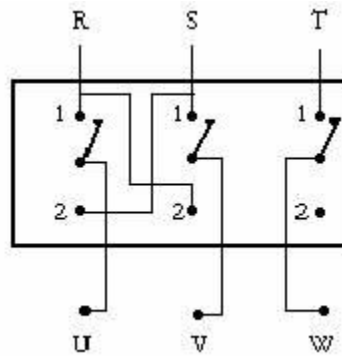
$$\begin{aligned} \text{Eficiencia} &= 2238 / 3008,6 = 74,4\% \\ \text{Deslizamiento} &= (1800 - 1710) / 1710 \times 100\% = 5,3\% \\ \text{Par motor} &= 746 \times \text{HP} / \text{RPM} = 746 \times 3 / 1710 = 1,31 \text{ m-kg.} \end{aligned}$$

10.3 INVERSIÓN DE GIRO

El sentido de rotación de un motor trifásico se invierte intercambiando dos fases cualesquiera en los terminales del motor.

Sentido directo	Sentido inverso
$R \rightarrow U$	$R \rightarrow V$
$S \rightarrow V$	$S \rightarrow U$
$T \rightarrow W$	$T \rightarrow W$

En la figura se diagrama el control manual de inversión pasando el conmutador de la posición 1 a la posición 2. Bien entendido es que el cambio de rotación se hace cuando el motor está parado.



10.4 ARRANQUE DE UN MOTOR

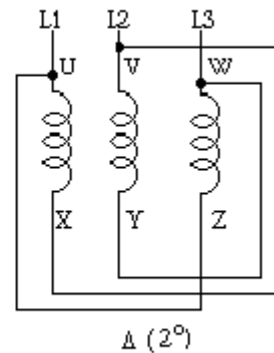
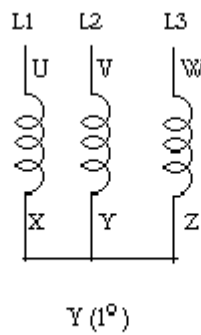
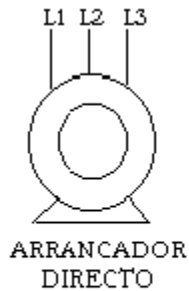
Arranque directo: El arranque de los motores de baja potencia se hace directamente conectando el estator a la red por medio de un interruptor tripolar .

Arranque estrella triángulo: Consiste en arrancar el motor en estrella que se consume menos corriente y luego pasarlo a conexión triángulo cuando la velocidad sea la nominal. Se realiza en dos tiempos.

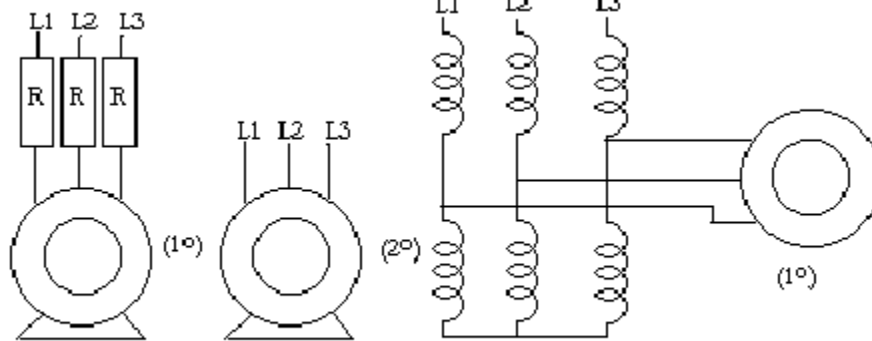
Arranque por resistencias: En el momento del arranque se insertan resistencias en serie en cada fase del estator. Luego se ponen en corto circuito tan pronto como la velocidad sea normal.

Arranque por autotransformador: El autotransformador comprende varias tomas intermedias y el arranque se realiza en tres (3) tiempos.

1. Conexión del autotransformador en estrella al motor. Se arranca a tensión reducida.
2. Se abre el punto común del bobinado del autotransformador.
3. Se desconecta el autotransformador y el motor trabaja a plena tensión.



ARRANCADOR ESTRELLA - TRIÁNGULO



ARRANCADOR POR RESISTENCIA

10.5 CARACTERÍSTICAS DE ARRANQUE

Las siguientes son las características según el tipo de arranque del motor:

Corriente de arranque:

Directo:	4 a 8 veces la corriente nominal.
Estrella - triángulo :	1,3 a 2,6 veces I_n .
Resistencia :	4,5 veces la I_n .
Autotransformador:	1,7 a 4 veces I_n .

Par de arranque

Directo :	0,6 a 1,5 veces del nominal.
Estrella - triángulo :	0,2 a 0,5 veces.
Resistencia :	0,6 a 0,85 Veces.
Autotransformador :	0,4 a 0,85 Veces.

Duración del arranque:

Directo : 2 a 3 segundos.
Estrella - triángulo : 7 a 12 segundos
Autotransformador: 7 a 12 segundos.

Ventajas:

Directo: Arranque simple y poco costoso.
Estrella - triángulo : Arrancador relativamente económico.
Resistencia : Posibilidad de arreglar los valores en el arranque.
Autotransformador: Buena relación par- corriente de arranque.

Inconvenientes

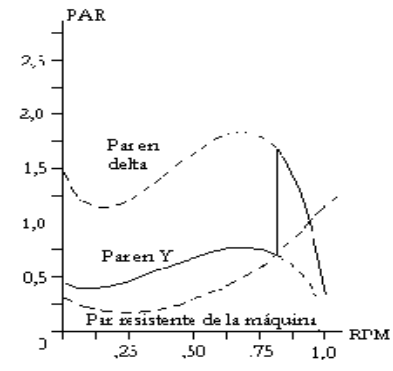
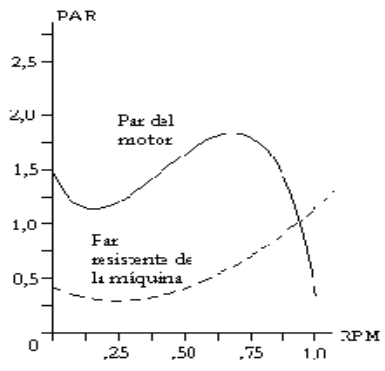
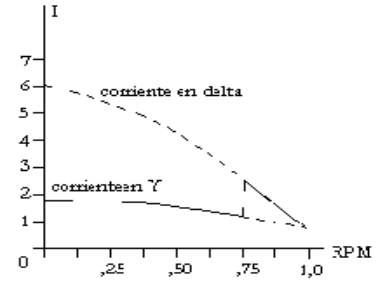
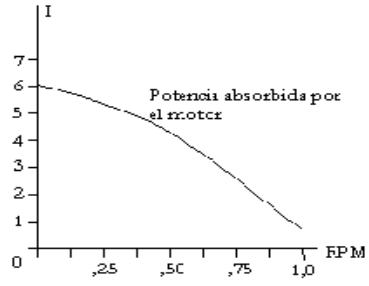
Directo: Corriente de arranque elevada.
Estrella- triángulo: Par de arranque débil y corte de la alimentación en el paso $Y \rightarrow \Delta$
Resistencia: Para un mismo par de arranque, la corriente de arranque por este método es mayor.
Autotransformador: Es el más costoso de los métodos de arranque.

Aplicaciones

Directo: Pequeñas máquinas de igual arranque a plena carga.
Estrella - triángulo: Máquinas de arranque en vacío, ventiladores, bombas centrífugas de poca potencia.
Resistencia: Máquinas de fuerte potencia o fuerte inercia donde la reducción de la corriente de arranque es un criterio importante.

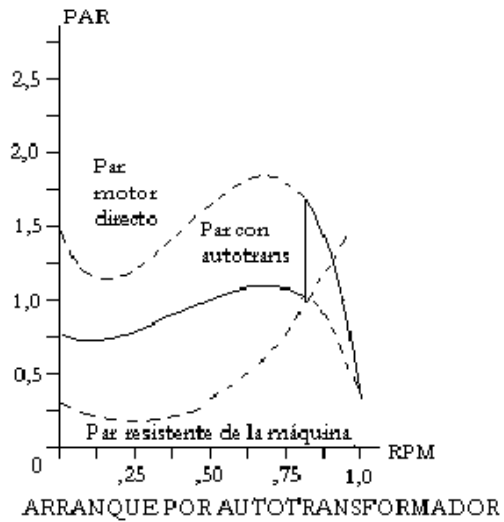
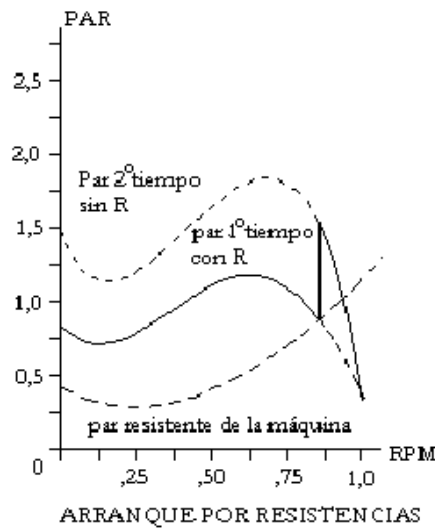
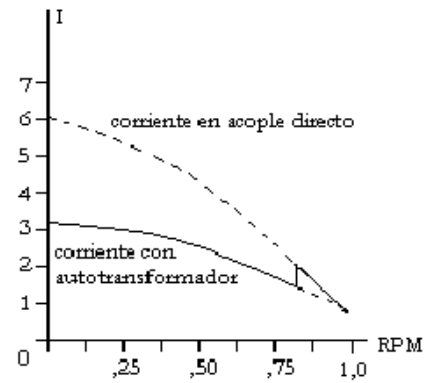
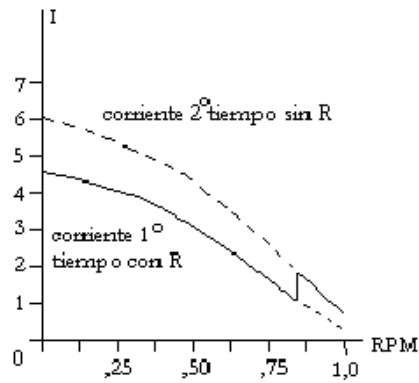
10.6 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Las curvas de corriente y par en los diferentes tipos de arranque se muestran a continuación:



ARRANQUE DIRECTO

ARRANQUE ESTRELLA - TRIANGULO



11. CONTROL CON CONTACTORES

El control de un motor, ya sea un simple interruptor de volquete o un complejo sistema con componentes tales como relevadores, controles de tiempo e interruptores, controladores, compensadores, controla alguna operación del motor eléctrico. Por lo tanto, al seleccionar e instalar un equipo de control para un motor se debe considerar una gran cantidad de diversos factores a fin de que aquel pueda funcionar correctamente junto a la máquina para la que se diseña.

Algunos factores a considerar son las siguientes:

Arranque, parada, inversión de rotación, marcha, control de velocidad, seguridad del operador (dispositivos pilotos), protección contra daños, mantenimiento de los dispositivos de arranque (fusibles, interruptores, cortacircuitos).

El motor se puede controlar desde un punto de lejano automáticamente usando estaciones de botones asociados con contactores (interruptores magnéticos). Si el motor se controla automáticamente pueden usarse los siguientes dispositivos:

- a) **Interruptor de flotador:** Para controlar el nivel de un tanque abriendo o cerrando unos contactos que puede accionar una bomba. También para abrir o cerrar una válvula para controlar un fluido.
- b) **Interruptor de presión:** Controla la presión de los fluidos. Permite arrancar un compresor de aire de acuerdo a la demanda de presión de aire que exista.
- c) **Temporizador:** Para controlar un periodo de tiempo diferido de cerrado o abierto.
- d) **Termostato:** Interruptor que funciona por la acción de la T.
- e) **Interruptor de límite:** Se usan para parar máquinas, equipo y productos en proceso, durante el curso.

11.1 ARRANQUE Y PARADA

Se deben considerar las siguientes condiciones:

- Frecuencia del arranque y la parada.
- Arranque liviano o pesado
- Arranque rápido o lento. (debe ser lento e ir aumentando la velocidad).
- Arranque y parada manual o automática.
- Parada rápida o lenta. (la parada debe ser rápida).
- Paradas exactas (Ej. En los ascensores).
- Frecuencia en la inversión de rotación.

Respecto al control de velocidad se debe considerar las siguientes condiciones:

- Velocidad constante (bomba de agua).
- Velocidad variable (grúa)
- Velocidad ajustable.
- Velocidad múltiple (torno revolver).

11.2 ARRANCADORES MANUALES

Se usan para arrancar pequeños motores monofásicos de c.a. o c.c. menores de 1 hp. Estos arrancadores tienen protección térmica contra sobrecarga. Cuando ocurre la sobrecarga la palanca se mueve automáticamente dejando los contactos abiertos. Los contactos no pueden volver a cerrarse hasta que el elevador de sobrecarga se restablezca manualmente a la posición ON.

La corriente de arranque no disparará al arrancador. El térmico es de aleación fusible, que con la sobre corriente continua eleva la temperatura del interruptor liberando el trinquete y disparando el mecanismo interruptor.

Se pueden usar arrancadores manuales del tipo de botones (start, stop) para motores de c.c. hasta 2 hp, motores monofásicos hasta 5 hp y motores trifásicos hasta 7 ½ HP.

11.3 ARRANCADORES MAGNETICOS

Emplean energía electromagnética para cerrar los interruptores. Se utilizan ampliamente porque se pueden controlar desde un punto alejado. Generalmente estos arrancadores se controlan por medio de una estación de botones, in interruptor del flotador o relevos de control de tiempo. Se fabrican en muchos tamaños como el 00 (10 Amp) hasta el tamaño 8 de 1350 Amp. a cada tamaño se le ha asignado cierta capacidad en hp. Los arrancadores existen de 2 polos para motores monofásicos y e 3 polos para trifásicos.

Los motores se pueden sobrecargar si el voltaje de entrada está bajo o si se abre una línea en el sistema polifásico (ya que funcionaría como monofásico). Bajo cualquier condición de sobrecarga, un motor toma una corriente excesiva que causa el sobre calentamiento.

Como el aislante del devanando del motor se deteriora cuando se somete a sobre calentamiento, existen límites establecidos para la temperatura de operación del motor. Para protegerlo contra el sobre calentamiento se emplean relevadores de sobrecarga en un arrancador para limitar cierto valor la cantidad de corriente que toma. Esta es la protección contra sobrecarga o de marcha.

Los relevadores (magnéticos o térmicos) se sobrecargan actúan para desconectar el arrancador y parar el motor cuando hay sobre corriente.

11.4 RELEVADORES Y CONTACTORES

Los relevadores magnéticos se utilizan como dispositivos auxiliares en los circuitos de control para interrupción, en las bobinas de los arrancadores grandes y para controlar motores pequeños u otras cargas tales como calefactores eléctricos, luces piloto o señales audibles. No proporcionan protección para sobrecarga a los motores y ordinariamente se usan en sistemas de control de dos alambres. Los contactos se usan con más frecuencia para controlar circuitos que para accionar circuitos.

Los contactores son interruptores accionados mediante electromagnetismo que proporcionan un medio seguro y conveniente para interrumpir y conectar circuitos

derivados. La diferencia principal entre un contactor y un arrancador es que el primero no tiene relevadores de sobrecarga. Los contactores se emplean para interrumpir cargas como alumbrado, calefacción y para controlar motores de c.a. cuando la protección contra sobre carga se instala separadamente.

Los contactores y arrancadores tienen para la extensión del arco que se forma al abrirse los contactos unas bobinas de extensión de alambre grueso que se montan sobre los contactos en serie con la carga.

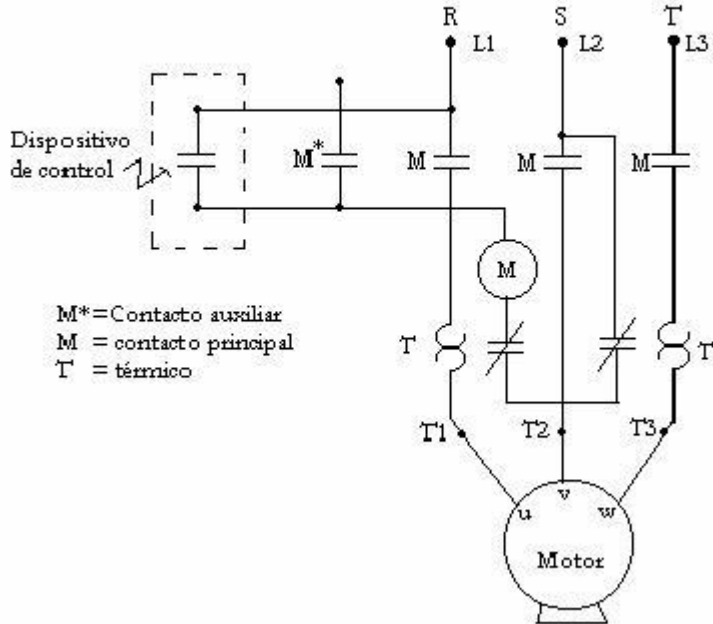
11.5 ESTACIONES DE BOTONES

Es un dispositivo que controla un motor al oprimir un botón. Los contactos del botón son generalmente dobles, de tal manera, que al oprimir el botón se cierra un contacto pero se abre otro. La estación de botones se puede montar directamente junto al controlador o a cierta distancia de éste si se desea. La corriente que interrumpe una estación de botones es pequeña. La estación de botones puede controlar el arranque y parada de un motor, marcha hacia delante, marcha hacia atrás, rápido o lento.

11.6 CONTROL DE DOS ALAMBRES

Dispositivos de control: Termostato, interruptor de flotador, interruptor de presión etc. El arrancador se desconecta cuando ocurre una falla de voltaje y se conecta tan pronto como se restablece la energía. Tiene la ventaja de que el operario no tendrá que arrancar de nuevo para la operación de la máquina. Los sopladores, extractores y ventiladores son ejemplos de aplicación. Tiene la desventaja de que los materiales en producción se pueden dañar al arrancar repentinamente la máquina cuando se restablece la energía.

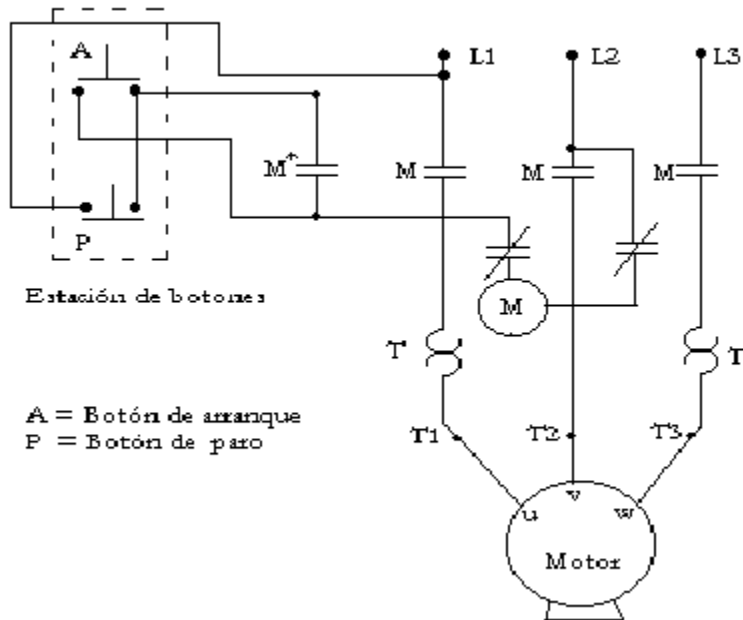
CONTROL DE DOS ALAMBRES



11.7 CONTROL DE TRES ALAMBRES

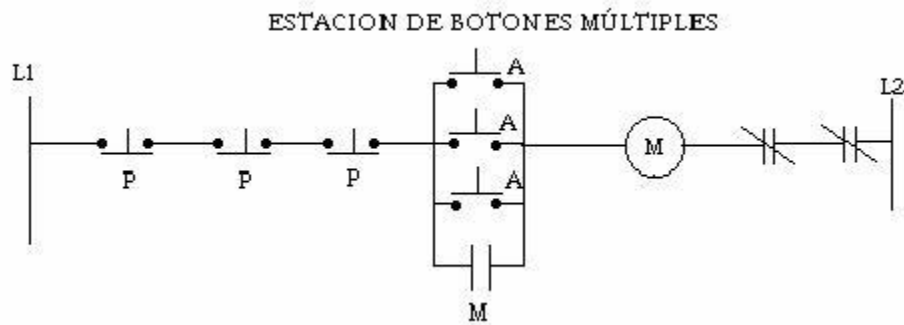
El arrancador se desconectará al ocurrir una falla de voltaje, pero no se conectará automáticamente al restablecerse la energía. Un operario tendrá que oprimir el botón de arrancar para reanudar la producción.

CONTROL DE TRES ALAMBRES



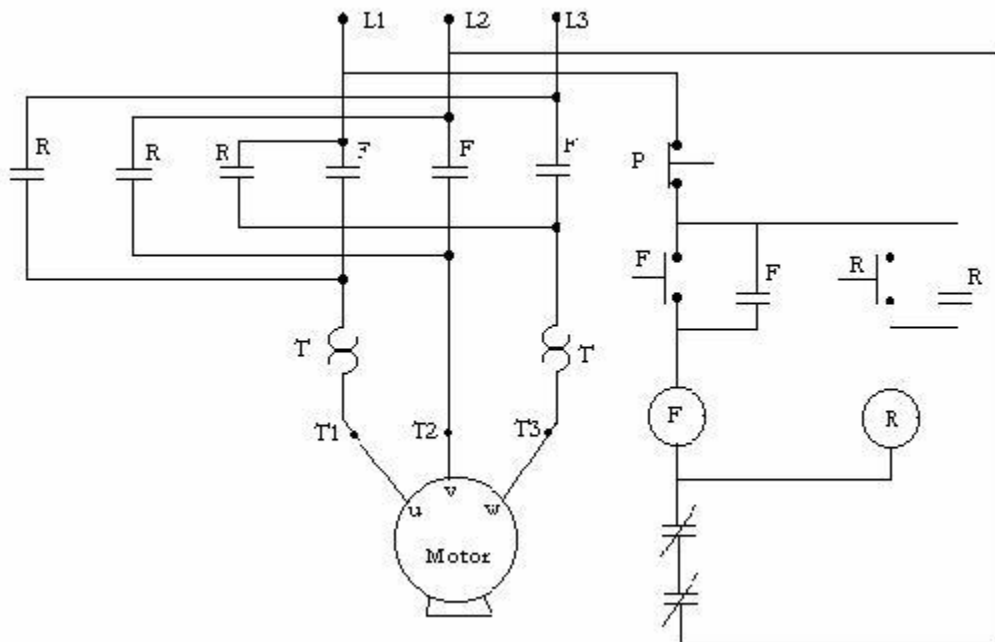
11.8 ESTACIONES DE BOTONES MÚLTIPLES

El circuito de control de botones de tres alambres puede extenderse mediante el uso de varias estaciones de botones para control. El motor se puede parar o arrancar desde cierto número de estaciones separadas, conectando en paralelo los botones de arranque y en serie los de parada



11.9 ARRANCADOR REVERSIBLE

Se usan para inversión de marcha de los motores trifásicos y monofásicos. Se construye usando dos contactores y una estación de botones



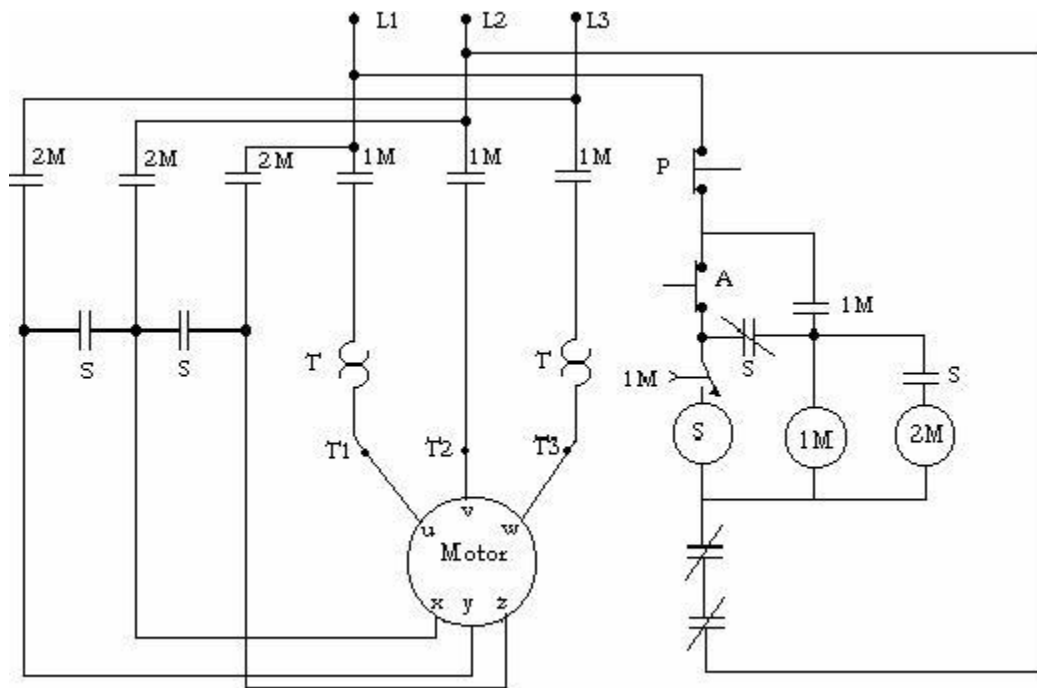
11.10 ARRANCADORES ESTRELLA-TRIÁNGULO

El motor arranca en estrella y funciona en triángulo. Los motores estrella-triángulo, o sea, los que tienen los puntos para conexión ($Y \rightarrow \Delta$) en el exterior, se usan

principalmente para impulsar cargas centrífugas tales como ventiladores, sopladores, bombas centrífugas, etc. y en aplicaciones donde se requiera un torque de arranque reducido.

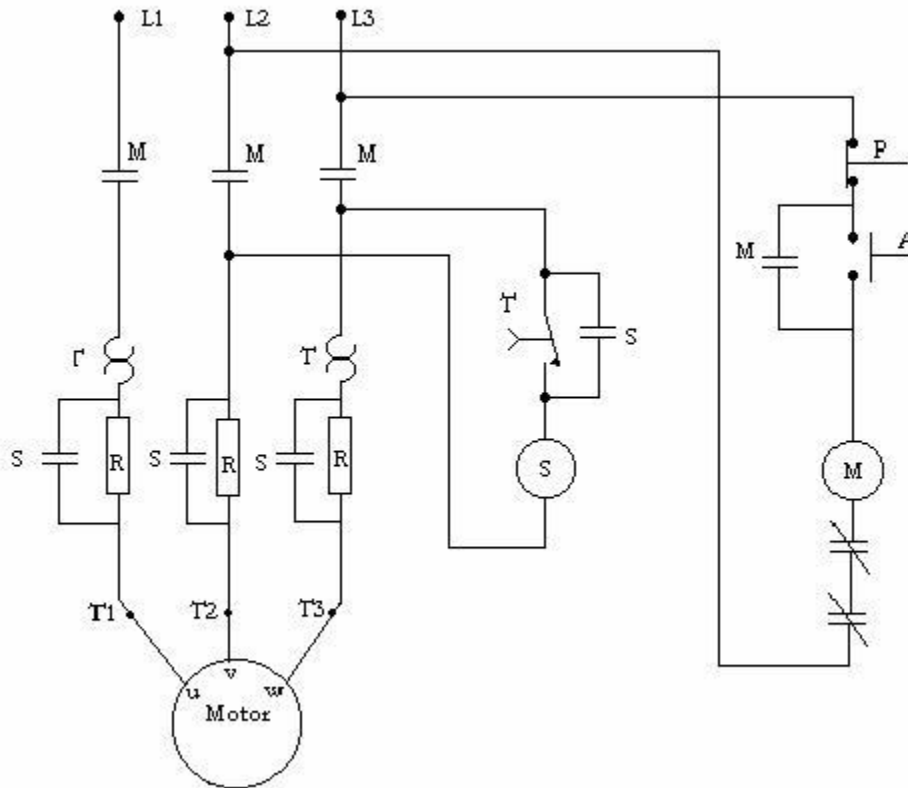
Si bien la corriente en el arranque y la corriente de línea son menores al conectarse en estrella que cuando se conecta en triángulo, la corriente del bobinado es menor que la de la línea cuando se conecta en triángulo. A causa de esto, los relevadores de sobrecarga se deben seleccionar con base en la corriente del devanado y no a la corriente a plena carga de la conexión triángulo. Esto es, la corriente a plena carga se divide por 1,73.

La transferencia automática de estrella a triángulo se hace por medio de un controlador de tiempo.



11.11 ARRANCADORES DE RESISTENCIAS

Se arranca el motor mediante la conexión de una resistencia en serie con la línea del motor. Por lo tanto, la velocidad y la corriente de arranque se reducen y las resistencias se pueden desconectar cuando el motor alcance cierta velocidad.



12. INSTALACIÓN DE MOTORES

Para instalar un motor se debe seleccionar:

- El fusible
- El térmico del contactor
- El calibre de los conductores
- El tamaño del conduit
- El interruptor de seguridad.

12.1 ELECCIÓN DE FUSIBLES

Motor trifásico en jaula de ardilla y sincrónico.

- Con letra de código A: Capacidad de corriente no inferior al 150% de la corriente a plena carga.
- Con letra de código de la B a la E: Capacidad de 250%.
- Con letra de código de la F a la V: Capacidad de 300%.

Motor con rotor bobinado

- Capacidad de 150%.

12.2 ELECCIÓN DEL CONTACTOR

Capacidad de corriente del 125%.

Valores comerciales:

Fusibles en Amp: 15, 20, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450.

Térmicos en Amp: 15, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 125, 150, 175, 200, 225.

12.3 ELECCIÓN DE CONDUCTORES

Los conductores deben tener una capacidad de corriente no inferior al 125% de la corriente a plena carga.

No AWG	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	2/0	3/0	4/0
AMPER	15	20	30	40	55	70	80	95	110	125	145	165	195

12.4 ELECCIÓN DEL CONDUIT

		<i>Diámetro en pulgadas</i>											
		<i>NUMERO DE CONDUCTORES POR DUCTO</i>											
<i>No</i>	<i>AWG</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>			
14		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	1	1			
12		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	1	1	1	$1\frac{1}{4}$			
10		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	1	1	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$			
8		$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$			
6		$\frac{1}{2}$	1	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	2	2	2			
4		$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	2	2	2	$2\frac{1}{2}$			
3		$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	2	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$			
2		$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$			
1		$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	2	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	3	3			
0		1	$1\frac{1}{2}$	2	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	3	3	3			
2/0		1	2	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	3	3	3	$3\frac{1}{2}$			
3/0		1	2	2	$2\frac{1}{2}$	3	3	3	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$			
4/0		$1\frac{1}{4}$	2	2	$2\frac{1}{2}$	3	3	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	4			

12.5 ELECCION DEL INTERRUPTOR DE SEGURIDAD

La siguiente tabla relaciona la capacidad en Amperios que debe tener un interruptor de seguridad tripolar de 220V en función de la capacidad en H.P. del motor.

AMPERIOS	CAPACIDAD EN HP	
	NORMAL	MAXIMO
30	3	7 ½
60	7 ½	15
100	15	30
200	25	50
400	50	100