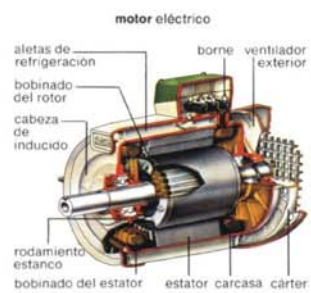


Motores y maniobras



MOTORES Y MANIOBRAS

ÍNDICE

1. Tipos de motores y características técnicas	1
2. Motor asíncrono trifásico	2
3. Principio de funcionamiento	3
4. Campo giratorio	3
5. Motor asíncrono de rotor en cortocircuito	6
6. Conexión de un motor asíncrono trifásico	7
7. Funcionamiento en servicio del motor de rotor en cortocircuito	9
8. Motor asíncrono de rotor bobinado o de anillos deslizantes	10
9. Motor monofásico de inducción de rotor en cortocircuito	12
10. Motor de fase partida	12
11. Motor con condensador de arranque	13
12. Inversión de giro en el motor monofásico	15
13. Motores de corriente continua	17
14. Conexiones de los motores de corriente continua	22
15. Motores universales	25
16. Motores especiales	25
17. Servomotores	25
18. Motores paso a paso	27
19. Motores Brushless	32
20. Sistemas para arranque de motores	34
21. Regulación de la velocidad	35
22. Inversor de giro	41
23. Frenado	42

MOTORES Y MANIOBRAS

1. TIPOS DE MOTORES Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Dependiendo del tipo de corriente a utilizar y de las características de construcción los motores se clasifican como se resume en la tabla 1.

CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES	
CORRIENTE ALTERNA	Asíncronos Síncronos De colector Monofásicos
CORRIENTE CONTINUA	Serie Shunt Compound Independiente
UNIVERSALES	Con inducido
ESPECIALES	Servomotor Paso a paso Brushless

Tabla 1

2. MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Son **los más utilizados en la industria** por su sencillez, y fácil o casi nulo mantenimiento. El motor asíncrono trifásico es una máquina eléctrica que **funciona en cualquier posición**, lo que le hace adaptable a todo uso. El principio de funcionamiento se basa en los fenómenos de inducción electromagnética. **Poseen un buen par de arranque y consiguen mantener su velocidad bastante estable** para diferentes regímenes de carga. **Su velocidad depende de la frecuencia que se le aplica y del número de polos que forma su bobinado**. Por lo tanto, la forma de regular la velocidad de giro consiste en alimentarlos a través de variadores electrónicos de frecuencia o conmutadores de polos.

Dependiendo del tipo de rotor que utilicen, existen dos tipos fundamentales:

- < Motores de **rotor en cortocircuito** o jaula de ardilla y
- < Motores de **rotor bobinado**.

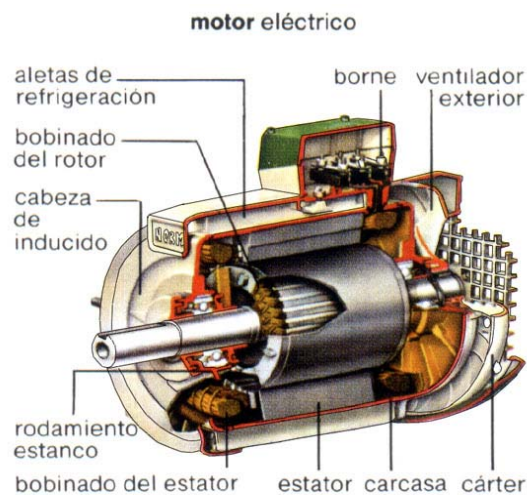


Figura 1 MOTOR DE ROTOR EN CORTOCIRCUITO

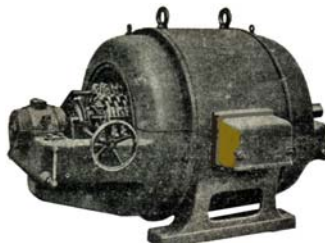


Figura 2 MOTOR DE ROTOR BOBINADO

3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Si se dispone de **un imán en forma de U**, de tal forma que pueda girar por su eje central mediante una manivela (figura 3). Muy próximo a los polos se sitúa un disco de material conductor (cobre o aluminio), de tal forma que también pueda girar.

Cuando se hace girar el imán permanente se puede observar que el disco también gira, pero a un poco menos velocidad que el imán.

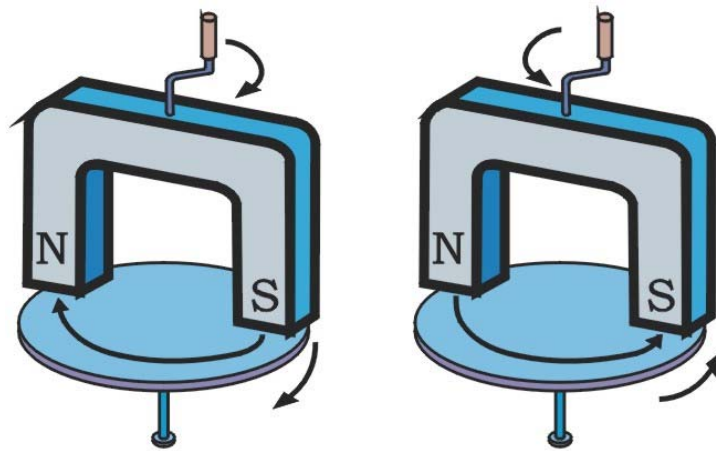


Figura 3 GIRO POR INDUCCIÓN

El imán, en su giro, hace que las líneas de campo magnético que atraviesan el disco sean variables (movimiento relativo del campo magnético frente a un conductor eléctrico fijo), por lo que según el principio de inducción electromagnética (ley de Faraday) en el disco se induce una f.e.m. que, al estar en cortocircuito, hace que aparezcan unas corrientes eléctricas por el mismo. Al estar estas corrientes eléctricas inmersas en el campo magnético del imán, se originan en el disco un par de fuerzas que ponen el disco en movimiento, siguiendo al campo magnético. El disco puede ser lo mismo de cobre como de aluminio pero nunca puede alcanzar la misma velocidad de giro que el imán, ya que si ocurriese esto, el movimiento relativo de ambos se anularía y el campo magnético dejaría de ser variable, por lo que desaparecería la f.e.m. inducida y con ella el par de fuerzas.

4. CAMPO GIRATORIO

Si se consigue crear un campo giratorio aprovechando las variaciones de corriente de un sistema de corriente alterna trifásica, como el desarrollado por el imán de la experiencia anterior, se podrá hacer girar el roto de un motor asíncrono.

En el estator se alojan tres bobinas desfasadas entre sí 120° . Cada una de estas bobinas se conecta a cada una de las fases de un sistema trifásico, por lo que por cada una de ellas circularán las corrientes instantáneas i_1 , i_2 e i_3 (figura 4). Analizando los valores que alcanza el flujo magnético creado por cada una de estas corrientes en cada instante del tiempo, se comprueba que se genera un campo magnético de carácter giratorio.

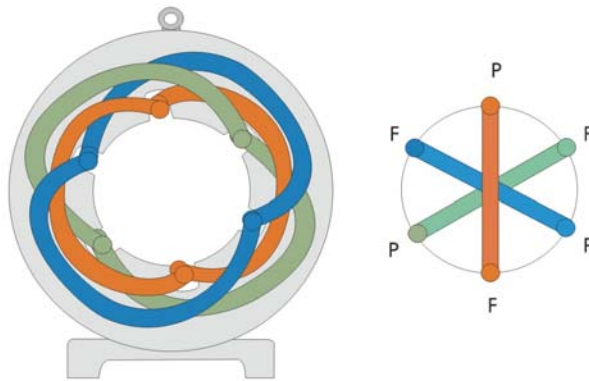


Figura 4 ALOJAMIENTO DE BOBINAS EN EL MOTOR

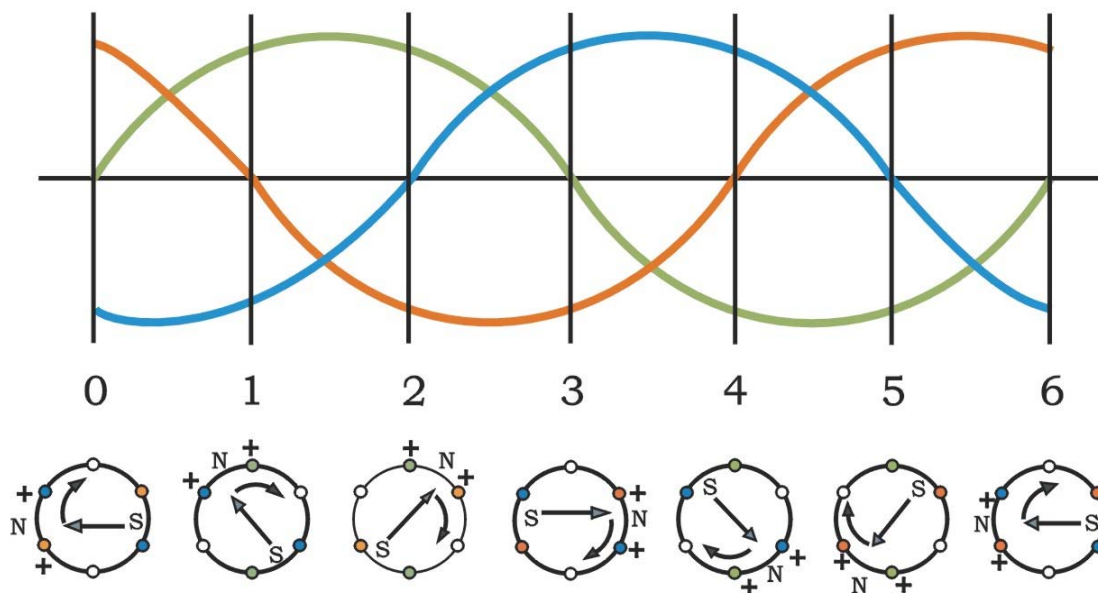


Figura 5 CAMPO MAGNÉTICO GIRATORIO

Para el **instante (0)** la corriente de una fase es cero la segunda fase posee un valor positivo y la tercera negativo, lo que provoca un campo magnético instantáneo del sentido marcado por la flecha de la figura 5 **(0)**. En el **punto (1)**, la segunda fase es cero mientras que la fase una es positiva y creciendo de valor la tercera fase sigue siendo negativa pero decreciente en valor, en la **postura 2** la tercera fase ha llegado a cero, mientras que la fase uno es positiva pero comienza a disminuir de valor la segunda fase ahora es negativa y aumentando de valor, el valor predominante de los polos ha hechos que el campo magnético haya pasado del punto (0) al (2) girando cada vez un sexto del total positiva, por lo que, tal como se puede observar en la figura 5, el campo magnético ha avanzado 1/6 de ciclo. Si se sigue estudiando punto por punto, se llega al **punto (6)** donde comienza de nuevo el ciclo del campo giratorio, que en este caso avanza a la misma velocidad angular que el de la pulsación de la corriente.

La velocidad del campo giratorio depende del número de polos que se consigan al realizar los devanados en el estator. En la explicación se ha empleado un devanado de un par de polos. Por lo que la velocidad conseguida por el campo giratorio coincide con la pulsación angular, es decir:

$$\omega = 2\pi f \text{ (radianes/segundo)} = 60 f \text{ (revoluciones por segundo)}$$

Si se dispone un bobinado con dos pares de polos se necesitarán dos ciclos completos para conseguir una revolución completa del campo giratorio, por lo que la expresión general de la velocidad del mismo podría quedar así:

$$n = \frac{60 f}{p}$$

$n = n^\circ \text{ de revoluciones por minuto (r.p.m.)}$

$f = \text{frecuencia de la red en Hz}$

$p = n^\circ \text{ de pares de polos}$

Así, por ejemplo, con un par de polos en una frecuencia de 50 Hz se consigue una velocidad del campo giratorio de:

$$n = \frac{60 \times 50}{1} = 3.000 \text{ rpm}$$

Para dos pares de polos se consigue la mitad de revoluciones, es decir 1500 r.p.m.

(En el **tema 6, del 2º Módulo**, ya se ha tratado ampliamente este asunto).

5. MOTOR ASÍNCRONO DE ROTOR EN CORTOCIRCUITO

En **el estator** de estos motores se disponen las bobinas encargadas de producir el campo magnético giratorio; estas se alojan en ranuras practicadas en un núcleo formado, por lo general, por paquetes de chapa magnética. En la figura 6, puede verse un estator en su carcasa y fuera de la carcasa. Las seis puntas de las bobinas se llevan a los bornes de conexión, para que puedan conectarse en estrella o en triángulo.

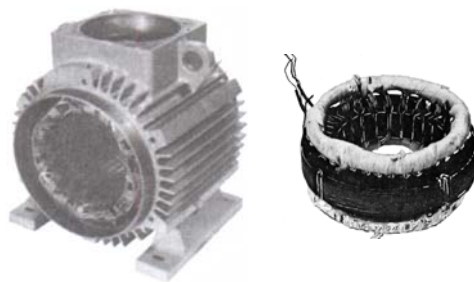


Figura 6 ESTATOR DE MOTOR ASÍNCRONO

El rotor está formado por conductores de aluminio alojados en las ranuras del núcleo y cortocircuitados por sus extremos mediante unos anillos (figura 7). A este rotor también se le da el nombre de jaula de ardilla por la semejanza a ese objeto. En motores de pequeña potencia, el rotor se construye fundiendo en un bloque integral unas varillas de aluminio junto con los anillos.

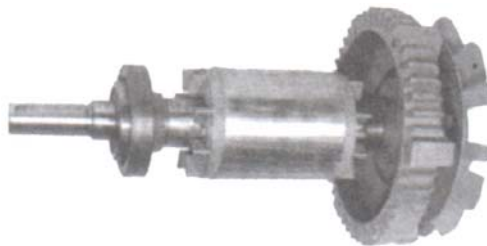


Figura 7 ROTOR DE JAULA CON UNA TAPA Y VENTILADOR

Su funcionamiento es como sigue: Al ser recorridas las bobinas del estator por un sistema de corrientes trifásicas, se origina un campo magnético giratorio que, al cortar los conductores del rotor, induce en ellos una f.e.m. y que, al estar estos en cortocircuito, provoca la circulación de una corriente por dichos conductores.

La interacción de las corrientes rotóricas con el campo magnético del estator da lugar a un par motor que hace girar el rotor en el mismo sentido que el campo magnético.

La velocidad del rotor nunca se puede alcanzar a la del campo giratorio, ya que de ser estas iguales no se induciría tensión alguna en el rotor, por lo que **el rotor siempre gira a una velocidad inferior a la de sincronismo (de ahí viene el nombre de asíncrono)**. De esta forma, se define **el deslizamiento de un motor asíncrono**, como la diferencia de estas velocidades expresada en tantos por ciento:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} 100$$

S = deslizamiento en %

n_s = velocidad teórica

n = velocidad real

Así, por ejemplo, el deslizamiento de un motor asíncrono que posea una velocidad de sincronismo de 1500 r.p.m. y que gire a plena carga a una velocidad de 1470, tendrá un deslizamiento de:

$$S = \frac{1500 - 1470}{1500} \times 100 = 2\%$$

Cuando el motor trabaja en vacío, el deslizamiento es mínimo (aproximadamente el **0,1 %**). **Al arrastrar la carga** nominal, el motor tiende a frenarse y el deslizamiento aumenta un poco (del orden del **4 %**). Hay que pensar que el par de fuerzas que se desarrolla en el rotor depende de la corriente que por éste circule, y esta fuerza depende, a su vez, de la f.e.m. inducida en los conductores del mismo. Por esto **cuanto mayor sea el esfuerzo a realizar por el motor, el rotor tenderá a frenarse** (aumento del deslizamiento y del movimiento relativo del campo magnético respecto a los conductores del rotor), para conseguir una mayor f.e.m. inducida y, por tanto, una mayor corriente rotórica y, en definitiva, un mayor par de fuerzas.

6. CONEXIÓN DE UN MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

El devanado trifásico del estator de un motor asíncrono se puede conectar en estrella o en triángulo, dependiendo de la tensión de la red y la que se indique en la placa de características del motor. Todos los motores trifásicos pueden funcionar a dos tensiones diferentes.

Así, por ejemplo, en un motor que en su placa de características aparezcan las tensiones: **380/220 V**, indica que se puede conectar en **estrella a la tensión mayor (380)** o en **triángulo la tensión menor (220)**.

El nuevo reglamento de baja tensión, ha subido estas tensiones a **400/230 V**, así que en la actualidad, todos los motores que ya estaban instalados lo hacen ahora a una tensión más elevada, y seguirán así durante bastante tiempo, mientras que no se quemen seguirán trabajando. Cuando se quemen, **la solución no será rebobinarlos sino sustituirlos por motores a la nueva tensión nominal de 400/230 V.**

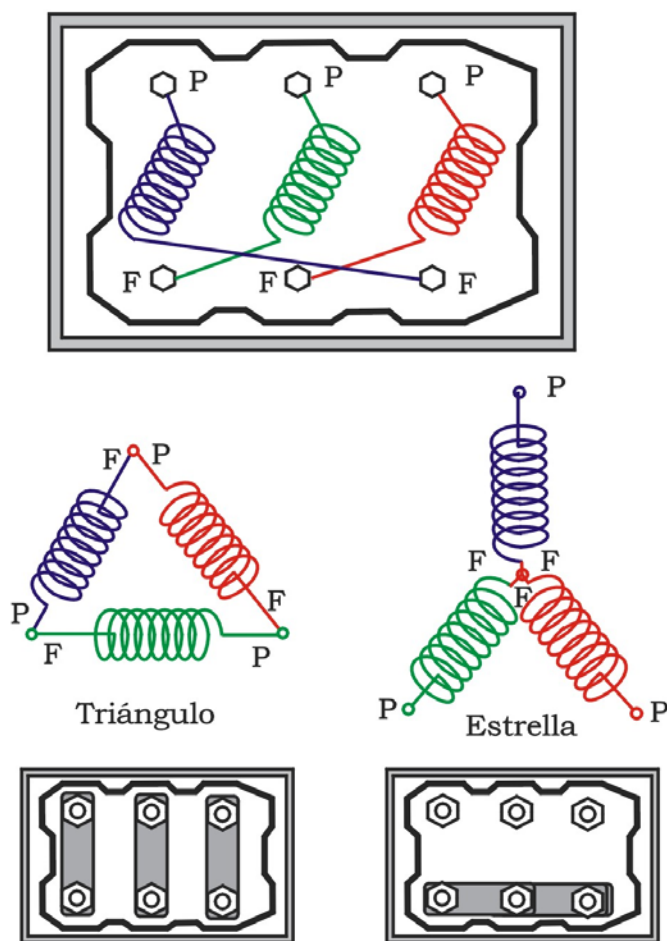


Figura 8 BORNES DEL MOTOR CONEXIÓN EN TRIÁNGULO Y EN ESTRELLA

En la figura 8, se muestra la disposición en que se adopta para las puntas de bobinas en la caja de bornes del motor. **Cambiando las tres chapitas de puentes, el motor queda conectado en estrella (tensión mayor), o en triángulo (tensión menor).** Para conseguir la conexión en estrella, se unen los finales **X-Y-Z**. La conexión en triángulo se realizar con facilidad al unir los terminales (**U-X**), (**V-Y**), (**W-Z**). En la conexión Estrella, si se prefiere conectar las tres fases por debajo, bastará con colocar el puente en los tres bornes de arriba, ya que la nomenclatura **U V W**, **X Y Z**, es relativa, dependiendo por donde entre la corriente. Por esta razón estas letras no parecen en el bornero del motor.

7. FUNCIONAMIENTO EN SERVICIO DEL MOTOR DE ROTOR EN CORTOCIRCUITO

Arranque

Al conectar las bobinas del estator de un motor trifásico, permaneciendo el rotor sin movimiento, en un principio, el campo giratorio corta los conductores del rotor induciendo en los mismos, como si fuese un transformado, una f.e.m. elevada (de la misma frecuencia que la del estator), que a su vez, producirá una fuerte corriente (puede llegar a ser de cientos de amperios). Estas corrientes, al interactuar con el campo magnético, producen elevadas fuerzas mecánicas que, al actuar sobre el rotor, **le proporcionan un fuerte par de arranque.**

Al igual que ocurre con los transformadores (el estator actúa como el primario y el rotor como el secundario); la fuerte corriente del rotor genera, a su vez, un campo magnético que intenta modificar el flujo común. Como éste sólo depende de la tensión aplicada al estator, aparece un incremento de corriente en el mismo que intenta compensar la f.e.m. producida por el rotor. De esta forma, cuando aumenta la intensidad rotórica también lo hace la corriente estatórica, que corresponde a la corriente tomada de la red por el motor. **En el arranque se produce, por tanto, una elevación de la corriente absorbida por el motor de la red**, que, como se verá más adelante, a veces conviene suavizar.

Aceleración y carga

Tan pronto empieza a circular corriente por el rotor parado, éste empieza a girar con un movimiento acelerado y en el mismo sentido que el campo giratorio, por lo que el movimiento relativo entre el campo y el rotor disminuye y con él, la f.e.m. Inducida y la corriente (según disminuye el deslizamiento, la frecuencia del rotor f_2 va también disminuyendo), **si el motor está vacío, rápidamente se alcanza una velocidad muy próxima a la de sincronismo.** Si se aplica una carga mecánica resistente al eje del motor, el rotor tenderá a perder velocidad hasta alcanzar un equilibrio entre el par motor creado por el mismo y el par resistente ofrecido por la carga.

Si se aplica una carga mecánica resistente que sobrepase el par máximo que puede proporcionar el motor, éste tiende a pararse. Esto siempre debe de evitarse, ya que al estar el rotor bloqueado, tanto las corrientes rotóricas como las estatóricas se elevan muchísimo, pudiendo provocar la destrucción del motor si no se le desconecta rápidamente.

Se puede decir que **el motor intenta desarrollar un par motriz exactamente igual al par opuesto por el resistente de la carga.**

8. MOTOR ASÍNCRONO DE ROTOR BOBINADO O DE ANILLOS ROZANTES

En estos motores, el estator posee las mismas características que el del motor de rotor en cortocircuito, pero **el rotor se construye insertando un devanado trifásico en las ranuras de un núcleo cilíndrico de chapas magnéticas**. Este devanado se conecta normalmente en estrella y los tres terminales restantes se conectan a tres anillos rozantes. Unas escobillas frotan estos anillos y permiten conectar unas resistencias externas en serie con el fin de poder limitar la corriente rotórica (figura 9).

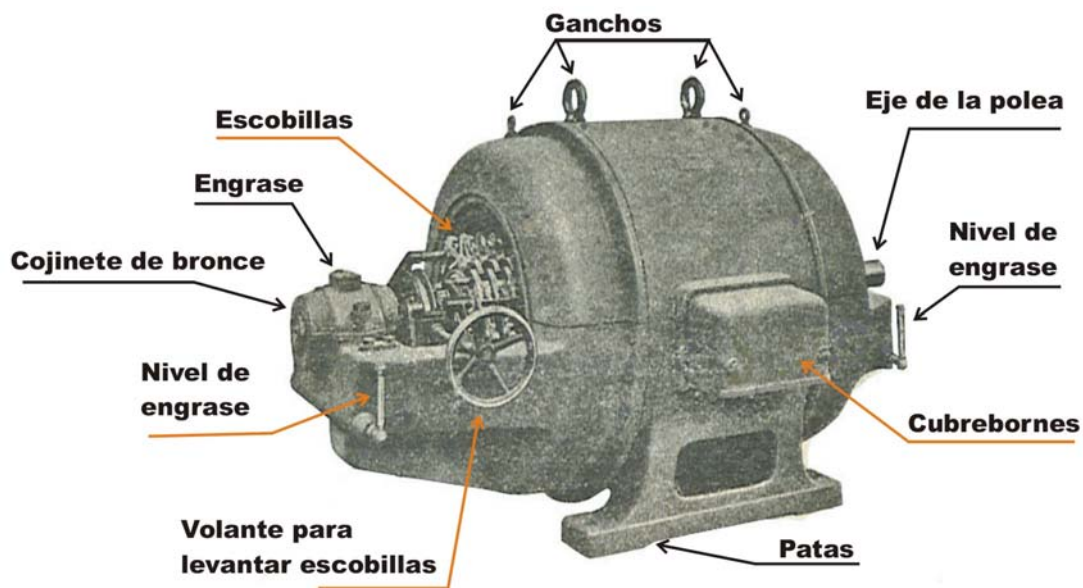


Figura 9 MOTOR ASÍNCRONO DE ROTOR BOBINADO

En la placa de características de estos motores aparecen tres nuevos terminales correspondientes al bobinado del rotor, que para no confundirlos con los del estator se indican con las letras minúsculas **u**, **v**, **w**.

El principio de funcionamiento es exactamente igual que el del rotor en cortocircuito, pero ahora es posible la regulación directa de la corriente rotórica y con ella, la propia corriente del estator.

Este sistema tiene la ventaja de que no es necesario disminuir la tensión en el estator para disminuir el flujo y, con él, la corriente rotórica, que siempre trae consigo una reducción del par motor.

El arranque se hace en sucesivos escalones, obteniendo un arranque con corriente suave en el estator con un buen valor de las resistencias rotóricas, con el par máximo.

El gran inconveniente que presentan estos motores frente a los de jaula de rotor en cortocircuito es que **resultan bastante más caros y necesitan de un mayor mantenimiento**. En la actualidad el control electrónico de los motores asíncronos de rotor en cortocircuito ha desplazado en casi todas las aplicaciones al motor de rotor bobinado, quedando este último para casos especiales donde se requiera un par de arranque muy elevado (grúas, instalaciones de media tensión, etc.).

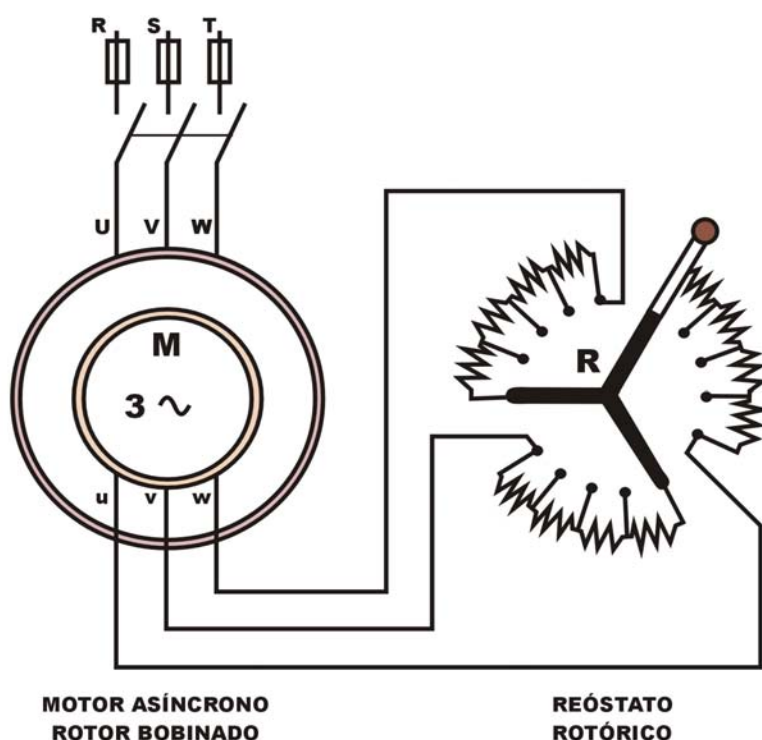


Figura 10 MOTOR ROTOR BOBINADO CON REÓSTATO ROTÓRICO

Los motores de rotor bobinado llevan reóstato de arranque (figura 10) para poner todas las resistencias en serie con el devanado del inducido. **Conforme adquiere velocidad se quitan resistencias, hasta poner en corto circuito las tres puntas de la estrella del rotor, en este momento se puede levantar las escobillas del rotor, y evitar el desgaste por el roce**, al manipular el volante que alzan las escobillas, al mismo tiempo entran tres cuchillas que ponen en corto el bobinado en estrella del rotor. **Cuando se para el motor, se vuelven a bajar las escobillas y se coloca el reóstato de arranque en la posición de inicio para la próxima arrancada**. Si no se hace esta operación, cuando se ponga en marcha de nuevo, el motor arranca normalmente, lo único que sucede es que consume igual que un motor de jaula de ardilla durante el tiempo de arranque.

9. MOTOR MONOFÁSICO DE INDUCCIÓN DE ROTOR EN CORTOCIRCUITO

Debido a la sencillez, robustez, bajo precio y a la ausencia de chispas, los motores de campo giratorio se construyen también para corriente alterna monofásica. Se utilizan en aquellas instalaciones donde no se dispone de suministro trifásico, como por ejemplo, aplicaciones domésticas (figura 11).

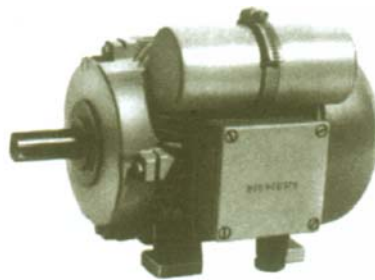


Figura 11 MOTOR MONOFÁSICO CON CONDENSADOR DE ARRANQUE

Al igual que los trifásicos, están constituidos por un rotor de jaula de ardilla y un estator donde se alojarán los devanados inductores. Existiendo **distintos tipos de monofásicos**: **De fase partida, con condensador de arranque, o con espira en cortocircuito.**

10. MOTOR DE FASE PARTIDA

En este sistema el estator tiene un bobinado monofásico que al ser sometido a una tensión alterna senoidal, crea un campo magnético alternativo y fijo, que no es capaz de provocar un par de arranque efectivo en el rotor (figura 12).

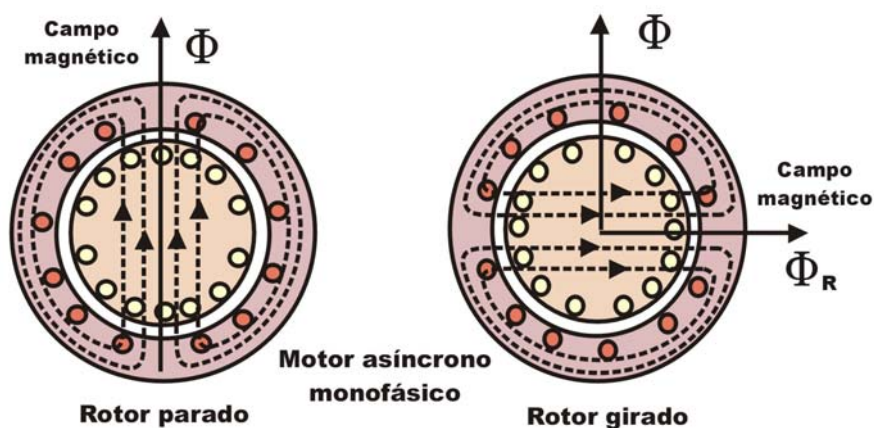


Figura 12 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MONOFÁSICO

Si en estas condiciones se empuja el rotor manualmente en uno de los sentidos posibles, se consigue desplazar el eje del campo magnético del rotor y el motor comenzará a girar hasta alcanzar la velocidad nominal. El sentido de giro del motor depende de hacia donde se haya iniciado el giro, y su velocidad, del número de pares de polos del devanado.

Para conseguir que el motor arranque automáticamente se inserta en las ranuras del estator un segundo bobinado auxiliar que ocupe 1/3 de las mismas. En la figura 13 se muestra un esquema de la disposición de los dos bobinados con un interruptor centrífugo, o un pulsador manual.

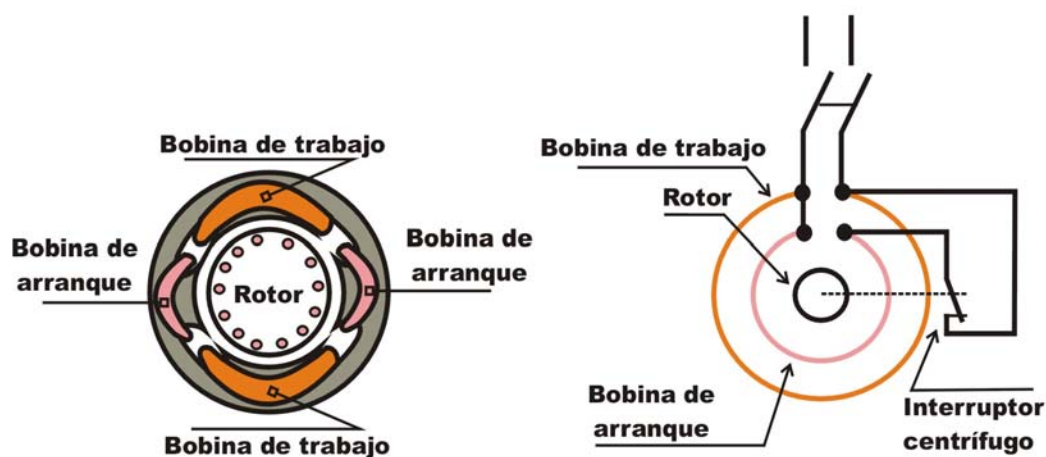


Figura 13 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE MOTOR MONOFÁSICO DE FASE PARTIDA CON BOBINADO DE TRABAJO Y DE ARRANQUE E INTERRUPTOR CENTRÍFUGO

Como **la impedancia de las dos bobinas es diferente**, se producirá un pequeño ángulo de desfase en la corriente absorbida por el bobinado auxiliar respecto a la del principal. Este ángulo suele ser de adelanto debido a que el **bobinado auxiliar es de menor sección y, por lo tanto, más resistivo**. El flujo que produce dicha bobina queda también adelantado al principal, lo que hace que se forme un campo giratorio suficiente para impulsar a moverse al rotor. Dado que el ángulo de desfase entre ambos flujos resulta muy pequeño, **el par de arranque también es muy pequeño, si se arranca en carga, puede que no gire** y se queme el bobinado de arranque.

11. MOTOR CON CONDENSADOR DE ARRANQUE

Para aumentar el par de arranque de estos motores se añade **un condensador en serie con el bobinado auxiliar**, de tal forma que el ángulo de desfase entre los flujos producidos por ambas bobinas se acerque a 90° .

El par de arranque conseguido será mayor, cuanto mayor sea la capacidad del condensador. Sin embargo, **una capacidad excesivamente elevada del condensador puede reducir la impedancia total del devanado auxiliar a valores muy pequeños**, lo que trae consigo un aumento de la corriente absorbida por el bobinado auxiliar. Si este devanado no se desconecta una vez arrancado el motor, el calor producido por la fuerte corriente puede llegar a destruirlo. Para que esto no ocurra, una vez que el motor haya alcanzado unas ciertas revoluciones, se procede a la desconexión del conjunto formado por el condensador y el devanado auxiliar.

Dicha desconexión se puede realizar mediante un interruptor centrífugo (figura 13). Interruptor que está acoplado al eje del motor y que abre sus contactos cuando se alcanzan unas ciertas revoluciones, en otros motores como piedras de amolar el interruptor automático se sustituye por un pulsador manual.

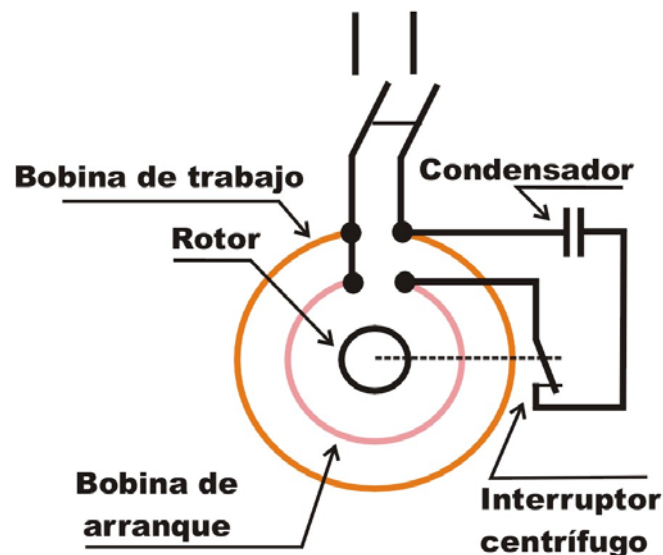


Figura 14 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE MOTOR MONOFÁSICO DE FASE PARTIDA CON BOBINADO DE TRABAJO Y DE ARRANQUE CON CONDENSADOR E INTERRUPTOR CENTRÍFUGO

En el caso de que el condensador se desee dejar continuamente conectado, éste deberá poseer **una potencia reactiva 1'3 KVAR por cada KW de potencia del motor**. Para motores que sea muy importante el par de arranque y que se desconecte el bobinado auxiliar, el condensador deberá de ser de unos **4 KVAR por cada KW de potencia del motor** (figura 15).

Los motores con condensador poseen un buen factor de potencia y un rendimiento aceptable (**es inferior al de los motores trifásicos**) y se aplican, por ejemplo, para electrodomésticos, máquinas herramientas, bombas, etc.

En los motores sin condensador el campo de aplicación se ve limitado por su bajo par de arranque, por lo que se emplean, por ejemplo, para ventiladores, bombas centrífugas, etc.

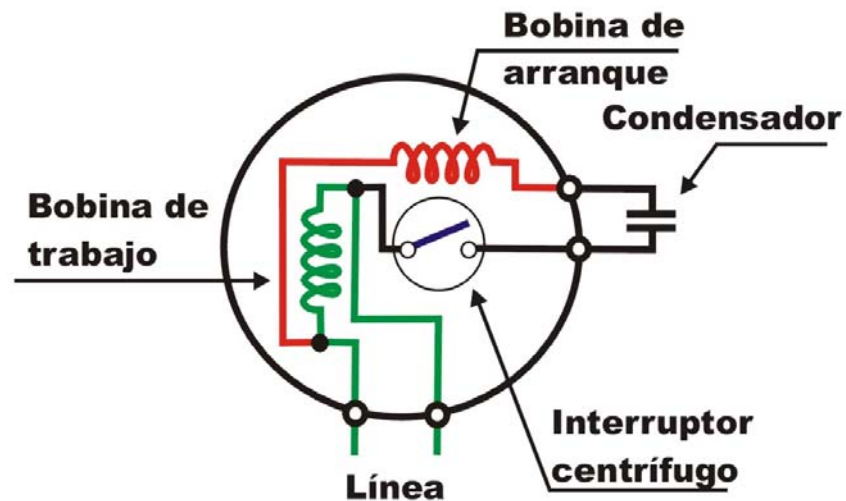


Figura 15 MOTOR DE FASE PARTIDA ESQUEMA DEL SISTEMA DE ARRANQUE

12. INVERSIÓN DE GIRO EN EL MOTOR MONOFÁSICO

Para invertir el giro de los motores monofásicos es suficiente con invertir la conexión de una de las dos bobinas (figura 16).

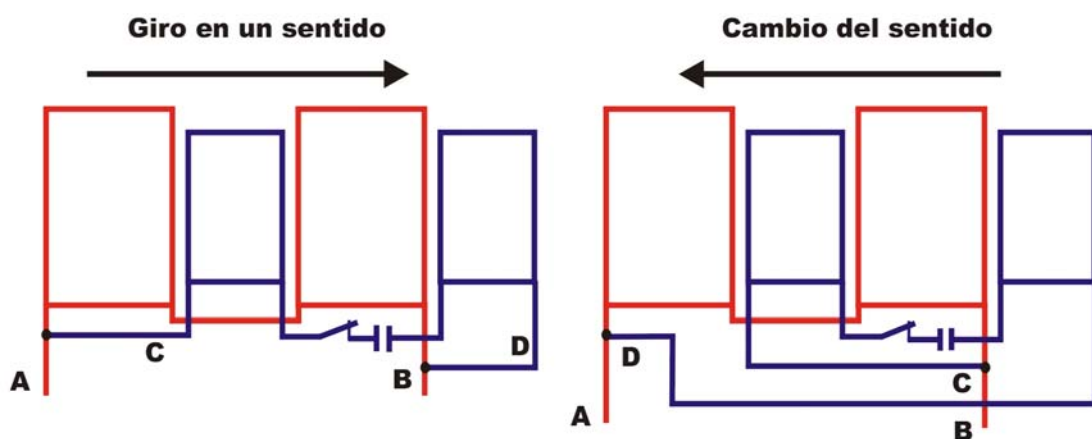


Figura 16 INVERSIÓN DEL GIRO EN MOTOR MONOFÁSICO

Motores monofásicos con espira en cortocircuito

Este motor es de muy sencilla construcción y se aplica para motores de pequeñas potencias (hasta 100 o 200 W).

El rotor de estos motores es de jaula de ardilla. El estator es de polos salientes, en el cual se arrolla la bobina principal como si fuese el primario de un transformador. En la parte extrema de cada polo se coloca una espira de cobre en cortocircuito (fig. 17). El devanado principal produce un campo magnético alternativo que atraviesa el rotor y las dos espiras en cortocircuito. En estas espiras se induce una pequeña corriente y un pequeño flujo que queda retrasado respecto al flujo

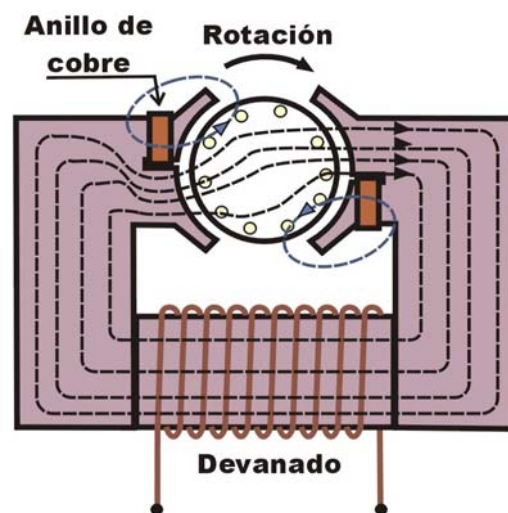


Figura 17 MOTOR MONOFÁSICO CON ESPIRA EN CORTO CIRCUITO

Inversión de giro

El sentido de giro de los motores con espira en cortocircuito depende de la disposición de las espiras de cortocircuito, por lo que la inversión del giro, solo es posible si se puede desmontar y cambiar la posición del rotor dentro del estator (figura 18).

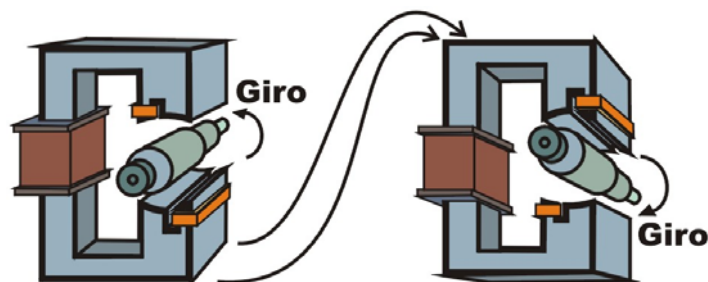


Figura 18 EL SENTIDO DEL GIRO DEPENDE DE LA POSICIÓN DE LA ESPIRA EN CORTOCIRCUITO

13. MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Los motores de corriente continua presentan el inconveniente de que sólo pueden ser alimentados a través de equipos que conviertan la corriente alterna suministrada por la red de corriente alterna en corriente continua. Por otro lado, su constitución es mucho más compleja que los de C.A. y **necesitan de colectores con delgas y escobillas para su funcionamiento**, que aumentan considerablemente los trabajos de mantenimiento. En contrapartida, **poseen un par de arranque elevado y su velocidad se puede regular con facilidad entre amplios límites**, lo que les hace ideales para ciertas aplicaciones: tracción eléctrica (tranvías, trenes, coches eléctricos, etc.) y en todas aquéllas en que sea muy importante el control y la regulación de las características funcionales del motor.

Principio de funcionamiento

Como todos los motores eléctricos, su funcionamiento se basa en las fuerzas que aparecen en los conductores cuando son recorridos por corrientes eléctricas y, a su vez, están sometidos a la acción de un campo magnético.

En la figura 19 se ha representado el aspecto de un motor de corriente continua elemental. Los polos magnéticos del imán, situados siempre en el estator, son los encargados de producir el campo magnético inductor. La espira, que se ha situado en el rotor, es recorrida por una corriente continua que se suministra a través de un anillo de cobre cortado por la mitad (colector de delgas). Las dos mitades se aíslan eléctricamente y se sitúa sobre ellas unos contactos deslizantes de carbón (escobillas), de tal forma que la corriente aplicada por la fuente de alimentación pueda llegar a los conductores del rotor.

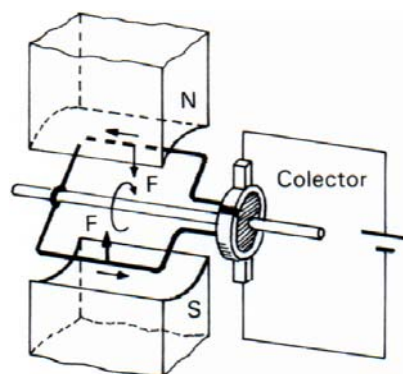


Figura 19 MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Como las corrientes que circulan por ambos lados de la espira son contrarias, al aplicar **la regla de la mano izquierda**, se comprueba que aparecen fuerzas también contrarias en cada lado activo de la espira, lo que determina un par de giro.

Para que el sentido de giro sea siempre el mismo, el par de fuerzas siempre deberá actuar en el mismo sentido.

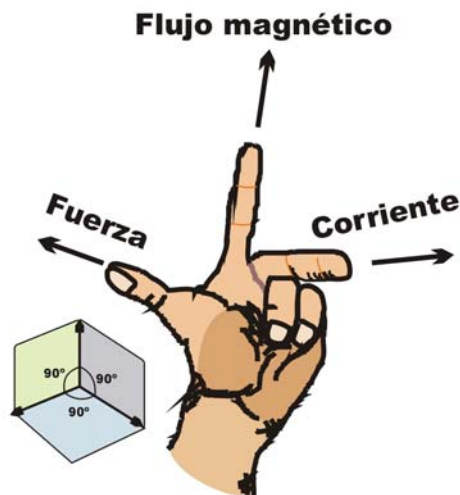


Figura 20 REGLA DE LA MANO IZQUIERDA PARA MOTORES

En el caso de que los conductores de la espira girasen hasta enfrentarse con el polo contrario, con el mismo sentido de corriente que en la anterior posición, la fuerza se invertiría de sentido y la espira no establecería nunca una revolución. **Con el colector de delgas se resuelve este problema**, haciendo que la corriente siempre circule en el mismo sentido respecto al campo magnético, el colector actúa como un rectificador.

Para conseguir que el motor gire en uno o en otro sentido, hay que lograr invertir el sentido del par de fuerzas. Esto se consigue **invirtiendo el sentido de la corriente del rotor** y manteniendo el campo magnético inductor fijo.

Constitución

La constitución de motor de C.C. es exactamente igual que la de un generador de corriente C.C.(dinamo). **Esta máquina es reversible** y, por lo tanto, **puede funcionar indistintamente como motor o como generador**. Se necesitan de tres partes fundamentales para su funcionamiento; Un circuito que produzca el campo magnético (circuito inductor), un circuito que al ser recorrido por la corriente eléctrica desarrolle pares de fuerza que pongan en movimiento el rotor (circuito inducido) y un colector de delgas con escobillas.

En la figura 21 se muestra, en corte, el aspecto de un motor de corriente continua y en la figura 22 la disposición del porta escobillas.

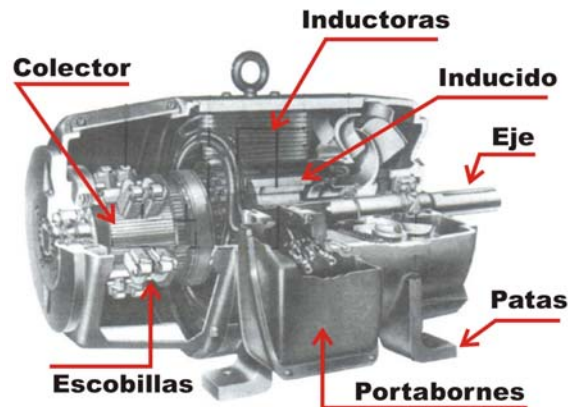


Figura 21 MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

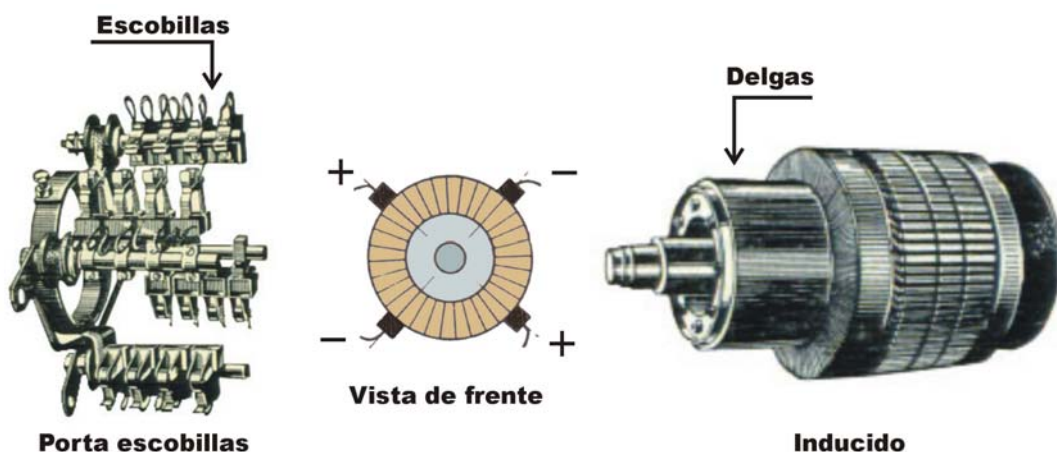


Figura 22 COLECTOR Y PORTA ESCOBILLAS

Estator

En el estator se sitúa el circuito inductor. Consta de una envolvente de acero laminado o hierro forjado, llamado culata o yugo, donde se sitúan los núcleos correspondientes a los polos principales y en los que se arrolla el bobinado encargado de producir el campo magnético de excitación. Alimentando con corriente continua, a estas bobinas se consiguen campos magnéticos más intensos que con imanes permanentes.

Aparte de los polos principales, también se suelen incorporar en la culata unas pequeñas piezas polares, con sus consiguientes devanados, conocidas por el nombre de polos auxiliares o de conmutación (figura 26). Estos polos evitan los efectos perjudiciales producidos por la reacción del inducido.

En la actualidad, existen motores con imanes permanentes en lugar de electroimanes en la excitación, lo que simplifica considerablemente a los mismos.

Rotor

Para que los pares de fuerza originados en los conductores del rotor, al ser recorridos por la corriente, sean aplicados de una forma uniforme en el rotor, los conductores se reparten uniformemente por el núcleo rotórico. El núcleo del circuito inducido se construye con una pieza cilíndrica formada con chapas magnéticas apiladas para evitar las pérdidas por histéresis y Foucault. A lo largo de este núcleo se practican ranuras para aislar los conductores aislados del circuito inducido.

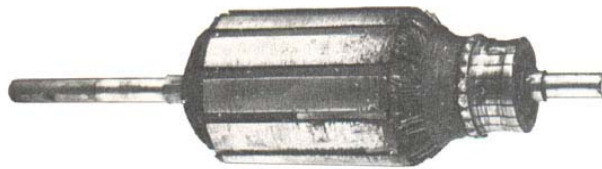


Figura 23 INDUCIDO DE CORRIENTE CONTINUA

Colector y escobillas

El colector consta de varias delgas de cobre electrolítico con el fin de poder conectar a él los diferentes circuitos del inducido. Estas conexiones se llevan a cabo por soldadura blanda (estaño). Las delgas se aíslan entre sí por separadores de micanita.

Las escobillas transmiten la corriente al inducido a través de su frotamiento con el colector. Se suelen fabricar de carbón puro o de grafito. Van montadas sobre unas portaescobillas en los que se puede regular la presión. Para un correcto enclavamiento, las escobillas deben apoyar sobre las delgas del colector con toda su superficie (a veces, es necesario lijarlas para conseguirlo). Dada la fricción a la que se somete a las escobillas, éstas poseen una vida limitada. Una de las tareas de mantenimiento fundamentales de un motor de corriente continua es reponer las escobillas desgastadas y limpiar las delgas del colector (En la figura 23, se aprecia el desgaste del colector, producido por unas escobillas demasiado duras).

Reacción del inducido

Cuando los conductores del inducido son recorridos por una corriente eléctrica, producen un campo magnético cuya dirección y sentido se obtiene aplicando la regla del sacacorchos.

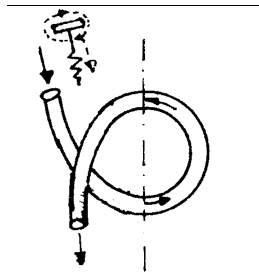


Figura 24 REGLA DEL SACACORCHOS

REGLA DEL SACACORCHOS: CUANDO SE HACE AVANZAR UN SACACORCHOS EN EL SENTIDO DE LA CORRIENTE, EL GIRO DEL SACACORCHOS COINCIDE CON SENTIDO DEL CAMPO MAGNÉTICO.

La dirección de este campo transversal de reacción adquiere la misma dirección que el eje de las escobillas, con lo que resulta ser perpendicular al campo principal producido por los polos inductores (figura 25-1).

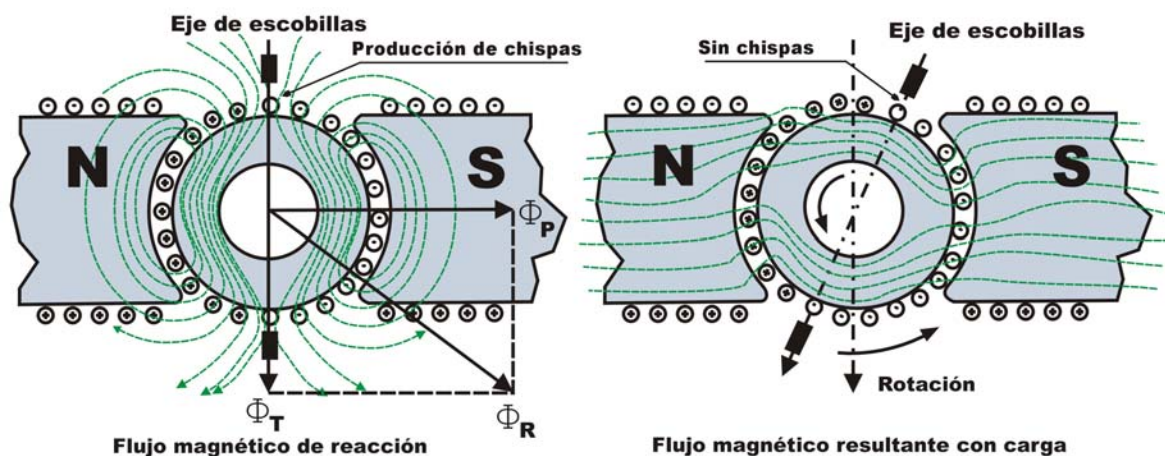


Figura 25 CAMPO MAGNÉTICO Y EJE DE ESCOBILLAS

El campo transversal Φ_T debido a la reacción del inducido se suma vectorialmente al campo principal Φ_P , dando como fruto un campo magnético resultante Φ_R que queda desviado de la posición original (figura 25-2).

Esta desviación del campo inductor produce una serie de problemas cuando las escobillas conmutan de una delga a la delga contigua **que se manifiesta en forma de chispas** que desgasta y perjudica el funcionamiento del motor.

Para evitar los efectos perjudiciales de la reacción del inducido existen dos posibilidades:

- < Desviar el calado las escobillas en el mismo sentido de rotación del inducido
- < Emplear polos de conmutación

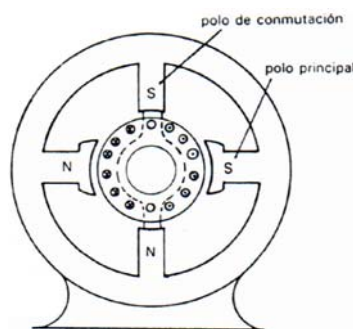


Figura 26 POLOS DE CONMUTACIÓN

14. CONEXIONES DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Conexión serie. En el motor serie, el flujo es proporcional a la corriente que pasa por el inducido, el **par de fuerza durante el arranque es muy alto** y proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente I^2 .

Los motores serie se emplean como motores de arranque en los que el negativo está unido a masa, por lo que solo tiene un borne, el positivo, además consta de un dispositivo mecánico llamado bendix y un relé como interruptor, este relé recibe la orden de un pulsador en forma de llave de contacto.

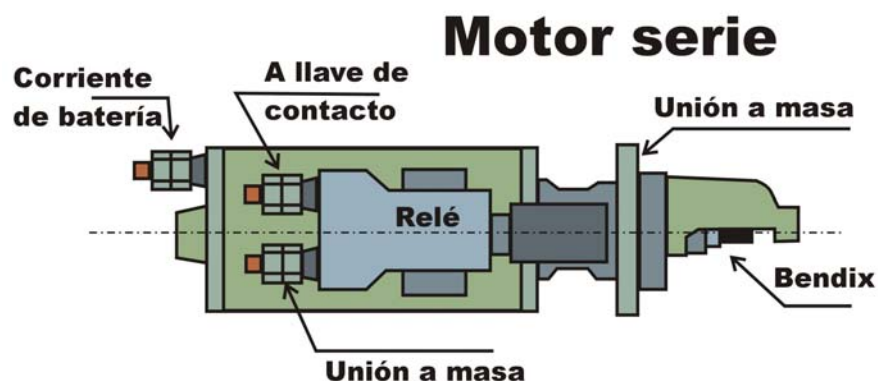


Figura 27 MOTOR DE ARRANQUE

Para cambiar el sentido de rotación de un motor serie, basta con cambiar el sentido de la corriente en la bobina inductora cambiando la entrada por la salida ver figura 27.

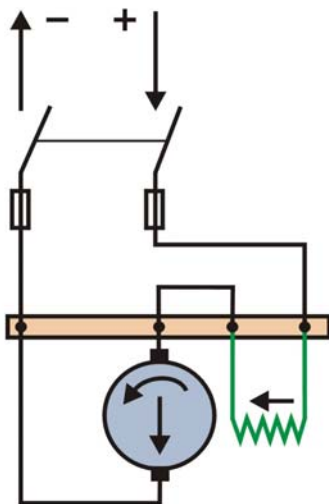


Figura 28 ESQUEMA DE MOTOR SERIE

Motor en derivación o Shunt. Al ser la corriente de la inductora independiente de la que atraviesa el inducido, el par motor no es como en el motor serie, proporcional al cuadrado de la intensidad, aquí el flujo es constante y menor la corriente absorbida, el menor poder de fuerza no es inconveniente si lo que se prefiere es una marcha larga y constante, pudiéndose regular la velocidad con el empleo del reóstato (figura 28).

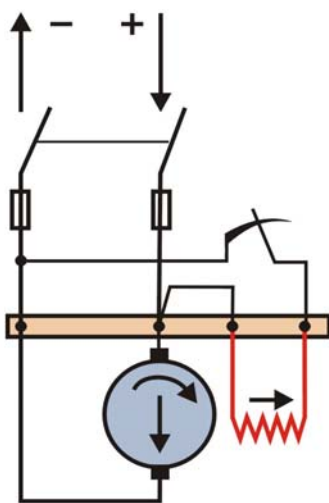


Figura 29 MOTOR DERIVACIÓN

Motor de excitación Compound. En estos motores el devanado es doble, una parte está en serie con el inducido y la otra en paralelo, de esta forma se conserva un fuerte par de arranque y se puede mantener constante la velocidad de la marcha una vez superado el inicio (figura 30).

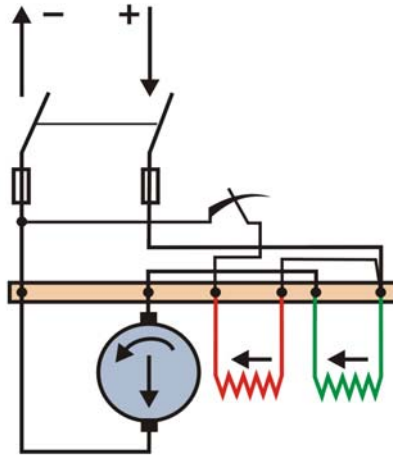


Figura 30 MOTOR COMPOUND

Motor de excitación independiente. En estos motores, el devanado de las bobinas inductoras está conectadas a una fuente de corriente separada de la corriente que recorre el inducido. Funciona de forma similar al motor en derivación, la separación de la excitación se utiliza cuando se desea regular la velocidad con precisión sin perder fuerza de arranque (figura 31).

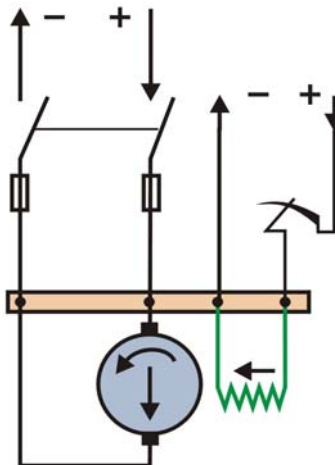


Figura 31 MOTOR DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

15. MOTORES UNIVERSALES

Para que un motor funcione con corriente continua, necesita que el inducido tenga colector, por lo tanto, la primera condición es que tiene que tener escobillas, la segunda que sea monofásica, un motor trifásico no puede usarse con corriente continua.

El uso más común de los motores universales, es la taladradora de mano (figura 32), y en casi todos los pequeños electrodomésticos, como batidoras, molinos de café, afeitadora, y alguno más.

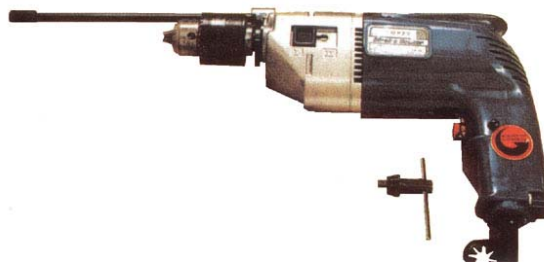


Figura 32 TALADRO DE MANO PERCUTOR

16. MOTORES ESPECIALES

Son motores de corriente continua, pero que, como los de corriente alterna, no tiene escobillas. A este grupo pertenecen los servomotores, los motores paso a paso y el motor Brushless

17. SERVOMOTORES



Figura 33 SERVOMOTO

Características

- < Motor de **corriente continua** (C.C.).
- < Excitación basada en imanes cerámicos permanentes de elevada energía intrínseca y fuerza coercitiva.
- < Buena regulación y estabilidad.
- < **Par elevado.**
- < Posibilidad de fuertes aceleraciones y desaceleraciones.
- < **Gran estabilidad de marcha**, incluso a bajas velocidades.
- < Amplio campo de variación de giro.
- < Elevada inercia térmica.
- < **Admite sobrecargas prolongadas.**
- < **Para cargas de pequeña y media potencia.**

Aplicaciones

Este tipo de motor **se utiliza principalmente para el movimiento de máquinas herramientas con avance convencional o numérico.**

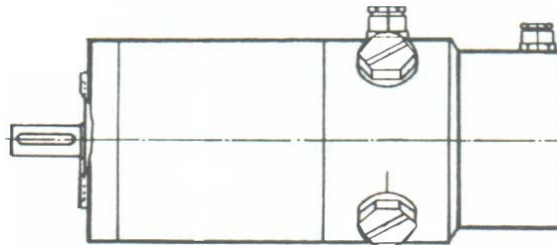


Figura 34 SERVOMOTOR

Acoplamiento directo al eje individualizando los movimientos, con movimientos precisos y controlados a lo largo del proceso.

También se utilizan en otro tipo **máquinas que precisen avances precisos.**

18. MOTORES PASO A PASO

Características que lo definen

Los motores paso a paso vienen definidos por el número de posiciones, o paso por vuelta, que es más elevada sobre los motores a reluctancia o híbridos. También por el par máximo disponible en régimen permanente y su posibilidad de control de velocidad y del número de revoluciones o parte (fracciones exactas de vuelta).

Partes principales de este tipo de motor

El estator de este motor está constituido por varias bobinas **alimentadas por impulsos de c.c.**

El rotor está constituido por uno o **varios imanes permanentes**.



Figura 35 MOTOR PASO A PASO

Por el número de posiciones o pasos por vuelta, se consigue una determinada velocidad.

Aplicaciones

Este tipo de motores se aplica en **máquinas que precisan un control exacto de las revoluciones, o partes de vuelta.**

Normalmente se trata de **motores de pequeña potencia** aplicados a:

- < Accionamiento de cintas en **impresoras**, avance de papel.
- < **Teletipos, telefax, cintas magnéticas.**
- < Avance de películas en aparatos de televisión, cine, foto, etc.
- < Equipos médicos, tales como bombas de riñón, analizadores, muestreadores.

- < Lectores de tarjeta. etiquetas, etc.
- < Taxímetros, contadores.
- < **Copiadoras. Plotters** y Otros.



Figura 36 MOTOR PASO A PASO HERMÉTICO

Tipos de motores paso a paso

- < Motores de excitación unipolar (6 hilos).
- < Motores de excitación bipolar (5 hilos).
- < Motor híbrido.

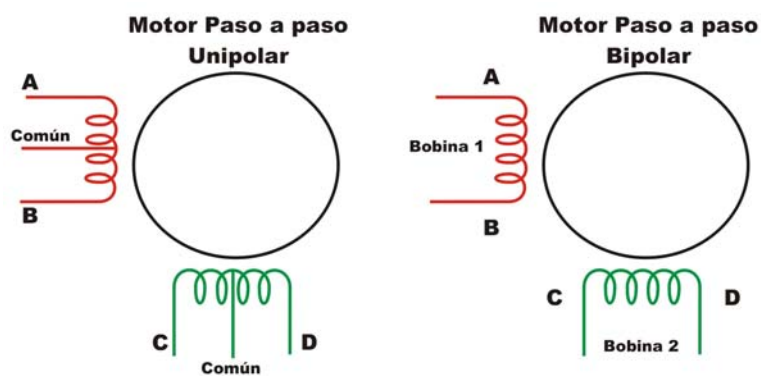


Figura 37. ESQUEMA DE LOS MOTORES PASO A PASO

Motor de excitación unipolar

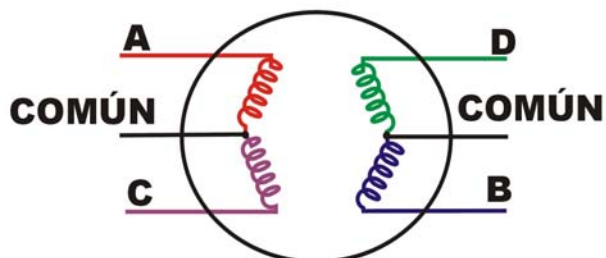
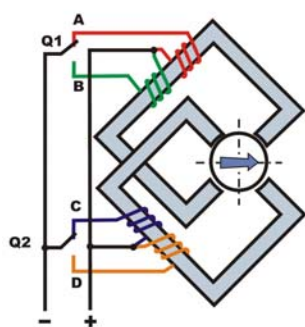


Figura 38. MOTOR PASO A PASO DE EXCITACIÓN UNIPOLAR

Motor de dos estatores (4 fases).

En cada paso el rotor se desplaza 90°.



PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	Activa	Activa	Inactiva	Inactiva	
2	Inactiva	Activa	Activa	Inactiva	
3	Inactiva	Inactiva	Activa	Activa	
4	Activa	Inactiva	Inactiva	Activa	

Figura 39 POSICIONES DE ROTACIÓN DEL MOTOR UNIPOLAR

Accionando los conmutadores Q_1 y Q_2 alternativamente se puede hacer que el rotor gire cada vez 90° , y ocupe las cuatro posiciones posible

Variando la secuencia de conmutación se logra la inversión del sentido de rotación.

Este tipo de motor tiene un estator de 4 fases y un rotor de un imán permanente con 24 polos (ángulo de paso $7^\circ 30' = 360^\circ : 48$).

Motor de excitación bipolar

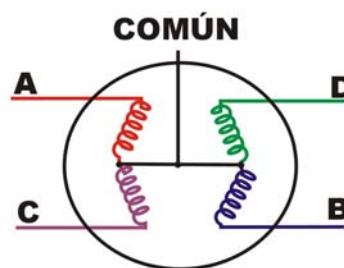


Figura 40. MOTOR PASO A PASO BIPOLAR

Motor de dos estatores (2 fases).

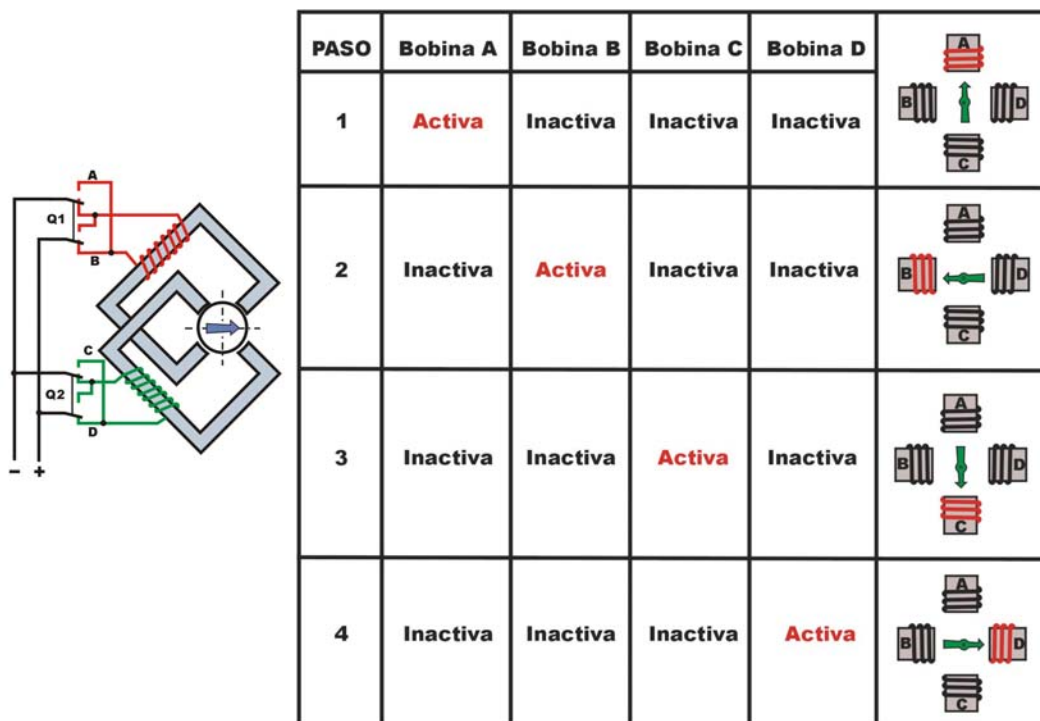


Figura 41. POSICIONES DE ROTACIÓN DEL MOTOR BIPOLAR

Se seguirá aplicando el mismo criterio del motor de excitación unipolar.

Para motor de 2 estatores (2 fases).

Para 24 polos: ángulo de paso $7^{\circ} 30'$

Para 12 polos: ángulo de paso 15° .

Para motor de 4 estatores (4 fases).

Para 24 polos: ángulo de fase $3^{\circ} 45'$.

Para 12 polos: ángulo de fase $7^{\circ} 30'$.

La ventaja de este tipo de motores está en el incremento del par respecto de los motores precedentes, pero tiene el problema de tener una electrónica más complicada.

Motor híbrido paso a paso

El motor híbrido tiene la particularidad de ser de menor tamaño, con más posibilidades de ángulo.

Este motor está formado por 4 discos, con el mismo número de dientes que las cavidades del estator.

Ángulos de paso

24 pasos por revolución: 15°

28 pasos por revolución: $7^{\circ} 30'$

96 pasos por revolución: $3^{\circ} 45'$

200 pasos por revolución: $1^{\circ} 50'$

Se puede realizar cualquier movimiento incremental, siempre que sea múltiplo del ángulo de paso del motor que se trate.

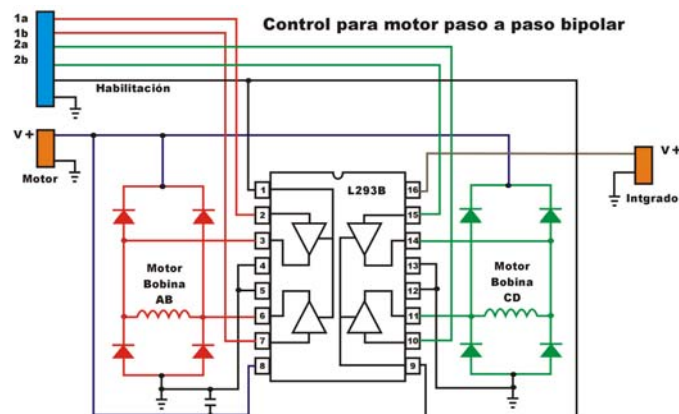


Figura 42 CIRCUITO DE CONTROL PARA MOTOR PASO A PASO BIPOLAR

19. MOTORES BRUSHLESS

Las ventajas del motor Brushless y su equipo de control asociado, vienen dado por las **posibilidades que tiene en el control de la velocidad y posicionamiento exacto** de los mecanismos accionados por el motor, respecto a las necesidades de la máquina a que se aplica, además de **respuestas muy rápidas a las señales de arranque, paro, variaciones en la marcha**, etc.



Figura 43. MOTOR BRUSHLESS TRIFÁSICO

Principio de los motores Brushless

Los motores Brushless, o motores autosíncronos, o motores de c.c. sin escobillas, son una concepción moderna del clásico motor de c.c., donde la electrónica juega una parte importante en su funcionamiento y regulación.

Los motores Brushless están **constituidos** por:

- Imanes de alta energía. Circuito magnético de hierro con su devanado.
- Captor para control de fase, velocidad y posición.

El control sinusoidal evita frecuencias armónicas, asegurando la continuidad de giro a baja velocidad.

En resumen, el motor Brushless es un motor autopulsado de corriente continua y sin escobillas.

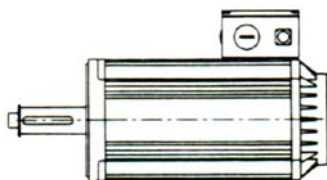


Figura 44. MOTOR BRUSHLESS

Prestaciones de este tipo de motores

- Elevado par máximo. Prestaciones elevadas. Fiabilidad. Menor mantenimiento.
- **Exactitud en el control de la velocidad y regulación.**
- **Alta capacidad de velocidad.** Baja pérdida en el rotor. Baja inercia en el rotor
- Motor de construcción cerrada, adecuado para ambientes de trabajo sucios.
- No tiene los inconvenientes destructivos de los motores de c.c. clásicos.

Entre los **inconvenientes** se citan tan sólo los de tipo económico, como son:

- Variador más sofisticado y caro. **Motores algo más caros.**
- Tanto variadores como motores se están poniendo más competitivos con los motores clásicos de c.c.



Figura 45. MOTOR BRUSHLESS

Aplicaciones

a) Máquina herramienta

- Centros de mecanizado
- Tornos, Fresadoras, Rectificadoras, Mandriladoras

b) Robótica

- Robots de soldadura, Robots de montaje
- Manipuladores, Pórticos, Ensamblado

c) Maquinaria industrial

- Enrolladoras, Trefiladoras, Alimentadoras, Manutención, Dosificación



Figura 46. MOTOR BRUSHLESS

20. SISTEMAS PARA ARRANQUE DE MOTORES

Arranque estrella-triángulo

Es uno de los métodos más empleado y mejor conocidos con el que se pueden arrancar motores desde **2'2 Kw hasta 11 Kw de potencia**. Consiste en conectar el motor **primero en estrella** para, **una vez arrancado, conmutar a la conexión en triángulo**. Para que esto se pueda llevar a cabo, se debe utilizar un motor que esté preparado para funcionar a la tensión inferior conectado en triángulo. Así, por ejemplo, un motor de **220/380** podrá ser arrancado en una red de **220 V**.

Si a un motor de las características indicadas se le conecta primero en estrella, cada una de las bobinas del mismo quedará sometido a una tensión $1/\sqrt{3}$ inferior que si hubiese conectado en triángulo. Con ello se consigue que la intensidad en el arranque quede disminuida a la tercera parte respecto al arranque directo en conexión en triángulo. El par también queda reducido a la tercera parte, lo que conviene tenerlo en cuenta si el motor arranca con toda la carga. Por esta razón, conviene que el motor arranque en vacío o con poca carga (Ver esquema de prácticas).

Arranque por resistencias estatóricas

Consiste en reducir la tensión que producen unas resistencias conectadas en serie con el estator. Este sistema tiene el inconveniente de que se consigne disminuir la corriente en función lineal de la caída de tensión producida. Sin embargo, el par queda disminuido con el cuadrado de la caída de tensión, por lo que su aplicación se ve limitada a motores en los que el momento de arranque resistente sea bajo.

En los esquemas de prácticas se muestra el circuito de fuerza y de maniobra de este tipo de arranque.

Arranque por autotransformador

Consiste en conectar un autotransformador en la alimentación del motor. De esta forma se consigue reducir la tensión y con ella la corriente de arranque. El par de arranque queda reducido en este caso en la misma proporción que la corriente, es decir, al cuadrado de la tensión reducida. Este sistema proporciona una buena característica de arranque, aunque posee el inconveniente de su alto precio.

En la figura 47 se muestra el circuito de fuerza de un arrancador con autotransformador

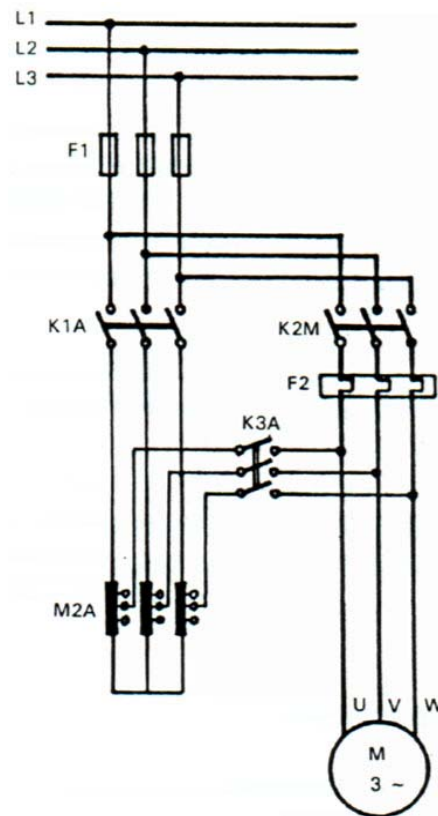


Figura 47. ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR

21. REGULACIÓN DE VELOCIDAD

Aplicando medios técnicos diferentes se consigue obtener velocidades diferentes de la nominal de un motor asíncrono ya sea trifásico o monofásico, se conocen tres formas diferentes:

- < Medios mecánicos
- < Motores con varios bobinados.
- < Variadores electrónicos de frecuencia

Variación de velocidad por medios mecánicos

- < Utilizando poleas de diferentes diámetros.

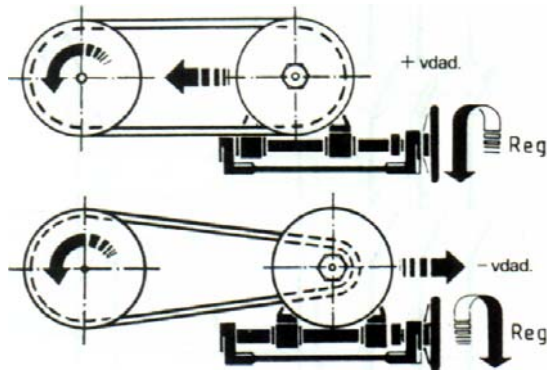


Figura 48 CAMBIO DE POLEA PARA VARIAR LA VELOCIDAD

- < Uso de reductores o multiplicadores de velocidad, empleando engranajes debidamente lubricados.

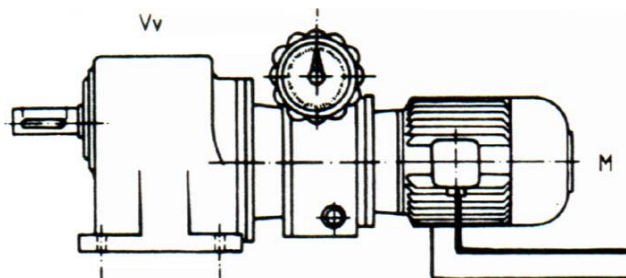


Figura 49. MOTOR CON REDUCTOR DE VELOCIDAD



Figura 50. MOTOR CON REDUCTOR DE VELOCIDAD EN ÁNGULO

< Combinación de juego de poleas con correa deslizante.

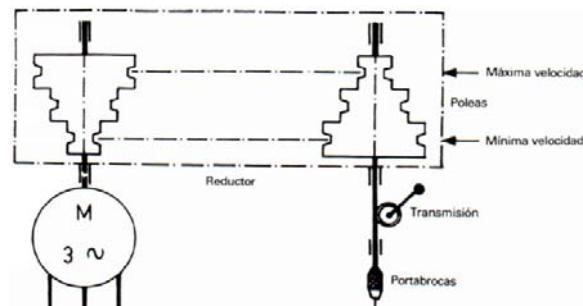


Figura 51 TALADRADORA DE MESA CON VARIADOR DE VELOCIDAD POR POLEAS

Variación del número de polos del estator

Es posible obtener, sobre un mismo motor, dos, tres y hasta cuatro, velocidades diferentes, mediante la simple variación del número de polos del bobinado del estator. Este procedimiento sólo se aplica a los motores de jaula de ardilla. También podría ser aplicado a los motores de rotor bobinado, pero ello exigiría la simultánea variación del número de polos en los bobinados de estator y rotor, pero por resultar muy complicado, no se usa en estos motores.

El estator del motor puede ser bobinado para funcionar a dos velocidades distintas por dos medios diferentes: con un bobinado único o con dos bobinados superpuestos.

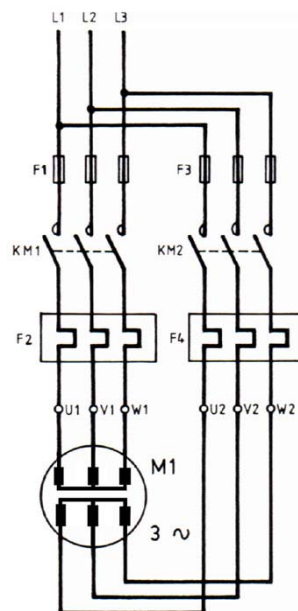


Figura 52. MOTOR DOS VELOCIDADES DE DOS BOBINADOS

Mediante un bobinado único dispuesto en dos mitades especialmente ejecutado según la conexión Dahlander de forma que, con un simple cambio de conexiones de las dos mitades de cada fase, puedan ser conseguidas dos velocidades que estén en la relación **2:1**, por ejemplo **1.500** y **750** r.p.m.

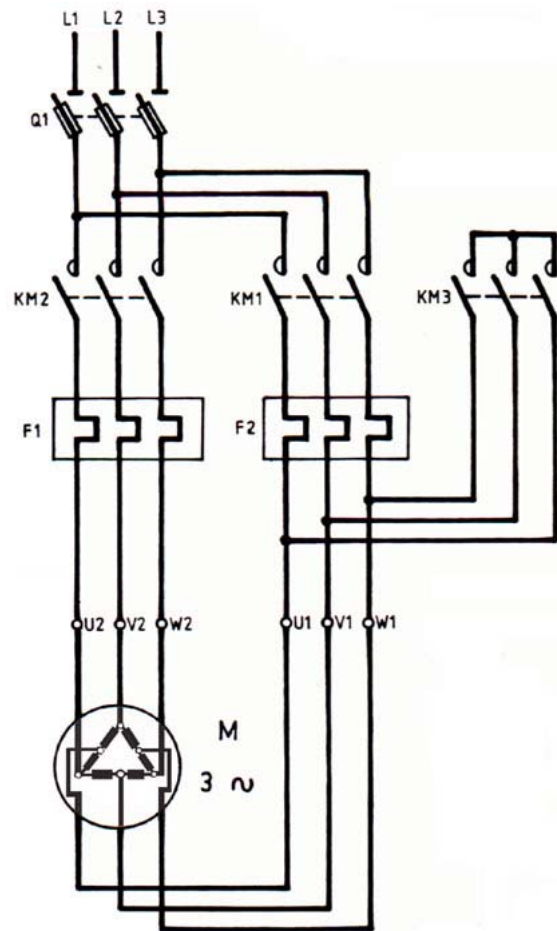


Figura 53 MOTOR DOS VELOCIDADES CONEXIÓN DAHLANDER

Otro medio para conseguir dos velocidades distintas en un motor consiste en colocar en el estator dos bobinados superpuestos independientes entre sí, cada uno de ellos calculado para formar correctamente uno de los números de polos deseado. Esta ejecución puede ser empleada para cualquier combinación de velocidades; así, por ejemplo, si se deseara un motor de 4 y 6 polos, se colocarán en el estator dos bobinados superpuestos, uno de 4 polos y el otro de 6.

También pueden ser contruidos motores de tres y cuatro velocidades, basado en bobinados superpuestos.

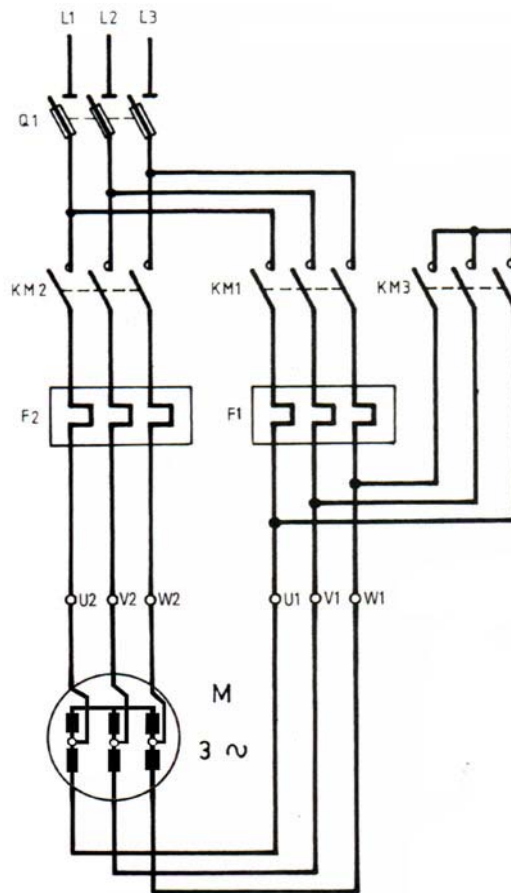


Figura 54. MOTOR DOS VELOCIDADES BOBINADOS SUPERPUESTOS

Regulación de velocidad con variadores de frecuencia

Mediante un equipo electrónico especial basado en semiconductores de potencia (tiristores transistores y otros) se puede regular la frecuencia de alimentación del motor. Con ello se consigue modificar entre amplios límites la velocidad del motor (figura 55).

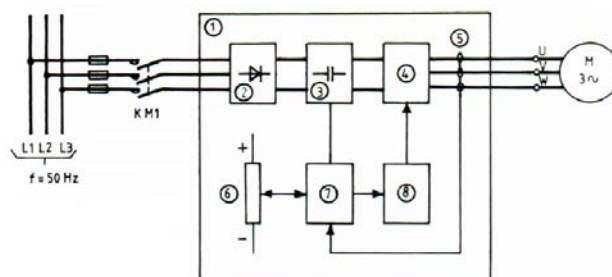


Figura 55. VARIADOR DE FRECUENCIA

El esquema básico de un variador de frecuencia consta de las siguientes partes:

1. El conjunto puede estar colocado sobre el mismo motor o ser independiente (figura 54 y 55) y consta de:
2. Rectificador de corriente trifásica
3. Filtrado por condensador
4. Paso de corriente continua a corriente alterna.
5. Detección de la intensidad de corriente absorbida por cada fase del motor.
6. Regulación de la variación de frecuencia
7. Control de la velocidad
8. Control digital

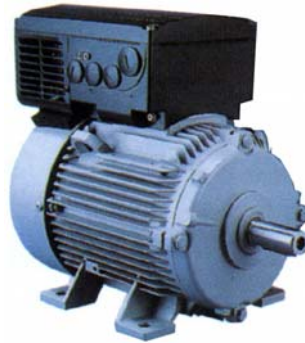


Figura 56. MOTOR CON VARIADOR DE VELOCIDAD INCORPORADO



Figura 57. VARIADOR DE VELOCIDAD

Nota: En el módulo 2, tema 6, se ha tratado con más amplitud los variadores de velocidad

22. INVERSOR DE GIRO

Para invertir el sentido de rotación de un motor asíncrono trifásico basta intercambiar las conexiones de dos cables de alimentación con las bornes del motor con los que resulta invertido el sentido de rotación del campo magnético giratorio.

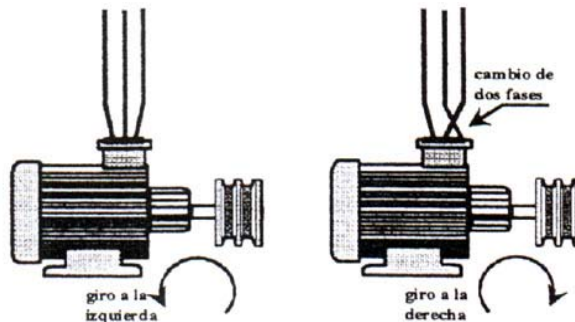


Figura 58. INVERSIÓN DEL GIRO EN EL MOTOR TRIFÁSICO

Para invertir el sentido de rotación de un motor asíncrono bifásico, es suficiente permutar las dos salidas de fase del bobinado estático y dejar una sin cambiar.

Algunas máquinas exigen frecuentes inversiones del sentido de giro. En tal caso, resulta poco práctico efectuar el intercambio de conexiones, por lo que es preciso disponer un conmutador especial como el que se indica en la figura 57.



Figura 59. INVERSOR

En las hojas de prácticas se encontrará diversos esquemas de montajes con el inversor, por este motivo se omite aquí, para no ser repetitivo con las prácticas.

23. FRENADO

Frenado del motor asíncrono

El frenado del motor asíncrono, al contrario de lo que ocurre con los motores de corriente continua, presenta fuertes dificultades técnicas.

Un procedimiento de frenado consiste en colocar una correa alrededor de la polea del motor, y efectuar una tracción de esa correa mediante un electro-imán freno, también por medio de unas zapatas que frenan el eje del motor cuando falta la corriente.

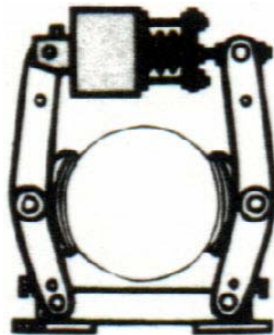


Figura 58. ELECTROIMÁN FRENO PARA MOTOR ELÉCTRICO

Existen otros procedimientos eléctricos basados en diversos principios, de los cuales los más usuales son:

- 1º Hacer funcionar al motor como generador asíncrono, y
- 2º Efectuar el frenado a contracorriente, para lo que se intercambian dos cables de alimentación mediante conmutador de inversión.
- 3º Sistema electrónico por contactor estático



Figura 59 FRENO ELÉCTRICO