



Escuela de Educación Técnico  
Profesional N° 285 "Domingo Crespo"  
Modalidad Técnico Profesional -  
Equipos e instalaciones  
Electromecánicas

HOJA: 1 DE:62

Taller de Electricidad

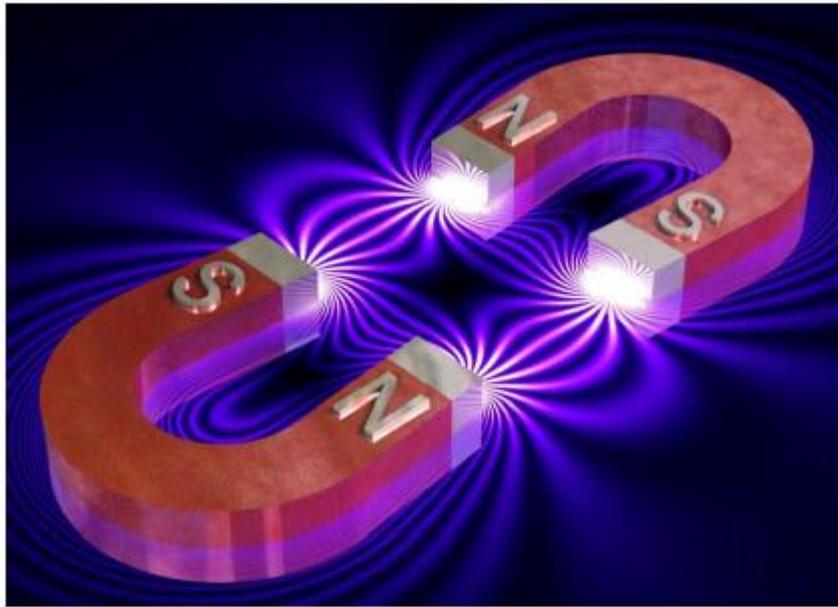
# Taller de Electricidad

Profesor:  
Prof. Álvarez Jorge



# MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO

## Unidad 1 Magnetismo, electromagnetismo e inducción electromagnética.



El magnetismo es un fenómeno físico por el que los materiales ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales. El electromagnetismo resulta de la relación que tiene el magnetismo y las cargas de la corriente eléctrica.

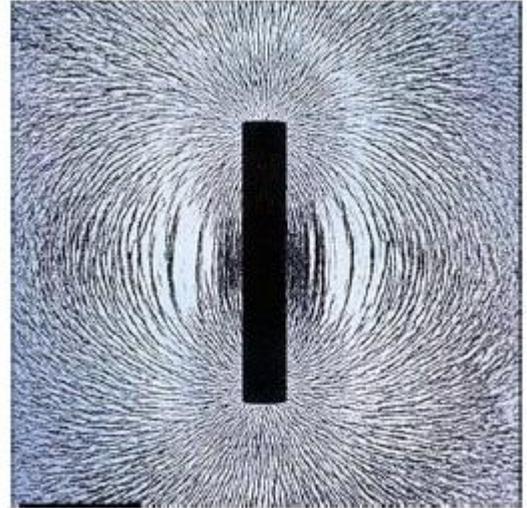
# Magnetismo

## Introducción

Para incorporarnos en el maravilloso mundo de las Máquinas Eléctricas es fundamental conocer diferentes fenómenos naturales muy sencillos que hacen que funcionen muchos de los aparatos que ahora conocemos tanto en la industria como en el hogar.

El magnetismo tiene que ver con fenómenos de atracción y repulsión que se presentan con los imanes y con los materiales ferromagnéticos, y el electromagnetismo con fenómenos magnéticos que aparecen cuando los conductores y **bobinas** son recorridos por una corriente eléctrica.

El estudio de estas dos ciencias es importante, ya que aprovechando estos fenómenos se pueden construir electroimanes, transformadores, motores, generadores de electricidad como las dinamos y alternadores, altavoces, relés y contactores, cerraduras electromagnéticas, cocinas de inducción, detectores de metales, electroválvulas y un sin fin más de aplicaciones.



## Los imanes

Si tomamos un imán e intentamos acercar diferentes objetos metálicos, podremos observar que éste atrae con fuerza sólo aquellos objetos que sean de hierro o de acero. Este fenómeno también se da con el níquel y el cobalto. A estos materiales que son susceptibles de ser atraídos por un imán se les conoce por el nombre de **materiales ferromagnéticos**.

Las aplicaciones de los imanes son muy variadas, ya que con ellos se pueden producir fuerzas mecánicas considerables. Así, por ejemplo se pueden utilizar como separadores magnéticos que separan materiales magnéticos de no magnéticos. Otras aplicaciones de los imanes son: pequeñas, micrófonos, altavoces, aparatos de medida analógicos y pequeños motores eléctricos de C.C.

---

*El magnetismo tiene que ver con fenómenos de atracción y repulsión que se presentan con los imanes y con los materiales ferromagnéticos.*

---

### Polos de un imán

Si depositamos una cantidad de limaduras de hierro sobre un imán recto como el de la Figura 1, podremos observar que aparece una mayor concentración de éstas en los extremos del imán. A su vez también se puede comprobar cómo esta concentración disminuye hacia el centro, hasta desaparecer prácticamente en el centro.

A las zonas donde se produce la mayor atracción se las denomina polos magnéticos. A la zona donde no hay atracción se la denomina línea neutra.



Figura 1

### Brújula

Una brújula es una aguja imantada que puede girar libremente en su eje central (Figura 2). Si dejamos girar libremente a la aguja imantada de una brújula, ésta se orientará siempre con un extremo hacia el polo norte terrestre y el otro hacia el sur. De aquí proviene el nombre de los polos de un imán. Al extremo de la aguja que se orienta hacia el norte geográfico terrestre se le denomina polo norte, y al otro polo sur. (Figura 3).



Figura 2

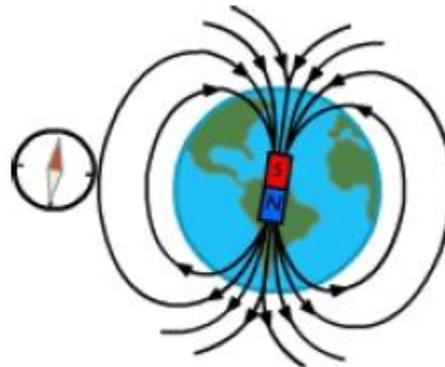


Figura 3

Dado que en los imanes, los polos del mismo nombre desarrollan fuerzas de repulsión y los de diferente nombre de atracción, mediante una brújula será fácil determinar los nombres de los polos. Para ello bastará con acercar la brújula a unos de los polos del imán y comprobar si existe atracción o repulsión del polo norte de la misma.



## Clases de imanes

En la naturaleza se pueden encontrar imanes naturales, como la magnetita, que poseen ciertas propiedades magnéticas. Ahora bien, si lo que deseamos es potenciar dichas propiedades se pueden fabricar imanes artificiales a partir de sustancias ferromagnéticas. A su vez los imanes artificiales, o sustancias magnetizadas, dependiendo del tipo de sustancia utilizada, una vez magnetizados pueden mantener durante largo tiempo sus propiedades magnéticas (imanes permanentes) o sólo cuando están sometidos a la acción de un campo magnético (imanes temporales). Como ejemplo de imanes temporales tenemos al hierro puro y como imán permanente al acero.

Mediante una sencilla experiencia se puede comprobar cómo al acercar un trozo de acero (por ejemplo un destornillador) a un imán, queda magnetizado, apreciándose sus propiedades de atracción aunque retiremos el imán de dicho trozo de acero. Sin embargo, si utilizamos un trozo de hierro para la experiencia (por ejemplo un clavo de hierro), éste manifiesta propiedades de atracción hacia otros materiales sólo cuando está bajo la acción del campo magnético del imán; una vez retirado el imán, dicho trozo de hierro pierde prácticamente todas las propiedades magnéticas adquiridas. Para la construcción de imanes permanentes se utilizan aleaciones de: acerotungsteno, acero-cobalto, acero al titanio, hierro-níquel-aluminio-cobalto y otras más. Los imanes temporales son de gran utilidad para la construcción de núcleos para electroimanes, motores, generadores y transformadores. En estos casos se emplea la chapa de hierro aleada, por lo general, con silicio.

## Teoría molecular de los imanes

Si rompemos un imán en dos, las dos partes resultantes son dos imanes completos con sus polos correspondientes. Si volviésemos a romper una de estas partes obtendríamos otros dos nuevos imanes. Este proceso se puede repetir multitud de veces hasta alcanzar lo que vendremos a llamar molécula magnética.

Según esta teoría, se puede suponer que: Un imán está compuesto de moléculas magnéticas perfectamente orientadas con los polos respectivos del imán (Figura 4). Un trozo de hierro sin imantar está compuesto de moléculas magnéticas totalmente desorientadas (Figura 5).



Figura 4



Figura 5



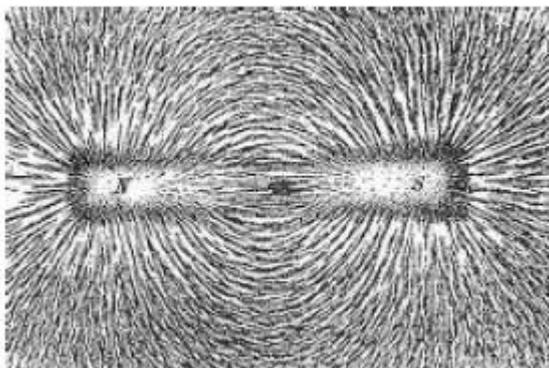
Gracias a esta teoría también podremos entender más fácilmente el comportamiento de los materiales magnéticos utilizados para la elaboración de imanes permanentes y artificiales. En el caso de los imanes permanentes, aparece una especie de rozamiento interno entre las moléculas magnéticas que dificulta el retorno al estado inicial una vez orientadas y magnetizadas. Al contrario, en los imanes temporales las moléculas magnéticas se ordenan y desordenan con facilidad, en función de la influencia ejercida por la acción de un campo magnético externo al mismo. Las propiedades magnéticas de los imanes se ven alteradas por la temperatura, así por ejemplo, el hierro puro pierde totalmente su magnetismo por encima de los 769 °C. Por otro lado, si golpeamos fuertemente un trozo de acero imantado se puede modificar sus propiedades magnéticas. Esto es debido a que los golpes pueden cambiar el orden de las moléculas magnéticas.

### Campo magnético de un imán

Se puede decir que el campo magnético es el espacio, próximo al imán, en el cual son apreciables los fenómenos magnéticos originados por dicho imán.

El campo magnético de un imán es más intenso en unas partes que otras. Así, por ejemplo, el campo magnético adquiere su máxima intensidad en los polos, disminuyendo paulatinamente según nos alejamos de ellos. Para poder hacernos una idea del aspecto que tiene el campo magnético, o sea, de su espectro magnético, realiza la siguiente experiencia:

#### Experiencia 1

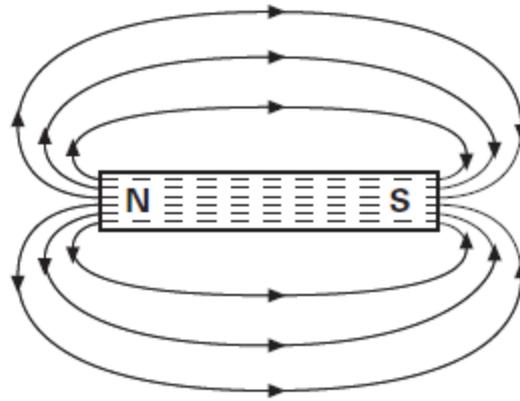


Se toma un imán sobre el que se coloca un lámina de plástico transparente y se espolvorea con limaduras de hierro, procurando que queden uniformemente repartidas por toda la superficie de la lámina de plástico transparente. Las limaduras de hierro se orientan sobre la misma dibujando la forma del campo magnético (Figura 6).

Figura 6

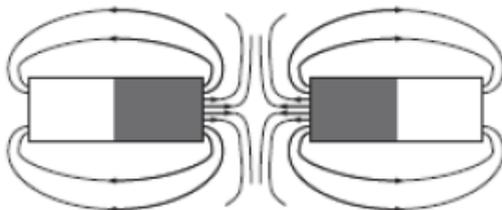
Observa como hay más limaduras concentradas en los extremos y que existen unas cadenas de limaduras formando unas líneas que van de un polo a otro. A estas cadenas se las conoce por el nombre de líneas de fuerza del campo magnético. Las líneas de campo se pueden dibujar tal como se muestra en la Figura 7. Las líneas de fuerza únicamente representan la forma del campo magnético. Ahora bien, por motivos de convencionalismos teóricos, se les da un sentido de circulación, de tal forma que se dice que las líneas de campo salen por el polo norte del imán, recorren el espacio exterior y entran por el polo sur. El sentido de circulación de estas líneas por el interior del imán es del sur al norte.

Taller de Electricidad

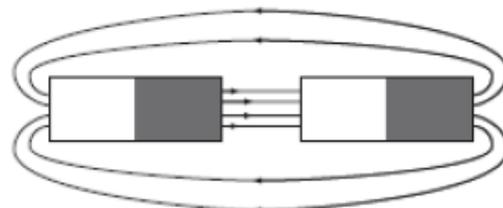


**Figura 7**

La visualización de las líneas de campo resulta muy interesante, ya que conociendo su dirección podemos determinar la polaridad de un determinado campo magnético. En la Figura 8 se puede observar como cuando acercamos dos imanes por sus polos iguales, las líneas de campo se repelen. Sin embargo, si acercamos dos imanes por sus polos opuestos (Figura 9), las líneas de campo se establecen en la misma dirección y se suman.



(Se repelen)  
**Figura 8**



(Se atraen)  
**figura 9**

# Electromagnetismo

## Campo magnético creado por un conductor cuando es atravesado por una corriente eléctrica

Los imanes producen un campo magnético considerable, pero para ciertas aplicaciones éste resulta todavía muy débil. Para conseguir campos más intensos utilizaremos bobinas fabricadas con conductores eléctricos, que al ser recorridos por una corriente eléctrica desarrollan campos magnéticos cuya intensidad depende fundamentalmente de la intensidad de la corriente y del número de espiras de la bobina.

Si nosotros espolvoreamos limaduras de hierro sobre una hoja de papel que es atravesada por un conductor por donde circula una corriente eléctrica (Figura 10), observaremos que las limaduras se orientan y forman un espectro magnético de forma circular (Figura 11).

---

*El electromagnetismo unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría que relaciona el campo magnético, el campo eléctrico y sus respectivas fuentes materiales (corriente, polarización eléctrica y magnética).*

---

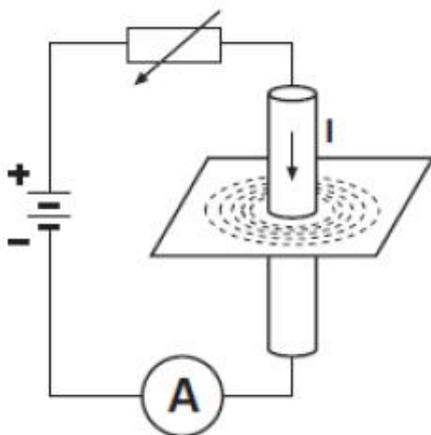


Figura 10

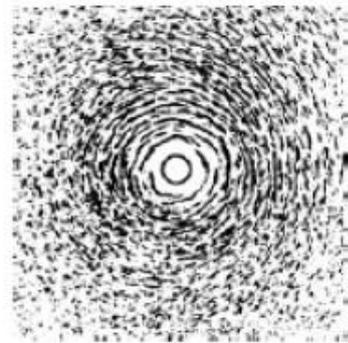


Figura 11

Taller de Electricidad

Esto nos demuestra que cuando un conductor es atravesado por una corriente eléctrica, a su alrededor aparece un campo magnético. Observando el espectro del campo magnético se puede apreciar que las líneas de fuerza toman la forma de círculos concéntricos que se cierran a lo largo de todo el conductor.

Si situamos varias agujas imantadas alrededor del conductor, podremos observar como su orientación depende del sentido de la corriente. Para determinar el sentido de las líneas de fuerza de una forma sencilla, se aplica la regla de la mano derecha o de Maxwell que dice así: El sentido de las líneas de fuerza, concéntricas al conductor, es el que indicaría el giro de los dedos al abrazar el conductor, señalando con el pulgar el sentido en el que circula la corriente (Figura 12).



Figura 12

La intensidad del campo magnético desarrollado por el conductor depende fundamentalmente de la intensidad de la corriente que fluye por el conductor. A más intensidad de corriente más intensidad de campo.

### Campo magnético un conductor en forma de anillo

Un conductor recto produce un campo magnético muy disperso y, por tanto, muy débil. La forma de conseguir que el campo magnético sea más fuerte es disponiendo el conductor en forma de anillo.

El sentido de las líneas de fuerza de una parte del conductor se suma a la del otro, formando un campo magnético mucho más intenso en el centro de la espira (Figura 13).

En la Figura 15.14 se puede apreciar el efecto de concentración de las líneas de campo en el centro del anillo al que, como en otras ocasiones, se le ha realizado el espectro magnético con limaduras de hierro.

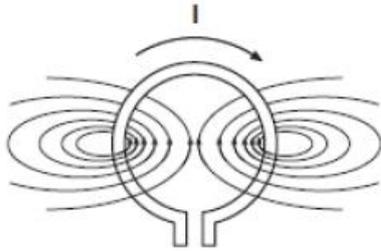


Figura 13

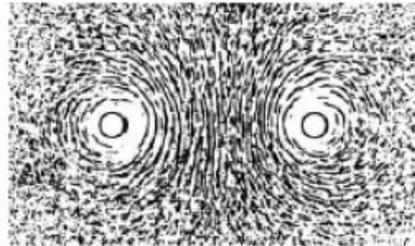


Figura 14

### Campo magnético formado por una bobina

En una bobina, el campo magnético de cada espira se suma al de la siguiente, concentrándose éste en el centro de la misma. El campo resultante es uniforme en el centro de la espira y mucho más intenso que en el exterior. En los extremos de la bobina se forman los polos magnéticos (Figura 15).

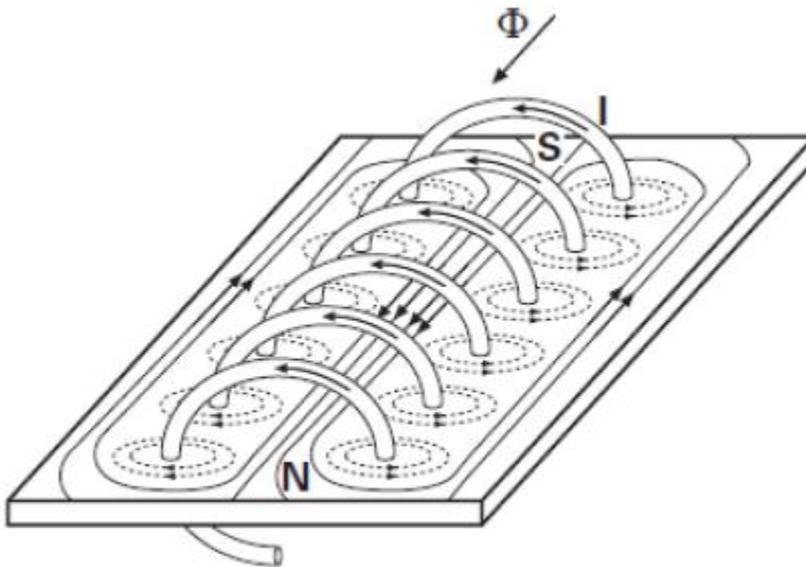


Figura 15

Para determinar el sentido de las líneas de fuerza se aplica igualmente la regla de la mano derecha, el polo norte estará situado en el extremo por donde salen las líneas de fuerza y el sur por donde entran.



## Magnitudes magnéticas

Al igual que para definir el comportamiento de un circuito eléctrico utilizamos las magnitudes eléctricas, para definir los campos electromagnéticos utilizamos las magnitudes magnéticas.

• **Flujo magnético ( $\Phi$ ):** El campo magnético se representa a través de las líneas de fuerza.

A la cantidad de estas líneas se le denomina flujo magnético. Se representa por la letra griega  $\Phi$ ; sus unidades son:

- **El Weber (Wb)** en el sistema internacional.
- **El Maxvelio (Mx)** en el sistema c.g.s.

La relación que existe entre ambas unidades es  $1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Mx}$

**Inducción magnética (B):** La inducción magnética se define como la cantidad de líneas de fuerza que atraviesan perpendicularmente la unidad de superficie. En cierta forma, nos indica lo densas que son las líneas de fuerza, o lo concentradas que están, en una parte del campo magnético.

Se representa por la letra griega B; sus unidades son:

**La Tesla (T)** en el sistema internacional.

**El Gaus (Gs)** en el sistema c.g.s.

La relación que existe entre ambas unidades es  $1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gs}$ .

Se dice que existe una inducción de una tesla cuando el flujo de un weber atraviesa perpendicularmente una superficie de un metro cuadrado.

$$1 \text{ Tesla} = \frac{1 \text{ Weber}}{1 \text{ m}^2}$$

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

### Ejemplos 1

¿Cuál es la inducción magnética existente en la cara plana del polo de un imán recto de  $30 \text{ cm}^2$  de superficie cuando es atravesado por un flujo magnético de  $0,009 \text{ Wb}$ ? Expresar el resultado en teslas.

**Solución:** 
$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,009}{0,003} = 3 \text{ T}$$

$$30 \text{ cm}^2 = \frac{30}{10.000} = 0,003 \text{ m}^2$$



### Ejemplos 2

¿Cuál será el flujo magnético que existe en el campo magnético producido por una bobina si ésta tiene un núcleo de 20 cm<sup>2</sup> de superficie y la inducción magnética en la misma es de 1,5 teslas?

**Solución:** despejando la fórmula general, tenemos:

$$\Phi = B \cdot S = 1,5 \cdot 0,002 = 0,003 \text{ Wb} = 3 \text{ mW (miliweber)}$$

**Fuerza magnetomotriz ( F ):** Se puede decir que es la capacidad que posee la bobina de generar líneas de fuerza en un circuito magnético. La fuerza magnetomotriz aumenta con la intensidad de la corriente que fluye por la bobina y con el número de espiras de la misma.

$$F = N \times I$$

$F =$  Fuerza magnetomotriz en amperio-vuelta (Av)

$N =$  Número de espiras

$I =$  Intensidad de corriente (A)

### Ejemplos 3

Para el funcionamiento de un electroimán se necesita una fuerza magnetomotriz de 500 Av. Indicar dos posibilidades de conseguirlo.

**Solución:** Si fabricamos una bobina con 500 espiras, el número de amperios que tendremos que hacer pasar por ella será de:

$$\mathcal{F} = N \times I \quad \text{despejando } I = \frac{\mathcal{F}}{N} = \frac{500}{500} = 1A$$

$$\text{¿Y si la fabricamos con 100 espiras? } I = \frac{500}{100} = 5 A$$

Para la fabricación de electroimanes muy potentes, como por ejemplo los que se utilizan para suspender en un colchón magnético un tren de alta velocidad sobre un monorraíl, se necesitan fuerzas magnetomotrices muy elevadas, es decir, bobinas con muchas espiras que son atravesadas por grandes intensidades de corriente. Para evitar fabricar bobinas de grandes dimensiones se utilizan materiales superconductores. De esta forma se consiguen potentísimos campos magnéticos con pocas espiras y corrientes de miles de amperios, que no calientan los superconductores por efecto Joule por carecer éstos de resistencia eléctrica.

**Intensidad de campo magnético (H):** Nos indica lo intenso que es el campo magnético. La intensidad de campo en una bobina depende de la fuerza magnetomotriz ( $N \times I$ ). Ahora bien, cuanto más larga sea la bobina, más se dispersan las líneas de campo, dando como resultado una intensidad de campo más débil; por lo que se puede decir que, para una fuerza magnetomotriz constante, la intensidad de campo (H) es inversamente proporcional a la longitud media de las líneas de campo, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$H = \frac{N \times I}{L}$$

*H = Intensidad del campo en amperio-vuelta/metro (Av/m)*  
*N = N° de vueltas de la bobina*  
*I = Intensidad de la corriente (A)*  
*L = Longitud de la bobina (m)*

#### Ejemplos 4

1. Calcular la intensidad del campo y la inducción magnética en el interior de la bobina de la Figura 16. El número de espiras de la misma es de 300, la corriente 10 A.

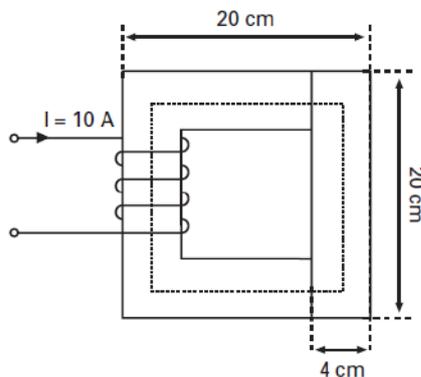


Figura 16

**Solución:** Primero determinamos la línea media por donde se van a establecer las líneas de campo. Para ello observamos las dimensiones del núcleo de la bobina:

$$L = 16 + 16 + 16 + 16 = 64 \text{ c.m.} = 0,64 \text{ m.}$$

$$H = \frac{N \cdot I}{L} = \frac{300 \cdot 10}{0,64} = 4.678,5 \text{ Av/m}$$

# Los electroimanes

## Los electroimanes

Un electroimán consiste en un núcleo de hierro rodeado de una bobina, que se imanta a voluntad cuando hacemos pasar una corriente eléctrica y se desimanta en el momento que interrumpimos esta corriente (Figura 17).

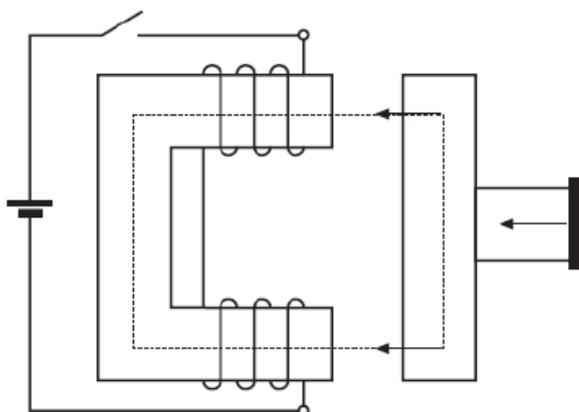


Figura 17

La fuerza con la que atrae un electroimán a una pieza de hierro móvil (armadura) a través del aire o entrehierro se puede calcular con la ayuda de la siguiente expresión:

$$F = 40000 \cdot x B^2 \cdot x S$$

F = Fuerza de atracción en Kp

B = Inducción en el núcleo en T

S = Superficie de contacto entre el núcleo y el hierro móvil en m<sup>2</sup>

### Ejemplo 5

Determinar la fuerza con la que atraerá el electroimán de la Figura 18 a la armadura de hierro si la inducción que aparece en el núcleo es de 1,5 T.

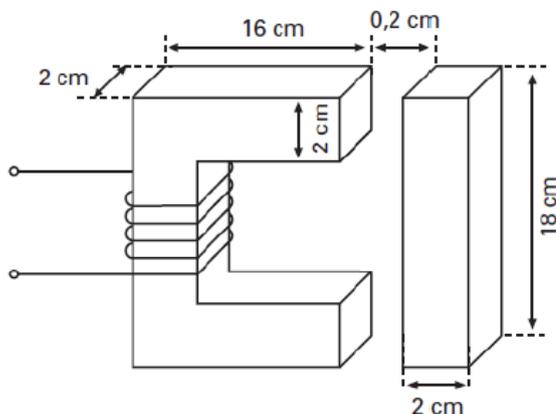


Figura 18

**Solución:** La superficie de atracción de uno de los polos es:  $S = 2 \times 2 = 4 \text{ cm}^2$   
Como vamos a calcular la fuerza de atracción de los dos polos, la superficie será entonces:

$$S = 2 \times 4 = 8 \text{ cm}^2 = 0,0008 \text{ m}^2$$

La fuerza de atracción del electroimán es:

$$F = 40.000 \times B^2 \times S = 40.000 \times 1,52 \times 0,0008 = 72 \text{ Kp}$$

### Aplicaciones prácticas de los electroimanes

Según como se disponga el núcleo de los electroimanes éstos pueden ser de culata (Figura 19) o de núcleo móvil (Figura 20). En los electroimanes el núcleo suele ser de un material ferromagnético con un bajo campo coercitivo, de tal forma, que sólo se imanta cuando las bobinas están siendo recorridas por una corriente eléctrica. En los dos tipos de electroimanes la parte móvil es atraída hacia el núcleo mientras alimentamos a la bobina con corriente eléctrica.

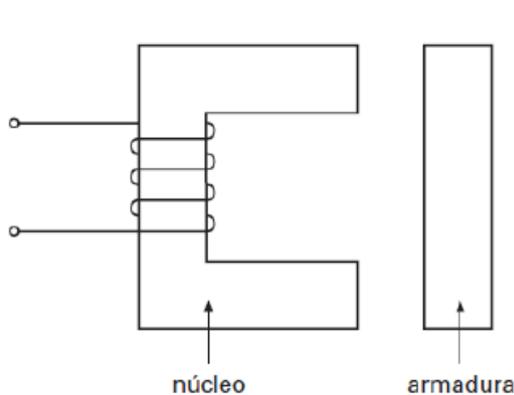


Figura 19

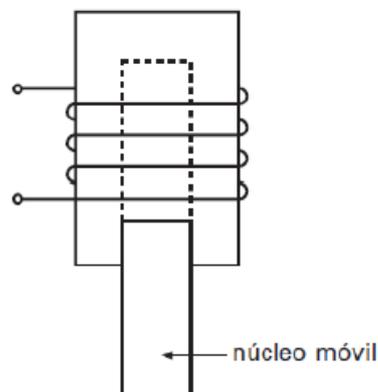


figura 20

Las aplicaciones de los electroimanes son muy variadas. Seguidamente, exponemos algunas de las más relevantes:

**Frenos magnéticos:** Se aplican sobre todo en ascensores, montacargas y grúas. Las zapatas de frenado se abren mediante un electroimán cuando existe una situación normal, es decir, cuando hay tensión en la red. Si por causa de una avería desaparece el suministro de energía eléctrica, las zapatas se cierran sobre la superficie de un tambor, con lo que frenan el sistema e impiden la caída al vacío de la carga.

**Electroválvulas:** La válvula abre o cierra el circuito hidráulico o neumático según sea o no alimentada la bobina del electroimán que lleva incorporado. La aplicación de las electroválvulas está muy extendida en todo tipo de aplicaciones industriales, donde la automatización de los fluidos tiene una gran importancia. Por ejemplo, las lavadoras automáticas tienen una electroválvula para abrir el circuito de admisión de agua.

**Timbres.** Los timbres se utilizan para producir señales acústicas.

**Sistemas que separan los materiales magnéticos de los no magnéticos:** Se utilizan para separar el acero y el hierro del carbón, piedras o minerales, así como para separar los residuos de acero de la arena de moldeo, las virutas y limaduras de los talleres mecánicos.

**Relés y contactores:** El contactor se podría definir como un interruptor de múltiples contactos que se puede accionar a distancia (Figura 21). El funcionamiento de este dispositivo es como sigue (Figura 22): Cuando cerramos el interruptor simple, la bobina es atravesada por la corriente eléctrica y genera un campo magnético que hace que el núcleo atraiga a la armadura, arrastrando consigo a los contactos móviles. El resultado es que estos contactos cambian de posición y se cierran.



Figura 21

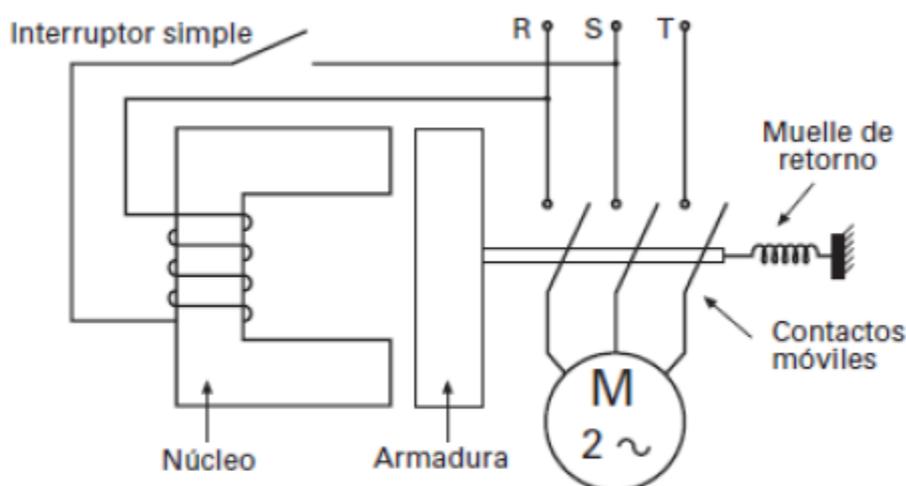


Figura 22

La corriente eléctrica que necesita la bobina para crear el campo magnético necesario para que la armadura atraiga hacia sí al núcleo, es muy pequeña en relación a la corriente que va a circular por los contactos principales que alimentan al motor. Por lo general, los contactores se suelen accionar mediante pulsadores, tal como se muestra en el esquema de la Figura 23. En este caso, vamos a estudiar la forma de conseguir que un motor se ponga en marcha con la sola acción de apretar el pulsador I.

La parada se hará también apretando el pulsador 0. Al apretar el pulsador de marcha I se acciona la bobina KM1 del contactor, cerrándose sus contactos principales y poniendo en marcha el motor. Para evitar la desconexión de la bobina al dejar de pulsar I, se ha conectado un contacto auxiliar del contactor en paralelo con el pulsador I. Al dejar de pulsar I, éste se abre, pero la bobina sigue siendo atravesada por una corriente, que ahora circula por el propio contacto auxiliar del contactor. El pulsador de paro 0 tiene su contacto normalmente cerrado. Al apretar el botón de dicho pulsador, se abre su contacto y corta la corriente de la bobina, con lo cual el contactor abre sus contactos principales y el auxiliar, y el motor se para.

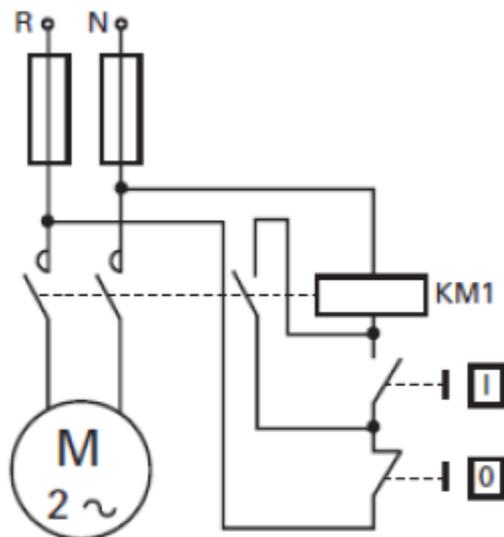
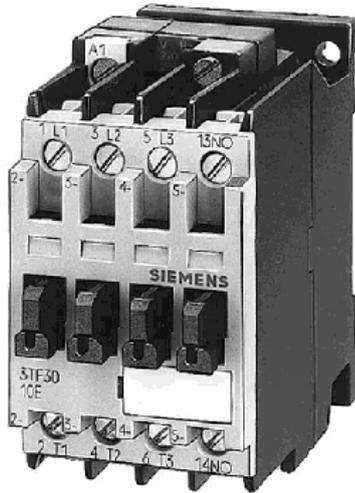


Figura 23

Las ventajas del empleo de relés y contactores son realmente amplias. Seguidamente mencionamos algunas de ellas de especial interés:

- Se consigue manejar las grandes intensidades que atraviesan los contactos del circuito principal sólo con alimentar la bobina del electroimán con una pequeña corriente.
- En el caso de tener que manejar grandes intensidades o tensiones, sería complicado y peligroso para el operario hacerlo con un aparato manual, sin embargo, no es ningún problema hacerlo con un contactor.
- Con el contactor se puede conseguir automatizar una maniobra, de tal forma que el operario sólo tenga que apretar un botón para dar marcha al proceso, ya que el resto de las maniobras se realizan automáticamente.

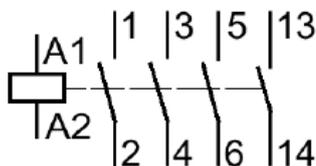
Aspecto físico:



Partes de que está compuesto:

- **Contactos principales: 1-2, 3-4, 5-6.**  
Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de fuerza o potencia.
- **Contactos auxiliares: 13-14 (NO)**  
Se emplean en el circuito de mando o maniobras. Por este motivo soportarán menos intensidad que los principales. El contactor de la figura solo tiene uno que es normalmente abierto.
- **Circuito electromagnético:**  
Consta de tres partes.-
  - 1.- El núcleo, en forma de E. Parte fija.
  - 2.- La bobina: **A1-A2**.
  - 3.- La armadura. Parte móvil.

Símbolo:



**Elección del Contactor:**

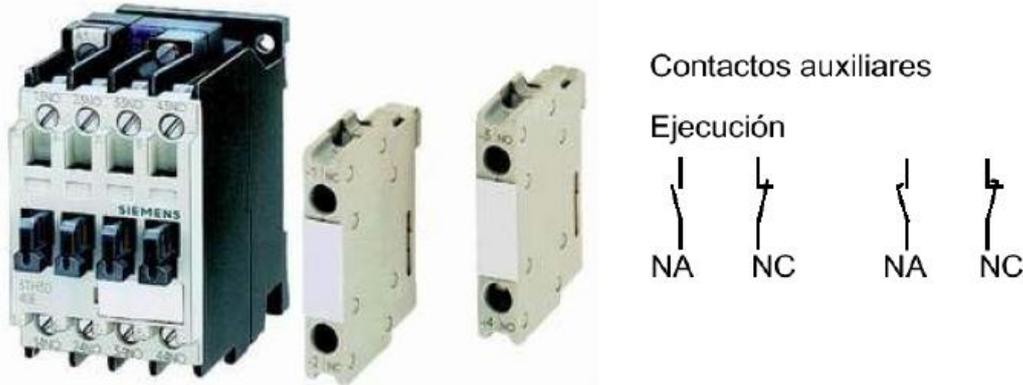
Cuando se va a elegir un Contactor hay que tener en cuenta, entre otros factores, lo siguiente:

- Tensión de alimentación de la bobina: Esta puede ser continua o alterna, siendo esta última la más habitual, y con tensiones de 12 V, 24 V o 220 V.
- Número de veces que el circuito electromagnético va a abrir y cerrar. Podemos necesitar un Contactor que cierre una o dos veces al día, o quizás otro que esté continuamente abriendo y cerrando sus contactos. Hay que tener en cuenta el arco eléctrico que se produce cada vez que esto ocurre y el consiguiente deterioro.
- Corriente que consume el motor de forma permanente (corriente de servicio). Por lo tanto es conveniente el uso de catálogos de fabricantes en los que se indican las distintas características de los Contactores en función del modelo

**Contactos auxiliares:**

Para poder disponer de mas contactos auxiliares y según el modelo de contactor, se le puede acoplar a este una cámara de contactos auxiliares o módulos independientes,

normalmente abiertos (NO), o normalmente cerrados (NC).



A continuación podemos observar un Contactor con sus *contactos auxiliares* ya montados:



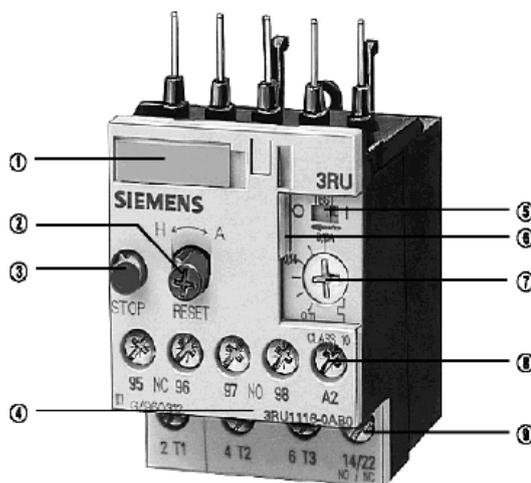
**Marcado de bornes:**

- **Bobina:** se marca con **A1** y **A2**.
- **Contactos auxiliares:** Como ya hemos nombrado, existen contactos normalmente abiertos (NO) o (NA) y normalmente cerrados (NC).
  - **Contactos NO.-** Se les asignarán números de 2 cifras, la primera cifra indica el número de orden y la segunda deberá ser **3** y **4**. Ejemplos: **13-14**, **23-24**, **33-34**.
  - **Contactos NC.-** Se les asignarán números de 2 cifras, la primera cifra indica el número de orden y la segunda deberá ser **1** y **2**. Ejemplos: **11-12**, **21-22**, **31-32**.
  - **Contactos principales:** Se marcan con los siguientes números o letras: **1-2**, **3-4**, **5-6**, o **L1-T1**, **L2-T2**, **L3-T3**.
- El **Contactador** se denomina con las letras **KM** seguidas de un número.

- **Relé Térmico:** Los bornes principales se marcarán como los contactos principales del contactor, 1-2, 3-4, 5-6, o L1-T1, L2-T2, L3-T3. Los contactos auxiliares serán, 95-96 contacto cerrado y 97-98 contacto abierto.

### ***EL RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICO .-***

#### Aspecto físico:

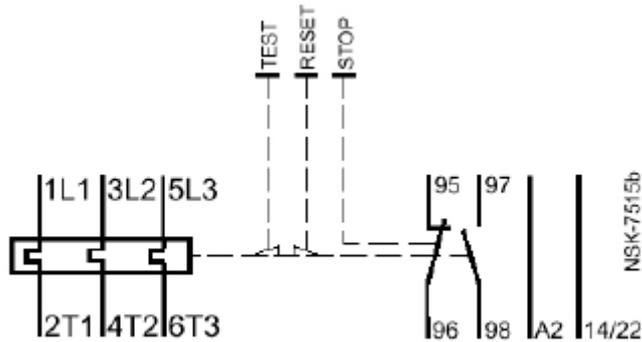


#### Partes de que está compuesto:

- 1 Plaquita de características
- 2 Conmutador selector RESET manual/automático
- 3 Tecla STOP
- 4 N° de pedido completo en el frontal del aparato
- 5 Indicación del estado de conexión y función de prueba TEST
- 6 Cubierta transparente precintable (para proteger el tornillo de ajuste de la intensidad, la función TEST y el posicionamiento de RESET manual/automático)
- 7 Tornillo de ajuste de la intensidad
- 8 Borne de repetición de bobina (con montaje a contactor)
- 9 Borne de repetición de contactos auxiliares (con montaje a contactor)

Es un mecanismo que sirve como elemento de protección del motor. Su misión consiste en desconectar el circuito cuando la intensidad consumida por el motor, supera durante un tiempo corto, a la permitida por este, evitando que el bobinado se queme. Esto ocurre gracias a que consta de tres láminas bimetálicas con sus correspondientes bobinas calefactoras que cuando son recorridas por una determinada intensidad, provocan el calentamiento del bimetálico y la apertura del relé. La velocidad de corte no es tan rápida como en el interruptor magnetotérmico. Se debe regular (tornillo 7), a la Intensidad Nominal del motor ( $I_n$ ), para el arranque directo. Esta intensidad deberá venir indicada en la placa de características del motor.

*Símbolo:*



***Elección del Relé Térmico:***

Para la elección de este mecanismo hay que tener en cuenta el *tiempo máximo* que puede soportar una sobreintensidad no admisible, y asegurarnos de que la intensidad del receptor esté comprendida dentro del margen de *regulación de la intensidad* del relé.

***EL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO MAGNETOTÉRMICO .-***

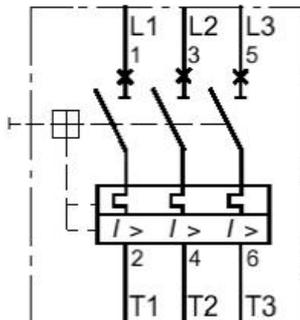
Aspecto físico:



Su misión es la de proteger a la instalación Y al motor, abriendo el circuito en los siguientes casos:

- *Cortocircuito*: En cualquier punto de la instalación.
- *Sobrecarga*: Cuando la intensidad consumida en un instante, supera la intensidad a la que está calibrada el magnetotérmico.

Símbolo:



***Elección del interruptor automático magnetotérmico:***

Se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Hay que seleccionar el tipo de *curva de disparo*. Ver tabla adjunta.
2. Elegir el *calibre* o intensidad nominal, cuyo valor será inferior o igual a la que consume el receptor de forma permanente.

<i>Curva de disparo</i>	<i>Corriente de magnético</i>	<i>Calibre</i>	<i>Aplicaciones</i>
B	5	2	Protección generadores, de personas y grandes longitudes de cable.
		3	
		4	
C	10	6	Protección general.
		10	
D	20	16	Protecciones de receptores con elevadas corrientes de arranque.
		20	
Z	3,6	25	Protección de circuitos electrónicos.

## ELEMENTOS DE ACCIONAMIENTO

### PULSADORES .-

Aspecto físico:

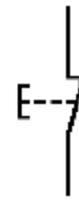


Los pulsadores son elementos de accionamiento que sirven para cerrar o abrir un circuito permitiendo el paso o no de la corriente a través de ellos.

Existen tres tipos:

- *Pulsador de paro.*

Símbolo:



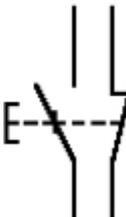
- *Pulsador de marcha.*

Símbolo:



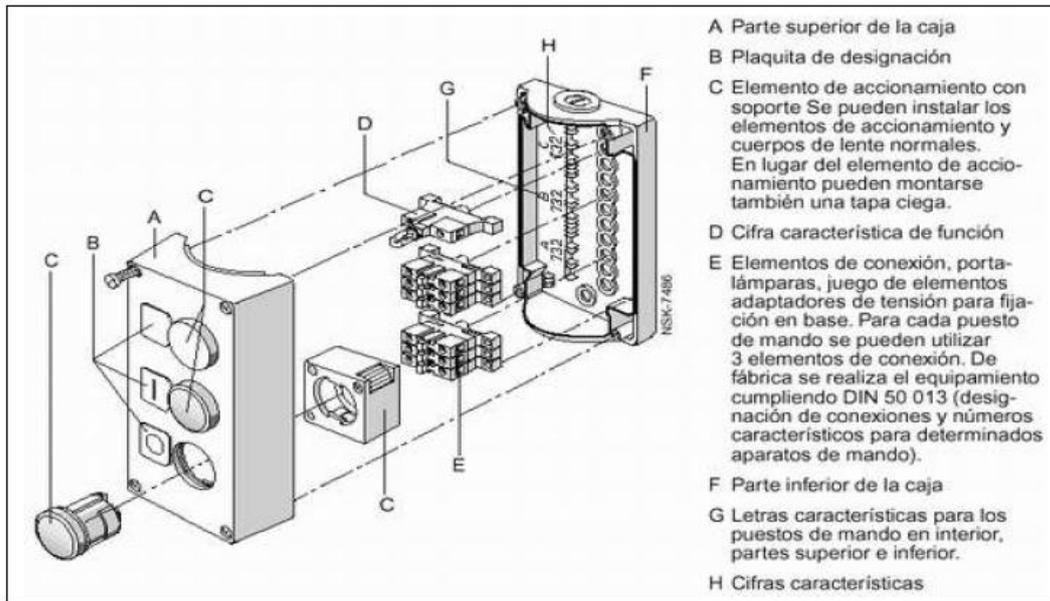
- *Pulsador de doble cámara.*

Símbolo:



Taller de Electricidad

Despiece de una caja de pulsadores:

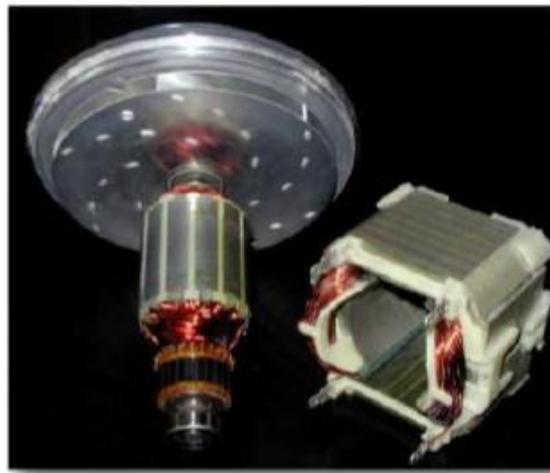
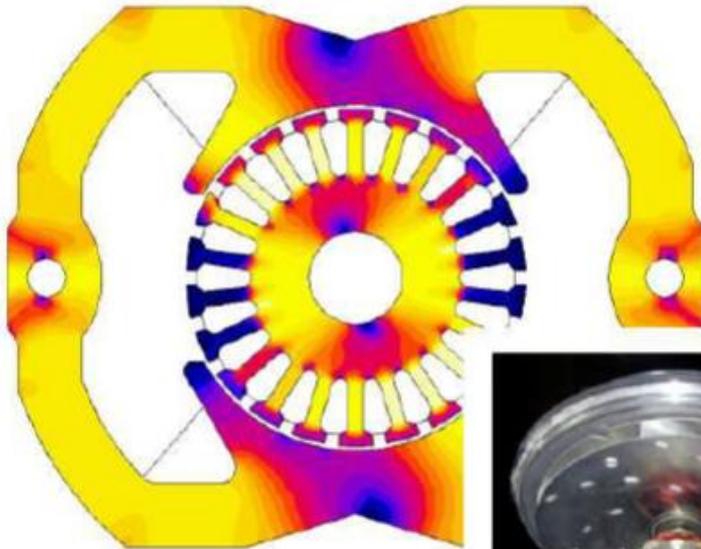


Aparte de las aplicaciones del electromagnetismo ya mencionadas, existen otras muchas más, como son: aparatos de medida analógicos, transformadores, generadores y motores, que estudiaremos más adelante. En la actualidad se investiga en la creación de nuevos materiales ferromagnéticos por diferentes procedimientos de laboratorio con el objeto de darles a éstos ciertas características que los hagan útiles para el desarrollo de aplicaciones especiales. Como por ejemplo:

- Conductores eléctricos que poseen una propiedad conocida como "magnetorresistencia". Es decir, materiales en los que la resistencia eléctrica varía cuando son sometidos a la acción de un campo magnético. Esto puede tener aplicaciones como, por ejemplo, elementos sensibles o detectores de campos magnéticos, detectores de proximidad magnéticos, etc.
- Etiquetado magnético para evitar el robo de artículos en grandes almacenes.

# Motores Eléctricos

## Conceptos Básicos de Motores Monofásicos





### Contenido

#### 1. MOTORES MONOFASICOS DE INDUCCION:

##### A. Motores de fase partida:

- a. Motor de arranque por resistencia
- b. Motor de arranque por capacitor
- c. Motor de fase partida y capacitor permanente de un valor.
- d. Motor de capacitor de dos valores.

##### B. Motor de inducción de arranque por reluctancia

##### C. Motor de inducción de polos sombreados.

#### 2. MOTORES MONOFASICOS CON CONMUTADOR

##### A. Motor de Repulsión

##### B. Motor serie de corriente alterna

##### C. Motor universal

#### 3. MOTORES MONOFASICOS SINCRONOS

##### A. Motor de reluctancia.

##### B. Motor de histéresis

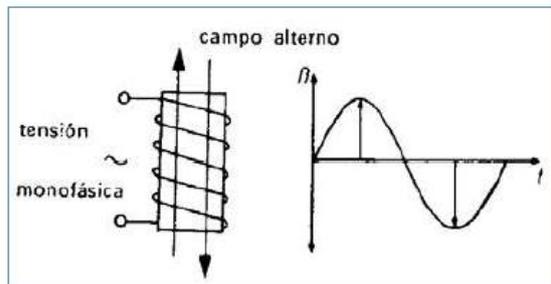
##### C. Motor subsíncrono

## 1. MOTORES MONOFÁSICOS DE INDUCCIÓN

### Introducción.

La necesidad del motor de inducción monofásico se explica de la siguiente forma: existen muchas instalaciones, tanto industriales como residenciales a las que la compañía eléctrica sólo suministra un servicio de ca monofásico. Además, en todo lugar casi siempre hay necesidad de motores pequeños que trabajen con suministro monofásico para impulsar diversos artefactos electrodomésticos tales como máquinas de coser, taladros, aspiradoras, acondicionadores de aire, etc.

La mayoría de los motores monofásicos son "motores pequeños" de "caballaje fraccionario" (menos de 1 hp). Sin embargo, algunos se fabrican en tamaños normales de caballaje integral: 1.5, 2, 3, 5, 7.5 y 10 hp tanto para 115 V como para 230 V en servicio monofásico y aun para servicio de 440 V entre los límites de 7.5 a 10 hp. Los tamaños especiales de caballaje integral van desde varios cientos hasta algunos miles de hp en servicio de locomotoras, con motores de serie monofásicos de ca.



Campo magnético producido por una corriente monofásica



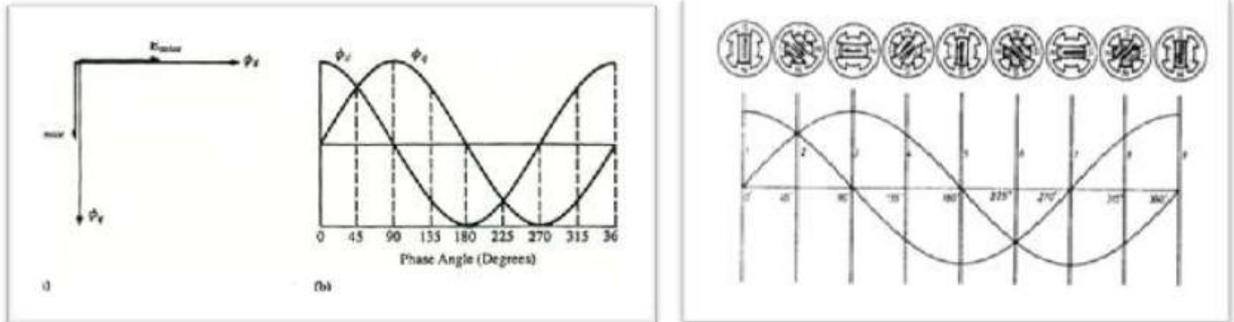
Diversos motores monofásicos de inducción

Para todos los efectos debemos demostrar que al aplicar una fuente monofásica a un devanado de una máquina eléctrica de inducción con rotor en jaula de ardilla, no se producirá ninguna f.m.m. giratoria neta y por lo tanto, tampoco se podrá desarrollar ni contar con un par mecánico que le permita a la máquina iniciar su giro.

El campo magnético producido por una corriente monofásica en una bobina está siempre sobre el eje de la misma (es decir no se produce un campo magnético giratorio), si bien variará su valor y sentido. Para que se produzca un campo alterno giratorio tienen que haber por lo menos dos bobinas desfasadas entre sí  $90^\circ$ .

Para que se produzca un campo giratorio en el estator es condición necesaria que haya un decalaje en el tiempo entre la corriente del arrollamiento auxiliar y la corriente del arrollamiento principal. Los campos alternos que se producen en el arrollamiento principal y arrollamiento secundario están decalados entre sí en el espacio y en el tiempo, y forman un campo giratorio común. Ese campo giratorio permite autoarranque. Los motores de inducción monofásicos pueden ahora arrancar solos.

La velocidad del campo giratorio viene dada, igual que en los motores trifásicos, por el número de polos y por la frecuencia de la red. La figura muestra la formación del campo giratorio en los instantes 1 y 2 para unas corrientes de arrollamiento según la figura.



El desfase entre las corrientes del arrollamiento principal y del arrollamiento secundario se consigue mediante el efecto de una capacidad, de una resistencia activa o por la mayor inductividad del arrollamiento auxiliar. Si se intercala una capacidad, una resistencia activa o una inductancia en el arrollamiento auxiliar de los motores de inducción monofásicos, se obtiene un campo giratorio. Los motores monofásicos con inductancia se utilizan poco, por su reducido par de arranque.

### Aspectos constructivos

Fundamentalmente los motores monofásicos de inducción cuentan con un estator construido de material ferromagnético (por ejemplo, chapas de hierro al silicio) sobre el que se colocan las bobinas principales, tantas como polos tenga el motor. En la figura se puede ver, además, un rotor de características similares al estator, rodeado de barras conductoras cortocircuitadas en los extremos por anillos formando una "jaula de ardilla" típica de los motores de inducción.

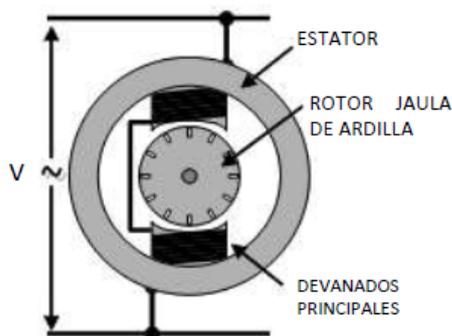
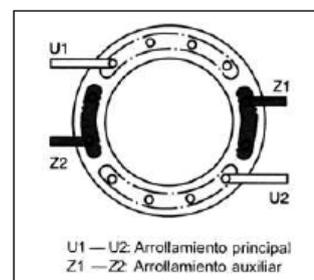


Figura (1) Esquema de un motor monofásico de inducción



devanados principal U1\_U2 devanado auxiliar Z1-Z2

Estas sencillas máquinas conservan la propiedad fundamental de no poseer contactos eléctricos rozantes lo que les confiere una durabilidad muy alta y muy bajo mantenimiento.

Los motores de inducción monofásicos llevan un estator en cuyo paquete de chapas van alojados dos bobinados de Cobre. El bobinado principal, que suele denominarse arrollamiento principal va colocado en 2/3 de las ranuras del estator y sus conexiones llevan las designaciones U1, U2. El arrollamiento auxiliar (bobinado auxiliar) Z1, Z2 va alojado en el tercio restante de ranuras, desfasado en el espacio 90°. En cuanto a la construcción del motor monofásico de inducción, hay que señalar que el rotor de cualquier motor monofásico de inducción es intercambiable con algunos polifásicos de jaula de ardilla. No hay conexión física entre el rotor y el estator, y hay un entrehierro uniforme entre ellos.

## Principio de funcionamiento

Los motores monofásicos de inducción experimentan una grave desventaja. Puesto que sólo hay una fase en el devanado del estator, el campo magnético en un motor monofásico de inducción no rota. En su lugar, primero pulsa con gran intensidad, luego con menos intensidad, pero permanece siempre en la misma dirección. Puesto que no hay campo magnético rotacional en el estator, un motor monofásico de inducción no tiene par de arranque.

Si pensamos en un motor de un solo par de polos, podemos ver fácilmente que el campo generado por el devanado principal al conectarse a una fuente de tensión alterna, tiene una dirección fija y un signo cambiante en forma sinusoidal. Los motores de inducción requieren un campo magnético rotante para inducir las corrientes adecuadas en el rotor y producir un par mecánico.

Si el campo magnético es fijo en el espacio y alterno en el tiempo y el rotor se halla detenido (por ejemplo al intentar arrancarlo) el circuito electromagnético resultante se asemeja mucho al de un transformador en cortocircuito, donde el rotor haría las veces de secundario. Para comprender el funcionamiento de éstas máquinas debemos imaginar que el campo magnético alterno es en realidad la composición de dos campos de módulos constantes pero rotantes en sentidos opuestos. En la figura se esquematiza esta construcción abstracta en la que ahora se tiene el equivalente a dos motores trifásicos conectados en secuencias opuestas y unidos por su eje.

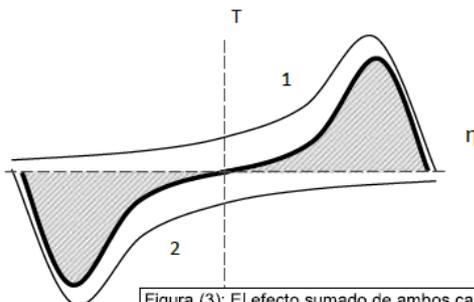


Figura (3): El efecto sumado de ambos campos rotantes no deja par de arranque sobre el rotor.

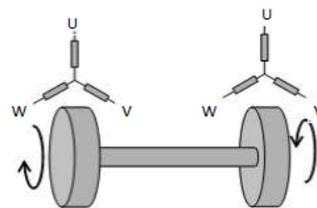


Figura (2): Construcción de un motor monofásico a partir de dos motores trifásicos



Si por algún medio, en cambio, se impulsara el rotor en un sentido cualquiera se induciría instantáneamente un par en el eje que aceleraría la máquina hasta alguna velocidad de equilibrio con el par resistente (en vacío, las pérdidas mecánicas propias). Entonces el motor monofásico puede pensarse como dos motores trifásicos opuestos en los que uno prevalece sobre el otro al definirse externamente un sentido de giro.

De ésta forma los rotores no giran ya que en un caso ideal los momentos inducidos a cada lado del eje son iguales y opuestos. Como ya se conoce de la teoría de motores trifásicos, los campos magnéticos rotantes inducen un momento en los rotores que varía con la velocidad de éstos últimos.

La curva de torques que generan el campo 1 y 2 se ilustra en la figura (3) donde se puede ver que al sumarse los efectos (zona sombreada) no se obtiene ningún par resultante con el rotor detenido. Así llegamos a la característica principal de los motores de inducción monofásicos: no pueden arrancar por sí solos.

## A. Motores monofásicos de fase partida

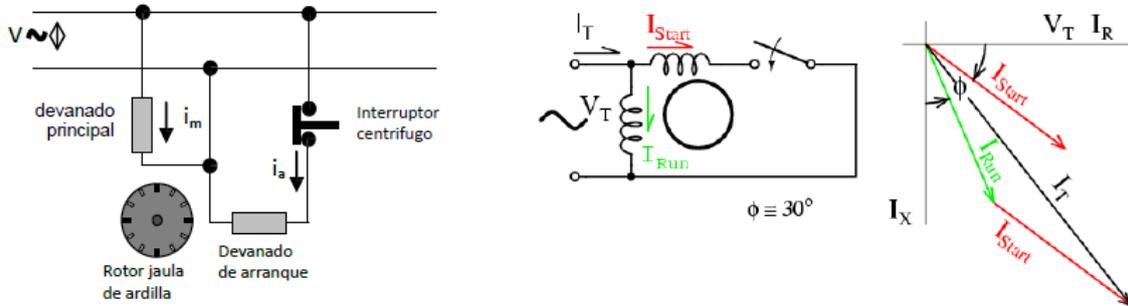
### a. Arranque por resistencia:

Se basa en colocar un bobinado auxiliar desplazado físicamente 90° del principal. Además se lo construye de conductor más fino y suele tener diferente cantidad de vueltas. Así se le otorga una impedancia diferente al del devanado principal por lo que la su corriente está desfasada. El devanado de arranque tiene menos vueltas y consiste en alambre de cobre de menor diámetro que el devanado de marcha. Por lo tanto, el devanado de arranque tiene alta resistencia y baja reactancia. A la inversa, el devanado de marcha, con más vueltas de alambre más grueso, tiene baja resistencia y alta reactancia; pero debido a su impedancia total menor, la corriente en el devanado de marcha es en general mayor que la correspondiente en el devanado de arranque. Al sumar los campos principal y auxiliar se tiene un vector giratorio que describe una elipse. No es un campo rotante de magnitud constante pero alcanza para impulsar por sí sólo al rotor en el arranque.

El diagrama esquemático de este tipo de motores se muestra en la figura. El bobinado auxiliar se diseña con una razón  $R_a/L_a$  mayor que la del bobinado principal o de

marcha  $\left(\frac{R_a}{X_a} \gg \frac{R_m}{X_m}\right)$ , con ello se logra desfasar la corrientes según muestra la figura. Esta mayor razón  $R_a/L_a$  normalmente se logra usando alambre de menor sección (mayor  $R_a$ ). Ya que el devanado auxiliar es de sección pequeña, no puede funcionar por mucho tiempo. Se recurre a un interruptor centrífugo que desconecta el circuito auxiliar una vez que el rotor alcanza aproximadamente el 70% de la velocidad asignada. Este sistema se aplica en potencias entre 50W y 500W.

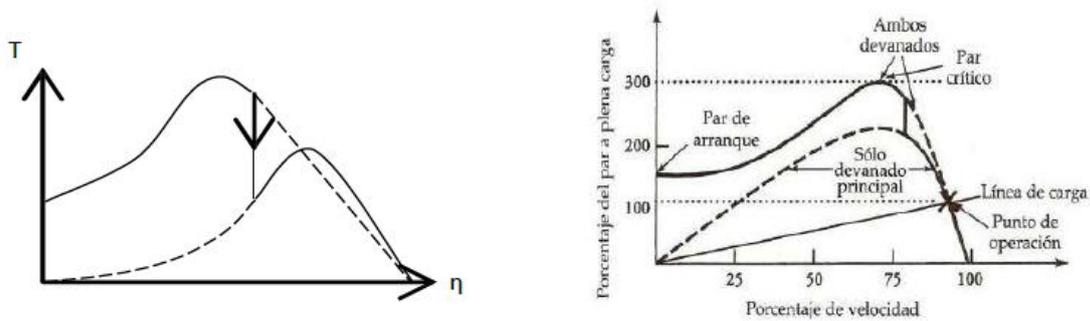
Taller de Electricidad



Motor monofásico de fase partida por resistencia

El campo giratorio se forma si se conecta una resistencia activa en serie con el bobinado auxiliar. La resistencia activa necesaria se puede formar también enrollando el arrollamiento auxiliar con un hilo resistente. Pero generalmente se ejecuta el arrollamiento auxiliar como arrollamiento bifilar. Para ello se enrolla un tercio del número de espiras de la bobina en sentido contrario a las espiras restantes. En el arrollamiento auxiliar bifilar se anula en parte el efecto inductivo, pero se mantiene su resistencia activa. Su par de arranque corresponde aproximadamente al par nominal.

La característica de torque-velocidad típica de estos motores es la mostrada en la figura.



Característica de torque-velocidad de un motor 1F de arranque por resistencia

Este tipo de motor tiene un bajo a moderado torque de partida el que depende de las corrientes y su desfase entre ellas. Se utilizan en el caso de escasa frecuencia de arranque, por ejemplo para compresores de frigoríficos o como motores para quemadores de fuel, en pequeñas bombas centrífugas, quemadores de aceite, sopladores y en cualquier otro tipo de cargas que requieran un moderado par de arranque a una velocidad bastante constante.

Este tipo de motor es normalmente de cabalaje fraccionario y como su rotor es pequeño, tiene poca inercia hasta cuando está conectado con la carga. Sin embargo, las principales desventajas del motor son: 1) su bajo par de arranque y 2) que, cuando tiene mucha carga se produce un par elíptico o pulsante que hace que el rotor emita ruidos preocupantes. Por este motivo, el motor de fase partida se usa en aparatos electrodomésticos para impulsar cargas que producen ruido, como por ejemplo,

Taller de Electricidad

quemadores de aceite, pulidoras, lavadoras de ropa, lavadoras de vajillas, ventiladores, sopladores de aire, compresores de aire y bombas de agua pequeñas.



Motor de lavadora electrolux



devanados del estator

El control de la velocidad de estos motores es relativamente difícil porque la velocidad síncrona del flujo rotatorio del estator queda determinada por la frecuencia y el número de polos desarrollados en el devanado de marcha del estator ( $n = 120f/p$ ). Se debe hacer notar que todos los cambios de velocidad se deben llevar a cabo en límites mayores al que trabaja el interruptor centrífugo y por lo tanto menores que la velocidad síncrona; obteniendo un rango muy limitado para el control de velocidad.

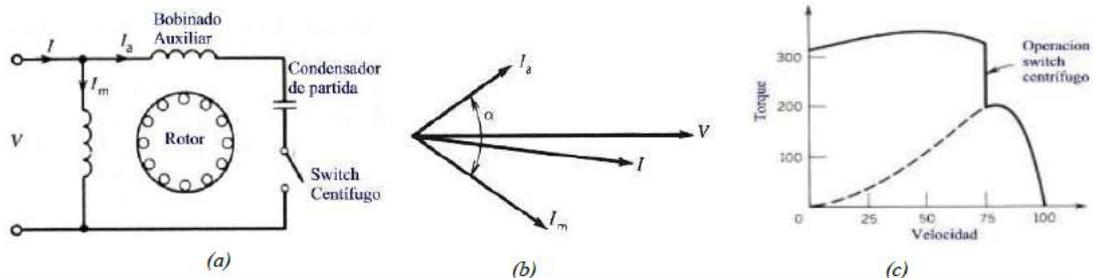
La capacidad del devanado de arranque se basa sólo en trabajo intermitente. Si el interruptor centrífugo se descompone y no puede abrir, por lo general debido a que se pegan los contactos, el calor excesivo que produce el devanado de arranque, de alta resistencia, aumentará de tal manera la temperatura del estator, que finalmente se quemarán ambos devanados.

Los motores de fase partida de mejor diseño tienen relevadores térmicos interconstruidos, conectados en serie con la terminal de la línea, para desconectar el motor del suministro siempre que la temperatura sea muy elevada.

### b. Motor de fase partida arranque por capacitor

Como medio de mejorar el par relativamente bajo del motor de fase partida por resistencia se agrega un capacitor al devanado auxiliar para producir una relación casi real de  $90^\circ$  entre las corrientes de los devanados de arranque y de marcha, en lugar de aproximadamente  $30^\circ$ , elevando el par de arranque a los límites normales del par nominal. La figura muestra el diagrama de conexiones del motor de arranque por capacitor, cuya diferencia implica la adición de un capacitor en el devanado auxiliar. Se puede advertir también a partir de la figura, el mejoramiento del torque de partida debido a la inclusión del capacitor.

Taller de Electricidad



Motor monofásico con condensador de partida. (a) Esquemático, (b) desfase de corrientes (c) característica de torque

Debido a su mayor par de arranque, que es de 3.5 a 4.5 veces el par nominal, y a su reducida corriente de arranque para la misma potencia al instante del arranque, el motor de arranque por capacitor se fabrica hoy en tamaños de cabalaje integral hasta de 7.5 hp.

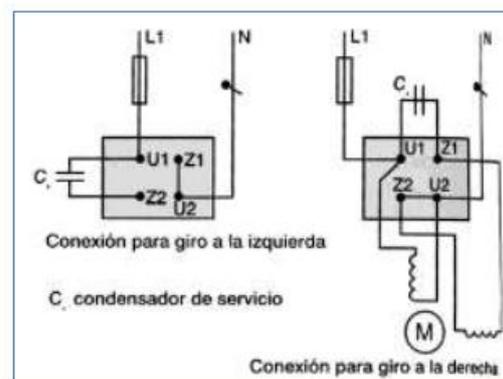
El condensador suele ir montado en la carcasa del motor. Si el arrollamiento auxiliar no es de tipo dividido, el condensador se conecta antes del arrollamiento auxiliar, y en el caso de arrollamiento auxiliar partido, va situado entre sus bobinas parciales.



Fig. Motor con capacitor de arranque      capacitores electrolíticos      interruptor centrifugo

En virtud de su mayor par de arranque, los motores de fase partida y arranque por capacitor se emplean para bombas, compresores, unidades de refrigeración, acondicionadores de aire y lavadoras grandes, en los que se necesita un motor monofásico que desarrolle alto par de arranque bajo carga y cuando se requiere un motor reversible.

Para cambiar el sentido de giro del motor, es necesario invertir la polaridad de la corriente del arrollamiento auxiliar. Esto se hace cambiando la conexión del condensador en la placa de bornes como se indica en la figura



Cambiar el sentido de giro del motor

El condensador y la inductividad del arrollamiento auxiliar forman un circuito oscilante en serie. Por eso la tensión aplicada al condensador es superior a la tensión de la red. La máxima tensión en el condensador aparece cuando el motor gira en vacío. Los capacitores para el motor de condensador tienen que estar dimensionados para la máxima tensión que se pueda producir. En la tabla se muestran algunos valores comerciales usados

Tensión red (V)	Condensador C	Tensión condensador $U_C$
220 V	~ 70 $\mu\text{F}/\text{kW}$	~ 250 V
110 V	~ 240 $\mu\text{F}/\text{kW}$	~ 125 V
380 V	~ 22 $\mu\text{F}/\text{kW}$	~ 430 V

Capacitores comerciales para el motor de arranque con condensador

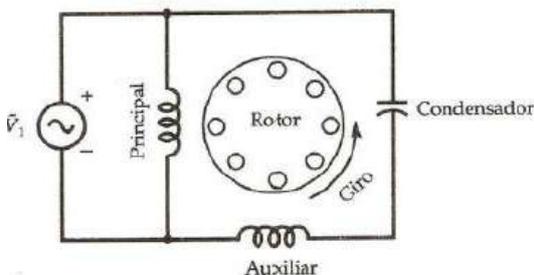
### c. Motor de fase partida y capacitor permanente de un valor.

Este tipo de motor tiene dos devanados permanentes que, en general, se arrollan con alambre del mismo diámetro y el mismo número de vueltas; es decir, los devanados son idénticos. A este motor también se le conoce como motor de capacitor dividido permanente, es una versión menos cara que la del motor de arranque por capacitor y capacitor de marcha.

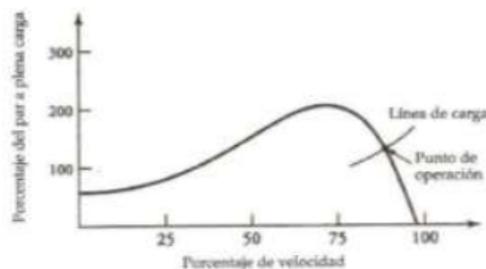
Ya que trabaja en forma continua como motor de arranque por capacitor no se necesita interruptor centrífugo. Los motores de este tipo arrancan y trabajan en virtud de la descomposición de la fase de cuadratura que producen los dos devanados idénticos desplazados en tiempo y espacio.

En consecuencia, no tiene el alto par de marcha normal que producen los motores ya sea de arranque por capacitor o de arranque por resistencia. El capacitor que se usa se diseña para servicio continuo y es del tipo de baño de aceite. El valor del capacitor se basa más en su característica de marcha óptima que en la de arranque. Al instante de arranque, la corriente en la rama capacitiva es muy baja.

El resultado es que estos motores, a diferencia de los de arranque por capacitor, tienen par de arranque muy deficiente, de entre 50 a 100 por ciento del par nominal, dependiendo de la resistencia del rotor.



(a)



(b)

Motor monofásico con capacitor de marcha. (a) Esquemático, (b) característica torque-velocidad

En este tipo de motor el condensador del bobinado auxiliar permanece conectado todo el tiempo. Esto simplifica en construcción y reduce el costo ya que no es necesario el switch centrífugo además el factor de potencia, torque y eficiencia resultan mejorados ya que el motor opera como motor bifásico. La operación continua del condensador requiere ciertas características constructivas y se debe comprometer el torque de partida frente al torque de la marcha.

Este tipo de motor se presta al control de velocidad por variación del voltaje de suministro. Se usan diversos métodos para ajustar el voltaje aplicado al estator y producir el control deseado de velocidad, como transformadores con varias salidas, variacs, potenciómetros y resistencias o reactores con varias salidas.

Debido a su funcionamiento uniforme y a la posibilidad de controlar la velocidad, las aplicaciones de este motor pueden ser ventiladores de toma y descarga en máquinas de oficina, unidades de calefacción o aire acondicionado. Se recomienda utilizarlos cuando se requiere accionar cargas con mínimo par de arranque.

#### d. Motor de fase partida por condensador de arranque y de marcha

El motor produce un par de arranque elevado si se utiliza un condensador de arranque CA y un condensador de servicio  $C_m$ . Mediante la capacidad de ambos condensadores se puede incrementar el par de arranque hasta un valor que sea 2 a 3 veces superior al par nominal. Por este motivo el motor puede arrancar en carga. Una vez que se haya acelerado, se desconecta el condensador de arranque quedando sólo el condensador de servicio o de marcha. Es necesario efectuar esta desconexión ya que, debido a la elevada capacidad total del condensador de arranque y del condensador de servicio, pasa gran intensidad a través del arrollamiento auxiliar. En régimen permanente, esto daría lugar a sobrecalentamiento. La desconexión se realiza mediante relés térmicos o en función de la intensidad o por un interruptor centrífugo. El motor de capacitor de arranque y de marcha, combina las ventajas de funcionamiento casi sin ruido y de control limitado de velocidad del capacitor de marcha con el alto par de arranque del motor de arranque por capacitor.

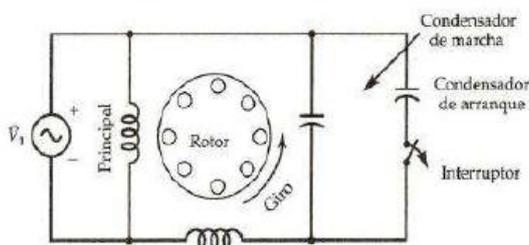


Figura 5.23 Representación esquemática del motor con capacitor de arranque y capacitor de marcha, B.S. Guri, *Electric Machinery and transformers*, pág.581.

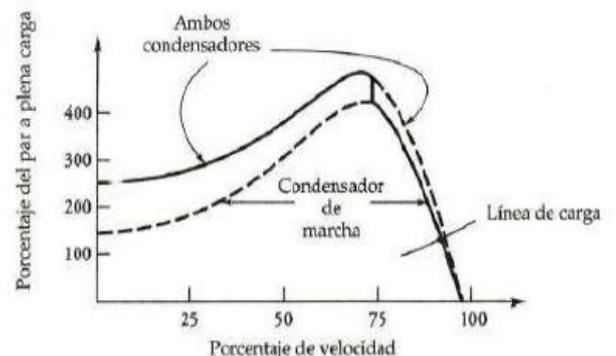


Figura 5.24 Característica velocidad-par de un motor de arranque por condensador y marcha por condensador, B.S. Guri, *Electric Machinery and transformers*, pág.581.



Taller de Electricidad

Se emplean dos capacitores durante el período de arranque. Uno de ellos, el capacitor electrolítico de arranque, semejante al que se usa para el trabajo intermitente del motor de arranque por capacitor, tiene una capacitancia bastante alta, de 5 a 6 veces el valor del capacitor de marcha y se saca del circuito mediante un interruptor centrífugo al alcanzar el 75 % de la velocidad sincrónica y con ello produce el par de arranque necesariamente alto. Entonces el motor continúa acelerando como motor de capacitor permanente. El condensador de servicio debe presentar una potencia reactiva de 1,3 kvar por cada kW de potencia del motor.



Motor monofásico con condensador de partida y de marcha

Los motores de condensador con potencia nominal hasta unos 2 kW se emplean para el accionamiento de máquinas electrodomésticas, máquinas herramientas y máquinas para la construcción, por ejemplo para frigoríficos y lavadoras.

Este tipo de motor combina el funcionamiento silencioso y el posible amplio control de velocidad del motor con capacitor de marcha ( $C_m$ ), con el elevado Tarr del motor con capacitor de arranque ( $C_{arr}$ ). El  $C_m$  es generalmente de aceite y trabaja en forma continua permaneciendo conectado en serie con cualquiera de los dos devanados estáticos idénticos con que cuenta este motor.

Al mantener las características del motor de  $C_m$ , este motor se considera reversible, pues cuando  $s = 25\%$  durante el proceso de inversión, el IC se cierra proporcionando un par máximo de frenado, de tal forma que al llegar a velocidad cero, invierte su sentido de giro y el IC se abre de nuevo al ser  $s = 25\%$ . Este motor es muy usado a nivel industrial y en los compresores de los aires acondicionados comerciales.

Al usar doble capacitor se eleva el rendimiento, el factor de potencia y el par máximo o par de desenganche. Al igual que para el caso anterior, este motor funciona como un motor bifásico desequilibrado y por ende, desarrolla un par más uniforme, siendo mucho más silencioso y más eficiente que aquellos que funcionan como monofásicos puros (en operación usan un sólo devanado).

## B. Motor de inducción de arranque por reluctancia

Otro motor de inducción que emplea un estator con entrehierro no uniforme es el motor de arranque por reluctancia.\* Su rotor es el clásico de jaula de ardilla que desarrolla por una vez iniciada la rotación por el principio de reluctancia. Debido a los



Taller de Electricidad

entrehierros desiguales entre el rotor y los polos salientes no uniformes, sobre el flujo de excitación principal se produce un efecto de barrido. \*

Las normas ASA definen el motor de reluctancia como un motor síncrono similar en construcción al motor de inducción, en el cual el miembro que lleva el circuito secundario tiene polos salientes, sin excitación de CC (rotor). Arranca como un motor de inducción pero funciona normalmente a la velocidad síncrona.

\*El motor de arranque por reluctancia es un motor de inducción cuyo arranque es iniciado por el principio de reluctancia. No es igual que el motor de reluctancia (motor síncrono no excitado). El motor de reluctancia monofásico, el motor de histéresis y el motor subsíncrono son, desde luego, motores monofásicos.

Construcción y principios de funcionamiento:

Se basa en la propiedad del motor síncrono con rotor de polos salientes, en que es capaz de producir un par motor y girar a la velocidad síncrona, sin excitación del campo con CC.

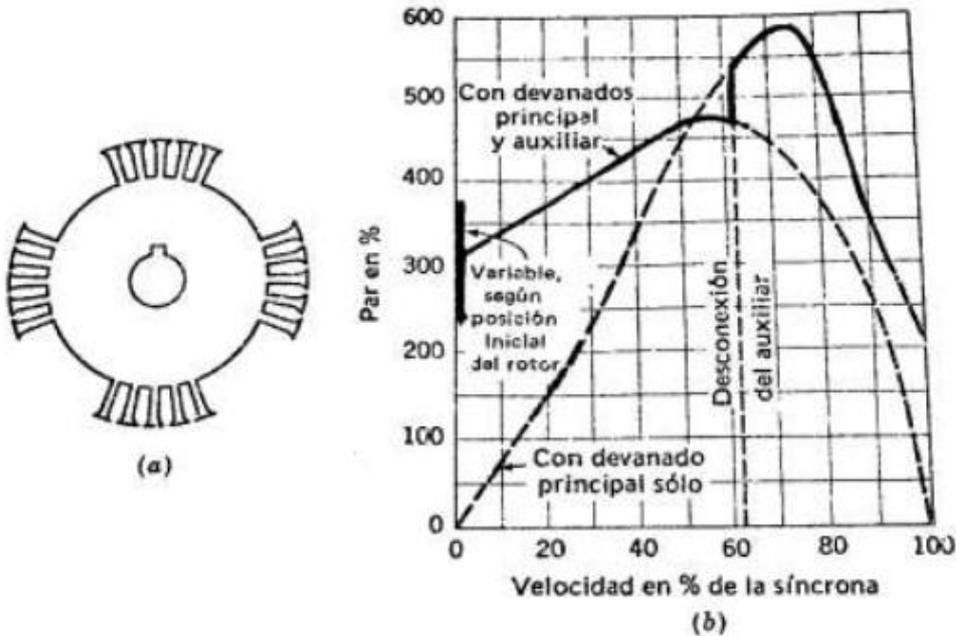
El reducido motor de reluctancia, está concebido a partir del motor de inducción, por lo que al rotor de jaula de ardilla, se le han suprimido algunos dientes (por sectores) con el objeto de lograr los polos salientes. Dado que este motor síncrono arranca como motor de inducción, los anillos que cierran las barras del rotor deben estar completos en toda la periferia, conservándose así, el arrollamiento amortiguador en jaula de ardilla, utilizado no solo para el arranque, sino que también, proporciona suficiente estabilidad contra las oscilaciones cuando se alcanza la velocidad sincrónica.

Al igual que para los motores síncronos excitados con CC, la puesta en sincronismo se facilita cuando la velocidad alcanzada como motor de inducción es tan elevada como sea posible. Para ello, es importante hacer baja la resistencia del rotor. También mejora ésta situación, cuanto menor sea el

WR<sup>2</sup> de la masa giratoria del rotor (rotor + carga acoplada al eje)

El estator del motor de reluctancia puede ser del tipo de fase auxiliar, del tipo de condensador y del tipo bobina pantalla (espira sombra).

La figura, representa una de las láminas dispuestas para un rotor destinado a un motor de reluctancia de cuatro polos en el estator. El motor arrancará como un motor de inducción y se irá acelerando hasta una velocidad de escaso deslizamiento (carga ligera). El par de reluctancia nace de la tendencia del rotor a situarse por sí mismo en la posición de mínima reluctancia respecto al campo giratorio (a la onda de flujo) que gira en el entrehierro a la velocidad síncrona.



Figuras: a) Chapa troquelada para el rotor de un motor síncrono de reluctancia de cuatro polos.

b) Características de arranque

En la figura b está representada la curva característica par-velocidad de un motor de reluctancia monofásico de fase partida. El alto valor del par de éste motor, está basado en la necesidad de obtener características satisfactorias. Para ello, se hace necesario construir el motor de reluctancia, con una estructura equivalente a un motor de inducción de 2 a 3 veces mayor la potencia que el síncrono.

Ranuras barreras de flujo se practican en las chapas del rotor de los motores de reluctancia para aumentar el par motor sincronizante, ya que el mismo, es función de la diferencia entre la reactancia axial  $X_a$  y la reactancia en cuadratura  $X_c$

Las muescas, los achatamientos y las protuberancias hechas en el rotor generan áreas igualmente espaciadas de alta reluctancia, que son llamadas polos salientes y cuyo número debe coincidir con el número de polos estáticos.

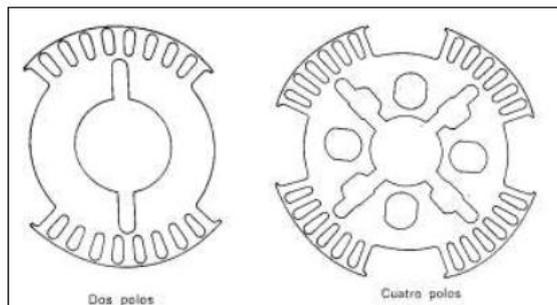


Figura: chapas de rotor para motores de reluctancia polifásicos, con representación de las ranuras "barreras de flujo".

El funcionamiento de este motor se basa en que la reluctancia del entrehierro sea una función de la posición angular del rotor con respecto al eje del devanado estático, generando un par de reluctancia cuando el rotor gire a velocidad sincrónica ( $n_s$ ) (este motor se considera sincrónico, pese a que arranca como motor de inducción). Si a un rotor jaula de ardilla tradicional se le quitan algunos dientes, dejando intactas las barras y los anillos extremos, tal y como se muestra en la figura adjunta y si se usa cualquiera de los sistemas estáticos de cualquiera de las máquinas antes descritas, el motor arrancará por sí solo como un motor de inducción y en presencia de bajas cargas, se acelerará hasta alcanzar un bajo valor de deslizamiento.

Una vez que el estator se energiza, el rotor acelera como motor de inducción jaula de ardilla con un deslizamiento muy bajo, pues el flujo rotativo del estator arrastra lentamente los polos salientes del rotor. A una velocidad crítica, las trayectorias de baja reluctancia dadas por los polos salientes hacen que estos polos entren en sincronismo con el flujo rotante del estator, haciendo que el deslizamiento sea nulo y desapareciendo la acción de inducción, pues el rotor es empujado por la simple atracción magnética llamada torque o par de reluctancia ( $T_{rel}$ ).

En la Fig. No.11, se muestra diferentes tipos de rotores con sus polos salientes y en Fig. No.

12 se muestran las condiciones de reluctancia que se presenta en el rotor para distintas condiciones de carga (vista estroboscópica). Las diferentes condiciones de carga son presentadas, para operación en sincronismo, de tal forma que en vacío y despreciando las pérdidas rotacionales, la línea polar del rotor coincide totalmente con la línea central de los polos estáticos, pero al aumentar la carga, los polos salientes del rotor tienden momentáneamente a quedarse atrás con respecto al estator.

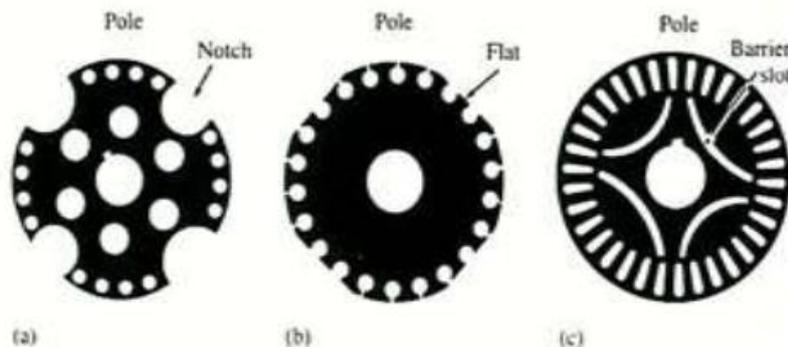


Fig. No. 11. Tipos de laminaciones rotóricas usadas en los motores de reluctancia variable

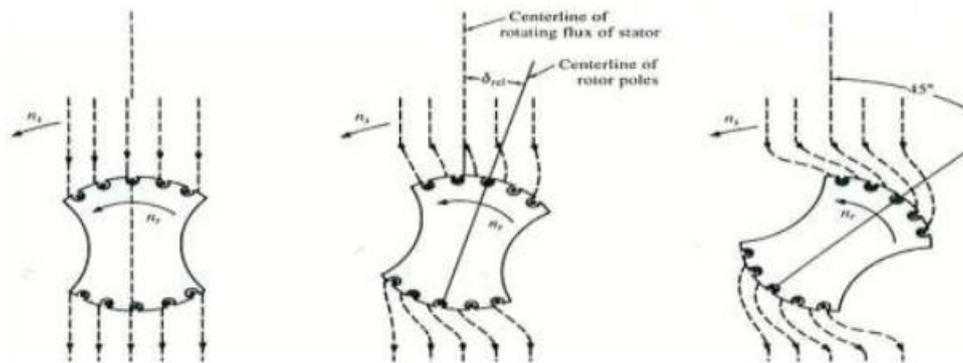
Este retraso momentáneo se representa mediante un desplazamiento angular conocido como ángulo de torque o de reluctancia ( $\delta_{rel}$ ). Una vez que finaliza el fenómeno transitorio de aumento de carga, el rotor recupera el sincronismo a un valor de  $\delta_{rel}$  correspondiente al nivel de carga solicitado en el eje del motor. El aumento en el torque de reluctancia causado por el aumento en  $\delta_{rel}$ , balancea justamente el nuevo torque de carga más las pérdidas. El  $T_{rel}$  crece al crecer el  $\delta_{rel}$ , alcanzando su valor máximo cuando  $\delta_{rel} = 45^\circ$  (límite de desenganche). Para valores de  $\delta_{rel}$  mayores de  $45^\circ$ , la trayectoria del flujo entre las líneas centrales de los polos estáticos y rotóricos crece y por lo tanto, crece la reluctancia y el flujo decrece y la atracción magnética del rotor por parte del campo variable del estator

disminuye. Bajo estas condiciones el rotor se sale de sincronismo y el motor empieza a funcionar como motor de inducción con el deslizamiento correspondiente al nivel de sobrecarga. El valor promedio del par de reluctancia ( $T_{rel}$ ), puede ser calculado mediante el uso de la siguiente ecuación:

$T_{rel} = K (V / f)^2 \cdot \sin(2 \delta_{rel})$ , en donde:

V y f son el voltaje y la frecuencia de la fuente aplicada al motor,

K es la constante constructiva que toma en cuenta la reluctancia, el número de vueltas del devanado y las unidades.

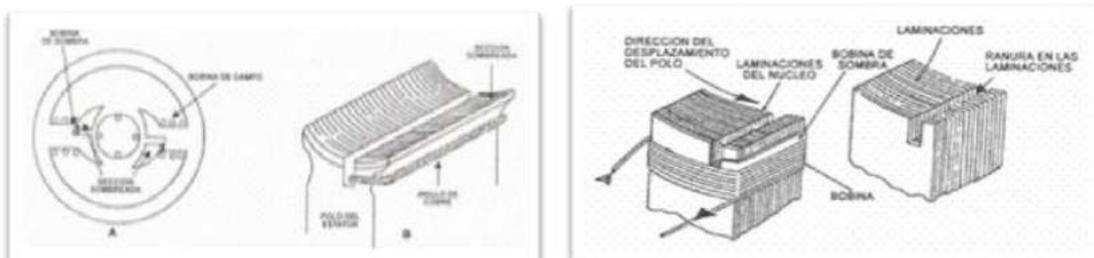


Vistas estroboscópicas de los diferentes niveles de carga al operar un motor de reluctancia variable

### C. Motor de polos sombreados.

Todos los motores monofásicos que se describieron anteriormente emplean estatores con entrehierros uniformes con respecto a sus devanados de rotor y estator, que están distribuidos uniformemente por la periferia del estator. Los métodos de arranque se basan en general en el principio de la fase partida de producir un campo magnético rotatorio para iniciar el giro del rotor.

Una manera fácil de proporcionar el par de arranque de un motor monofásico es integrar un corte en cada polo de los 30o al 60o al bobinado principal. Por lo general 1/3 de los polos está rodeado por una cinta de cobre desnudo. Estas bobinas de sombra producen un flujo amortiguado quedando una separación de 30o a 60o desde el campo principal. Este flujo amortiguado con el componente principal no amortiguado, produce un campo giratorio con un par de arranque pequeño que inicia el giro del rotor.

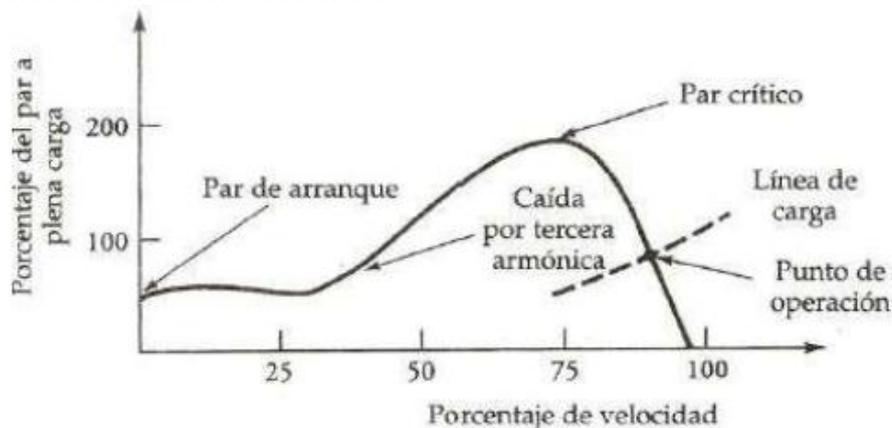


construcción general de un motor de polos sombreados (dos polos salientes).

Taller de Electricidad

La figura muestra la construcción general de un motor de polos sombreados (dos polos salientes). Las piezas polares especiales se forman con laminaciones y una bobina de sombreado en cortocircuito, o bien un anillo de cobre macizo de una sola vuelta, alrededor del segmento más pequeño de la pieza polar. La bobina de sombreado está separada del devanado principal de CA y sirve para proveer una división de fase del flujo principal del campo, demorando el cambio de flujo en el segmento menor.

El motor de polos sombreados es, en general, un motor pequeño de potencia fraccionaria que no es mayor de 1/10 hp, aunque se han producido motores hasta de ¼ hp. La gran ventaja de este motor estriba en su extrema simplicidad: un devanado monofásico, rotor con jaula de ardilla vaciada y piezas polares especiales. No tiene interruptores centrífugos, capacitores, devanados especiales de arranque ni conmutadores. En la figura se puede observar su curva característica velocidad-par, en donde se puede apreciar cómo su par de arranque es muy limitado comparado con los motores anteriormente descritos.



*Figura 5.32 Característica velocidad-par de un motor de polos sombreados, B.S. Guri, Electric Machinery and transformers, pág.601.*

El flujo en el segmento del polo sombreado siempre está en retraso al correspondiente en el segmento principal, tanto en tiempo como en espacio físico, aunque no existe entre ellos una verdadera relación de 90°. El resultado es que se produce un campo magnético rotatorio, suficiente para originar un pequeño desbalanceo en los pares del rotor, tal que el par en el sentido de las manecillas del reloj es mayor que el contrario, o viceversa, y el rotor siempre gira en la dirección del campo rotatorio.

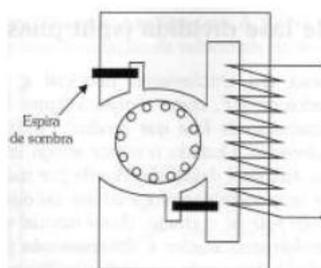


Figura 1.8 - Motor de polos sombreados.



El motor de polos sombreados es robusto, barato, pequeño y necesita de poco mantenimiento.

Desafortunadamente tiene bajo par de arranque, baja eficiencia y bajo factor de potencia. Tratándose de un motor pequeño, las últimas dos consideraciones no son serias. Su bajo par de arranque limita su aplicación a motores económicos de tornamesas, proyectores de cine, asadores eléctricos, ventiladores y fuelles pequeños, máquinas expendedoras, tornamesas de exhibición en escaparates, sintonizadores de TV de control remoto y otras cargas relativamente ligeras de servomecanismos. Su rango de potencia está comprendido en valores desde 0.0007 HP hasta 1/4 HP, y la mayoría se fabrica en el rango de 1/100 a 1/20 de HP.

## 2. MOTORES MONOFÁSICOS CON COLECTOR

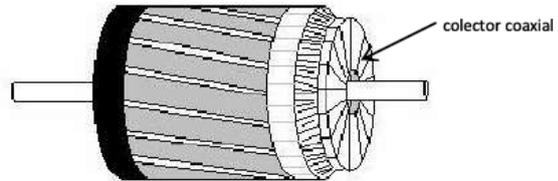
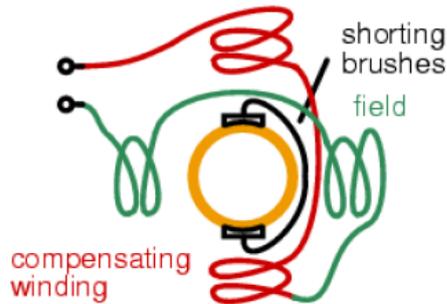
Los motores descritos hasta ahora han sido todos de inducción con rotor jaula de ardilla monofásicos con rotores fundidos, cuyas variantes se diferencian principalmente en el principio de arranque. Existe otro grupo de motores denominados motores monofásicos con colector debido a que el rotor bobinado de este tipo de motor está equipado con un colector y escobillas. Este grupo consta de dos clases: 1. Aquellos que funcionan según el principio de repulsión (motores de repulsión) en los que la energía se transfiere inductivamente desde el devanado de excitación estático monofásico hasta el rotor, y 2.

Aquellos que funcionan según el principio del motor serie, en los que la energía es transportada por conducción, tanto al inducido rotórico como a la excitación estática monofásica conectada en serie.

### A. Motor de repulsión

Un motor de repulsión consta de un devanado de campo directamente conectado a la tensión de red y un par de escobillas en corto con desplazamiento de 15° a 25° desde el eje del campo. El campo induce un flujo de corriente en la armadura en cortocircuito que se opone al flujo principal. La velocidad puede ser controlada por la rotación de las escobillas con respecto al eje del campo. Este motor tiene la conmutación por encima de la velocidad de sincronismo, Corriente de arranque bajo produce un elevado par. Las partes esenciales son: Un núcleo laminado del estator con un devanado similar al de la fase partida. El estator tiene generalmente, cuatro, seis u ocho polos, 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.



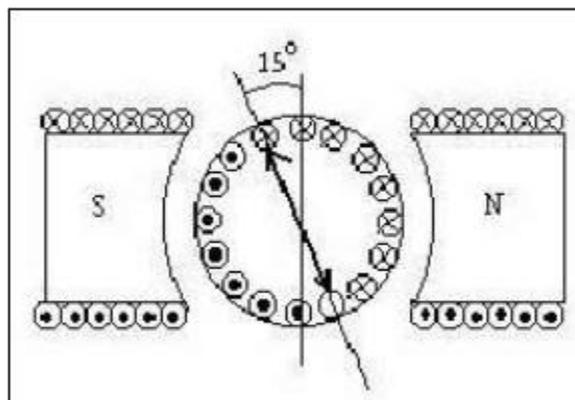
Rotor devanado de un motor de repulsión

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

Principio de 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 unos  $15^\circ$  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  $15^\circ$  eléctricos del centro de los polos del estator en el sentido contrario al original.



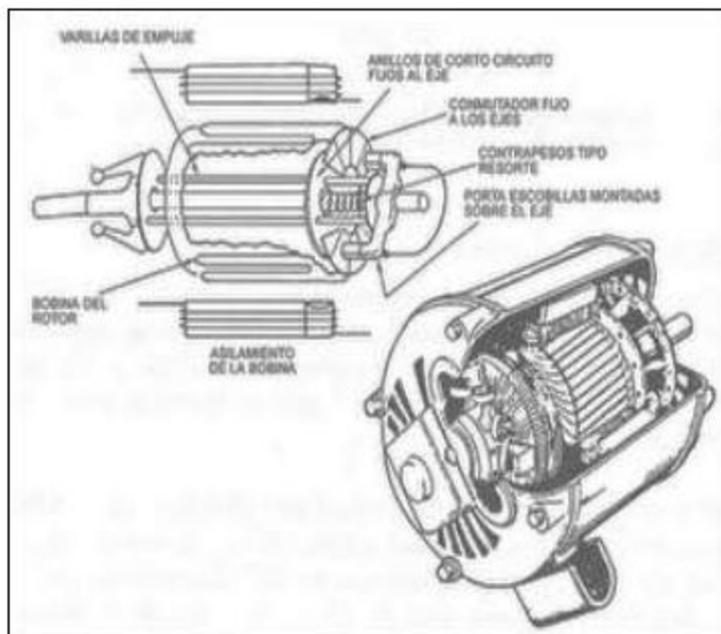
Desplazamiento de las escobillas para cambio de giro en un motor de repulsión

Taller de Electricidad

El motor de repulsión posee buen par de arranque, mala regulación de velocidad, esta se puede controlar, variando el voltaje aplicado al motor. Se le utiliza en prensas de imprenta en las que se desea una regulación de la velocidad del miembro impulsor.

a. 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 cortocircuita las delgas del colector al llegar el inducido al 75% de la velocidad de régimen y sigue funcionando por inducción.



Motor de repulsión inducción con mecanismo centrífugo de cortocircuito

El motor de repulsión-inducción se utiliza cuando se presenta una carga difícil de arranque como un compresor. Cerca de la velocidad sincrónica un mecanismo centrífugo cortocircuita las delgas del colector, dando el efecto de un rotor jaula de ardilla. Las escobillas también pueden ser levantadas para prolongar su vida útil y la del colector. El Par de arranque es de 300% a 600% en comparación con menos de 200% para un motor de inducción puro.

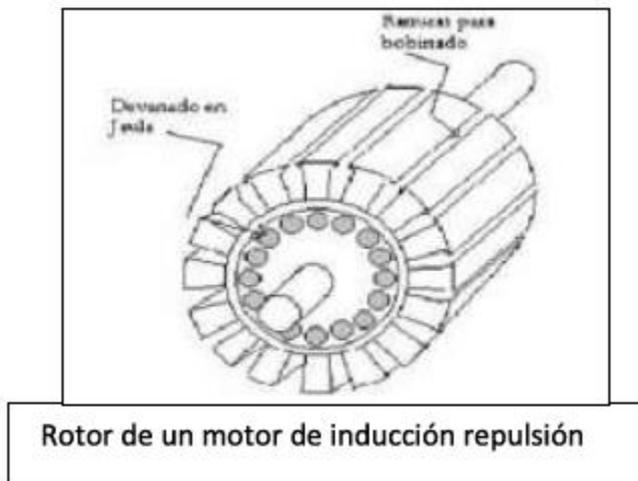
El motor de repulsión inducción posee: fuerte par de arranque, buena regulación de la velocidad. La rotación se invierte de la misma forma que para el motor de repulsión. Se utiliza en: Refrigeradores, compresores, bombas.



b. motor de inducción-repulsión sin mecanismo centrífugo

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.

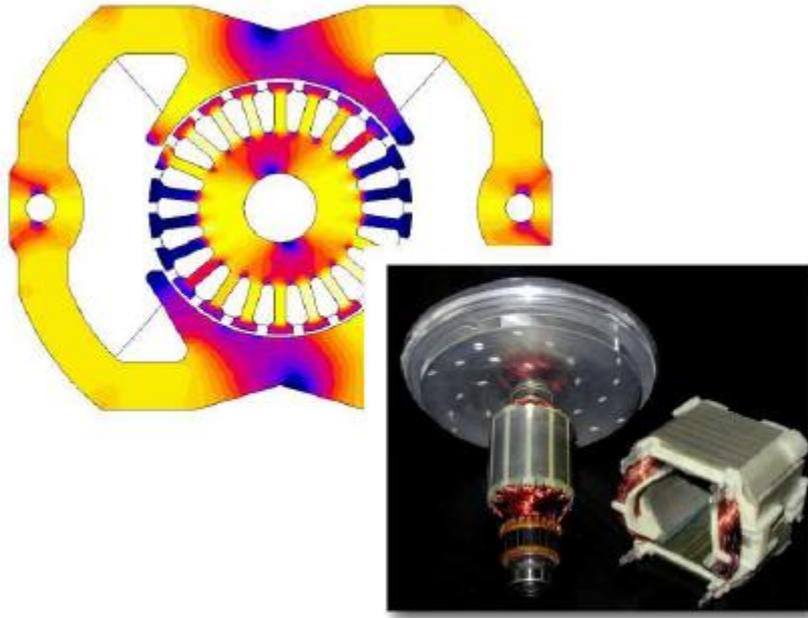
Posee: Buen par de arranque, Buena regulación de la velocidad. Debido a que no tiene mecanismo centrífugo tiene poco mantenimiento.- Actualmente es el más utilizado de los motores de repulsión. Tiene aplicaciones similares al de los otros motores de repulsión.



## B. Motor serie de Corriente alterna

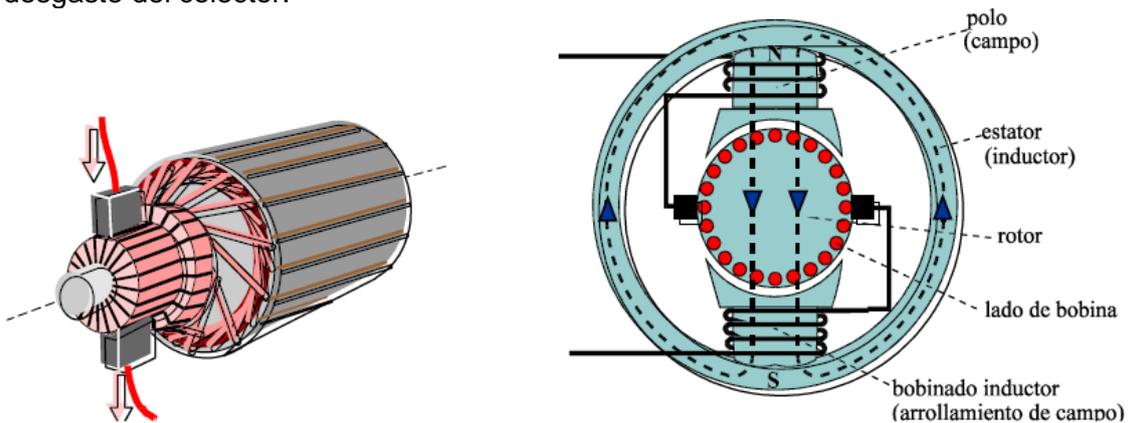
Si un motor de CC serie con "núcleo laminado" equipado con un devanado de campo es conectado a la red AC, la reactancia de la bobina de campo, reduce considerablemente el campo actual. Si bien este motor va a girar, la operación es marginal. Mientras se inicia, las bobinas de armadura conectada a las delgas del colector está cortocircuitada por las escobillas produciendo un efecto transformador en cortocircuito. Esto se traduce en un considerable arco y chispas en las escobillas de la armadura mientras comienza a girar. Este es un problema que disminuye a medida que aumenta la velocidad.

Motores de corriente alterna con colector, al igual que los motores de corriente continua resultan comparables, tienen un mayor par de arranque y mayor velocidad que los motores de inducción AC. El motor AC serie, opera muy por encima de la velocidad de sincronismo de un motor convencional de corriente alterna.



**Motor serie de Corriente Alterna**

Puesto que un motor con colector puede operar a una velocidad mucho mayor que la de un motor de inducción, se puede dar salida a más potencia que un motor de inducción de tamaño similar. Sin embargo, los motores con colector no son tan libres de mantenimiento como los motores de inducción, debido al roce de las escobillas y el desgaste del colector.



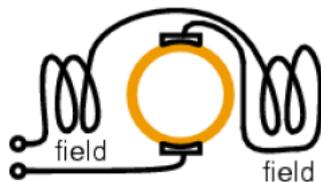
### a. Motor serie monofásico compensado

Para limitar los inconvenientes que se presenta en los motores monofásicos de colector, excepto los de pequeña potencia, están provistos de un arrollamiento compensador.

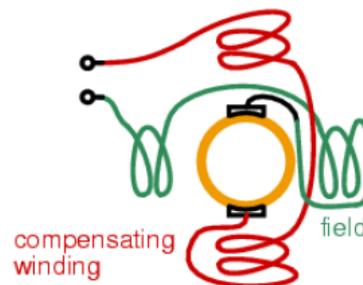
El arrollamiento compensador crea una f.m.m que neutraliza la reacción del inducido. Su conexión se puede realizar de dos formas:

- Espiras en cortocircuito coaxiales con el eje de la línea de escobillas.
- En serie con el inducido.

Para mejorar el factor de potencia, se emplea un entrehierro menor, con la correspondiente disminución del flujo inductor, reduciéndose de esta forma la tensión reactiva en el inducido.



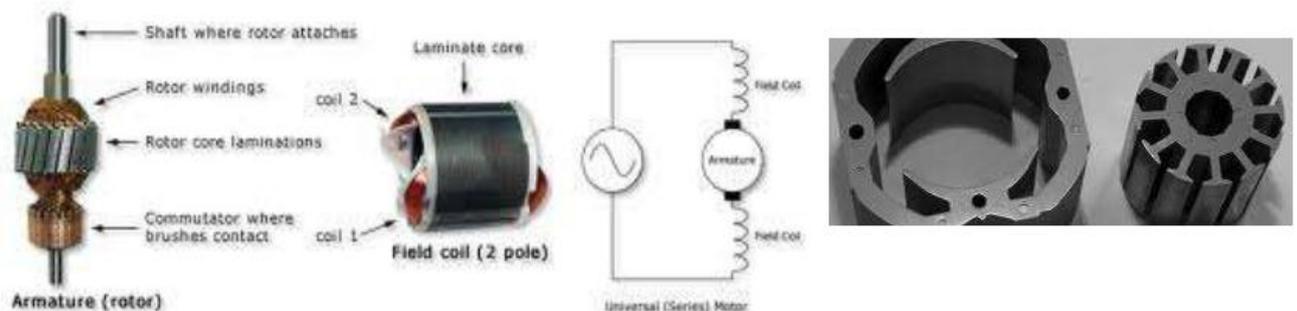
*Motor serie de CA sin compensación*



*Motor serie de CA con devanado de compensación*

### C. 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.



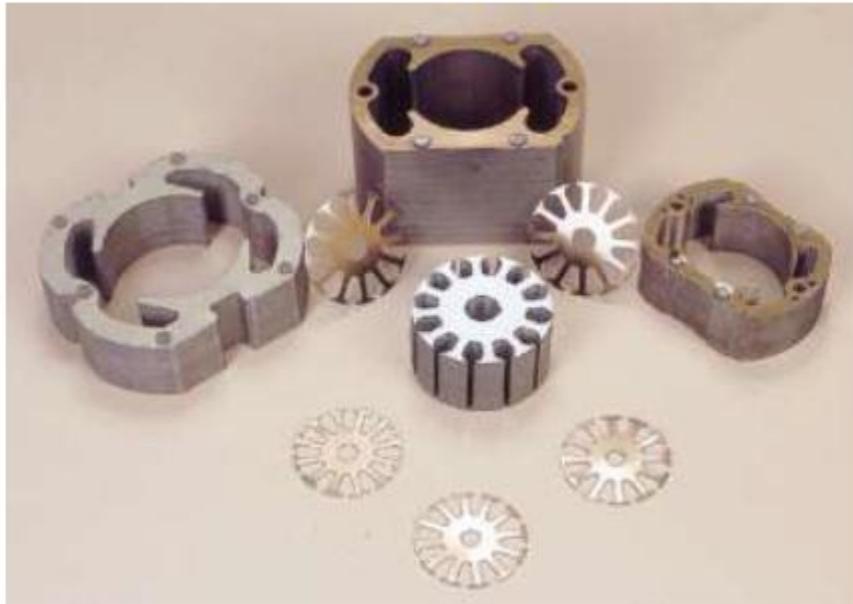
Partes constructivas de un motor universal



Taller de Electricidad

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. Se usan en: Licuadoras, aspiradoras, batidoras, etc.

En el caso de funcionar con alterna hay que tener en cuenta que tanto el estator como el rotor deben ser de hierro laminado. También es importante tener en cuenta que en corriente alterna aparece el efecto de la reactancia de los bobinados, por lo tanto la tensión aplicada en alterna es mayor que la tensión aplicada en continua.



*Núcleo de hierro de un motor serie CA o motor universal*

Un motor universal es un motor capaz de funcionar en corriente alterna como en corriente continua. Consta de al menos dos electroimanes, uno montado en el eje y otro en la carcasa. El efecto de imán móvil se consigue mediante el colector de delgas, en este caso con el colector conseguimos que el electroimán del eje gire respecto del propio eje (no solidariamente) de forma que siempre este enfrentado respecto de la polaridad del electroimán de la carcasa.

Taller de Electricidad



*Motor Universal*



*Colector de delgas*

En su funcionamiento como motor de continua tenemos que el electroimán de la carcasa es un imán fijo, y el electroimán del eje esta también siempre orientado en la misma dirección, independientemente del giro del eje.

En su funcionamiento como motor de alterna en el electroimán de la carcasa tenemos un campo magnético (imán) que cambia su polaridad constantemente (conforme a la red eléctrica) y el electroimán del eje también cambia constantemente de forma que su campo eléctrico siempre se opone al del imán de la carcasa.

Para identificar este motor lo podemos hacer observando si tiene colector de delgas y si lo usamos conectado a la corriente alterna directamente. La construcción del motor universal es semejante a la del motor de corriente continua de excitación derivación. Cuando el motor universal se conecta a tensión alterna, cambian al mismo tiempo el sentido de la corriente de excitación y del inducido. De esta manera, el par de giro que se produce actúa siempre en el mismo sentido.

La rotación se puede invertir cambiando la dirección de la corriente ya sea en el circuito de campo o en el inducido.



*Motores monofásicos*



Taller de Electricidad

Los motores universales son los motores pequeños más utilizados. Alcanzan velocidades superiores a los motores asincrónicos monofásicos, y de esta manera se obtiene una potencia de accionamiento grande para un tamaño pequeño. Como su inducido generalmente va unido fijo al ventilador y al reductor, apenas existe peligro de que se embale. Las interferencias de radio debidas al chisporroteo de las escobillas se eliminan mediante condensadores antiparasitarios. Los motores universales se utilizan, por ejemplo, para accionamiento de máquinas electrodomésticas y pequeñas herramientas eléctricas.

Sus características principales no varían significativamente, sean alimentados con CA o CD.

Por regla general, se utilizan con corriente alterna. También se les denomina motor monofásico en serie.

Este tipo de motor se puede encontrar tanto para una máquina de afeitar como para una locomotora, esto da una idea del margen de potencia en que pueden llegar a ser construidos.

Los bobinados del estator y del rotor están conectados en serie a través de unas escobillas.

El par de arranque se sitúa en 2 ó 3 veces el par normal.

La velocidad cambia según la carga. Cuando aumenta el par motor disminuye la velocidad. Se suelen construir para velocidades de 3000 a 8000 r.p.m., aunque los podemos encontrar para

12000 r.p.m. Para poder variar la velocidad necesitamos variar la tensión de alimentación, normalmente se hace con un reóstato o resistencia variable.

El cambio de giro es controlable, solo tenemos que intercambiar una fase en el estator o en el rotor, nunca en los dos, lo cual es fácilmente realizable en la caja de conexiones o bornes que viene incorporado con el motor. Cuando el motor es alimentado, se produce que las corrientes circulan en el mismo sentido, tanto el estator como en el rotor, pero en el cambio de ciclo cambia el sentido en los dos, provocando el arranque del motor.

#### Bobinado de Compensación

Los motores universales son motores en serie de potencia fraccional, de c. a., diseñados especialmente para usarse en potencial ya sea de c.c. o de c. a.. En general, los motores universales pequeños no requieren arrollamientos compensadores por el hecho que el número de espiras de su armadura es reducido y por lo tanto, también lo será su reactancia de armadura. Como resultado, los motores inferiores al 50% de caballo ( $\frac{1}{2}$  hp) generalmente se construyen sin compensación. El coste de los motores universales no compensados es relativamente bajo por lo cual su aplicación es muy común en aparatos domésticos ligeros, por ejemplo aspiradoras, taladros de mano, licuadoras, etc.

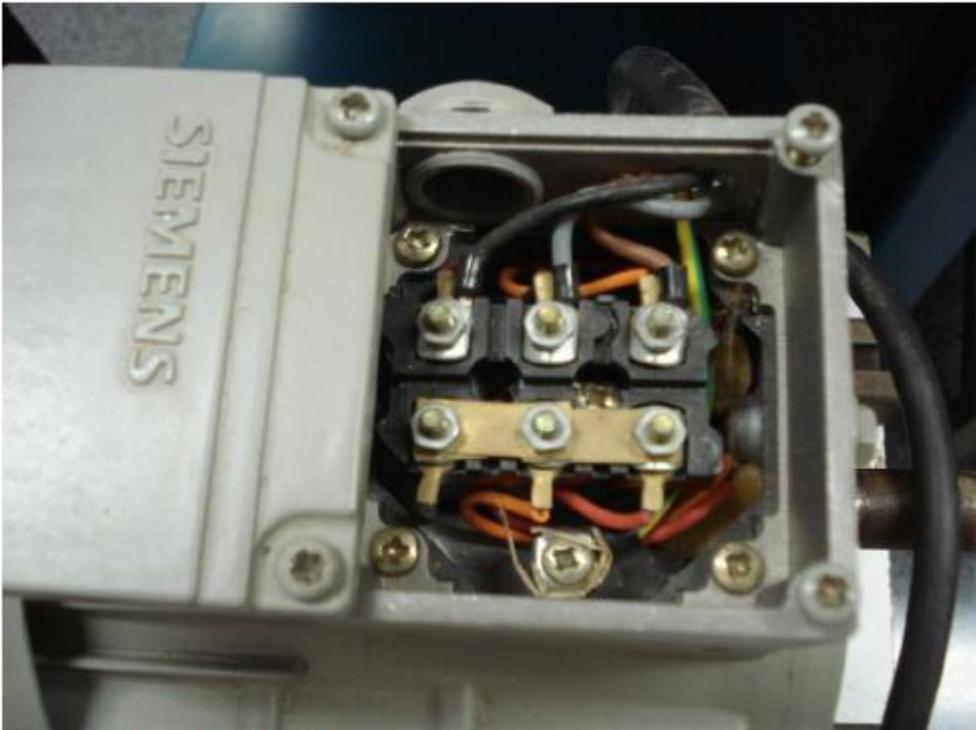
Los motores universales grandes tienen algún tipo de compensación. Normalmente se trata del devanado compensador del motor de serie o un devanado de campo distribuido especialmente para contrarrestar los problemas de la reacción de armadura.



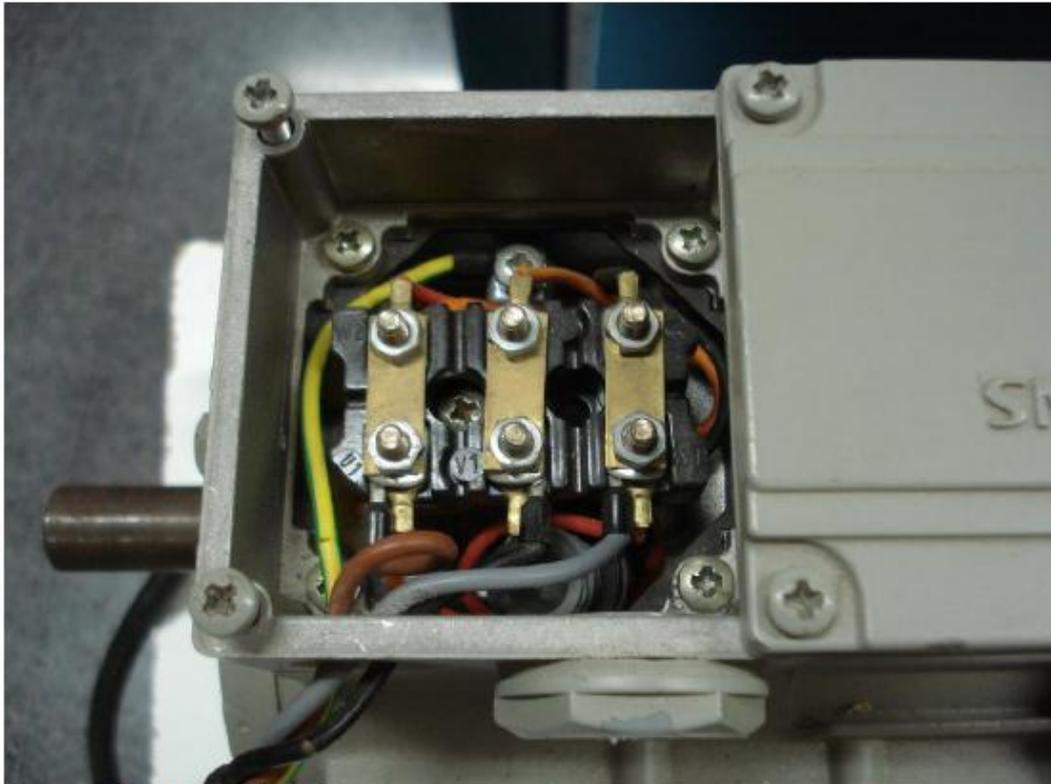
Si el motor serie de c. a. tendrá aplicaciones tanto con c. a. cómo con c.c., el arrollamiento compensador se conecta siempre en serie con la armadura y se dice que el motor está compensado conductivamente. Si el devanado compensador está conectado en corto circuito sobre si mismo, se llama que el motor está compensado inductivamente.

## CONEXIONADO y ARRANQUE

Los motores asíncronos trifásicos son motores bitensión, puede conectarse a dos tensiones de red diferentes, p.e 220/380 V. La tensión menor indica la tensión de fase nominal, o sea, la máxima tensión a aplicar al bobinado. Un exceso de tensión puede provocar perforaciones en el aislamiento y/o sobrecalentamiento, reduciendo drásticamente la vida útil. Una tensión demasiado pequeña reduce en un tercio potencia útil del motor. Así, ante una red con la tensión menor conectaremos el motor en triángulo, y ante una red con la tensión mayor lo conectaremos en estrella.



Conexión en estrella



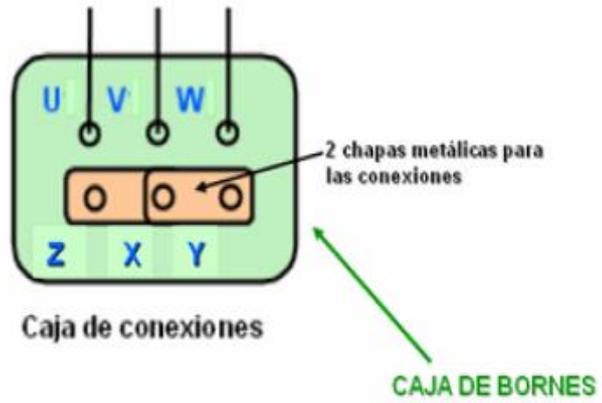
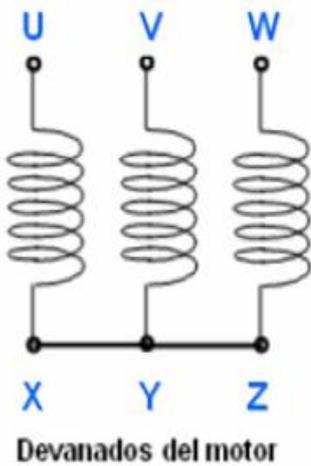
### Conexión en triángulo

Los motores trifásicos presentan lógicamente tres devanados (tres impedancias) y seis bornes. Los fabricantes, para facilitar las conexiones (sobre todo el triángulo), disponen en la caja de bornes una colocación especial de estos. Observa la Fig y fíjate que las conexiones para realizar un triángulo son:

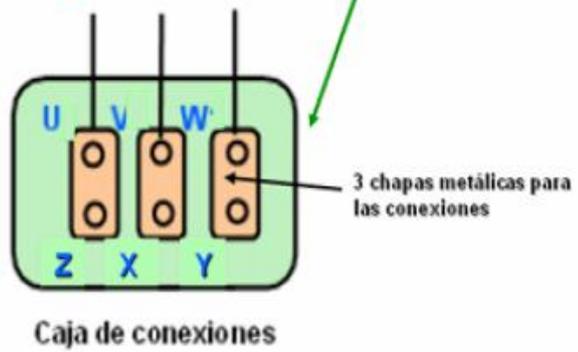
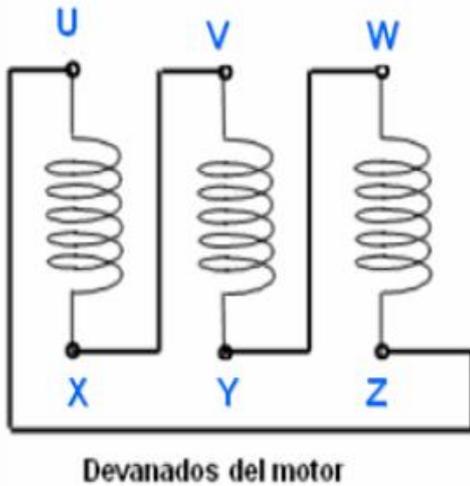
- X con V
- Y con W
- Z con U

En vista de esto, la caja de bornes viene distribuida como puedes ver, lo que ayuda mucho para conectar en triángulo pues este se realiza uniendo bornes en vertical, mediante conectores o chapas metálicas.

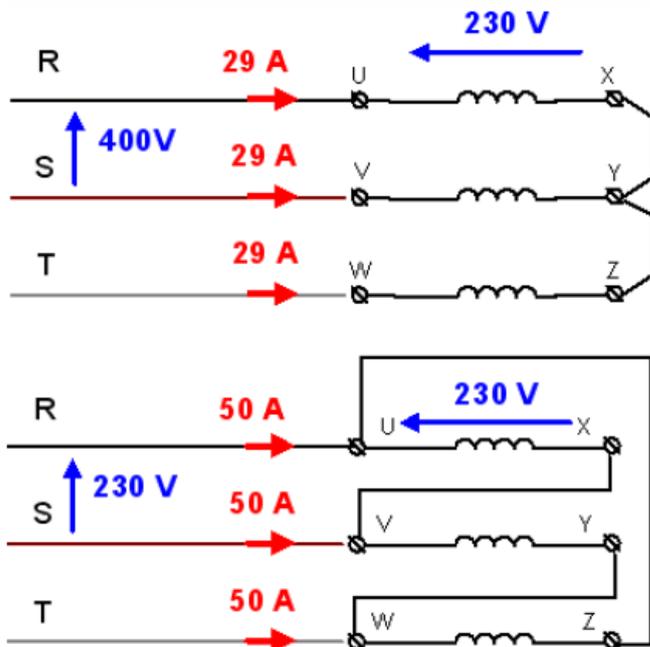
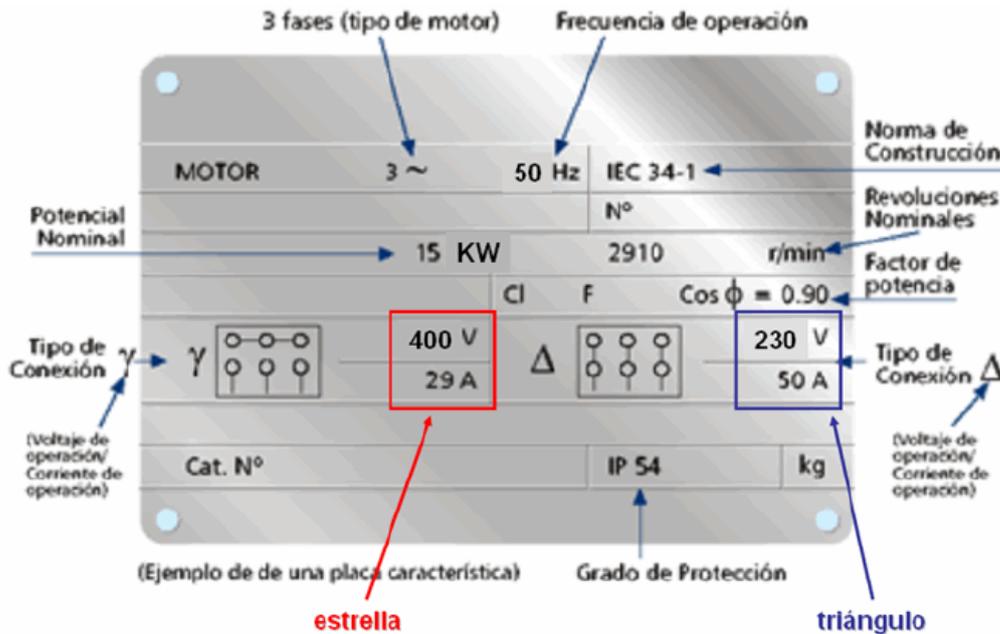
### Conexión en Estrella



### Conexión en Triángulo



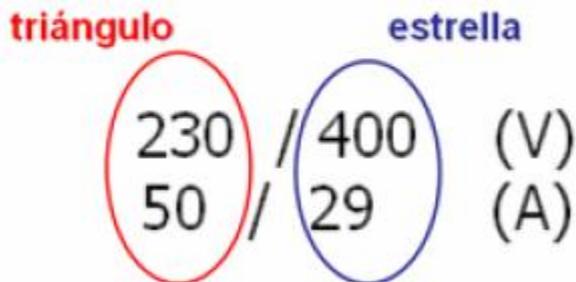
En la siguiente Fig. podemos ver la placa de características técnicas de un motor trifásico. Observa que la potencia, velocidad y frecuencia nominales son 15 (Kw), 2910 (rpm) y 50 (Hz) respectivamente. Pero ¿y la tensión y corriente nominales?





Estas magnitudes dependen de la conexión de los devanados del motor. Por un lado puedes ver que la tensión y corriente nominales son 400(V), 29 (A) en conexión estrella y 230 (V), 50 (A) en conexión triángulo. Los motores y las cargas trifásicas en general, son flexibles y pueden conectarse a redes con distinta tensión de línea, sin más que variar la conexión. En Fig. de la derecha puedes ver dibujadas ambas conexiones; observa que la tensión nominal de cada devanado es 230 (V), tanto en estrella como en triángulo y que este valor no se puede superar, sino el motor se sufrirá calentamientos excesivos.

En vista de estas características, si vamos a conectar este motor en una instalación de 400 V (de línea), debemos hacerlo en estrella y consumirá 29 (A) nominales de corriente de línea. Si posteriormente tenemos que trasladarlo a una instalación vieja de 230 V (de línea), el motor funcionará sin perder ninguna de sus prestaciones, pero debe conectarse en triángulo absorbiendo 50 (A) nominales de corriente de línea. Como en ambos casos se trata de un motor de 15 (Kw), bajo una red de menos tensión, consume más intensidad nominal (en triángulo). Normalmente en la mayoría de placas de características, la tensión y corriente nominales vienen indicadas de la siguiente forma:



Como regla general debes recordar que:

- 1.- La tensión mayor y la corriente menor corresponden a la conexión estrella.
- 2.- La tensión menor y la corriente mayor corresponden a la conexión triángulo.
- 3.- La relación entre las dos tensiones y entre las dos corrientes es  $\sqrt{3}$ :

$$230 * \sqrt{3} = 400(V)$$

$$\frac{50}{\sqrt{3}} = 29(A)$$

**!!! Cualquier carga trifásica puede conectarse a dos tensiones red, sin más que variar su conexión (estrella o triángulo). Esta característica se puede ver sobretodo en las placas de los motores trifásicos, donde se especifican dos tensiones y dos corrientes nominales!!!**



**Escuela de Educación Técnico  
Profesional N° 285 "Domingo Crespo"**  
**Modalidad Técnico Profesional -  
Equipos e instalaciones  
Electromecánicas**

HOJA: 56 DE:62

Taller de Electricidad



### Contadores:

Un contactor es un componente electromagnético que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos).

Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada". En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden.

Si bien constructivamente son similares a los relés, no son lo mismo. Su diferencia radica en la misión que cumple cada uno: ambos permiten controlar en forma manual o automática, ya sea localmente o a distancia toda clase de circuitos, pero mientras que los relés controlan corrientes de bajo valor como las de circuitos de alarmas visuales o sonoras, alimentación de contactores, etc; los contactores se utilizan como interruptores electromagnéticos en la conexión y desconexión de circuitos de iluminación y fuerza motriz de elevada tensión y potencia.

Los contactores tienen una bobina y contactos, la bobina que se acciona con una pequeña tensión ( puede ser 12, 24, 48 o 220 vol). El contactor tiene tres contactos

Por ejemplo un contactor de 24 vol lo podemos conectar con un transformador que tenga una entrada de 220 y salida de 24vol.

Ahora la función de un contactor es que con una pequeña tensión de 24 vol pueda activar tres contactor que manejan una corriente mucho mayor.

Ejemplos de uso

Tanque cisterna

Motor trifásico conexión estrella

Interruptor de muchas luces



### **Conmutación todo o nada**

La función conmutación todo o nada a menudo establece e interrumpe la alimentación de los receptores . Esta suele ser la función de los contactores electromagnéticos. En la mayoría de los casos, el control a distancia resulta imprescindible para facilitar la utilización así como la tarea del operario que suele estar alejado de los mandos de control de potencia. Como norma general, dicho control ofrece información sobre la acción desarrollada que se puede visualizar a través de los pilotos luminosos o de un segundo dispositivo. Estos circuitos eléctricos complementarios llamados "circuitos de esclavización y de señalización" se realizan mediante contactos auxiliares que se incorporan a los contactores, a los contactores auxiliares o a los relés de automatismo, o que ya están incluidos en los bloques aditivos que se montan en los contactores y los contactores auxiliares. La conmutación todo o nada también puede realizarse con relés y contactores estáticos. Del mismo modo puede integrarse en aparatos de funciones múltiples, como los disyuntores motores o los contactores disyuntores.

### **Partes de un contactor:**

#### **Carcasa**

Es el soporte fabricado en material no conductor que posee rigidez y soporta el calor no extremo, sobre el cual se fijan todos los componentes conductores al contactor. además es la presentación visual del contactor.

#### **Electroimán**

Es el elemento motor del contactor, compuesto por una serie de dispositivos, los más importantes son el circuito magnético y la bobina; su finalidad es transformar la energía eléctrica en magnetismo, generando así un campo magnético muy intenso, que provocará un movimiento mecánico.

#### **Bobina**

Es un arrollamiento de alambre de cobre muy delgado con un gran número de espiras, que al aplicársele tensión genera un campo magnético. Éste a su vez produce un campo electromagnético, superior al par resistente de los muelles, que a modo de resortes separan la armadura del núcleo, de manera que estas dos partes pueden juntarse estrechamente. Cuando una bobina se alimenta con corriente alterna la intensidad absorbida por ésta, denominada corriente de llamada, es relativamente elevada debido a que en el circuito solo se tiene la resistencia del conductor.



Taller de Electricidad

Esta corriente elevada genera un campo magnético intenso, de manera que el núcleo puede atraer a la armadura y vencer la resistencia mecánica del resorte o muelle que los mantiene separados en estado de reposo. Una vez que el circuito magnético se cierra, al juntarse el núcleo con la armadura, aumenta la impedancia de la bobina, de tal manera que la corriente de llamada se reduce, obteniendo así una corriente de mantenimiento o de trabajo más baja. Se hace referencia a las bobinas de la siguiente forma: A1 y A2.

### **Núcleo**

Es una parte metálica, de material ferromagnético, generalmente en forma de E, que va fijo en la carcasa. Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina (colocada en la columna central del núcleo), para atraer con mayor eficiencia la armadura.

### **Espira de sombra**

Se utiliza para evitar las vibraciones en un contactor. Se la coloca de tal manera que abrace parte del campo magnético de la fuerza de atracción que une el hierro fijo con el hierro móvil. Cuando se opera con corriente alterna esta fuerza de atracción desaparece debido a los ciclos de la corriente, generando que el hierro móvil se desprenda y se vuelva a pegar al hierro fijo generando vibraciones. Para evitar esto la espira de sombra desfasa en el tiempo parte del flujo magnético, lo que a su vez desfasa en el tiempo la fuerza de atracción obteniéndose 2 fuerzas que trabajan en conjunto para evitar las vibraciones. En caso de operar con corriente continua no es necesario utilizar espira de sombra debido a que en continua el flujo magnético es constante lo cual no genera vibraciones.

### **Armadura**

Elemento móvil, cuya construcción es similar a la del núcleo, pero sin espiras de sombra. Su función es cerrar el circuito magnético una vez energizadas la bobinas, ya que debe estar separado del núcleo, por acción de un muelle. Este espacio de separación se denomina cota de llamada.

Las características del muelle permiten que, tanto el cierre como la apertura del circuito magnético, se realicen de forma muy rápida, alrededor de unos 10 milisegundos. Cuando el par resistente del muelle es mayor que el par electromagnético, el núcleo no logrará atraer a la armadura o lo hará con mucha dificultad. Por el contrario, si el par resistente del muelle es demasiado débil, la separación de la armadura no se producirá con la rapidez necesaria.



## Contactos

Son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de corriente en cuanto la bobina se energice. Todo contacto está compuesto por tres conjuntos de elementos:

Dos partes fijas ubicadas en la coraza y una parte móvil colocada en la armadura para establecer o interrumpir el paso de la corriente entre las partes fijas. El contacto móvil lleva el mencionado resorte que garantiza la presión y por consiguiente la unión de las tres partes.

Contactos principales: su función es establecer o interrumpir el circuito principal, consiguiendo así que la corriente se transporte desde la red a la carga. Simbología: se referencian con una sola cifra del 1 al 6.

Contactos auxiliares: son contactos cuya función específica es permitir o interrumpir el paso de la corriente a las bobinas de los contactores o los elementos de señalización, por lo cual están dimensionados únicamente para intensidades muy pequeñas. Los tipos más comunes son:

Instantáneos: actúan tan pronto se energiza la bobina del contactor, se encargan de abrir y cerrar el circuito.

Temporizados: actúan transcurrido un tiempo determinado desde que se energiza la bobina (temporizados a la conexión) o desde que se desenergiza la bobina (temporizados a la desconexión).

De apertura lenta: el desplazamiento y la velocidad del contacto móvil es igual al de la armadura.

De apertura positiva: los contactos cerrados y abiertos no pueden coincidir cerrados en ningún momento.

En su simbología aparecen con dos cifras donde la unidad indica:

- 1 y 2, contacto normalmente cerrados, NC.
- 3 y 4, contacto normalmente abiertos, NA.
- 5 y 6, contacto NC de apertura temporizada o de protección.
- 7 y 8, contacto NA de cierre temporizado o de protección. por su parte, la cifra de las decenas indica el número de orden de cada contacto en el contactor. En un lado se indica a qué contactor pertenece.



### Relé térmico

El relé térmico es un elemento de protección que se ubica en el circuito de potencia, contra sobrecargas. Su principio de funcionamiento se basa en la deformación de ciertos elementos, bimetales, bajo el efecto de la temperatura, para accionar, cuando este alcanza ciertos valores, unos contactos auxiliares que desactiven todo el circuito y energicen al mismo tiempo un elemento de señalización.

El bimetálico está formado por dos metales de diferente coeficiente de dilatación y unidos firmemente entre sí, regularmente mediante soldadura de punto. El calor necesario para curvar o reflexionar la lámina bimetálica es producida por una resistencia, arrollada alrededor del bimetálico, que está cubierto con asbesto, a través de la cual circula la corriente que va de la red al motor.

Los bimetales comienzan a curvarse cuando la corriente sobrepasa el valor nominal para el cual han sido dimensionados, empujando una placa de fibra hasta que se produce el cambio de estado de los contactos auxiliares que lleva.

### Resorte

Es un muelle encargado de devolver los contactos a su posición de reposo una vez que cesa el campo magnético de las bobinas.

### Funcionamiento

Los contactos principales se conectan al circuito que se quiere gobernar. Asegurando el establecimiento y cortes de las corrientes principales y según el número de vías de paso de corriente podrá ser bipolar, tripolar, tetrapolar, etc. realizándose las maniobras simultáneamente en todas las vías.

Los contactos auxiliares son de dos clases: abiertos, NA, y cerrados, NC. Estos forman parte del circuito auxiliar del contactor y aseguran las autoalimentaciones, los mandos, enclavamientos de contactos y señalizaciones en los equipos de automatismo.

Cuando la bobina del contactor queda excitada por la circulación de la corriente, esta mueve el núcleo en su interior y arrastra los contactos principales y auxiliares, estableciendo a través de los polos, el circuito entre la red y el receptor. Este arrastre o desplazamiento puede ser:

Por rotación, pivote sobre su eje.



**Escuela de Educación Técnico  
Profesional N° 285 "Domingo Crespo"**  
**Modalidad Técnico Profesional -  
Equipos e instalaciones  
Electromecánicas**

HOJA: 62 DE:62

Taller de Electricidad

- Por traslación, deslizándose paralelamente a las partes fijas.
- Combinación de movimientos, rotación y traslación.
- Cuando la bobina deja de ser alimentada, abre los contactos por efecto del resorte de presión de los polos y del resorte de retorno de la armadura móvil. Si se debe gobernar desde diferentes puntos, los pulsadores de marcha se conectan en paralelo y el de parada en serie.