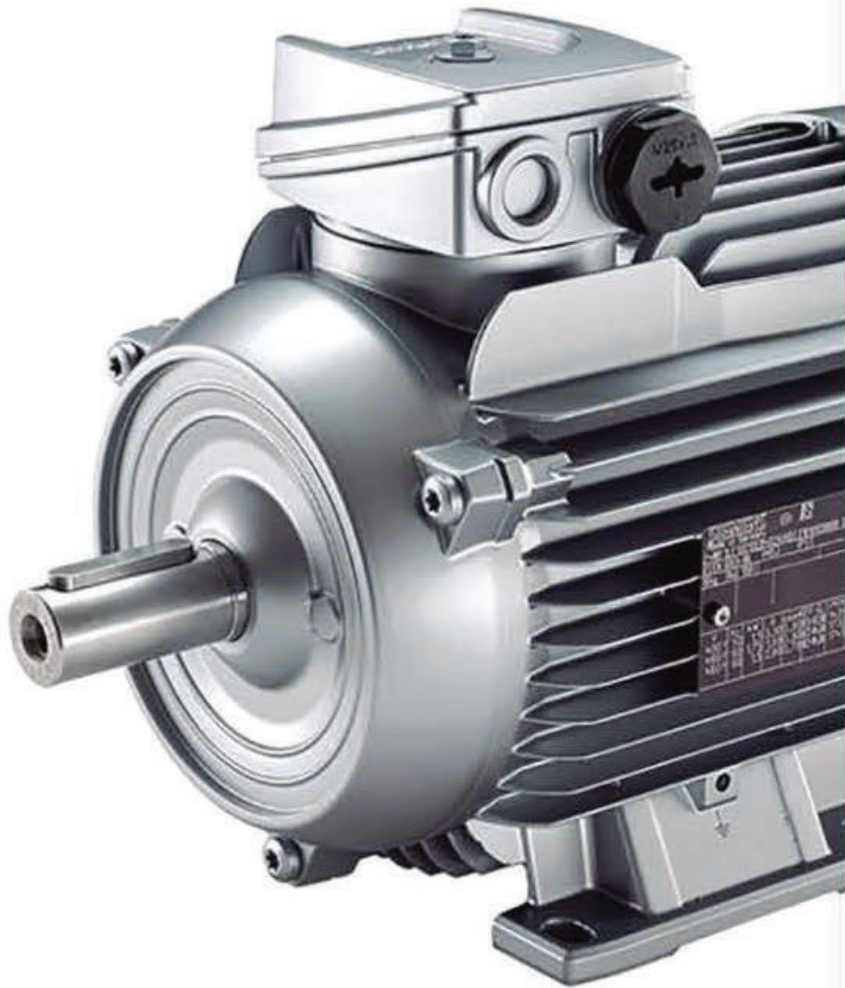


El motor eléctrico



El motor eléctrico es la máquina eléctrica más importante en el ámbito de la producción industrial.

Existe una gran diversidad de motores eléctricos pero a lo largo de esta unidad nos centraremos en los motores de mayor importancia, tanto para entender cómo se crearon y han evolucionado como los que se emplean en la mayoría de las aplicaciones actuales: los motores de corriente alterna de inducción y los motores de corriente continua. No obstante, cabe recordar la existencia de otros tipos de máquinas eléctricas

5

Contenidos

- 5.1. Las máquinas eléctricas
- 5.2. El motor de corriente alterna trifásico
- 5.3. El motor monofásico de corriente alterna
- 5.4. El motor de corriente continua
- 5.5. El motor universal
- 5.6. Las medidas eléctricas en los motores
- 5.7. El mantenimiento y las averías en los motores

Objetivos

- Conocer los diferentes tipos de máquinas eléctricas.
- Saber cómo funcionan y cuáles son los principios físicos para la generación de movimiento mediante el fenómeno del electromagnetismo.
- Conocer los parámetros físicos relacionados con los motores.
- Conocer los diferentes tipos de servicio a la hora de seleccionar un motor.
- Saber las partes que componen un motor eléctrico.
- Aprender la simbología para la representación gráfica de los motores eléctricos.
- Conocer los datos que se proporcionan en la placa de características.
- Saber el principio de funcionamiento y características de los motores monofásicos.
- Saber realizar las medidas más importantes sobre los motores para tareas de mantenimiento.
- Conocer las tareas de mantenimiento y averías en los motores eléctricos.

5.1. Las máquinas eléctricas

Una **máquina eléctrica** es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica (motor) o genera energía eléctrica (generador). Esta generación puede ser incluso desde la propia energía eléctrica (transformador).

El invento y el desarrollo de las máquinas eléctricas han posibilitado un gran avance en la sociedad moderna, desde el disponer de electricidad en las viviendas e industrias hasta disponer de la mayoría de máquinas actuales tanto industriales (máquinas herramientas, grúas, cintas transportadoras, etc.) hasta electrodomésticos (frigoríficos, aire acondicionado, lavadoras, etc.).

5.1.1. Clasificación de las máquinas eléctricas

Existen dos grupos de máquinas eléctricas:

Tabla 5.1. Tipos de máquinas eléctricas.

• Estáticas → Transformador	Transforma la electricidad
• Dinámicas { Generador Motor	Genera electricidad Genera movimiento

Tabla 5.2. Tipos de motores eléctricos.

Motores de corriente alterna	Inducción (asíncronos)	Trifásico	Rotor en cortocircuito o de jaula de ardilla Rotor bobinado o de anillos rozantes
		Monofásico	Fase partida Con condensador Espira de sombra
Motores de corriente continua	Autoexcitación	Excitación independiente	
		Excitación serie	
		Excitación <i>shunt</i>	
		Excitación <i>compound</i>	
Motores universales			
Otros motores (paso a paso, lineales, etc.)			

Si nos centramos en los motores, un **motor eléctrico** es una máquina que transforma la energía eléctrica en movimiento (energía cinética).

5.1.2. Clasificación de los motores eléctricos

Existe una gran diversidad de motores eléctricos. Realizando una clasificación esquemática de modo general, se tienen las máquinas de la Tabla 5.2.

NOTA TÉCNICA

A pesar de haber una gran diversidad de motores, los más utilizados son: en trifásica, el motor asíncrono de rotor en jaula de ardilla, y en monofásica, el motor con condensador.

5.1.3. Fundamentos de las máquinas eléctricas

En un campo magnético, los polos opuestos se atraen y los de igual signo se repelen.

El funcionamiento del motor eléctrico se basa en utilizar las propiedades del campo magnético, bien empleando imanes permanentes o bien electroimanes. Estas propieda-

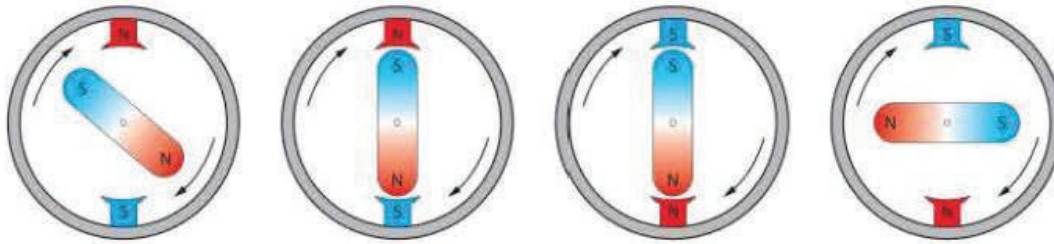


Figura 5.1. Efecto de las fuerzas de atracción-repulsión.

des crean unas fuerzas de atracción-repulsión con las cuales se puede crear un movimiento de rotación sobre un eje.

Las máquinas eléctricas se basan en los experimentos de Faraday (1831) sobre la inducción electromagnética. La inducción electromagnética es la producción de energía eléctrica por campos magnéticos variables.

Estos experimentos demostraron que si un conductor eléctrico se mueve dentro de un campo magnético, se inducen unas corrientes eléctricas en el conductor.

A partir de aquí se observa la interacción entre los fenómenos de campos eléctricos con los campos magnéticos creando el concepto de electromagnetismo, que dará lugar al nacimiento de las máquinas eléctricas, tanto el transformador como los motores y generadores.

El generador eléctrico actúa a la inversa del motor. Al mover el eje, el campo magnético del rotor induce una corriente eléctrica en el estator, produciendo electricidad.

En el caso del transformador, este cuenta con dos devanados: uno primario y el otro secundario. Al hacer circular una corriente eléctrica alterna por el primario, induce una corriente eléctrica en el bobinado secundario transformando la electricidad en valor de tensión y corriente, en función de las características de esos campos (número de espiras, etc.).

5.1.4. El par de fuerza

Para que un eje gire, es necesario que existan dos fuerzas paralelas que actúen en sentido contrario. A esta fuerza de giro se le denomina par.

El par es una magnitud que relaciona una fuerza aplicada a una distancia. Es por ello que el par es una fuerza rotacional. Esta relación viene dada por la expresión:

$$M = F \times d$$

Siendo:

M : par (N × m, newton metro)

F : fuerza (N, newton)

d : distancia (m, metro)

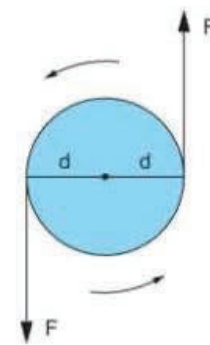


Figura 5.2. Par de fuerza.

El par también está relacionado con la potencia y con la velocidad de giro angular del eje, mediante la expresión:

$$P = M \times \omega \quad M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{\frac{2\pi}{60} \times n}$$

Donde:

P : potencia (W)

M : par (N × m)

n : velocidad angular (rpm)

Un motor por sí solo no tiene sentido, todo motor lleva acoplada una carga para realizar un trabajo. En esta carga aparece un par, llamado **par resistente**, que se opone al movimiento del eje del motor. Por ello, para que el motor mueva la carga, el **par motor debe ser superior al par resistente**, en caso contrario el motor no podrá mover esta carga.

5.1.5. El factor de potencia

Un motor eléctrico de corriente alterna consume dos tipos de potencias. Por un lado, la potencia activa que se convierte en trabajo mecánico, y por otro lado, la potencia reactiva que se emplea en los campos magnéticos necesarios para que el motor gire.

A la suma vectorial de ambas potencias se llama potencia aparente.

P : potencia activa (W, vatios)

Q : potencia reactiva (VAR, voltio amperios reactivos)

S : potencia aparente (VA, voltio amperios)

FP: $\cos \phi$ factor de potencia

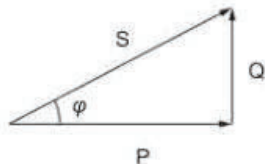


Figura 5.3. Triángulo de potencias.

A la relación o cociente entre la potencia activa y la potencia aparente se le denomina factor de potencia y se simboliza por $\cos \phi$. Este ángulo (ϕ) es el que aparece en el triángulo de potencias, e indica el desfase entre la corriente y la tensión.

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

El factor de potencia oscila entre 0,7 y 0,9 siendo más pequeño para motores de baja potencia y alto para motores de alta potencia.

Como la potencia reactiva es una potencia que no genera trabajo mecánico interesa que el factor de potencia sea lo más alto posible (el valor máximo es 1). Es decir, que el valor de la potencia reactiva sea lo más bajo posible.

Una forma de compensar esta potencia reactiva es añadir junto al motor unos condensadores que lleven el valor del factor de potencia próximo a la unidad pero sin sobrepasarlo.



RECUERDA

Al mejorar el factor de potencia, se consigue menos calentamiento, secciones de cables menores y una reducción en la factura eléctrica, mejorando los costes económicos de la explotación.

5.1.6. La potencia de un motor eléctrico

La potencia de un motor es la fuerza que genera para mover una determinada carga a una velocidad.

La potencia se mide en kilovatios [kW], aunque también en caballos de vapor (CV) y en caballo de potencia (HP).

Las equivalencias son:

1 CV \approx 736 W

1 HP \approx 746 W

Así, un motor de 2 CV se puede expresar como:

$$P = 2 \text{ CV} \times 736 \text{ W/CV} = 1.472 \text{ W}$$

La potencia mecánica no se corresponde con la potencia eléctrica, es decir, la potencia absorbida de la red eléctrica no es la misma que la potencia generada en el eje del motor. Cuando se indica la potencia de un motor, esta se refiere a la potencia mecánica disponible en el eje del motor. Para conocer la potencia eléctrica consumida por el motor, se debe aplicar un coeficiente de eficiencia o rendimiento (η).



RECUERDA

Todas las máquinas tienen unas pérdidas energéticas durante su funcionamiento (por rozamiento, calor, etc.), por ello su rendimiento siempre es menor del 100 %.

El rendimiento se aplica en tanto por uno, pero se expresa en %.

$$\eta = \frac{\text{Potencia}_{\text{útil}}}{\text{Potencia}_{\text{absorbida}}} \quad \eta \text{ se expresa en \%}$$

Siguiendo con el ejemplo, ese motor de 2 CV si tiene un rendimiento del 86,59 %, consume una potencia eléctrica de:

$$P_{\text{absorbida}} = \frac{P_{\text{útil}}}{\eta} = \frac{1.472 \text{ W}}{0,8659} = 1.700 \text{ W} = 1,7 \text{ kW}$$

El rendimiento de un motor eléctrico varía con la carga, por ello los fabricantes de motores proporcionan los datos de rendimiento para diferentes regímenes de carga, normalmente para $\frac{1}{2}$ carga, $\frac{3}{4}$ de carga y a plena carga.

Tabla 5.3. Rendimiento de un motor trifásico asincrónico según su fabricante.

Potencia (kW)	Rendimiento		
	$\frac{1}{2}$ carga (50 %)	$\frac{3}{4}$ de carga (75 %)	A plena carga (100 %)
0,75	77,3	80,7	81,0
1,5	84,7	85,6	84,3
2,2	83,4	85,1	85,9
4	87,3	87,7	86,8

La potencia de un motor se puede calcular según las fórmulas:

Para un motor de corriente continua

$$P = V \times I$$

Para un motor monofásico

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

Para un motor trifásico

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Siendo:

P : potencia (W)

V : tensión (V)

I : intensidad (A)

$\cos \varphi$: factor de potencia

Actividad resuelta 5.1

Se desea conocer la potencia de un motor trifásico que está conectado a una red eléctrica de 400 V cuyo factor de potencia es de 0,86 si la corriente es de 9,23 A.

Solución:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi = \sqrt{3} \times 400 \times 9,23 \times 0,86 = 5.500 \text{ W} = 5,5 \text{ kW}$$

5.1.7. Las pérdidas en un motor eléctrico

Como no toda la electricidad se aprovecha en generar movimiento, existen por tanto una serie de pérdidas en el balance energético. Estas pérdidas que dan lugar a un rendimiento inferior del 100 % son de los siguientes tipos:

- **Pérdidas mecánicas.** Son las pérdidas que se producen debido al movimiento, principalmente por fricción y ventilación. Se deben a los rozamientos de los rodamientos del eje y de otras partes móviles (por ejemplo, escobillas). También, al generar el movimiento del aire para refrigerar el motor produce unas pérdidas.
- **Pérdidas eléctricas.** También llamadas pérdidas en el cobre. Son las que se producen por el hecho de circular una corriente eléctrica por un conductor, lo que produce un calentamiento (efecto Joule).
- **Pérdidas magnéticas.** También llamadas pérdidas en el hierro. Son las que se producen en las variaciones

del campo magnético. Estas pérdidas se deben por la histéresis y corriente de Foucault. Para reducir estas pérdidas, el núcleo se fabrica mediante chapas aisladas entre sí, en vez de ser macizo.

$$\eta = \frac{P_a - P_p}{P_a} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{absorbida}}}$$

Donde:

η : rendimiento

P_a : potencia absorbida

P_p : potencia perdida

P_u : potencia útil

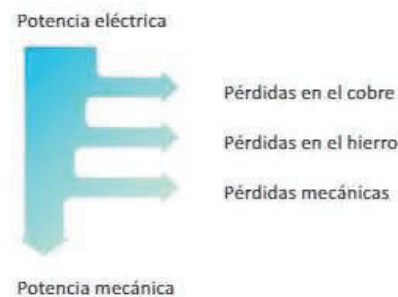


Figura 5.4. Balance energético.

El rendimiento es un valor que se expresa en %. Oscila entre 0 y 1. Cuanto más próximo está a 1, más eficiente y menos pérdidas tiene ese motor.

Actividad resuelta 5.2

Un motor absorbe una potencia de la red eléctrica de 3.800 W y desarrolla una potencia de 3.500 W. ¿Cuáles son sus pérdidas?

Solución:

$$P_p = P_a - P_u = 3.800 \text{ W} - 3.500 \text{ W} = 300 \text{ W}$$

5.1.8. Tipos de servicio

Los tipos de servicio indican el modo de trabajo del motor y su capacidad de entrar en equilibrio térmico. Hay que tener en cuenta que durante el proceso de arranque se produce un sobrecalentamiento transitorio, el cual debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar el motor.

Los tipos de servicio se indican con unos códigos que van desde el S1 a S9.

Tabla 5.4. Tipos de servicios de funcionamiento de motores.

Tipo	Denominación	Observaciones
S1	Servicio en funcionamiento continuo.	Se alcanza el equilibrio térmico.
S2	Servicio de corta duración.	Durante el funcionamiento no se alcanza el equilibrio térmico pero durante el reposo sí.
S3	Servicio intermitente.	El ciclo es tan corto que no se alcanza el equilibrio térmico. El motor pasa a reposo por la carga o frenado mecánico.
S4	Servicio intermitente con arranque.	Consta de un periodo de arranque significativo.
S5	Servicio intermitente con arranque y frenado eléctrico.	Incluye frenado eléctrico, por ejemplo a contracorriente.
S6	Servicio periódico con funcionamiento ininterrumpido.	Alterna funcionamiento con carga y sin carga.
S7	Servicio periódico con funcionamiento continuo con frenado eléctrico.	Ciclos con arranque, funcionamiento con carga constante y frenado, por ejemplo a contracorriente.
S8	Servicio periódico ininterrumpido con variaciones de carga y velocidad.	Ciclos sin reposo con variaciones de carga y velocidad, por ejemplo, motores de polos conmutables.
S9	Servicio con variaciones no periódicas de carga y velocidad.	Se presentan sobrecargas.

5.2. El motor de corriente alterna trifásico

Los motores de corriente alterna son los más utilizados en la actualidad, debido sobre todo a la facilidad de disponer de corriente eléctrica de esa naturaleza, siendo además robustos, fiables y de bajo coste.

5.2.1. Tipos de motores de corriente alterna

En corriente alterna existen principalmente dos tipos de motores: los motores síncronos y los motores asíncronos.

Los **motores síncronos** giran siempre a la misma velocidad, llamada velocidad de sincronismo. Esta velocidad vendrá determinada por las características constructivas de la máquina y por la frecuencia de la red eléctrica de alimentación del motor, según la expresión:

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

Donde:

n : velocidad de sincronismo (rpm, revoluciones por minuto)

f : frecuencia de la red eléctrica (Hz, hercios)

p : número de pares de polos



Figura 5.5. Diversos motores de corriente alterna trifásica.

Así, una máquina con un par de polos, a una frecuencia de 50 Hz, gira a:

$$n = \frac{60 \times f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 3.000 \text{ rpm}$$

La principal ventaja del motor síncrono es que posee una velocidad de giro constante, pero su mayor inconveniente es que si la carga aumenta, el motor pierde velocidad, lo que se traduce en una pérdida en la sincronización de giro, y por consecuencia, el motor se para.

Estos inconvenientes hacen que el motor síncrono se emplee solo en casos concretos.

Los **motores asíncronos** no poseen una velocidad constante de giro. La velocidad de giro del rotor es diferente a la velocidad de sincronismo

Esta diferencia de velocidades se denomina **deslizamiento**. Esta magnitud se aplica en tanto por uno pero se expresa en %.

$$S = \frac{n_{\text{sincronismo}} - n_{\text{rotor}}}{n_{\text{sincronismo}}} = \frac{n - n_1}{n}$$

Donde:

s : deslizamiento

n_1 : velocidad de giro del rotor (revoluciones por minuto)

n : velocidad de sincronismo (revoluciones por minuto)

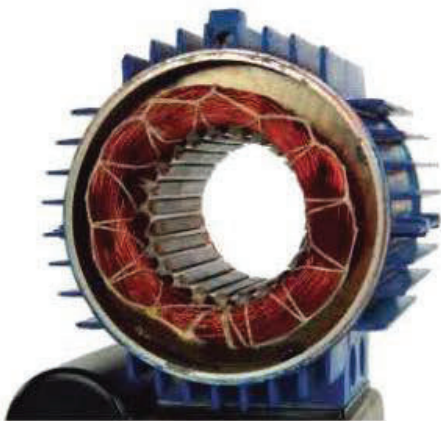


Figura 5.6. Estator.

Los motores asíncronos son ampliamente utilizados en la industria, principalmente por su robustez, bajo coste, facilidad de mantenimiento y facilidad de uso. Como inconveniente poseen un bajo par de arranque.

Según como esté construido el rotor, se encuentran dos tipos de máquinas:

- **De rotor en cortocircuito o en jaula de ardilla.** El devanado está formado por unas barras unidas entre sí por los extremos por medio de unos anillos.
- **De rotor bobinado o anillos rozantes.** Los extremos de los devanados se conectan al exterior a través de unos anillos llamados colector mediante unas escobillas.

5.2.2. Partes de un motor eléctrico de corriente alterna trifásico

Un motor eléctrico se compone de las siguientes partes:

- **Estator.** Es la parte fija de la máquina. En los bobinados del estator es donde se crea el campo magnético giratorio. Este bobinado está arrollado sobre unas placas de material magnético.
- **Rotor.** Es la parte móvil de la máquina que gira sobre su eje. Este rotor puede ser de tipo jaula de ardilla o de rotor bobinado.
- **Entrehierro.** Es la separación física entre el estator y el rotor. Al tener una parte móvil y una parte fija, debe haber una separación entre ambas ya que de lo contrario habría un rozamiento. Este entrehierro debe ser lo menor posible.
- **Caja de conexiones.** Es una caja fácilmente accesible desde el exterior en cuyo interior se encuentran los terminales de conexión eléctrica.
- **Terminales de conexión eléctrica.** Es la unión física entre la red eléctrica y los bobinados del motor. El número de terminales varía en función de la máquina eléctrica, siendo lo habitual de seis bornes (dos por cada bobinado). Además, contará con un borne de protección para la puesta a tierra.



RECUERDA

Cuando conectes un motor eléctrico, no te olvides de conectar el cable de puesta a tierra.

- **Eje.** Es la parte visible del movimiento giratorio de la máquina y va ligado al rotor. Sobre este eje se encuentran las siguientes partes: ventilador, chaveta y rodamientos.
- **Rodamientos.** Son los puntos de apoyo del eje y permiten su giro libremente. Cada máquina consta de dos rodamientos.
- **Ventilador.** Para ayudar a refrigerar la parte interna del motor, se aprovecha el movimiento del eje para añadirle una serie de aletas de plástico y así crear una circulación de aire.

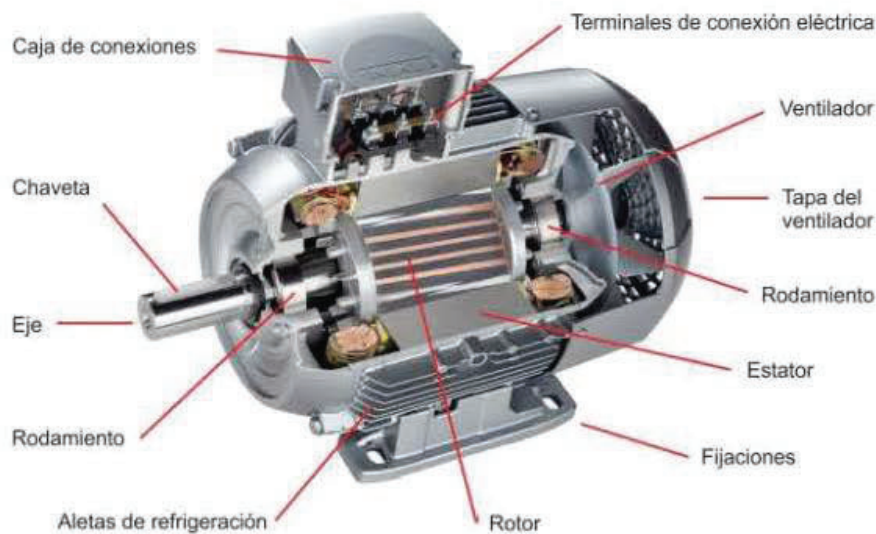


Figura 5.7. Partes de un motor eléctrico asincrónico de rotor en jaula de ardilla.

- **Tapa del ventilador.** Tiene la función de cubrir y proteger al ventilador.
- **Chaveta.** Es un saliente de forma rectangular en el eje que facilita el acople de la carga que debe mover el motor.
- **Carcasa.** Es la envolvente de la máquina eléctrica. Sobre su exterior, se encuentran las fijaciones, las aletas de refrigeración, así como la placa de características.
- **Fijaciones.** Son una serie de puntos fuertes de unión que realizan la función de anclaje entre la máquina y su lugar de instalación.
- **Aletas de refrigeración.** Tienen como objetivo aumentar la superficie para ayudar a disipar el calor generado en su interior.
- **Placa de características.** Es la placa en la cual se recogen los datos más importantes del motor, tales como: la marca, la potencia, la tensión, etc.

5.2.3. Funcionamiento de los motores de corriente alterna

En el **motor síncrono**, se hace girar el campo magnético exterior, produciéndose que el imán interior persiga a este campo (Figura 5.8). Ambos girarán a la misma velocidad.

El campo magnético interior (del rotor) se consigue mediante electroimán, por ello este rotor es bobinado y para acceder a este bobinado se necesita de unas escobillas y de unos anillos (Figura 5.9).

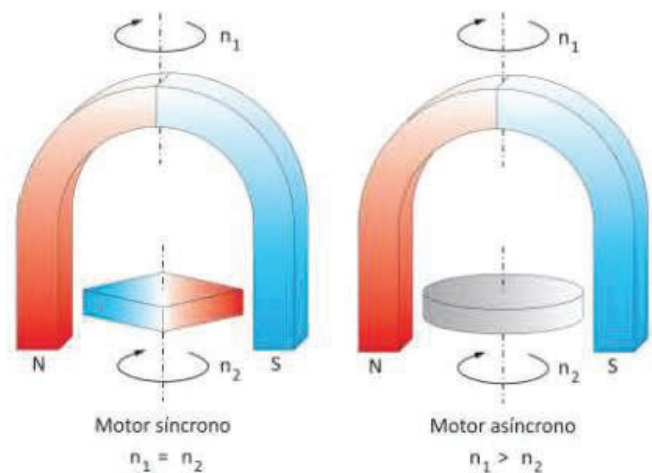


Figura 5.8. Funcionamiento básico de los motores de alterna.

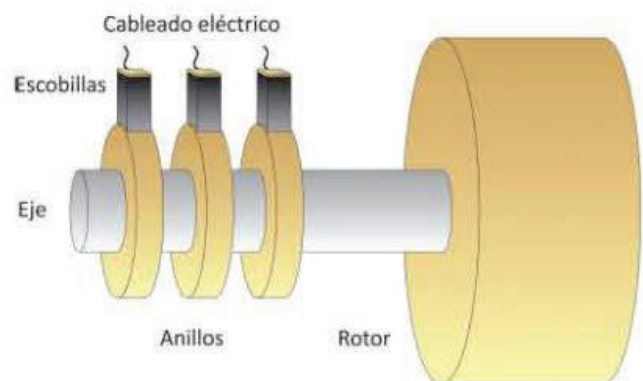


Figura 5.9. Escobillas y anillos rozantes.

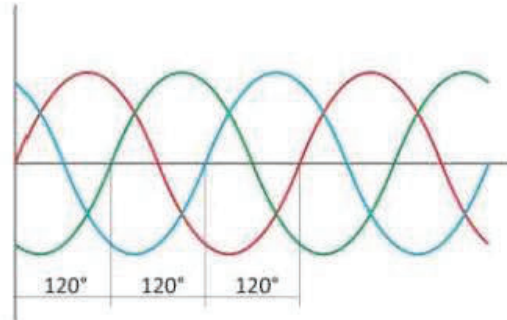
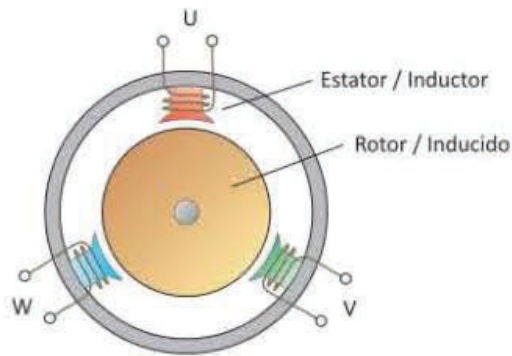


Figura 5.10. Desfases en el bobinado.

El funcionamiento del motor de corriente alterna asíncrono, también llamado de inducción, está basado en los experimentos del ingeniero eléctrico italiano Galileo Ferraris (1885) sobre el campo magnético giratorio y que posteriormente Nicola Tesla y Dobrowolsky desarrollarían.

En el motor asíncrono o de inducción, se hace girar el campo magnético alrededor de un disco o una masa metálica, produciéndose que el disco gire en el mismo sentido pero a una velocidad ligeramente inferior (Figura 5.8).

Al girar el campo magnético, se inducen unas corrientes eléctricas en el disco que crearán otro campo magnético que se opondrá a las variaciones del campo inicial (ley de Lenz), dando como resultado el movimiento del disco.

RECUERDA

La ley de Lenz dice que "El sentido de la corriente inducida es tal que su flujo se opone a la causa que lo originó". La polaridad del voltaje inducido crea una corriente eléctrica cuyo campo magnético se opone a las variaciones de flujo.

El método para crear el campo magnético giratorio trifásico, que actúa como inductor, consiste en colocar tres bobinas desfasadas 120° por las que circula una corriente alterna. La corriente alterna se caracteriza porque sus valores cambian cíclicamente obteniendo valores positivos y negativos.

Curiosidad

Realmente, el bobinado de los motores se realiza sobre todo el perímetro del motor con unas secuencias determinadas en su cableado, pero eléctricamente siguen manteniendo ese ángulo de 120°.

5.2.4. Simbología

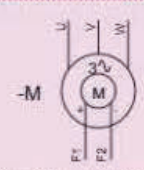
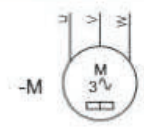
La simbología eléctrica que representa a los motores asíncronos de corriente trifásica es la siguiente:

Tabla 5.5. Representación gráfica del motor trifásico asíncrono.

Elemento	Símbolo
Motor trifásico asíncrono con rotor en cortocircuito o jaula de ardilla. Sin representación de toma de tierra.	
Motor trifásico asíncrono con rotor en cortocircuito o jaula de ardilla. Con representación de toma de tierra.	
Motor trifásico asíncrono con rotor en cortocircuito y sonda de temperatura.	
Motor trifásico asíncrono con rotor en cortocircuito, con todos sus bornes.	
Motor trifásico asíncrono de rotor bobinado.	

Y para los motores trifásicos síncronos es la siguiente:

Tabla 5.6. Representación gráfica del motor trifásico síncrono.

Elemento	Símbolo
Motor trifásico síncrono con rotor de excitación independiente.	
Motor trifásico síncrono de rotor de imán permanente.	

El símbolo del motor trifásico de corriente alterna se identifica con la letra M.

5.2.5. La conexión eléctrica de un motor trifásico asíncrono

Un motor eléctrico trifásico asíncrono está constituido internamente por tres devanados, si cada devanado tiene dos bornes, tendremos un total de seis bornes o conexiones eléctricas.

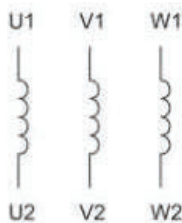


Figura 5.11. Devanados del motor.

Los devanados se llaman U, V y W, seguidos del número 1 o el 2 para indicar el extremo. El extremo 1 (U1, V1 y W1) se conectará a la red eléctrica y el extremo 2 (U2, V2 y W2) se puede conectar de dos formas distintas, según el tipo de motor y la tensión de la red eléctrica.

Un motor trifásico puede funcionar bajo dos valores de tensión eléctrica. A la hora de configurar este motor trifásico se debe tener en cuenta la tensión de la red eléctrica y cómo se realizan las conexiones en los bobinados del motor. Las conexiones son: **conexión en estrella** y **conexión en triángulo**.

En la **conexión en estrella**, los devanados se unen entre sí en un mismo punto y se alimenta por el extremo opuesto.

La tensión a la cual está sometida cada bobina (tensión de línea V_L) no es la misma que la tensión de alimentación (tensión de fase V_F). Su relación es:

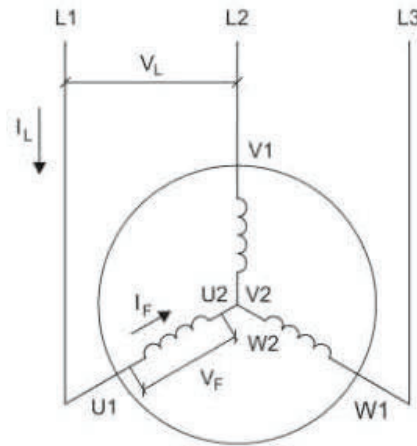


Figura 5.12. Conexión en estrella.

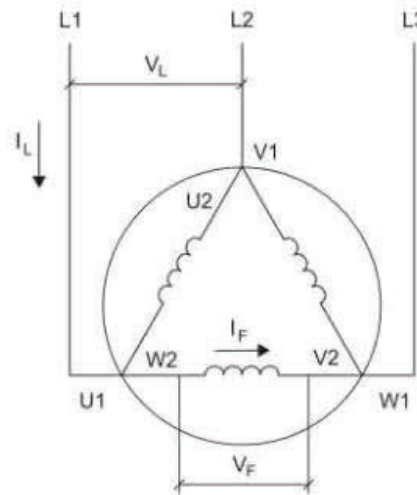


Figura 5.13. Conexión en triángulo.

Por ello, a una $V_L = 400$ V le corresponde una V_F de:

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ V}$$

La corriente que circula por cada fase (I_L) es la misma que circula por cada devanado (I_F).

$$I_L = I_F$$

En la **conexión en triángulo**, el extremo de un devanado (punto 2) se conecta con el siguiente (punto 1).

La tensión a la cual está sometida cada bobina (tensión de línea V_L) es la misma que la tensión de alimentación (tensión de fase V_F).

$$V_L = V_F$$

Pero sus corrientes son diferentes, según la relación:

$$I_L = \sqrt{3} \times I_F$$

Por tanto, un motor trifásico cuya tensión nominal sea 230/400 V se puede conectar a una red trifásica de 230 V de tensión entre fases si se conecta el motor en triángulo y a una red trifásica de 400 V entre fases si se conecta en estrella.

La forma de conectar el motor en la configuración de estrella o en triángulo se puede realizar en la misma caja de bornes que posee el motor o bien en el exterior del motor.

Con el fin de facilitar la conexión dentro de la misma caja de conexiones del motor, los terminales de los bobinados están dispuestos de tal forma que mediante unas plaquitas de conexión eléctrica es posible realizar dicha configuración de estrella y triángulo. Para ello, la disposición de las bobinas no está en línea recta sino que está desplazada. La separación de los tornillos de fijación es tal que las placas se pueden conectar tanto en horizontal (estrella) como en vertical (triángulo).

Para la conexión en estrella, todos los bornes se unen en un punto, por ello se conectarán uniéndose entre sí.

Para la conexión en triángulo, basta con cambiar la posición de las plaquitas y se unirán con las líneas de alimentación del motor. Al estar desplazados los bobinados se consigue la conexión correcta.



Figura 5.14. Caja de conexiones de un motor trifásico.

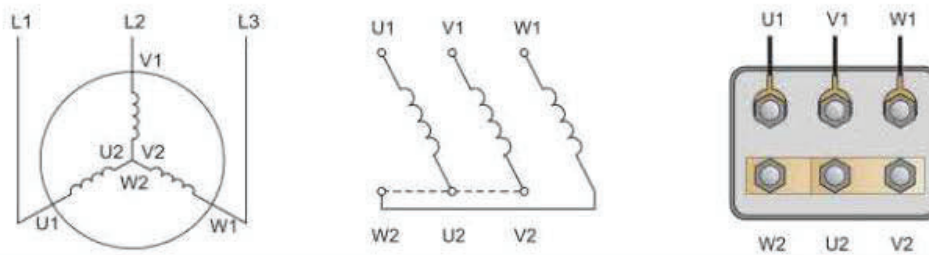


Figura 5.15. Conexión en estrella.

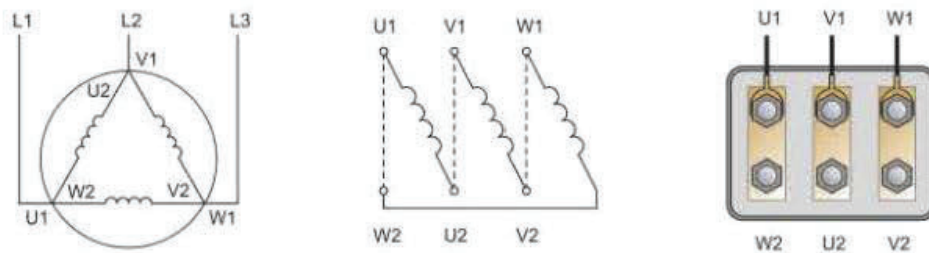


Figura 5.16. Conexión en triángulo.

5.2.6. La placa de características

La placa de características es un elemento que el fabricante de motores instala y que recopila los datos más importantes sobre el motor. Entre ellos se encuentra los datos para funcionar en las redes eléctricas de 50 Hz y de 60 Hz. Así mismo, indica los datos de índole eléctrica tales como: tensión (según su configuración: estrella y triángulo), corriente, potencia, factor de potencia, velocidad de giro en rpm; datos constructivos tales como: peso, forma, tamaño; y datos de carácter administrativo como: marca, modelo, normativas que cumple, siglas de marcado u homologaciones.

RECUERDA

El diseño de las placas características de motores no está normalizado y cada fabricante tiene sus propios modelos, pero en todos aparecen al menos los datos de índole eléctrica (tensión, potencia, corriente y velocidad).

5.2.7. Las formas constructivas

Las formas constructivas de un motor definen cómo va a ser fijado el motor respecto a la carga. Esta disposición está normalizada, siendo las de uso más común las indicadas en la Figura 5.18.

NOTA TÉCNICA

Las formas constructivas aparecen recogidas en la norma UNE-EN 60034-7.

5.2.8. Las clases de aislamiento

El dieléctrico o aislante de los motores, con el uso y el tiempo de funcionamiento de la máquina, va perdiendo facultades, degradándose y perdiendo paulatinamente su capacidad aislante. La temperatura es un valor determinante de la vida del aislante. A mayor temperatura mayor degradación.

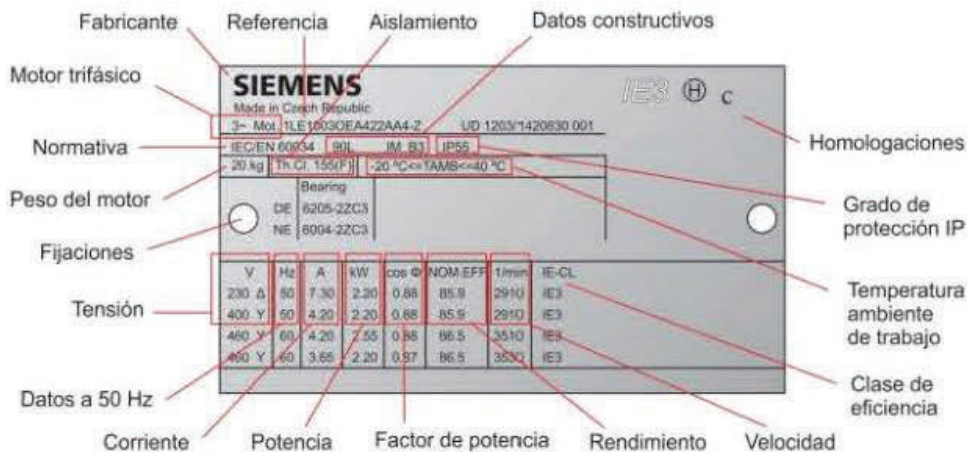


Figura 5.17. La placa de características.

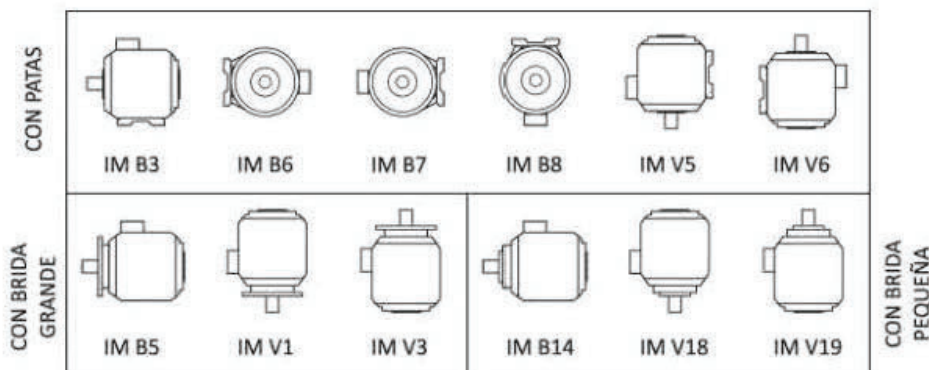


Figura 5.18. Formas constructivas de motores eléctricos.

De este hecho se observa la importancia de que un motor no trabaje con sobrecarga, ya que todo sobreesfuerzo se traduce en un aumento de la temperatura.

Cada material aislante tiene un límite de temperatura de funcionamiento que no debe superarse. Por ello, los materiales aislantes se clasifican por medio de una letra que indica esta temperatura máxima.

La clase de aislamiento define la temperatura límite de trabajo de los materiales aislantes que se utilizan en los devanados de la máquina eléctrica.

Tabla 5.7. Las clases de aislamiento.

Clase de aislamiento	A	E	B	F	H
Temperatura límite	105 °C	120 °C	130 °C	155 °C	180 °C

Aunque más que la temperatura máxima, lo interesante es indicar la sobret temperatura como valor por encima de la temperatura ambiente (40 °C).

5.3. El motor monofásico de corriente alterna

El motor monofásico de corriente alterna se basa en una simplificación del motor trifásico. Este motor está pensado para ser utilizado en aquellas redes eléctricas de tipo monofásico como son las de ámbito doméstico y servicios, dejando los motores trifásicos para el ámbito industrial.

Estos motores, a igual potencia, son más voluminosos, menos eficientes y con mayor índice de vibración que los de origen trifásico.

La gran mayoría de ellos son de tipo de rotor en jaula de ardilla o rotor en cortocircuito, con potencias de hasta 1 kW. Se emplean habitualmente en electrodomésticos, sistemas de ventilación y aire acondicionado, bombas, y máquinas herramientas, y en todos los casos de pequeña potencia.

El problema que tienen los motores monofásicos es que por sí solos no pueden arrancar al contar con solo una fase, pero una vez arrancados no tienen ningún problema y mantienen su régimen de giro.

Es por ello que se necesita de algún sistema que genere e inicie el arranque. Todos los sistemas para generar el arranque se basan en provocar un desequilibrio en los campos magnéticos.

5.3.1. El motor monofásico de arranque por condensador

Este motor cuenta con dos bobinados; uno principal y otro auxiliar. El bobinado auxiliar solo sirve para el proceso de arranque y una vez arrancado se desconecta.

Estos dos bobinados están desfasados eléctricamente 90° y son alimentados por la misma fase eléctrica pero se les hace pasar por un condensador. El condensador, en corriente alterna, provoca un desfase entre la tensión y la corriente y este efecto es el desencadenante para provocar el arranque del motor.

El rotor de estas máquinas es de tipo jaula de ardilla.

Se puede considerar que el motor es bifásico en el momento del arranque. Internamente cuenta con un interruptor centrífugo de tal manera que cuando está parado el interruptor está cerrado y una vez arranca, por medio de fuerzas centrífugas, provoca la apertura de este interruptor. Este punto suele ocurrir cuando la máquina alcanza aproximadamente el 75-80 % de la velocidad de sincronismo. En este punto, el comportamiento del motor es enteramente monofásico.

La estructura interna de este tipo de motores se muestra en la Figura 5.19.

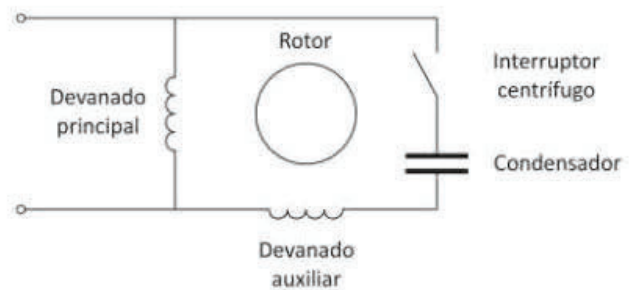


Figura 5.19. Circuito equivalente de un motor monofásico con condensador.

Existen algunas variantes en este tipo de motor en las cuales el condensador no se desconecta y permanece conectado mientras la máquina funciona, e incluso existen motores con dos condensadores, uno de los cuales permanece conectado y el otro se desconecta al arrancar.

5.3.2. El motor monofásico de fase partida

El motor monofásico de fase partida consta de dos devanados eléctricos desfasados 90° entre sí. El devanado principal consta de una alta reactancia y baja resistencia, en cambio el devanado auxiliar presenta una baja reactancia y alta resistencia, en comparación entre ellos. De esta manera se crea un pequeño desfase en el momento del arranque. Este motor

también cuenta con un interruptor centrífugo el cual una vez arrancada la máquina desconecta este devanado auxiliar.

El rotor de estas máquinas es de tipo jaula de ardilla.

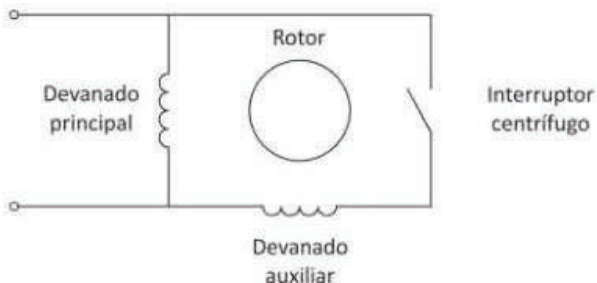


Figura 5.20. Circuito equivalente de un motor de fase partida.

Este tipo de máquina no se emplea mucho, puesto que cuenta con el inconveniente de su bajo par de arranque.

Una modificación con el objeto de aumentar el desfase y el par consiste en combinar este devanado auxiliar con un condensador.

5.3.3. El motor monofásico con espira de sombra

Como el motor monofásico no puede arrancar por sí solo, este tipo de motor cuenta con una pequeña espira cortocircuitada

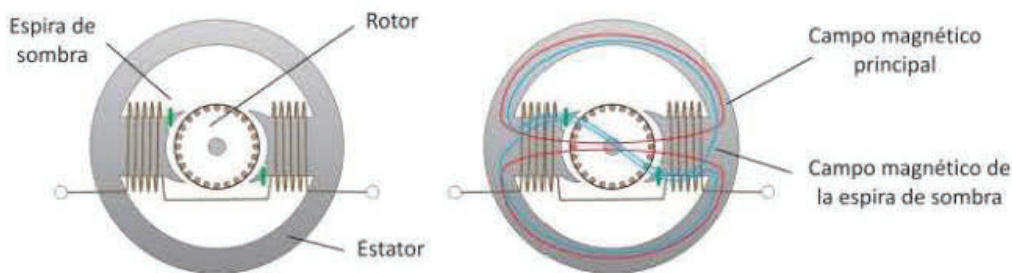


Figura 5.21. Estructura de un motor con espira de sombra.

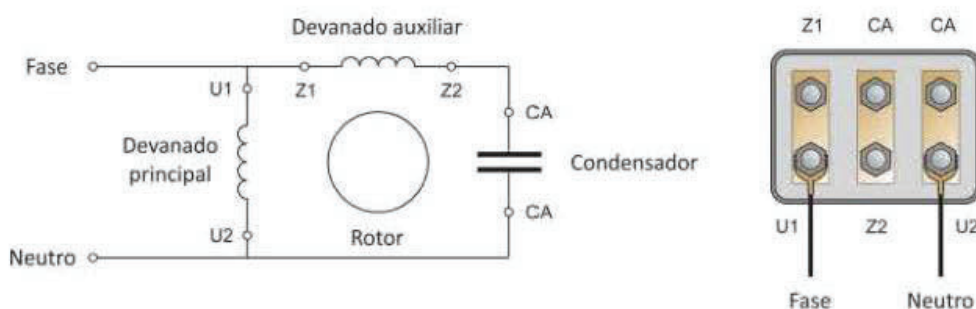


Figura 5.22. Circuito equivalente y caja de bornes de un motor con condensador.

situada en cada uno de los polos salientes del estator, sobre una hendidura realizada en ellos. Al conectar a la red alterna el devanado del estator se induce una pequeña corriente en la espira que provoca distorsiones en el campo magnético y de esta manera desencadena el arranque del motor.

Los motores monofásicos con espira de sombra son de muy bajas potencias (alrededor de 100 W) y rendimientos muy bajos, pero económicos y fáciles de construir. Se emplean aquellas aplicaciones que requieren un bajo par y potencia, tales como motores de bombas de lavadoras, ventiladores, etc.

Este tipo de motor solo cuenta con un único devanado principal no siendo necesario el devanado auxiliar.

El rotor de estas máquinas es de tipo jaula de ardilla.

5.3.4. La conexión eléctrica de un motor monofásico

En el caso del motor monofásico de corriente alterna con condensador, se cuenta con tres elementos y seis bornes de conexión: devanado principal, devanado auxiliar y condensador.

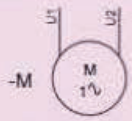
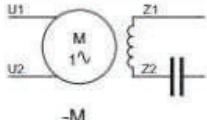
Esta caja de bornes es similar a la del motor trifásico. Cuenta, también, con una serie de chapas para realizar las conexiones. A la caja de conexiones solo le deben llegar el cable de alimentación eléctrica (fase y neutro) más la toma de tierra.

El orden para conectar la fase y el neutro es indiferente, en esta configuración el motor gira en un único sentido.

5.3.5. Simbología

La simbología eléctrica que representa a los motores monofásicos de corriente alterna es la siguiente:

Tabla 5.8. Representación gráfica del motor monofásico.

Elemento	Símbolo
Motor monofásico.	
Motor monofásico con condensador y devanado auxiliar accesible.	

El símbolo del motor monofásico de corriente alterna se identifica con la letra M.

5.4. El motor de corriente continua

El motor de corriente continua ha perdido peso desde los albores de las máquinas rotativas eléctricas. Fueron las primeras máquinas eléctricas y se han empleado de manera masiva hasta la irrupción de la electrónica de potencia. Su campo de aplicación más interesante está donde es necesario tener un control de la velocidad de giro, principalmente en el área de la tracción mecánica. Con el avance de la electrónica de potencia, esta característica se pudo aplicar a los motores de corriente alterna y como estos motores son más robustos y con menor mantenimiento que los de corriente continua los fue relegando hasta ciertas aplicaciones muy concretas.



Figura 5.23. Rotor de un motor de corriente continua.

Hoy en día, las máquinas de corriente continua se emplean en aplicaciones donde se requiera un gran par de arranque como es la tracción mecánica, grúas, etc. y control de la velocidad de giro, como en muchos procesos industriales de fabricación (extrusión, trefilado, laminación, etc.).

Los motores de corriente continua se clasifican en función del tipo de excitación:

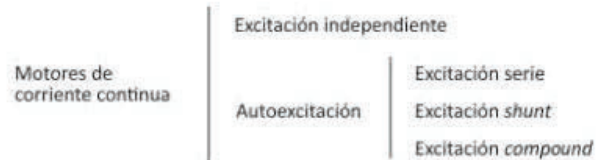


Figura 5.24. Tipos de motores en corriente continua.

5.4.1. Partes de un motor eléctrico de corriente continua

Un motor de corriente continua se compone, principalmente, de las siguientes partes:

- **Estator**, también llamado **inductor**. Es la parte fija de la máquina rotativa, encargada de generar el campo magnético mediante un devanado alimentado mediante corriente continua.
- **Rotor**, también llamado **inducido**. Es la parte móvil de la máquina.
- **Colector de delgas**, también llamado **conmutador**. Es el elemento encargado de conmutar la polaridad de la alimentación eléctrica de corriente continua. Se fabrica de cobre para asegurar un buen contacto eléctrico.
- **Escobillas**. Son dos piezas de forma rectangular de grafito y es el elemento que está en contacto eléctrico con el colector. Las escobillas se sitúan en un portaescobillas, el cual por medio de un resorte ayuda a un buen contacto con el colector de delgas. Al girar el rotor, las escobillas van rozando con el colector y permitiendo la conexión eléctrica del inducido con la fuente de alimentación. Con el tiempo de uso se van desgastando por lo que requiere de un mantenimiento. Además, en esta conmutación se produce una serie de chispas.
- **Polos de conmutación**, también llamado **polos auxiliares**. Son unos devanados que tienen como objetivo mejorar la conmutación.
- **Devanado de compensación**. Es un devanado que se realiza en los polos principales con el objetivo de mejorar el rendimiento de la máquina.
- **Entrehierro**. Es la separación física entre el estator y el rotor. Al tener una parte móvil y una parte fija,

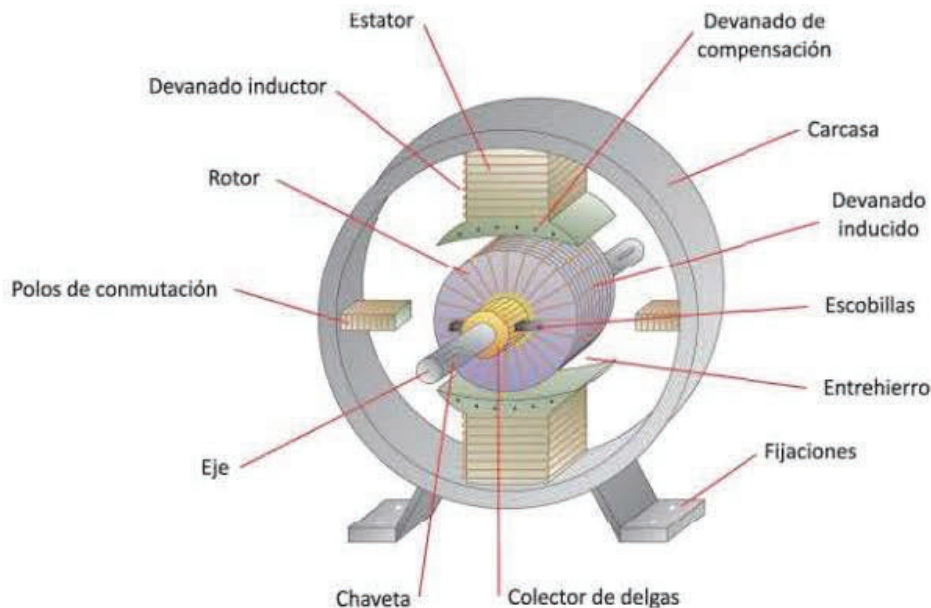


Figura 5.25. Partes de un motor de corriente continua.

debe haber una separación entre ambas ya que de lo contrario habría un rozamiento. Este entrehierro debe ser lo menor posible.

- **Caja de conexiones.** Es una caja fácilmente accesible desde el exterior en cuyo interior se encuentran los terminales de conexión eléctrica.
- **Terminales de conexión eléctrica.** Es la unión física entre la red eléctrica y los elementos internos del motor. El número de terminales varía en función de la máquina eléctrica, normalmente entre cuatro y seis bornes. Existe otro borne importante a nivel de seguridad que es el de protección, el cual conecta todas las partes metálicas de la máquina con la línea de puesta a tierra.
- **Eje.** Es la parte visible del movimiento giratorio de la máquina y va ligado al rotor.
- **Rodamientos.** Son los puntos de apoyo del eje y permiten su giro libremente. Cada máquina consta de dos rodamientos.
- **Chaveta.** Es un saliente de forma rectangular en el eje que facilita el acople de la carga que debe mover el motor.
- **Carcasa.** Es la envolvente de la máquina eléctrica. Sobre su exterior, se encuentran las fijaciones, así como la placa de características.
- **Fijaciones.** Son una serie de puntos fuertes de unión que realizan la función de anclaje entre la máquina y su lugar de instalación.

5.4.2. Funcionamiento de un motor de corriente continua

El movimiento de esta máquina rotativa se basa en los estudios del científico holandés Hendrik Antoon Lorentz que postuló la ley de Lorentz, la cual dice que “cuando una partícula cargada eléctricamente se mueve en un campo magnético experimenta una fuerza perpendicular a la dirección del flujo del campo magnético”.

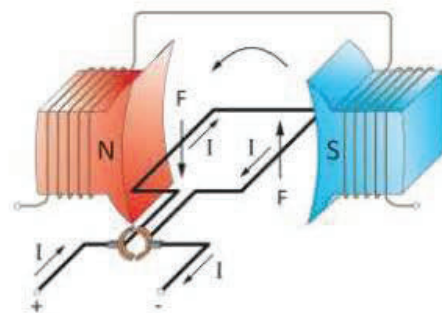


Figura 5.26. Efecto del campo magnético sobre una espira.

En el dibujo de la Figura 5.26 aparece un campo magnético con sus líneas de fuerza que van desde el polo N al polo S. Dentro de este campo, se sitúa un conductor por el cual circula una corriente eléctrica que crea otro campo magnético alrededor del conductor.

Sobre este conductor aparecen, por la ley de Lorentz, un par de fuerzas iguales pero de sentido contrario que hacen que se desplace girando la espira (Figura 5.27).

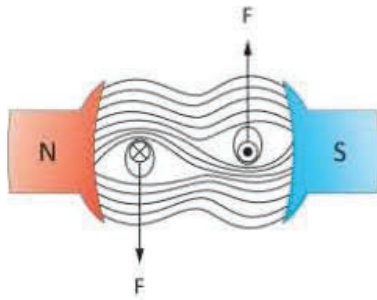


Figura 5.27. Efecto del campo magnético sobre una espira. Perpendicular a la línea neutra.

Cuando la espira alcanza la posición en la que ambos conductores están a la misma distancia (Figura 5.28), el par resultante es nulo. Para que la espira siga girando, se invierte o conmuta la polaridad en la espira. Para eso se emplea el conmutador o colector de delgas.

Evidentemente, un motor no está formado por una sola espira sino que está compuesto por muchas de ellas.

Esta fuerza de giro viene determinada por la expresión:

$$F = B \times I \times l$$

Donde:

F : fuerza (N, newton)

B : inducción del campo magnético (T, tesla)

I : corriente en el inducido (rotor) (A, amperio)

l : longitud (m, metro)

El campo magnético del estator (inductor) es un campo de posición fija (todo lo contrario de lo que ocurría con los motores de corriente alterna) que se crea por el empleo de imanes permanentes o bien por electroimanes.

Vemos por tanto que esta máquina está compuesta por dos devanados: inductor (estator) e inducido (rotor) que son alimentados por corriente continua.

Se puede representar una máquina de corriente continua en función del inductor e inducido, tal y como se muestra en la Figura 5.30.

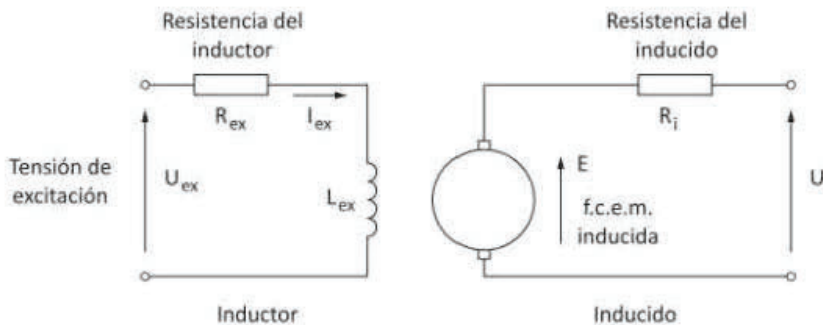


Figura 5.30. Circuito equivalente de un motor de corriente continua.

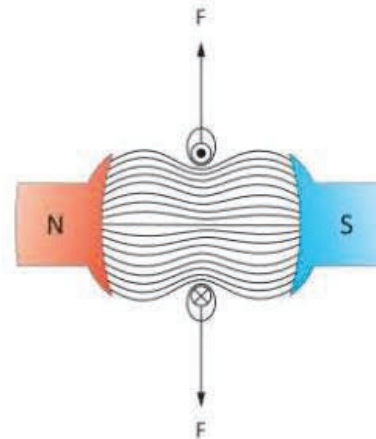


Figura 5.28. Efecto del campo magnético sobre una espira. Sobre la línea neutra.

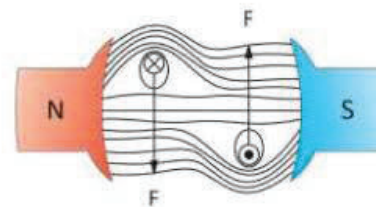


Figura 5.29. Efecto del campo magnético sobre una espira. Con ángulo.

Se obtiene (considerando despreciable la caída de tensión en las escobillas) que:

$$U_i = E + R_i \times I_i$$

Por otro lado, se tiene la ecuación general de la máquina de corriente continua:

$$E = k \times n \times \varphi$$

$$T = k' \times \varphi \times I_i$$

Donde:

E : Fuerza contraelectromotriz (V)

n : velocidad (rpm)

ϕ : flujo (Wb)

T : Par ($N \times m$)

k, k' : constantes propias de la máquina

De lo que se deduce que el par está relacionado con el flujo inductor y la corriente de inducido. Por otro lado, la velocidad de giro está ligada al flujo y a la fuerza electromotriz.

Con estas expresiones se deduce que la velocidad se puede regular. Hay dos métodos para aumentar la velocidad:

- Aumentar la fuerza contraelectromotriz (f.c.e.m.) inducida y por tanto la tensión de alimentación a excitación constante. A este método se le denomina "a par constante".
- Disminuir el flujo de excitación y por tanto la corriente de excitación, manteniendo constante la tensión de excitación. A este método se le denomina "a potencia constante". Este método hace disminuir el par al aumentar la velocidad, lo que puede ser un problema en ciertas situaciones si el par disminuye demasiado.

5.4.3. La reacción del inducido

El campo magnético del inductor está formado por las líneas de fuerza que parten del polo norte (N) y van hacia el polo sur (S). Existe una línea intermedia donde el campo magnético es nulo llamada **línea neutra magnética**, que es transversal al eje de la máquina.

Si se consideran únicamente las líneas de fuerza del campo magnético del inductor se tiene lo que aparece en la Figura 5.31. Si ahora nos fijamos solamente en las líneas de fuerza del campo magnético del inducido, se tiene la Figura 5.32. Y la suma de ambos campos en la Figura 5.33.

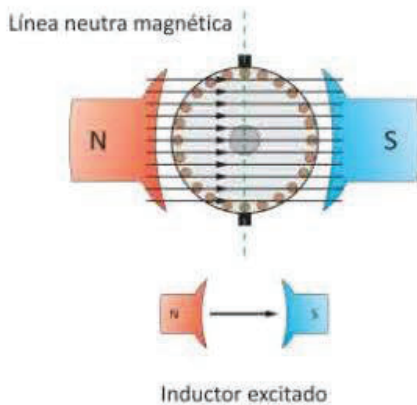


Figura 5.31. Reacción del inducido. Inductor excitado.

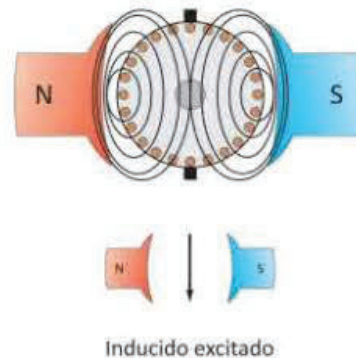


Figura 5.32. Reacción del inducido. Inducido excitado

Cuando la máquina se encuentra en carga y con corriente en el circuito del inductor y del inducido, se produce una distorsión resultando el campo mostrado en la Figura 5.33. Al tener superpuestos ambos campos, la línea neutra ya no es transversal al eje de la máquina sino que se encuentra desplazada un cierto ángulo.

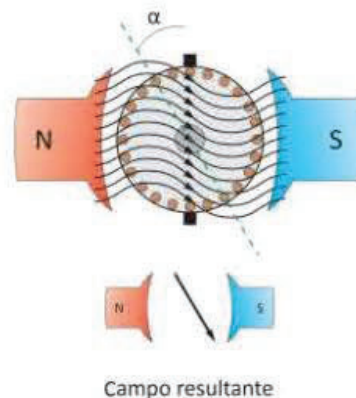


Figura 5.33. Reacción del inducido. Resultante.

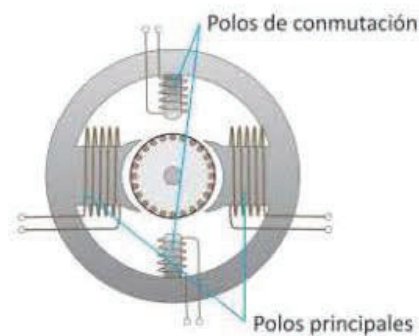


Figura 5.34. Polos de conmutación.

Este efecto produce problemas en la conmutación, produciendo la formación de chispas que si perduran en el tiempo acaban deteriorando la superficie del colector.

Para solucionar este problema, se emplean los polos de **conmutación** también llamados **auxiliares**, que son unos pequeños devanados cuyo fin es crear otra perturbación en el campo magnético de tal manera que restituya la línea neutra y la coloque en su sitio (Figura 5.34).

5.4.4. Los tipos de motores de corriente continua

Como se ha visto, las máquinas de corriente continua constan principalmente de dos partes: el inductor y el inducido. Según como se conecten ambos así será el tipo de máquina. Se tienen cuatro tipos:

- **Máquina de excitación independiente.** Estas máquinas reciben la alimentación del estator y del rotor de fuentes de alimentación independientes.

El campo magnético del estator es constante al no depender de la carga del motor y por tanto también lo es el par motor.

La velocidad de giro viene dada por la expresión:

$$E = U_i - R_i \times I_{in}$$

Y como la corriente de excitación es constante al tener la alimentación separada, el flujo de excitación también será constante al depender de esta corriente.

$$E = k \times n \times \varphi = k_1 \times I_{ex} \times n$$

Por tanto:

$$n = \frac{U_i - R_i \times I_{in}}{k_1 \times I_{ex}} \rightarrow n = f(I_{in}) \text{ para } I_{ex} = \text{cte.}$$

Respecto al par, también es constante:

$$T = k' \times \varphi \times I_{in} = k_2 \times I_{in} \rightarrow T = f(I_{in}) \text{ para } I_{ex} = \text{cte.}$$

- **Máquina shunt.** También llamada en **derivación**. Esta máquina se alimenta de una única fuente. Tanto el circuito del inductor como el circuito del inducido se encuentran conectados en paralelo.

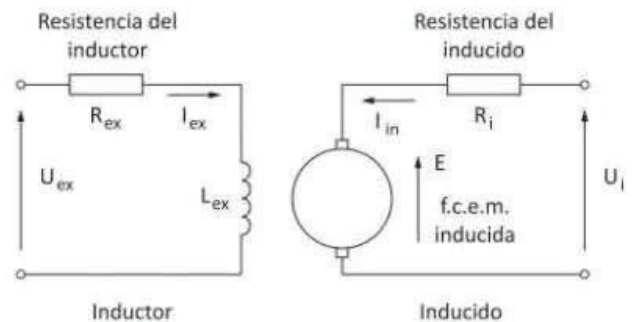
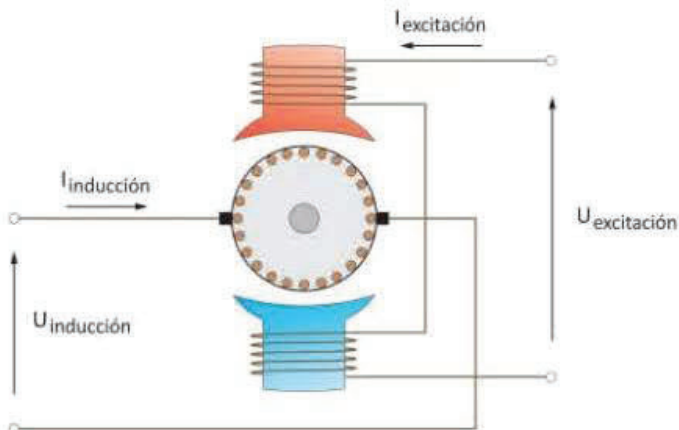


Figura 5.35. Motor de excitación independiente.

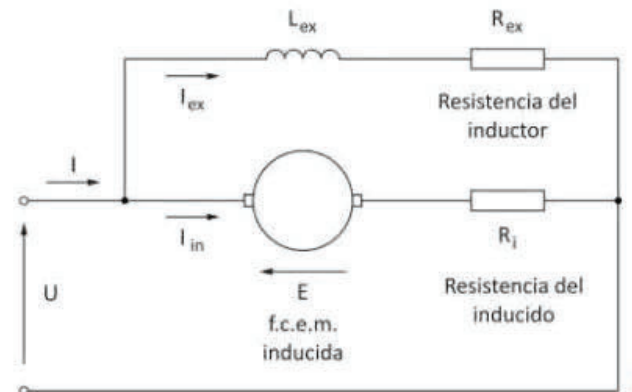
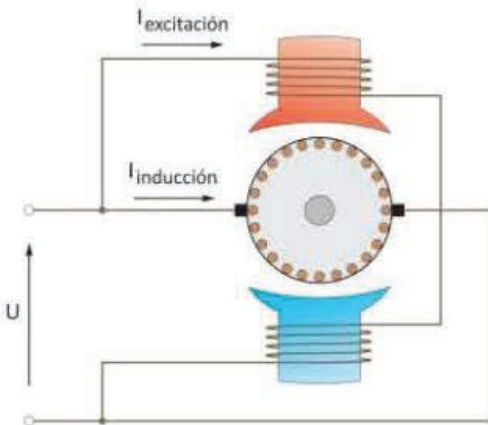


Figura 5.36. Motor de excitación shunt.

El bobinado principal está formado por muchas espiras de poca sección.

Los motores de este tipo se emplean donde se requiere velocidades de giro constantes para cualquier régimen de carga, aunque su par de arranque no es muy elevado. Se emplean, por ejemplo, en el campo de las máquinas herramientas.



RECUERDA

Los motores *shunt* son motores para aplicaciones a velocidad prácticamente constante, independientemente del par.

- **Máquina serie.** En este tipo de máquinas tanto el circuito del inductor como el circuito del inducido se encuentran conectados en serie.

Las bobinas están formadas por pocas espiras de gran sección.

La intensidad que circula por la máquina es de un valor:

$$I = \frac{U - E}{R_{ex} - R_i}$$

El par de arranque es mayor que con el motor con excitación *shunt*. Por ello se emplea en aquellas aplicaciones donde se necesite un gran par de arranque a pequeñas velocidades, como pueden ser los casos de tracción eléctrica (tren, tranvía, etc.).

Tiene el inconveniente que la máquina no puede trabajar en vacío pues se produce un embalamiento que puede dañar a la máquina.

- **Máquina *compound*,** también llamada de **excitación compuesta.** Este motor es una combinación del motor serie con el motor *shunt*. Para ello consta de dos juegos de bobinas, una en serie con el inducido y la otra en paralelo. Según la disposición de estas, se tienen dos combinaciones: el *compound* larga y el *compound* corta.

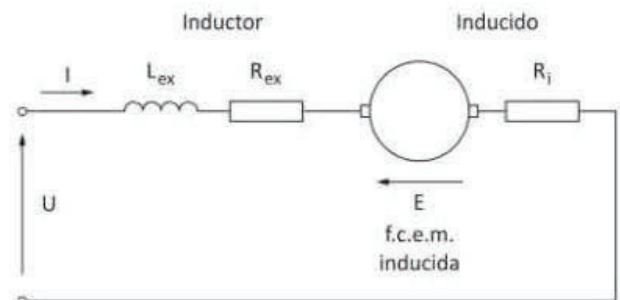
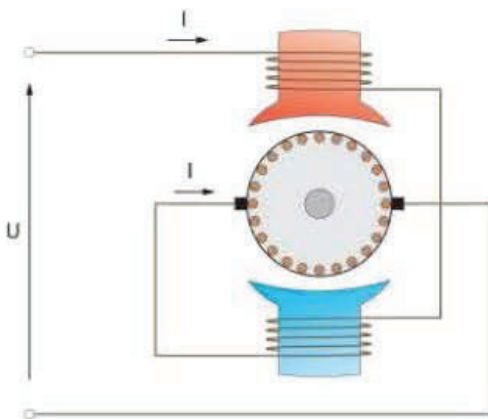


Figura 5.37. Motor de excitación serie.

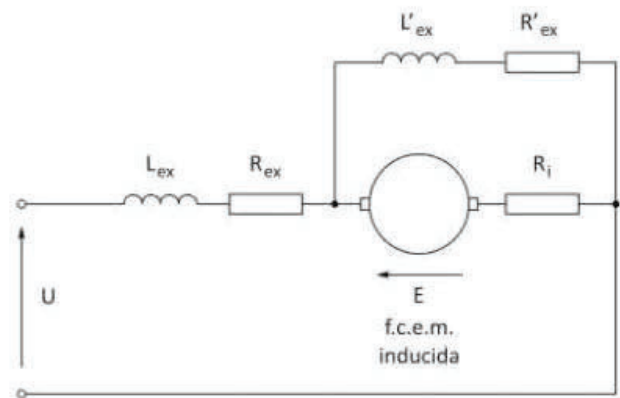
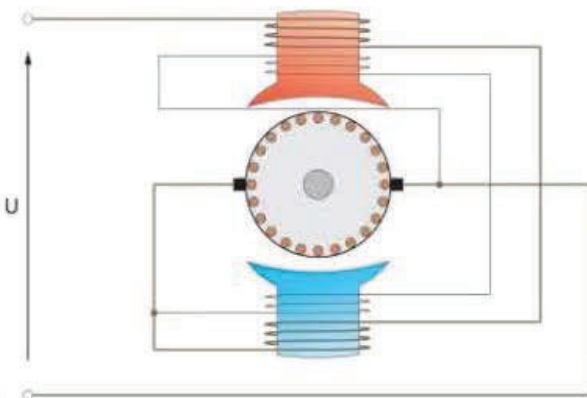


Figura 5.38. Motor de excitación *compound* corta.

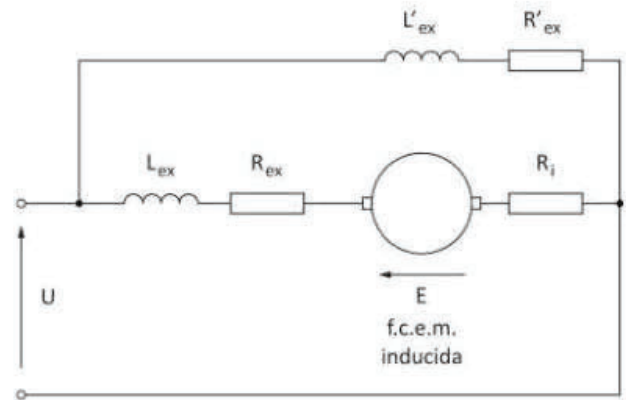
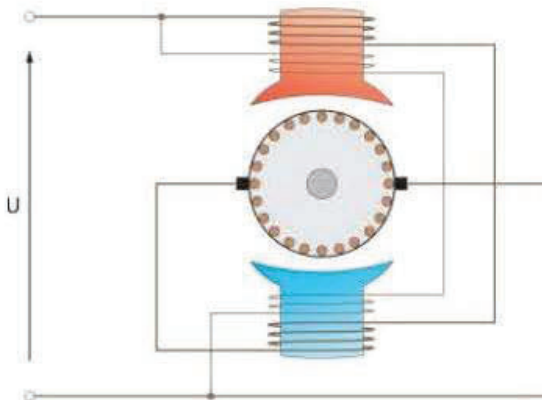


Figura 5.39. Motor de excitación compound larga.

La característica de este tipo de configuración es la de poseer un elevado par de arranque sin el peligro del embalamiento por trabajar en vacío.

5.4.5. La conexión eléctrica del motor

La conexión eléctrica de los motores se realiza en la caja de conexiones o caja de bornes. En ella, cada tipo de máquina tiene identificado los bornes de sus devanados. Normalmente, suelen disponer todas ellas de cuatro bornes, salvo la máquina *compound* que dispone de seis bornes.

La nomenclatura empleada para el etiquetaje de los bornes es la siguiente:

Tabla 5.9. Bornes de los motores de corriente continua.

Bornes	Nomenclatura
A - B	Bobinado del inducido
J - K	Inductor de excitación independiente
E - F	Inductor de excitación serie
C - D	Inductor de excitación <i>shunt</i>
G - H	Bobinado de conmutación

RECUERDA

Las características constructivas de cada tipo de máquina son diferentes entre sí, aunque todas consten de los mismos elementos. Por ejemplo, un motor *shunt* no se puede conectar como motor serie.

5.4.6. Simbología

La simbología eléctrica que representa a los motores de corriente continua es:

Tabla 5.10. Representación gráfica del motor de corriente continua.

Elemento	Símbolo
Motor de corriente continua. Símbolo general.	
Motor de corriente continua de excitación independiente.	
Motor de corriente continua de excitación serie.	
Motor de corriente continua de excitación shunt.	
Motor de corriente continua de excitación compound.	

El símbolo del motor eléctrico de corriente continua se identifica con la letra M.

5.5. El motor universal

El motor universal es fundamentalmente un motor de corriente continua de excitación serie pero alimentado con corriente alterna. Por ello, internamente son similares, con la salvedad de que sus devanados están preparados para poder funcionar en vacío sin peligro.

Se emplea para bajas potencias normalmente menores de 0,5 CV. Su campo de aplicación se centra principalmente en el de las herramientas portátiles (taladradoras, etc.) y electrodomésticos (batidoras, aspiradoras, lavadoras, etc.) por su bajo coste, bajo peso y volumen y buenas prestaciones.

Tiene el inconveniente del mantenimiento de la escobillas, pero aun así son muy populares, principalmente por poseer un elevado par de arranque respecto al motor de inducción y por la facilidad en la regulación de la velocidad de giro. Estos motores se construyen para un amplio margen de velocidad, pudiendo llegar a velocidades de giro por encima de las 10.000 rpm.

Como el sentido de la corriente tanto en el circuito inductor como en el inducido es el mismo, el sentido de giro de la máquina no cambia. Por tanto, para generar la inversión basta con cambiar el sentido en solo uno de ellos.



RECUERDA

Se llama motor universal por la posibilidad de funcionar tanto con corriente continua como con corriente alterna.

5.6. Las medidas eléctricas en los motores

Sobre un motor eléctrico se puede realizar una serie de mediciones con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento.

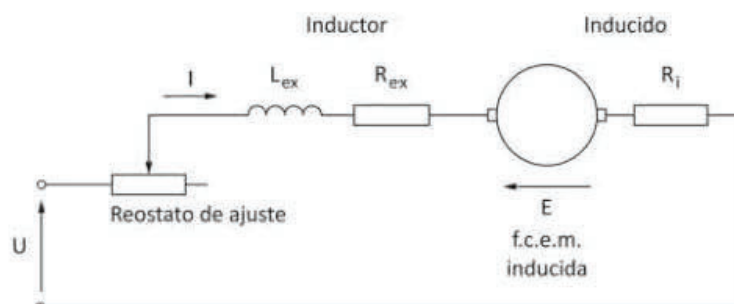


Figura 5.40. Motor universal con control de velocidad de giro.

Muchas de las mediciones que se realizan sobre corriente alterna trifásica, se deben tomar sobre cada una de las fases y, si todo es correcto, las mediciones serán del mismo valor considerando que el sistema está equilibrado eléctricamente.

Entre la toma de medidas más interesantes se tienen:

- **Intensidad.** Esta medición se realiza mediante un amperímetro. El aparato se coloca intercalado en serie con el elemento a medir.

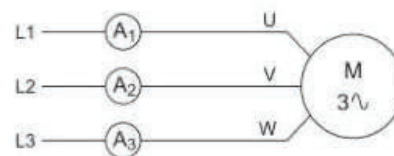


Figura 5.41. Medición de la corriente.

Al estar equilibrado el motor, tenemos que todos los amperímetros marcarán lo mismo:

$$I = A_1 = A_2 = A_3$$



RECUERDA

Ante de conectar el polímetro, asegúrate de seleccionar sobre el dial el tipo de medición. Recuerda seleccionar corriente continua o alterna. Ajusta el rango de la medición. Así mismo, asegúrate de que los bornes están bien conectados al aparato de medida.

Si el rango de medición se sale de la escala, se debe emplear un transformador de intensidad.

- **Voltaje.** Esta medición se realiza mediante un voltímetro. El aparato se coloca en paralelo con el elemento a medir.

La medición se realiza entre todas las fases (motor trifásico) y, en su caso, entre las fases y neutro (motor monofásico).



Figura 5.42. Medición del voltaje.

Al estar equilibrado el sistema, tenemos que todos los voltímetros marcarán lo mismo:

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

- **Potencia.** Esta medición se realiza mediante un vatímetro. El aparato consta de dos circuitos: uno amperimétrico (se conecta en serie) y el otro voltimétrico (se coloca en paralelo).

Para obtener la potencia de un motor trifásico, se coloca un vatímetro en cada fase y neutro. Si la carga está equilibrada, los tres aparatos deben marcar lo mismo. La potencia activa es la suma de las tres lecturas o bien el producto de una lectura por los tres aparatos, (sistema equilibrado).

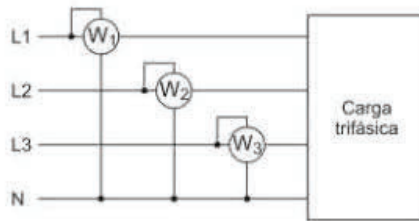


Figura 5.43. Medición de la potencia.

La potencia activa será la suma de las lecturas de ambos vatímetros:

$$P = W_1 + W_2 + W_3$$

En una simplificación, se puede emplear el método de Aarón, que consiste en emplear dos vatímetros colocados entre dos fases, tal y como aparece en la figura:

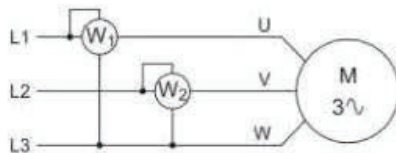


Figura 5.44. Medición de la potencia (Aarón).

La potencia activa de este motor será la suma de las lecturas de ambos vatímetros:

$$P = W_1 + W_2$$

Con este método se obtienen otras medidas que se emplean para obtener otros parámetros, como es la potencia reactiva:

$$Q = \sqrt{3} \times (W_1 - W_2)$$

- **Factor de potencia (cos φ).** Esta medición se realiza mediante un fasímetro. El aparato consta de dos circuitos: uno amperimétrico (se conecta en serie) y el otro voltimétrico (se coloca en paralelo). Existen fasímetros de dos tipos: monofásicos y trifásicos.

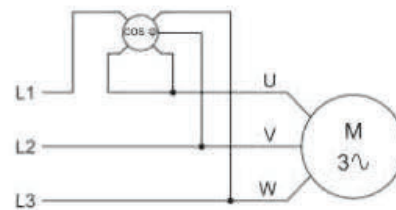


Figura 5.45. Medición del factor de potencia.

Se puede obtener de forma matemática este valor de desfase a partir de las mediciones realizadas con los vatímetros mediante el método de Aarón:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \rightarrow \varphi = \arctan \frac{Q}{P} \rightarrow \cos \varphi$$

Para un motor monofásico la potencia viene dada por la expresión:

$$P = U \times I \times \cos \varphi$$

Si P , U e I se obtienen por la lectura de los aparatos de medida, despejando se obtiene el factor de potencia.

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \times I}$$

- **Resistencia de aislamiento.** Esta medición consiste en averiguar la resistencia eléctrica del aislante. Como es un aislante, su valor debe ser muy alto, del orden de megaohmios (MΩ).

El aparato de medida es un megger, el cual genera una alta tensión en corriente continua de prueba y se mide su resistencia.

La prueba de aislamiento se realizará en todos los conductores eléctricos del motor en su caja de bornes (fases, neutro y cable de toma de tierra).

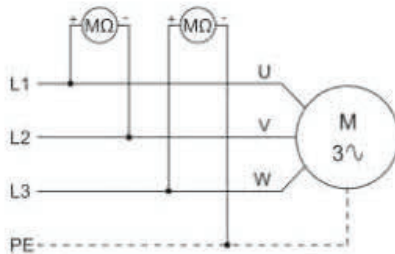


Figura 5.46. Medición de la resistencia de aislamiento.

La duración de la medición debe ser hasta que se estabilice la medida y ser al menos superior a un minuto, de tal manera que los fenómenos transitorios de capacidades entre los conductores y el aislante desaparezcan o disminuyan hasta ser despreciables.

El valor de la resistencia medida a una temperatura ambiente de 25 °C debe ser mayor de:

$$R_{\text{aislamiento}} > \frac{20 \times U}{1.000} + 2 \times P$$

Para una tensión del megger de 500 V. Siendo:

U : tensión

P : potencia en kW

Cuanto mayor sea el valor de esa medición, mejor será la capacidad del aislante.

- **Velocidad y deslizamiento.** El deslizamiento es la diferencia entre las velocidades del campo magnético giratorio y del rotor. Solo tiene aplicación en el motor de inducción asíncrono. Esta medición se realiza mediante un tacómetro aplicado sobre el eje del motor.

El deslizamiento vendrá indicado por la expresión:

$$S = \frac{n_{\text{rotor}} - n_{\text{sincronismo}}}{n_{\text{rotor}}}$$

Este valor se obtiene en tanto por uno pero se expresa en %.

La velocidad de sincronismo o del campo magnético giratorio (que depende de la máquina y de la red eléctrica), se obtiene mediante la expresión:

$$n_{\text{sincronismo}} = \frac{60 \times \text{frecuencia}}{\text{pares de polos}}$$

5.7. El mantenimiento y las averías en los motores

Como todo elemento, los motores necesitan de un mantenimiento con el fin de conservarlos en las condiciones óptimas de funcionamiento.

5.7.1. Tipos de mantenimiento

Existen dos tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo.** Es el que se realiza cuando la máquina o instalaciones han parado de forma no programada por un fallo en ellas. Este tipo de mantenimiento es no deseado ya que ocasiona pérdidas económicas por un paro en la producción.
- **Mantenimiento preventivo.** Es el tipo de mantenimiento que se realiza antes de que ocurra un fallo y tiene como objetivo, en primer lugar, alargar el tiempo en servicio de las máquinas e instalaciones en funcionamiento, y en segundo lugar evitar los paros de producción. Esto último se realiza aprovechando las paradas o tiempos muertos para realizar las tareas necesarias.



RECUERDA

En el ámbito industrial, las piezas se sustituyen cuando llegan al final de su vida útil marcada por el fabricante y no se espera a que se rompan para sustituirlas.

5.7.2. Mantenimiento preventivo

Las tareas de mantenimiento preventivo, con el objeto de mantener el mayor tiempo posible a la máquina en correctas condiciones de trabajo, son las relacionadas principalmente con: verificar el estado físico, asegurar la disipación de calor, asegurar las conexiones eléctricas y las condiciones de trabajo.



RECUERDA

Lo más importante a la hora de realizar la tarea de supervisión del mantenimiento es realizar una buena inspección visual y utilizar el sentido común.

Las tareas de mantenimiento se deben realizar en función de las condiciones de trabajo de las máquinas y de la importancia de estas dentro del proceso productivo.

Si se agrupan, tenemos los siguientes puntos de control:

Respecto a las condiciones de montaje y estado físico:

- **Verificación de la bancada.** Se debe verificar que la bancada o los cimientos son firmes y no han aparecido grietas o problemas de estabilidad.
- **Reapriete de las fijaciones.** Las vibraciones del motor dan lugar a un posible afloje de las fijaciones pudiendo ocasionar una desviación del eje respecto a la carga. En caso de desviación se debe reparar de manera inmediata, pues no solo afectan a la estabilidad del montaje sino a la alineación de la máquina y sus posibles daños sobre el eje, como por ejemplo un curvado del eje.
- **Reparación de daños en la pintura.** La pintura actúa como protección contra la oxidación.
- **Evitar la posible acumulación de agua.** El agua provoca oxidación. Se debe evitar el contacto o salpicaduras. Prever la posible generación de agua por condensación. En aquellos ambientes donde no sea posible, se deben emplear motores adecuados a estas condiciones.

Respecto a la disipación de calor:

- **Circulación de aire.** El motor necesita de una correcta circulación de aire para disipar el calor interno, por ello se debe asegurar que no haya obstáculos para la entrada de aire al ventilador y que este aire sea de buenas condiciones térmicas y que no proceda de otros componentes cercanos.
- **Limpieza externa.** La acumulación de suciedad crea una capa que actúa como aislante térmico, por ello se debe limpiar periódicamente. Para la eliminación del polvo, pelusa, etc., se emplea aire comprimido.

Respecto a las condiciones eléctricas:

- **Mediciones de magnitudes eléctricas.** Realizar mediciones con el fin de verificar que se cumplen las condiciones iniciales y que no existen anomalías. Esta tarea ayuda a detectar y prevenir futuros problemas eléctricos. Las mediciones se tomarán al menos respecto a las magnitudes de tensión, corriente, resistencia de aislamiento y puesta a tierra; y todas aquellas consideradas importantes en función del proceso productivo.
- **Conexiones eléctricas.** El motor produce una serie de pequeñas vibraciones que con el tiempo pueden aflojar la conexiones eléctricas, por ello periódicamente se revisarán y se realizará un reapriete.
- **Escobillas.** En aquellas máquinas que lleven escobillas, se revisará su estado, buen contacto y alineación.
- **Colector de delgas.** En las máquinas con colector de delgas, se debe verificar su estado, ya que una mala

conmutación produce daños a causa de las chispas producidas.

Respecto a los elementos con desgaste mecánico:

- **Engrase, limpieza y sustitución de cojinetes.** En aquellos cojinetes de engrase manual, se debe realizar dicho engrase con una periodicidad en función de las condiciones de trabajo y según las especificaciones del fabricante. En aquellos cojinetes que no permitan dicho engrase y se deban sustituir con otros nuevos, se emplearán las herramientas adecuadas evitando dar golpes sobre las partes del motor. La grasa vieja se debe retirar. En el caso de sustitución de cojinetes, se recomienda también sustituir los retenes.
- **No mezclar grasas.** Las grasas de lubricación no se deben mezclar.
- **Ruido y vibraciones en el eje.** Un cojinete o rodamiento defectuoso da lugar a vibraciones y ruido. En estos casos se debe sustituir inmediatamente pues puede dañar la máquina al descentrarse el eje, pudiendo ocasionar rozamientos del rotor contra el estator. En casos graves, puede darse el bloqueo del eje.

5.7.3. Las averías

Aunque los motores son robustos y fiables, suelen ocurrir algunos problemas. Entre las averías más frecuentes tenemos:

- **El motor no arranca.** Entre las posibles causas tenemos:
 1. Problemas con la alimentación eléctrica. O bien no hay tensión o bien hay una subtensión. Para solucionarlo se debe verificar por medio de un voltímetro o polímetro. Puede también deberse a una mala conexión eléctrica. Reapretar y verificar.
 2. Problemas con los dispositivos de protección. Ha saltado algún elemento de protección como algún fusible o guardamotor. Para solucionarlo se debe reparar todos los elementos de protección. Revisar la puesta a tierra.
 3. Problemas eléctricos con el motor. Alguna de las bobinas puede encontrarse en cortocircuito o en circuito abierto. La solución estaría en rebobinar el motor, y si no fuese rentable, sustituir el motor.
 4. Problemas mecánicos con el motor. Los problemas mecánicos se ciñen al rotor. Los cojinetes necesitan de mantenimiento. Engrasar o sustituir. Otro problema suele estar en daños sobre el eje, lo que puede dar lugar a una curvatura de este, ocasionando rozaduras e incluso el bloqueo del rotor contra estator.
 5. Problemas en las escobillas. Las escobillas se desgastan con el uso y ocasionan un contacto eléctrico

defectuoso, lo cual impide que el motor arranque o que produzca un chisporroteo, ocasionando un ruido y un calentamiento. Sustituir las escobillas.

- **El motor hace ruido.** Entre las posibles causas tenemos:

1. Problemas de anclaje. Debido a las vibraciones, los anclajes se han aflojado. Estos anclajes pueden ser del motor sobre la bancada o respecto a la carga arrastrada. La solución pasa por alinear y reapretar todas las fijaciones.
2. Problemas eléctricos. El motor funciona a dos fases. Es un fallo muy corriente que debe ser solucionado inmediatamente pues ocasiona daños mayores. Otro fallo que se da es el producido por un desequilibrio eléctrico entre las fases de alimentación. Para detectar ambos síntomas se realizan mediciones.
3. Problemas mecánicos con el motor. Los problemas mecánicos se ciñen al rotor. Los cojinetes necesitan de mantenimiento. Engrasar o sustituir. Otro problema suele estar en daños sobre el eje, lo que puede dar lugar a una curvatura de este, ocasionando rozaduras y el consiguiente ruido.

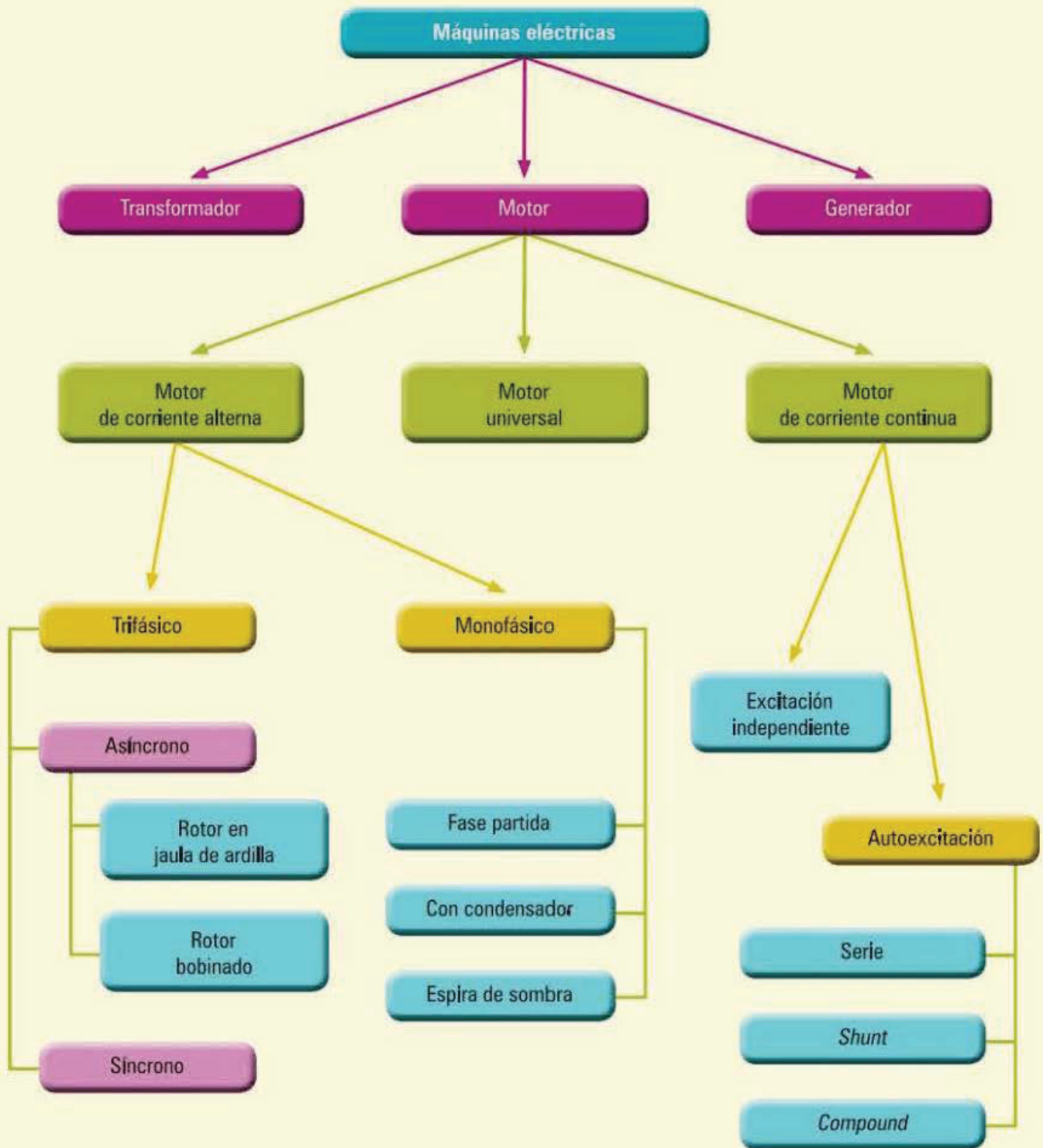
- **El motor se calienta en exceso.** Entre las posibles causas tenemos:

1. Sobrecarga. El motor trabaja por encima de sus posibilidades. Sus condiciones de trabajo se han endurecido. La solución está en aligerar la carga o bien sustituir el motor por otro de mayor potencia.
2. Problemas con la alimentación eléctrica. El motor trabaja con dos fases, bien porque hay un fallo en

la alimentación eléctrica o bien porque ha saltado algún dispositivo de protección como un fusible. También puede deberse a un desequilibrio en la red de alimentación. Para detectarlo se deben utilizar aparatos de medición. También puede estar relacionado con las escobillas desgastadas.

3. Problemas con los rodamientos. Los rodamientos o están dañados o están deficientemente lubricados. Cuando este síntoma ocurre después de un mantenimiento, suele deberse a un exceso en el apriete de los rodamientos. Revisar los rodamientos.
4. Problemas con la refrigeración. Los motores deben estar en una zona en la cual se favorezca la circulación del aire de ventilación. Debe ser aire en buenas condiciones térmicas y que no procedan de elementos que produzcan calor. Por ello es importante estudiar su ubicación y que no se encuentren elementos que dificulten la circulación. Otro problema se encuentra con la acumulación de suciedad que actúa como aislante térmico. Se soluciona con limpieza.
5. Problemas con el interruptor centrífugo. En los motores monofásicos el interruptor centrífugo no trabaja bien y no desconecta el devanado auxiliar una vez arrancada la máquina. Este defecto provoca su calentamiento excesivo. Sustituir dicho interruptor.

Las tareas de mantenimiento de motores se realizan siempre respetando las normas de seguridad y utilizando la ropa de trabajo adecuada así como el empleo de EPI (equipos de protección individual) y herramientas.



Actividades de comprobación

- 5.1.** Para que un motor eléctrico arranque:
- El par motor debe ser igual al par resistente.
 - El par motor debe ser inferior al par resistente.
 - El par motor debe ser superior al par resistente.
 - Ninguna de las respuestas anteriores, el par resistente no influye en el arranque de motores.
- 5.2.** En un motor eléctrico, el factor de potencia es:
- Cero o próximo a 0.
 - Sobre 0,2.
 - Uno o próximo a 1.
 - Sobre 0,8.
- 5.3.** Un motor de una potencia de 2,5 CV, ¿a cuántos vatios equivale?
- 250 W
 - 736 W.
 - 746 W
 - 1840 W.
 - 1865 W.
- 5.4.** La potencia de un motor trifásico, viene determinada por la expresión:
- $P = V \times I$.
 - $P = V^2 \times I^2$.
 - $P = V \times I \times \cos \varphi$.
 - $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$.
- 5.5.** El rendimiento de un motor aunque depende de su constitución, su valor es:
- Siempre 0. Se considera nulo.
 - Normalmente es mayor de 0 pero próximo a 0.
 - Normalmente es menor de 1 pero próximo a 1.
 - Siempre vale 1.
 - Normalmente es ligeramente superior a 1.
- 5.6.** En los motores de corriente alterna, su velocidad depende de:
- La tensión
 - La corriente eléctrica.
 - La frecuencia.
 - La potencia.
 - Todas las respuestas anteriores.
- 5.7.** El deslizamiento en un motor eléctrico de inducción indica:
- El rendimiento del motor. Cuanto mayor sea mejor es.
 - La diferencia de velocidades entre el estator y el rotor.
 - La velocidad del rotor.
 - La velocidad del estator.
- 5.8.** El entrehierro de un motor es:
- El espacio entre las chapas metálicas que componen el estator.
 - El espacio entre el rotor y el estator.
 - El espacio comprendido entre los polos principales y los polos auxiliares.
 - Todo el espacio interno vacío y no utilizado del motor.
 - El espacio donde va ubicado el ventilador para la refrigeración del motor.
- 5.9.** Un motor en cuya placa de características se indica que la tensión es de 400/690 V, pero la red eléctrica es de 400 V trifásica:
- No se puede conectar el motor porque la red no llega a 690 V.
 - Solo se puede conectar si se instala un reóstato que baje la tensión de 690 a 400 V.
 - Se conecta en estrella.
 - Se conecta en triángulo.
- 5.10.** El principal problema de los motores monofásicos es que:
- No pueden arrancar por sí solos.
 - No pueden generar grandes potencias.
 - Las velocidades de giro son más pequeñas que las generadas por los motores trifásicos.
 - No se pueden conectar en estrella o en triángulo.
- 5.11.** La función principal del colector de delgas es:
- Provocar la conmutación de la polaridad eléctrica.
 - Reducir las pérdidas del motor y así que sea más eficiente.
 - Mejorar la distribución del campo magnético por el interior de la máquina.
 - Aumentar la potencia del motor sin que suponga un aumento de la corriente eléctrica por el devanado del estator.

- 5.12. El principal problema del motor de corriente continua de excitación serie es que:
- a) No puede arrancar por sí solo.
 - b) Su par de arranque es el más bajo de todas las máquinas de corriente continua.
 - c) Es complicado la regulación de su velocidad de giro.
 - d) No puede funcionar en vacío por riesgo de embalamiento.

■ Actividades de aplicación

- 5.13. Un motor eléctrico monofásico desarrolla una potencia de 0,5 CV y según los datos del fabricante tiene un rendimiento del 85 % y un factor de potencia del 87 %, conectado a una tensión de 230 V. ¿Cuál es la potencia que absorbe de la red eléctrica? ¿Y la corriente?
- 5.14. Un motor eléctrico trifásico desarrolla una potencia de 5,5 CV y según los datos del fabricante tiene un rendimiento del 88 % y un factor de potencia del 92 %, conectado a una tensión de 400 V. ¿Cuál es la potencia que absorbe de la red eléctrica? ¿Y la corriente?
- 5.15. Un motor eléctrico trifásico que desarrolla una potencia de 20 CV está conectado a una red de 230/400 V. Tiene un rendimiento del 92 % y un factor de potencia de 84 %. Se desea conocer cuál es la corriente de suministro al motor cuando se conecta en estrella y cuando se conecta en triángulo. ¿Cuál es el valor de la corriente que circula por el bobinado del motor?
- 5.16. Un motor asíncrono trifásico de 2 CV y un rendimiento del 88 % arrastra una carga que posee un par resistente de $9,66 \text{ N} \times \text{m}$. Se desea conocer la potencia absorbida por la red eléctrica, la velocidad de giro del eje del motor y el deslizamiento del motor.
- 5.17. Un motor eléctrico monofásico tiene una potencia útil de 0,75 CV con un rendimiento del 89 % y un factor de potencia de 0,78 %. Está conectado a una red eléctrica trifásica de 230/400 V. Se necesita determinar las potencias activa, reactiva y aparente.
- 5.18. Un motor eléctrico trifásico tiene una potencia útil de 7,5 kW con un rendimiento del 91 % y un factor de potencia de 0,82 %. Está conectado a una red eléctrica trifásica de 230/400 V en configuración de estrella. Calcula las potencias activa, reactiva y aparente.
- 5.19. Un motor monofásico está conectado a una red eléctrica. Se ha conectado los siguientes aparatos de medida: un voltímetro que marca 230 V, un amperímetro que marca 5,3 A y un vatímetro que marca 1.104 W. Determina: a) las potencias activa, reactiva y aparente, b) el factor de potencia.
- 5.20. Determina el triángulo de potencias para una carga equilibrada compuesta por un motor trifásico conectado a una red de 230/400 V, al cual se han conectado dos vatímetros según el método de Aarón y cuyas lecturas son: $W_1 = 8.800 \text{ W}$ y $W_2 = 5.900 \text{ W}$. Calcula, además, la corriente.
- 5.21. Un motor de corriente continua con excitación independiente está conectado a una fuente de alimentación de 230 V. La fuerza contraelectromotriz generada en el inducido del motor es de 222 V, absorbiendo una corriente de 15 A. Se desprecian las pérdidas mecánicas y la reacción de inducido.
Determina:
- a) Resistencia de inducido.
 - b) Potencia absorbida de la red eléctrica.
 - c) Potencia útil que desarrolla el motor.
 - d) Rendimiento.
 - e) Par motor girando a 1.000 rpm
- 5.22. Un motor de corriente continua con excitación serie está conectado a una fuente de alimentación de 200 V. La fuerza contraelectromotriz generada en el inducido del motor es un valor de 195 V. La resistencia del devanado de excitación es de $0,1 \Omega$, siendo la resistencia del inducido de $0,2 \Omega$. Despreciando la resistencia en las escobillas, determina:
- a) Corriente nominal.
 - b) Corriente en el momento del arranque.
 - c) Resistencia necesaria para limitar la corriente de arranque al doble de la nominal.

■ Actividades de ampliación

5.23. Apoyándote en catálogos de fabricantes, selecciona un motor eléctrico trifásico asíncrono del cual se conocen los siguientes datos.

- Se requiere una potencia mínima de 2,2 kW.
- La red de alimentación eléctrica es de 230/400 V.
- La aplicación será de uso general.
- La velocidad de giro debe ser sobre los 1.500 rpm.
- La máquina irá fijada en una bancada mediante patas. Es decir, la forma constructiva es del tipo IM B3.
- El tipo de servicio de funcionamiento es de S1.
- El motor debe contar con ventilación en el eje de la máquina.
- La clase de temperatura debe ser al menos de tipo 155 (F).