



Unidad Didáctica
Motores Asíncronos Trifásicos

FONDO  FORMACION

Programa de Formación Abierta y Flexible

Obra colectiva de FONDO FORMACION

Coordinación *Servicio de Producción Didáctica de FONDO FORMACION
(Dirección de Recursos)*

Diseño y maquetación *Servicio de Publicaciones de FONDO FORMACION*

© FONDO FORMACION - FPE

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otro método, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Depósito Legal *AS -742-2001*

Unidad Didáctica Motores Asíncronos Trifásicos

La gran parte de la producción de la energía eléctrica tiene lugar en las centrales eléctricas convencionales (térmicas e hidráulicas). En estos casos, la corriente que se obtiene es trifásica, es decir, está formada por tres ondas desfasadas entre sí 120° .

Esta energía se transmitirá luego, a través de las líneas eléctricas, hasta los puntos de consumo. Aquí sufre una transformación, variando sus parámetros para adaptarlos a las necesidades de los receptores. En la mayoría de los casos, también es necesario convertir esta corriente en monofásica, conversión que se realiza fácilmente.

Sin embargo, en la industria, muchas máquinas trabajan directamente con este tipo de corriente, ya que proporciona altos rendimientos. Por esta razón, es necesario conocer cómo trabajan los receptores que se alimentan con corriente alterna trifásica.

Y la máquina que más frecuentemente utiliza esta alimentación no es otra que el motor asíncrono.

A lo largo de esta unidad estudiaremos los siguientes temas:

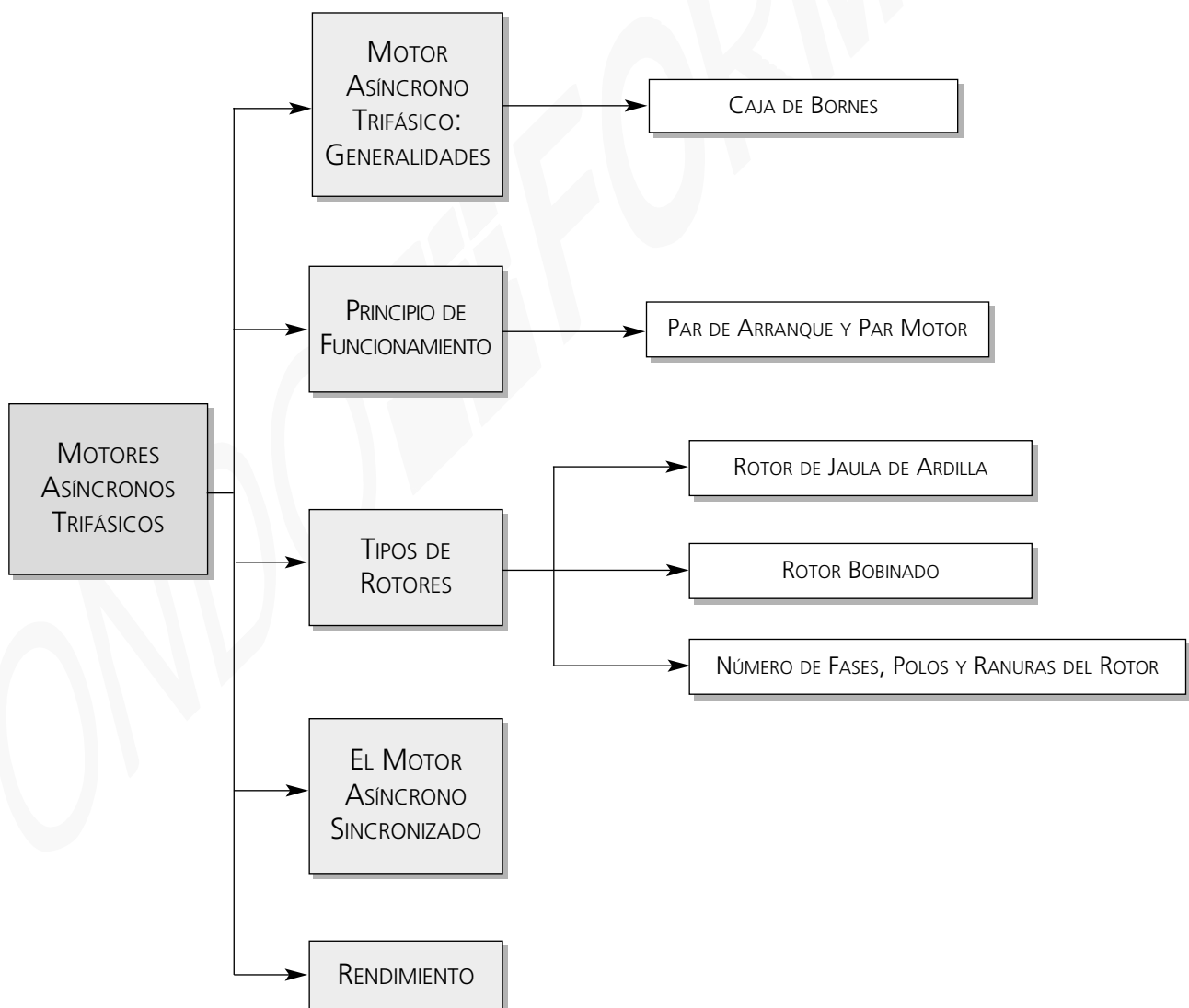
- Motores asíncronos trifásicos: generalidades.
- Principio de funcionamiento.
- Tipos de rotores.
- El motor asíncrono sincronizado.
- Rendimiento.

Tus objetivos

Al final de esta unidad serás capaz de:

- Identificar un motor por su placa de características.
- Reconocer las conexiones estrella y triángulo en la placa de bornes de un motor.
- Explicar el principio de funcionamiento de un motor asíncrono trifásico.
- Distinguir los tipos de rotores en un motor asíncrono.
- Calcular el rendimiento de un motor de corriente alterna.

Esquema de estudio

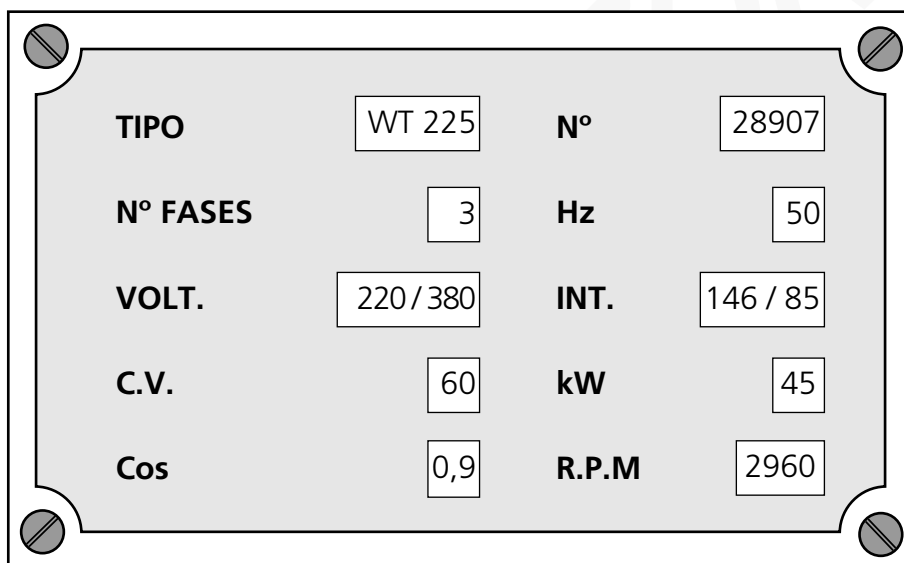


Motor asíncrono trifásico: generalidades

Un motor asíncrono trifásico es aquél que gira a una velocidad inferior a la de sincronismo* y está alimentado por una corriente trifásica. Es el más usado en la industria.

Las características de los motores están reseñadas por los fabricantes en una placa fija a su carcasa, similar a la de la figura 1. En ella se indican los siguientes datos:

- Distintivo del fabricante.
- Tipo de motor.
- Número de fabricación.
- Potencia del motor en kW o en CV.
- Tensión en voltios.
- Intensidad en amperios.
- Factor de potencia* (coseno de ϕ).
- Frecuencia en h7ercios.
- Velocidad del rotor en r.p.m.



TIPO	WT 225	Nº	28907
Nº FASES	3	Hz	50
VOLT.	220 / 380	INT.	146 / 85
C.V.	60	kW	45
Cos	0,9	R.P.M	2960

Fig. 1: Placa de características de un motor asíncrono trifásico.

En el recuadro correspondiente a la tensión, se suelen indicar dos valores (220/380 V, por ejemplo).

La tensión más pequeña corresponde a la conexión del motor en triángulo, mientras que la mayor corresponde a la conexión en estrella. La tensión de la red se corresponde con la más baja indicada en la placa.

Esto es debido a que la tensión que soporta el motor conectado en triángulo en cada una de sus fases es la que viene dada por la línea; mientras que en la conexión del motor en estrella, esta tensión se divide por raíz de tres.

Ejemplo:

Supongamos que tenemos un motor cuya placa de características nos indica una tensión de 220/380 V. Esto quiere decir que si la tensión de red es de 220 V, conectaremos el motor en triángulo; mientras que si es de 380 V, la conexión correcta sería en estrella.

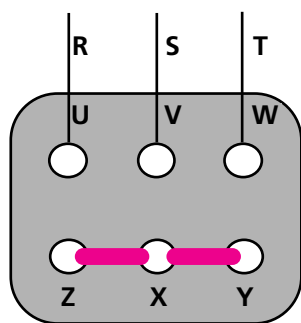


Fig. 2
Caja de bornes de un motor trifásico. Conexión estrella.

Caja de bornes

Los motores eléctricos están provistos de una caja de bornes en la cual son accesibles los principios y finales de las bobinas.

Los principios y finales de cada fase se marcan de la siguiente forma:

- Fase R : U, X.
- Fase S : V, Y.
- Fase T : W, Z.

Para la **conexión en estrella** se unen los bornes con las letras **X - Y - Z** y, como dijimos, se usará la tensión más alta consignada en la placa.

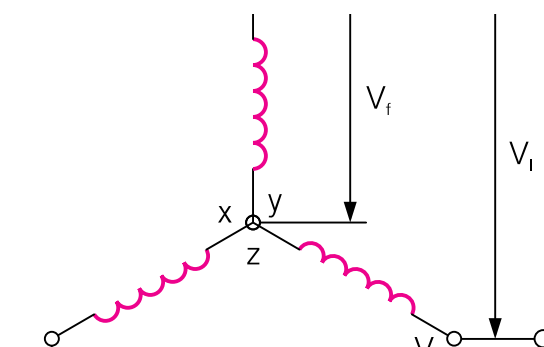


Fig. 3: Conexión de los devanados en estrella.

La **conexión en triángulo** se realiza un puente entre el final de cada fase con el principio de la siguiente: **X-V; Y-W; Z-U**. La tensión que se utiliza para esta conexión es la menor indicada en la placa de características.

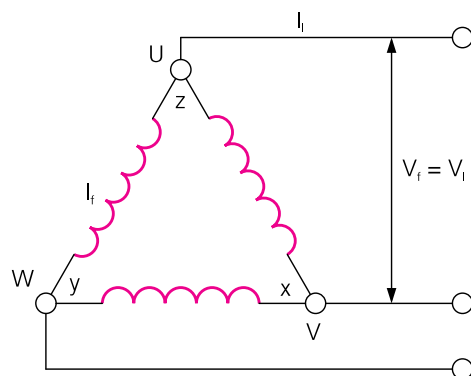


Fig. 5: Conexión de los devanados en estrella.

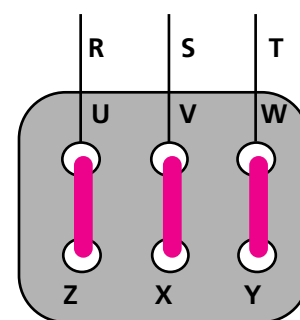


Fig. 4
Caja de bornes de un motor trifásico. Conexión triángulo.

ACTIVIDAD 1

Completa la placa de características de la figura con los siguientes datos:

Disponemos de un motor **trifásico**, que conectamos a una red de **60 hz**. Dependiendo de la conexión de sus devanados, puede funcionar a **220 V** ó **380 V**. Su potencia es de **25 CV (18,4 kW)** y la intensidad que recorre sus devanados es de **48,287 A** (conexión triángulo) o de **16,14 A** (conexión estrella).

El motor gira a una velocidad de **1.690 r.p.m.** y su factor de potencia es **0,85**.

TIPO	WT 225	N.º	28907
N.º FASES		Hz	
VOLT.		INT.	
C.V.		kW	
Cos		R.P.M.	

Principio de funcionamiento

La corriente trifásica, al circular por los devanados del estátor crea un campo magnético. Este campo magnético es giratorio, es decir, sus polos giran aunque las bobinas que los crean sean fijas.

La principal característica de la corriente trifásica es la de crear un campo giratorio. Para calcular la polaridad de dicho campo, basta con aplicar la regla de la mano derecha a las bobinas por las que circula la corriente trifásica (fig. 6).

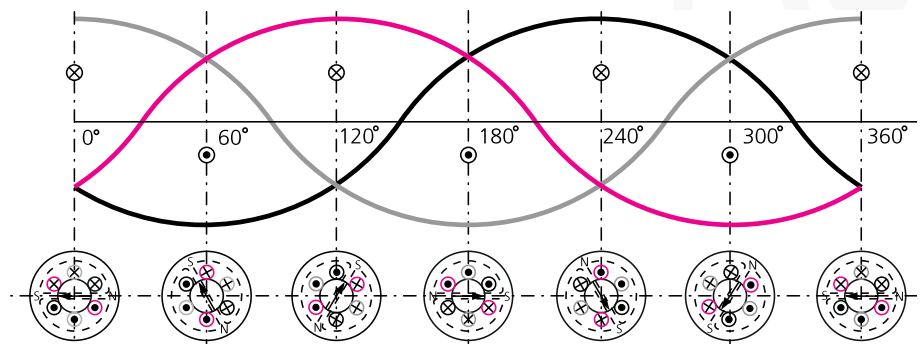


Fig. 6: Creación del campo magnético giratorio.

Este campo magnético origina, en las bobinas del rotor, otro campo, de polaridad contraria. Ambos campos se atraen entre sí, por lo que, si el campo del estátor gira, el del rotor lo hará también.

La forma de hallar la velocidad de giro del campo es la misma que en los motores monofásicos, es decir:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$$

n_1 = Velocidad del campo magnético.
 f = Frecuencia.
 p = Pares de polos.

Para calcular el deslizamiento, utilizaremos las fórmulas vistas para los motores monofásicos:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100$$

$$n = n_1 - n_2$$

ACTIVIDAD 2

Completa el texto con las palabras siguientes:

rotor, giratorio, atraen, estátor.

El principio de funcionamiento de un motor asíncrono trifásico es el siguiente:

La corriente trifásica, al circular por los devanados del, crea un campo magnético

Este campo magnético origina, en las bobinas del otro campo, de polaridad contraria. Ambos campos se entre sí, por lo que si uno gira, el otro también lo hace.

Par de arranque y par motor

- **Par motor.** En un motor, las corrientes del rotor y el flujo magnético giratorio del estátor producen fuerzas que originan el giro de la máquina. Estas fuerzas, paralelas y de sentidos contrarios, se denomina **par motor**.

$$M = K \cdot \Phi \cdot I$$

- **Par de arranque.** Cuando el motor comienza a girar, absorbe una corriente bastante elevada. Esta corriente, junto con el flujo, da lugar a las fuerzas conocidas como par de arranque.

$$M_{arr} = K \cdot \Phi \cdot I_{arr}$$

- **Par nominal** o de régimen. Es la fuerza desarrollada por la máquina cuando trabaja con sus valores nominales.

$$M_n = K \cdot \Phi \cdot I_n$$

El significado de estas variables es el siguiente:

M = Par motor (N · m).

K = Constante (depende de la máquina).

Φ = Flujo magnético del estátor (Wb).

I = Corriente que circula por el devanado del rotor (A).

Tipos de rotores

Como sabemos, el rotor es la parte giratoria del motor. El rotor de un motor asíncrono trifásico se construye de dos formas distintas:

Rotor de jaula de ardilla

- **Rotor de jaula simple.** Al igual que en los motores asíncronos monofásicos, el rotor está formado por barras de cobre o aluminio, cortocircuitadas en sus extremos por anillos conductores y colocadas sobre un cilindro ranurado donde las barras encajan perfectamente.

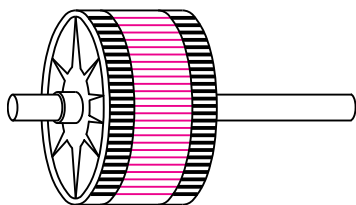


Fig. 7: Motor de jaula de ardilla.

Al estar situadas en el interior del campo magnético variable del estátor, se induce en ellas una corriente que da lugar a la aparición de las fuerzas que originan el giro del rotor.

El gran inconveniente que presentan estos motores es que, en el arranque, llegan a absorber una intensidad 6 ó 7 veces mayor que la nominal, por lo que es necesario el empleo de dispositivos que limiten esta corriente. Sólo se realiza un arranque directo cuando su potencia es inferior a 3 CV.

Su par de arranque es muy bajo (140% del par nominal).

- **Rotor de doble jaula.** Se diferencia de los anteriores en que posee una segunda jaula que se dispone más profundamente que la primera y concéntrica a ella.

Esta disposición limita la intensidad de arranque, ($I_{arr} = 3 - 5 I_n$); y aumenta el par hasta un 230 % de nominal.

Estos motores se emplean para arrancar en carga.

Su velocidad es prácticamente constante, por lo que se puede decir que no detectan variaciones en la carga.

Las barras de la jaula exterior suelen fabricarse de latón (resistencia más elevada), y las interiores, de cobre (menos resistencia).

- **Rotor de jaula profunda.** Estos rotores son una variante de los de jaula de ardilla simple. Las barras de la jaula se introducen más profundamente en el rotor, con lo que se consigue una puesta en marcha más rápida.

Sus características de intensidad y par son similares a las de los rotores de jaula de ardilla simple.

Rotor bobinado

Se caracteriza por el bobinado de las ranuras del rotor, que sustituye a las jaulas de los anteriores.

Los terminales de este bobinado se conectan en estrella o en triángulo por uno de sus extremos, mientras que el otro se apoya, a través de las escobillas, en un anillo.

De esta manera, se puede modificar la resistencia del motor (intercalando resistencias), con lo que podemos variar el par de arranque entre el 150 y el 250% del par normal, y la intensidad de arranque, entre 1,5 y 2 veces la nominal.

Durante la puesta en marcha y funcionamiento del motor, los anillos se cortocircuitan a través de resistencias variables. Estos motores se denominan, también, **motores de anillos rozantes**.

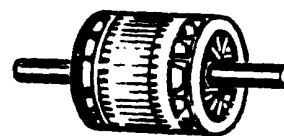


Fig. 8: Rotor bobinado.

Número de fases, polos y ranuras del rotor

En los motores con rotor bobinado, el número de polos del estátor y del rotor es siempre el mismo. El número de fases puede ser distinto del número de fases del estátor. Generalmente, estos motores son siempre trifásicos.

En ambos motores, el número de ranuras del rotor debe de ser distinto del número de ranuras del estátor.

Las ranuras del rotor suelen ser inclinadas, con el fin de reducir ruidos y vibraciones en el motor, sobre todo en los motores de jaula de ardilla. De esta manera, se evitan los posibles puntos muertos entre los polos del rotor y del estátor, responsables de ruidos y vibraciones.

El motor asíncrono sincronizado

Este motor suma las ventajas de los dos tipos de motores de corriente alterna (síncronos y asíncronos), y minimizan sus inconvenientes.

Recuerda que un motor síncrono no puede arrancar en carga, pero tiene la gran ventaja de aumentar considerablemente el factor de potencia de la red. En cambio, el motor asíncrono dispone de un elevado par de arranque, pero su factor de potencia es bastante bajo.

En el caso del **motor asíncrono sincronizado**, se efectúa el arranque como un motor asíncrono. Así se dispone de un par elevado y es posible el arranque en carga. Cuando se alcanza una velocidad próxima a la de sincronismo, el motor pasa a funcionar como síncrono.

Su constitución física es similar a la del motor asíncrono de rotor bobinado. La principal diferencia está en la manera de conectar las tres fases del bobinado rotórico, pues una de ellas estará dividida en dos mitades conectadas en paralelo.

Un conmutador de dos posiciones permite conectar el bobinado del rotor, bien sea con el reóstato de arranque R_a , o con la excitatriz necesaria para la excitación en funcionamiento normal como motor síncrono.

Este motor desarrolla un alto par en el arranque debido al reóstato. Al ir eliminando resistencia, el motor desarrolla una velocidad que poco a poco se va aproximando a la de sincronismo. En este momento, el conmutador cambia de posición y conecta la excitación, de modo que comienza a circular corriente continua a través de los conductores del rotor. Casi inmediatamente, se alcanza la velocidad de sincronismo.

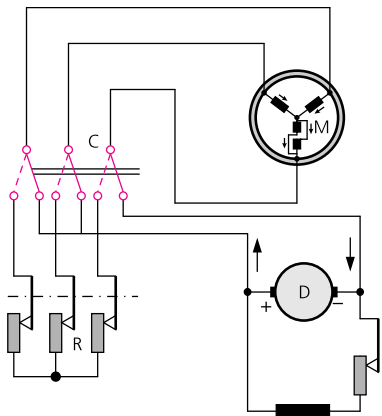


Fig. 9: Motor asíncrono sincronizado.

Rendimiento

No toda la potencia eléctrica que se suministra al motor se transforma en potencia mecánica, sino que parte de ella se pierde. El concepto de rendimiento nos da una idea de la cantidad de potencia útil que obtenemos de un motor.

Estas pérdidas se deben a múltiples causas:

- **Pérdidas eléctricas**, generalmente por efecto Joule: la corriente, al circular por los devanados de las máquinas, produce un calentamiento que se traduce en una pérdida de potencia.
- **Pérdidas magnéticas**, por fenómenos electromagnéticos*.
- **Pérdidas mecánicas**, por rozamientos.

El rendimiento de un motor se calcula dividiendo la potencia útil que obtenemos (**potencia mecánica**) entre la potencia que aportamos al motor (**potencia eléctrica**) y multiplicándola por cien.

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} \cdot 100 = \frac{P_{\text{mecánica}}}{P_{\text{eléctrica}}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{P_{\text{perdida}}}{P_{\text{entrada}}}\right) \cdot 100$$

Como nos referimos a corriente alterna, para calcular la potencia de entrada tendremos en cuenta el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad, es decir, el factor de potencia del motor.

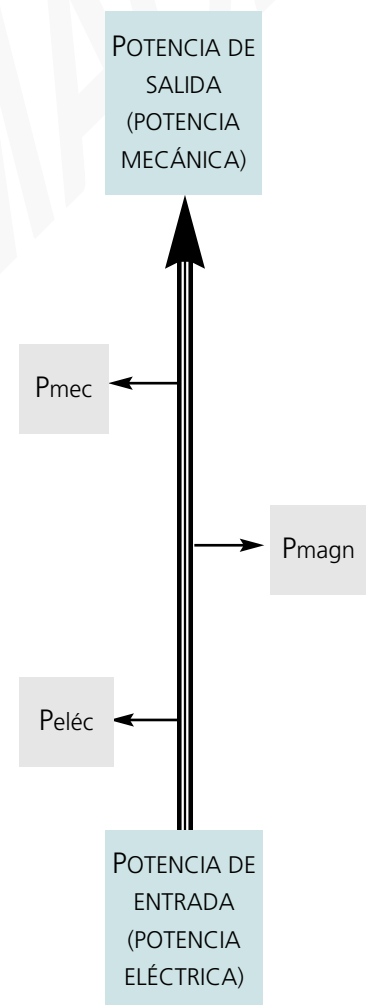
$$P_{\text{entrada}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

En el caso de que el motor esté conectado a una red trifásica, la potencia activa responde a la siguiente expresión:

$$P_{\text{entrada}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Un dato muy importante que hay que tener en cuenta es que, cuando hablamos de potencia mecánica, solemos expresarla en caballos de vapor (cv), mientras que cuando se habla de potencia eléctrica, se expresa en kilovatios (kW) (1 CV = 736 W).

El rendimiento depende de la potencia que le pidamos al motor, es decir, de la carga.



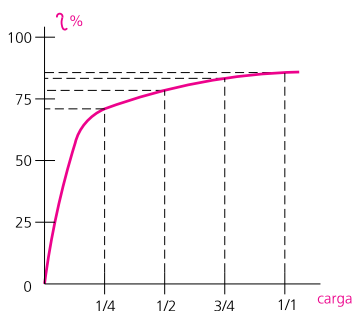


Fig. 10
Curva del rendimiento en
función de la carga.

La variación del rendimiento con la carga se ilustra en la figura 10:

Ejemplo:

Si el rendimiento de un motor de 20 CV es del 80%, ¿qué valor tiene la potencia que absorbe de la red?

Necesitamos expresar la potencia mecánica en kW:

$$20 \text{ CV} \times \frac{736 \text{ W}}{1 \text{ CV}} \times \frac{1 \text{ kW}}{1.000 \text{ W}} = 14,72 \text{ kW}$$

Ahora calculamos la potencia:

$$\eta = \frac{P_{\text{mec}}}{P_{\text{eléc}}} \cdot 100 \Rightarrow P_{\text{eléc}} = \frac{P_{\text{mec}} \cdot 100}{\eta} = \frac{14,72 \times 100}{80} = 18,4 \text{ kW}$$

ACTIVIDAD 3

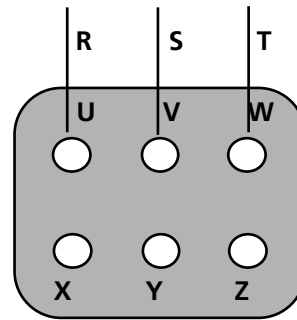
Calcula el rendimiento de un motor de 15 CV que absorbe 12 kW de la red.

Si consideras que has concluido el estudio de esta unidad, intenta responder a las siguientes cuestiones de autoevaluación.

Cuestiones de autoevaluación

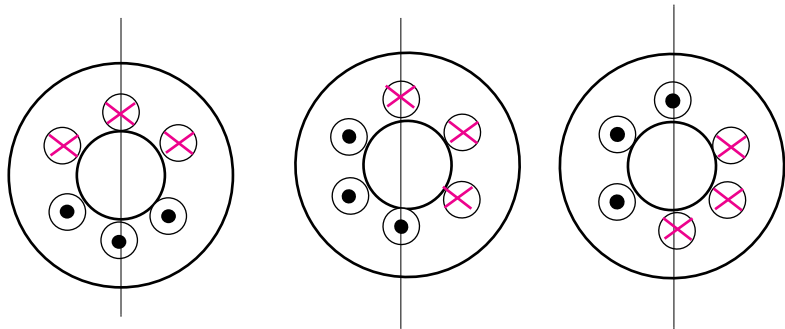
1

La placa de características de un motor asíncrono trifásico nos indica 220/380 voltios. Si disponemos de una red de 380 V, ¿qué conexión haremos en la placa de bornes del motor?



2

Una corriente eléctrica trifásica origina un flujo giratorio. ¿Cuál es el sentido de dicho flujo en las siguientes figuras?



3

¿Cuáles son los dos tipos de rotores que se utilizan en un motor asíncrono trifásico?

4

¿Cuál es la potencia que absorbe un motor de 35 CV si tiene un rendimiento del 92%?

R

ACTIVIDAD 1

TIPO	WT 225	N.º	28907
N.º FASES	3	Hz	60
VOLT.	220/380	INT.	48,3/ 16,14
C.V.	25	kW	18,4
Cos	0,85	R.P.M.	1.690

R

ACTIVIDAD 2

El principio de funcionamiento de un motor asíncrono trifásico es el siguiente:

La corriente trifásica, al circular por los devanados del **estátor**, crea un campo magnético **giratorio**.

Este campo magnético origina, en las bobinas del **rotor**, otro campo, de polaridad contraria. Ambos campos se **atraen** entre sí, por lo que si uno gira, el otro también lo hace.

R

ACTIVIDAD 3

En primer lugar, calcularemos cuál es el valor de la potencia mecánica en kW.

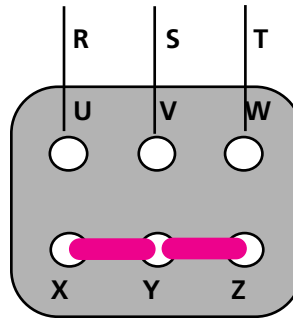
$$15 \text{ CV} \times \frac{736 \text{ W}}{1 \text{ CV}} \times \frac{1 \text{ kW}}{1.000 \text{ W}} = 11,72 \text{ kW}$$

Ahora aplicamos la fórmula del rendimiento:

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} \cdot 100 = \frac{P_{\text{mec}}}{P_{\text{eléc}}} \cdot 100 = \frac{11,04}{12} \cdot 100 = 92\%$$

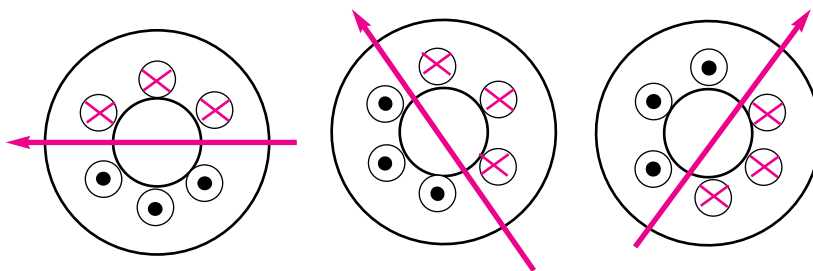
Respuestas a las cuestiones de autoevaluación

Ya que debemos conectar el motor a la tensión más alta especificada en la placa, la conexión correcta será en estrella; es decir, debemos unir los tres finales de la caja de bornes (X, Y, Z).



1

Para hallar el sentido del flujo, basta con aplicar la regla de la mano derecha en cada una de las figuras:



2

Los dos tipos de rotores que utilizan los motores asíncronos trifásicos son: rotor en jaula de ardilla (jaula simple, jaula doble y ranura profunda) y el rotor bobinado.

3

Para calcular la potencia absorbida por el motor, despejaremos la potencia eléctrica de la fórmula del rendimiento.

4

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} \cdot 100 = \frac{P_{\text{mec}}}{P_{\text{elec}}} \cdot 100$$

$$P_{\text{elec}} = \frac{P_{\text{mec}}}{\eta} \cdot 100 = \frac{35 \text{ CV}}{92} \cdot 100 = 38,04 \text{ CV}$$

Pero como sabemos, la potencia eléctrica se suele expresar en kW, por lo que realizaremos la conversión:

$$38,04 \text{ CV} \times \frac{736 \text{ W}}{1 \text{ CV}} \times \frac{1 \text{ kW}}{1.000 \text{ W}} = 27,997 \text{ kW} = 28 \text{ kW}$$

Resumen de Unidad

Motor asíncrono trifásico Un motor trifásico asíncrono gira a una velocidad menor que la de sincronismo y está alimentado por una corriente trifásica.

La **placa de características** de este motor nos informa acerca de sus parámetros característicos (tensión, intensidad, $\cos \phi$...).

En la **caja de bornes**, dispuesta sobre la carcasa, son accesibles los principios y finales de cada fase.

Principio de funcionamiento La corriente trifásica que circula por los devanados del estátor crea un campo magnético giratorio, que, a su vez, es seguido por los polos del rotor, de manera que origina el giro del motor.

Tipos de rotores Existen dos tipos de rotores en un motor asíncrono trifásico:

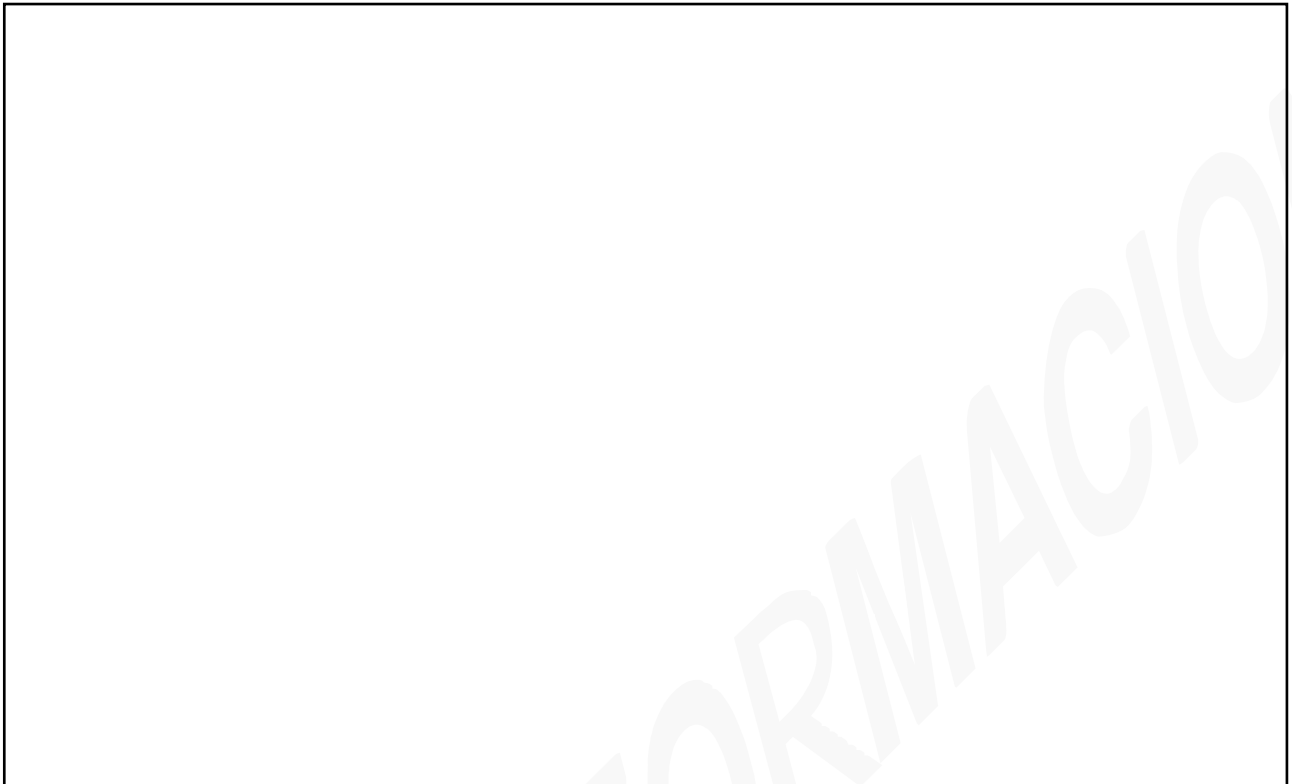
- Rotor en jaula de ardilla.
- Rotor bobinado.

Motor asíncrono sincronizado Este motor trabaja en el arranque como un motor asíncrono y cuando éste ha alcanzado la velocidad de sincronismo, pasa a funcionar como un motor síncrono.

Rendimiento El rendimiento de un motor es el resultado de dividir la potencia mecánica aprovechable entre la potencia eléctrica que dicho motor absorbe de la red.

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} \cdot 100 = \frac{P_{\text{mecánica}}}{P_{\text{eléctrica}}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{P_{\text{perdida}}}{P_{\text{entrada}}} \right) \cdot 100$$

Notas



Vocabulario

Factor de potencia: coseno del ángulo de desfase entre la tensión aplicada en bornes de un circuito y la intensidad que lo recorre.

Fenómenos electromagnéticos: la corriente eléctrica, al circular por un conductor, crea un campo magnético en sus alrededores.

Velocidad de sincronismo: velocidad a la que gira el campo magnético creado por la corriente trifásica; viene determinado por la frecuencia de la red y por el número de pares de polos de la máquina.



FONDO  FORMACION