

# Motores de inducción monofásicos

FESTO

**FESTO**

Electricidad y Nuevas  
Energías

LabVolt Series

Manual del estudiante



## Alemania

Festo Didactic SE  
Rechbergstr. 3  
73770 Denkendorf  
Tel.: +49 711 3467-0  
Fax: +49 711 347-54-88500  
did@festo.com

## Estados Unidos

Festo Didactic Inc.  
607 Industrial Way West  
Eatontown, NJ 07724  
Tel.: +1 732 938-2000  
Sin cargo: +1-800-522-8658  
Fax: +1 732 774-8573  
services.didactic@festo.com

## Canadá

Festo Didactic Ltée/Ltd  
675, rue du Carbone  
Québec (Québec) G2N 2K7  
Tel.: +1 418 849-1000  
Sin cargo: +1-800-522-8658  
Fax: +1 418 849-1666  
services.didactic@festo.com

Manual del estudiante

Motores de inducción monofásicos

[www.festo-didactic.com](http://www.festo-didactic.com)

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

Festo Didactic  
es  
579475



0000579475000000000100

**Electricidad y Nuevas Energías**

# **Motores de inducción monofásicos**

**Manual del estudiante**

579475

Nº de artículo: 579475 (Versión impresa) 592178 (CD-ROM)

Primera edición

Actualización: 09/2015

Por el personal de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 2014

Internet: [www.festo-didactic.com](http://www.festo-didactic.com)

e-mail: [did@de.festo.com](mailto:did@de.festo.com)

Impreso en Canadá

Todos los derechos reservados

ISBN 978-2-89640-981-5 (Versión impresa)

ISBN 978-2-89640-983-9 (CD-ROM)

Depósito legal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

Depósito legal – Library and Archives Canada, 2014

El comprador adquiere un derecho de utilización limitado simple, no excluyente, sin limitación en el tiempo, aunque limitado geográficamente a la utilización en su lugar / su sede.

El comprador tiene el derecho de utilizar el contenido de la obra con fines de capacitación de los empleados de su empresa, así como el derecho de copiar partes del contenido con el propósito de crear material didáctico propio a utilizar durante los cursos de capacitación de sus empleados localmente en su propia empresa, aunque siempre indicando la fuente. En el caso de escuelas/colegios técnicos, centros de formación profesional y universidades, el derecho de utilización aquí definido también se aplica a los escolares, participantes en cursos y estudiantes de la institución receptora.

En todos los casos se excluye el derecho de publicación, así como la inclusión y utilización en Intranet e Internet o en plataformas LMS y bases de datos (por ejemplo, Moodle), que permitirían el acceso a una cantidad no definida de usuarios que no pertenecen al lugar del comprador.

Todos los otros derechos de reproducción, copiado, procesamiento, traducción, microfilmación, así como la transferencia, la inclusión en otros documentos y el procesamiento por medios electrónicos requieren la autorización previa y explícita de Festo Didactic.

La información contenida en este documento está sujeta a cambios sin previo aviso y no representa ningún compromiso por parte de Festo Didactic. Los materiales Festo descritos en este documento se suministran bajo un acuerdo de licencia o de confidencialidad.

Festo Didactic reconoce los nombres de productos como marcas de comercio o marcas comerciales registradas por sus respectivos titulares.

Todas las otras marcas de comercio son propiedad de sus respectivos dueños. Es posible que en este documento se utilicen otras marcas y nombres de comercio para referirse a la entidad titular de las marcas y nombres o a sus productos. Festo Didactic renuncia a todo interés de propiedad relativo a las marcas y nombres de comercio que no sean los propios.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Símbolos de seguridad y de uso frecuente

Los siguientes símbolos de seguridad y de uso frecuente pueden encontrarse en este manual y en los equipos:

Símbolo	Descripción
	<b>PELIGRO</b> indica un nivel alto de riesgo que, de no ser evitado, ocasionará la muerte o lesiones de gravedad.
	<b>ADVERTENCIA</b> indica un nivel medio de riesgo, que de no ser evitado, puede ocasionar la muerte o lesiones de gravedad.
	<b>ATENCIÓN</b> indica un nivel bajo de riesgo, que de no ser evitado, puede ocasionar lesiones menores o leves.
	<b>ATENCIÓN</b> utilizado sin el <i>símbolo de riesgo</i>  , indica una situación de riesgo potencial que, de no ser evitada, puede ocasionar daños materiales.
	Precaución, riesgo de descarga eléctrica
	Precaución, superficie caliente
	Precaución, posible riesgo
	Precaución, riesgo al levantar
	Precaución, riesgo de atrapar las manos
	Aviso, radiación no ionizante
	Corriente continua
	Corriente alterna
	Corriente alterna y continua
	Corriente alterna trifásica
	Terminal de tierra (común)

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Símbolos de seguridad y de uso frecuente

Símbolo	Descripción
	Terminal de conductor protegido
	Terminal de chasis
	Equipotencial
	Encendido (fuente)
	Apagado (fuente)
	Equipo protegido con aislamiento doble o reforzado
	Botón biestable en posición pulsado
	Botón biestable en posición no pulsado

# Índice

Prefacio .....	VII
Acerca de este manual .....	XI
OBJETIVO DEL MANUAL.....	1
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES .....	1
Introducción a los motores de inducción ca.....	1
<b>Ejercicio 1 Operación y características de los motores de inducción monofásicos.....</b>	<b>5</b>
PRINCIPIOS.....	5
Motor de inducción jaula de ardilla monofásico de base .....	5
Adición de un condensador y un devanado auxiliar al motor de inducción monofásico .....	7
Interruptor centrífugo.....	9
PROCEDIMIENTO .....	10
Instalación y conexiones.....	10
Operación trifásica, bifásica y monofásica de un motor de inducción jaula de ardilla trifásico .....	11
Funcionamiento de un motor de inducción monofásico (tipo arranque por condensador y fase partida).....	14
CONCLUSIÓN .....	19
PREGUNTAS DE REVISIÓN .....	19
<b>Apéndice A Tabla de utilización del equipo .....</b>	<b>21</b>
<b>Apéndice B Glosario de términos nuevos .....</b>	<b>23</b>
<b>Apéndice C Símbolos de los diagramas de circuitos.....</b>	<b>25</b>
Índice de términos nuevos .....	31
Bibliografía .....	33

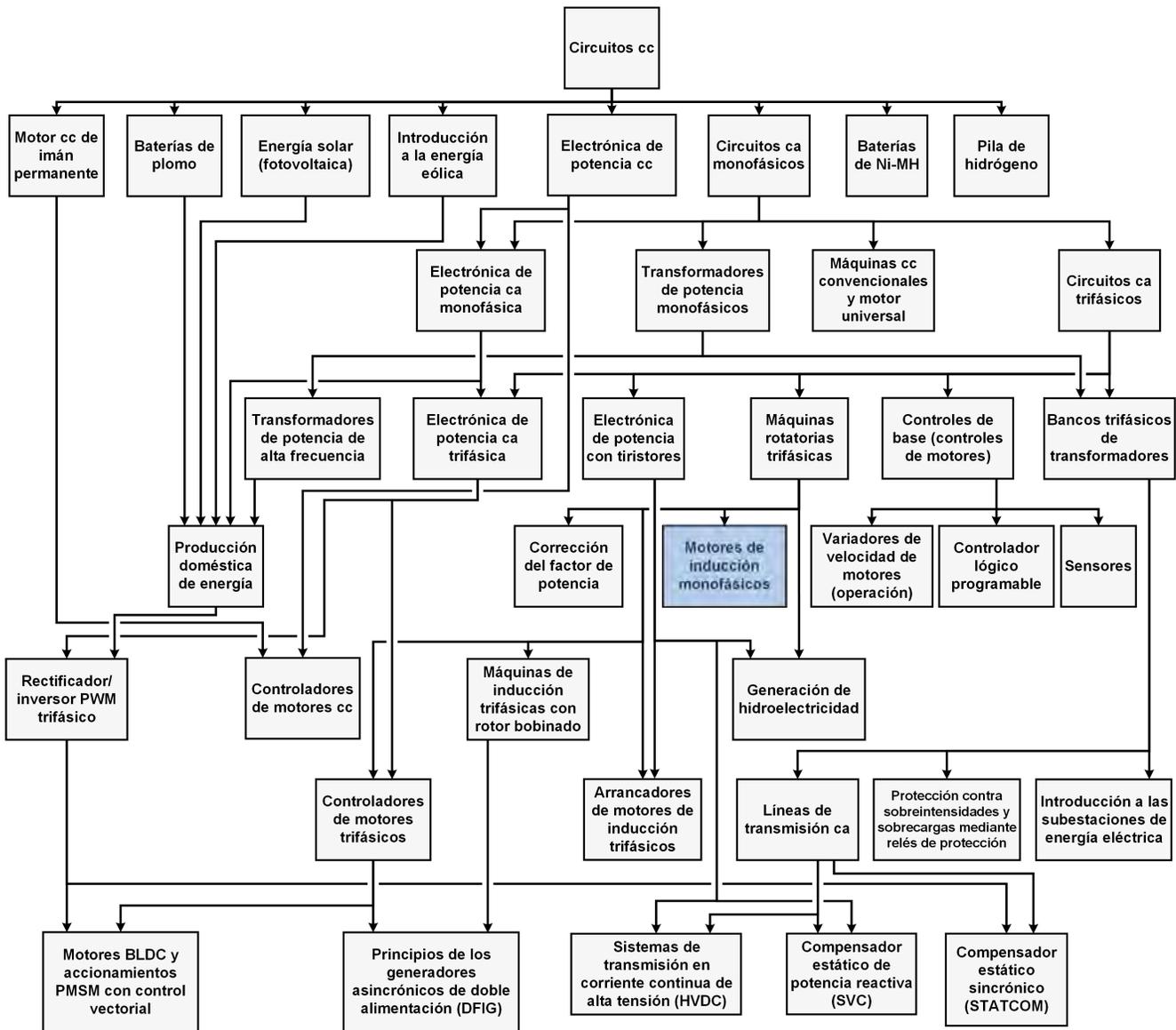
Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Prefacio

La producción de energía a partir de recursos naturales renovables como el viento, la luz del sol, la lluvia, las mareas, el calor geotérmico, etc., ha ganado mucho protagonismo en estos últimos años dado que es un medio eficaz para reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Últimamente, ha surgido como una tendencia importante la necesidad de tecnologías innovadoras para hacer que las redes sean más inteligentes debido a que el aumento de la demanda de energía eléctrica que se observa en todo el mundo hace que para las redes actuales de muchos países resulte cada vez más difícil continuar a soportar la demanda de energía. Además, en muchas partes del mundo se desarrollan y comercializan vehículos eléctricos (desde bicicletas hasta automóviles) cada vez con más éxito.

Para responder a las necesidades cada vez más diversificadas en materia de capacitación en el amplio sector de la energía eléctrica, hemos desarrollado el Programa didáctico en tecnologías de la energía eléctrica, un programa de aprendizaje modular destinado a escuelas técnicas, colegios y universidades. El organigrama de más abajo muestra el programa en el que cada caja representa un curso específico.

# Prefacio



**Programa didáctico en tecnologías de la energía eléctrica.**

El programa comienza con una variedad de cursos que tratan en profundidad los temas básicos relacionados con el campo de la energía eléctrica, como los circuitos de corriente continua y alterna, transformadores de potencia, máquinas rotatorias, líneas de transmisión de corriente alterna y electrónica de potencia. El programa se basa en los conocimientos adquiridos por el estudiante a través de esos cursos básicos para luego aprender temas más avanzados como la producción doméstica de energía a partir de recursos renovables (viento y luz solar), generación de hidroelectricidad a gran escala, producción de energía eléctrica a gran escala a partir de la energía eólica (utilizando las tecnologías de los generadores de inducción de doble alimentación [DFIG], asincrónicos y sincrónicos), tecnologías de redes inteligentes (SVC, STATCOM, transmisión HVDC, etc.), almacenamiento de la energía eléctrica en baterías y sistemas de control para pequeños vehículos y automóviles eléctricos.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Prefacio

Invitamos a los lectores a enviarnos sus opiniones, comentarios y sugerencias para mejorarlo.

Por favor, envíelos a [services.didactic@festo.com](mailto:services.didactic@festo.com).

Los autores y Festo Didactic estamos a la espera de sus comentarios.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Acerca de este manual

El presente manual, *Motores de inducción monofásicos*, introduce al estudiante en el funcionamiento y las características de los dos tipos de motores de inducción monofásicos: motor de inducción con arranque por condensador y motor de inducción de fase partida. Estos motores, aunque todavía están en uso en numerosas aplicaciones, son menos empleados en las aplicaciones modernas, donde a menudo son reemplazados por accionamientos de motores de inducción trifásicos (es decir, un motor de inducción jaula de ardilla trifásico más un inversor trifásico de frecuencia variable), para una mayor flexibilidad de operación y un mejor rendimiento.

## Consideraciones de seguridad

Los símbolos de seguridad que pueden emplearse en este manual y en los equipos están listados en la tabla de Símbolos de seguridad al principio de este manual.

Los procedimientos de seguridad relacionados con las tareas que se le pedirán realizar están indicados en cada ejercicio.

Asegúrese de emplear el equipo protector adecuado al realizar las tareas requeridas en los ejercicios prácticos. Nunca realice una tarea si tiene alguna razón para pensar que una manipulación podría ser peligrosa para usted o sus compañeros.

## Prerrequisito

Como prerrequisito de este curso, tiene que haber leído los manuales *Circuitos cc*, p/n 86350, *Circuitos ca monofásicos*, p/n 86358, *Circuitos ca trifásicos*, p/n 86360 y *Máquinas rotatorias trifásicas*, p/n 86364.

## Sistemas de unidades

Los valores de los parámetros medidos se expresan utilizando el Sistema internacional de unidades SI seguidos por los valores en el sistema de unidades anglosajón (entre paréntesis).

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Motores de inducción ca

### OBJETIVO DEL CURSO

Cuando haya completado las actividades de este manual, será capaz de demostrar las principales características del funcionamiento de los motores de inducción monofásicos.

### RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios fundamentales cubren el siguiente punto:

- Introducción a los motores de inducción ca

### PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

#### Introducción a los motores de inducción ca

La ley de **inducción electromagnética** de Faraday establece que se induce una tensión en los extremos de un bucle de alambre cuando el flujo magnético que pasa a través del mismo varía en función del tiempo. Si los extremos del bucle de alambre están cortocircuitados, una corriente fluye en el bucle. La figura 2 muestra un imán que se desplaza rápidamente hacia la derecha sobre un grupo de conductores que forman una estructura similar a una escalera. Las barras A y B cortocircuitan dichos conductores.

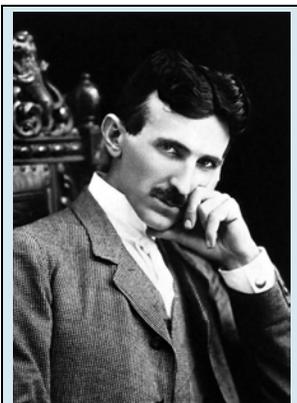


Figura 1. Los principios sobre la operación de los motores de corriente alterna por lo general se atribuyen al científico Nikola Tesla.

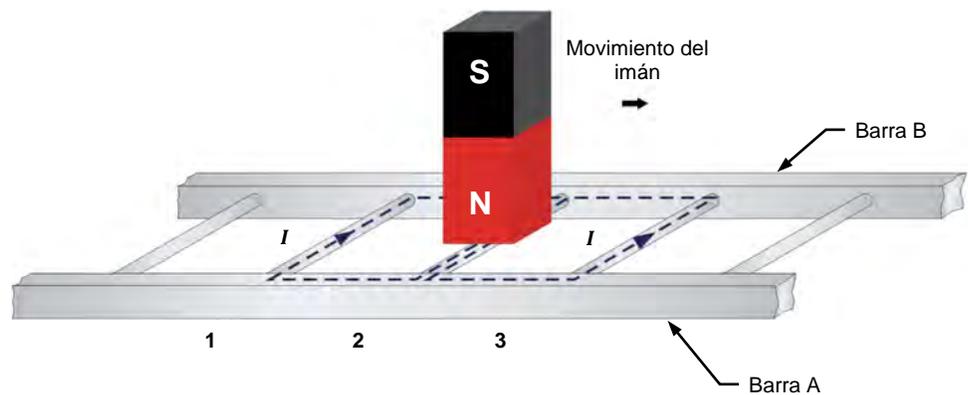
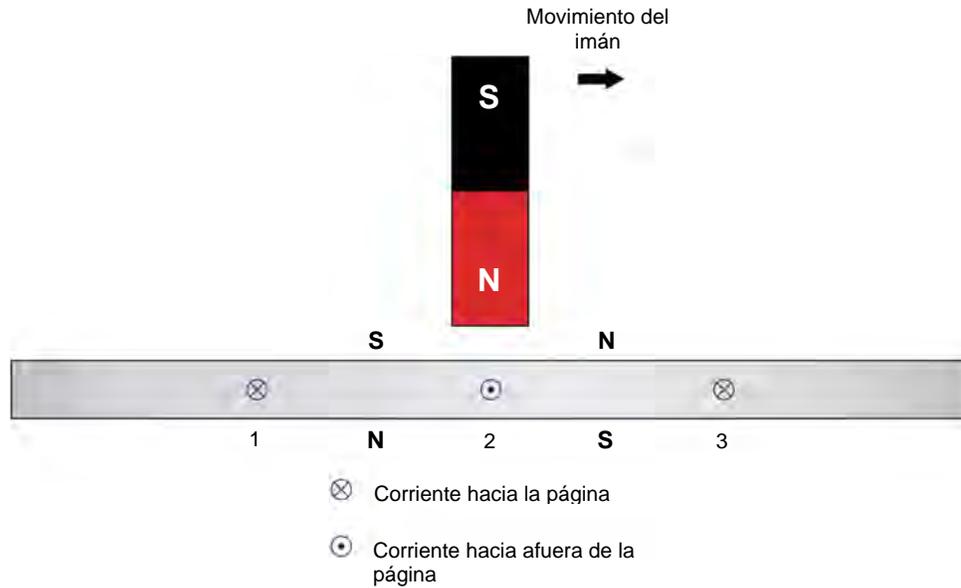


Figura 2. Desplazamiento de un imán sobre una escalera conductora.

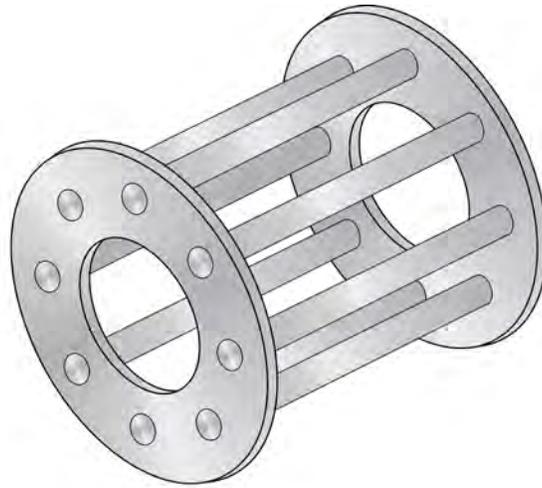
Una corriente fluye en el bucle formado por los conductores 1 y 2 y otra en el formado por los conductores 2 y 3. Estas corrientes crean campos magnéticos que tienen polos norte y sur, como se muestra en la figura 3.



**Figura 3. La corriente en los conductores crea campos magnéticos.**

La interacción entre el campo magnético del imán y los campos magnéticos creados por las corrientes inducidas en la escalera, crean una fuerza entre ambos. Ésta hace que la escalera se desplace en la dirección del imán. Sin embargo, si la escalera se mueve a la misma velocidad del imán, no hay variación en el flujo magnético que pasa a través de la escalera. Es decir, no se induce una tensión que produzca un flujo de corriente en los bucles conductores y ninguna fuerza magnética actúa en la escalera. Por tanto, para crear una fuerza magnética que arrastre la escalera en dirección del imán, ésta debe moverse a menor velocidad que el imán. Cuanto mayor es la diferencia entre las velocidades de ambos, mayor será la variación del flujo magnético en la escalera y, por tanto, mayor será la fuerza magnética que actúa sobre la misma.

Para obtener el rotor de una máquina de inducción jaula de ardilla, basta con unir los extremos de la escalera que se ilustra en la figura 2. En la figura 4 se muestra la forma que resulta. El nombre jaula de ardilla se debe a la apariencia del rotor resultante, el cual se asemeja a una jaula de ardilla.



**Figura 4. Al unir los extremos de una escalera se forma una jaula de ardilla.**

Con el fin de facilitar la circulación del flujo magnético, se coloca el rotor de una máquina de inducción jaula de ardilla trifásica dentro de un cilindro de hierro laminado. El estátor de la máquina de inducción actúa como un electroimán rotante. Este produce un par que arrastra el rotor de la misma forma que el imán de la figura 2 lo hace con la escalera.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Operación y características de los motores de inducción monofásicos

**OBJETIVO DEL EJERCICIO** Cuando haya terminado este ejercicio, será capaz de demostrar las principales características de funcionamiento de los motores de inducción monofásicos. Comenzará por estudiar qué sucede cuando un motor de inducción jaula de ardilla trifásico está conectado a tres, dos o una fase de la fuente de potencia trifásica ca. Sabrá cómo conectar un condensador y un devanado auxiliar a un motor de inducción monofásico para permitir que éste arranque y gire normalmente. Por último, sabrá cómo utilizar un interruptor centrífugo para desconectar el devanado auxiliar y el condensador de un motor de inducción monofásico una vez que el motor comienza a rotar.

### RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Motor de inducción jaula de ardilla monofásico de base
- Adición de un condensador y un devanado auxiliar al motor de inducción monofásico
- Interruptor centrífugo

### PRINCIPIOS

#### Motor de inducción jaula de ardilla monofásico de base

Es posible construir un motor de inducción jaula de ardilla monofásico usando un electroimán de base conectado a una fuente de alimentación ca monofásica, como se muestra en la figura 5.

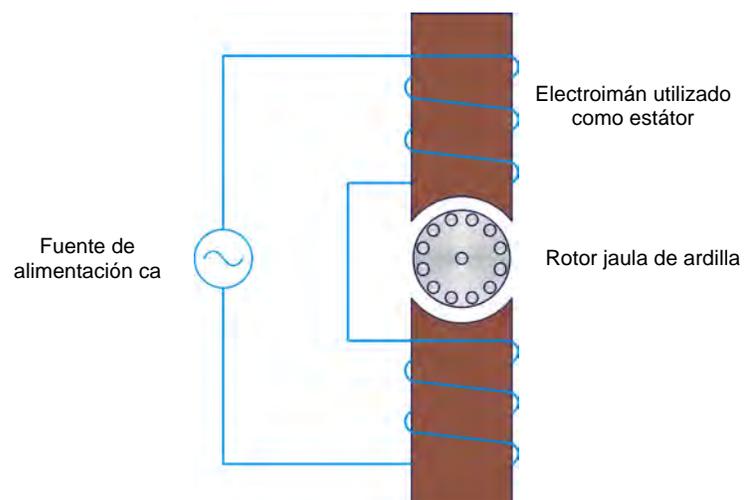
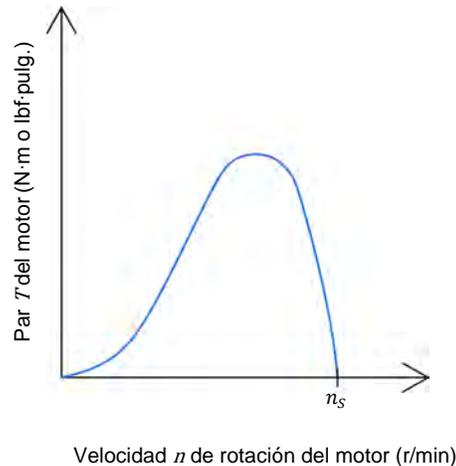


Figura 5. Motor de inducción jaula de ardilla monofásico de base.

El principio de funcionamiento del **motor de inducción monofásico** es más complejo que el del motor de inducción jaula de ardilla trifásico. El motor de inducción monofásico de base de la figura 5 también se puede considerar como un freno de corrientes de Foucault, que actúa de manera intermitente debido a que la corriente sinusoidal en el electroimán del estátor pasa continuamente de picos a ceros. Podría incluso preguntarse cómo este motor puede rotar ya que parece funcionar de una manera similar a la del freno de corrientes de Foucault.

Sin embargo, cuando el rotor del motor de inducción monofásico de la figura 5 se gira manualmente, se genera un par de torsión que actúa en la dirección de rotación. El motor continúa girando en la medida en que el electroimán del estátor siga alimentado por una tensión ca. Dicho par se debe a un campo magnético giratorio que resulta de la interacción del campo magnético generado por el electroimán del estátor y el generado por las corrientes inducidas en el rotor. La figura 6 muestra el gráfico del par en función de la velocidad de rotación para este tipo de motor. La curva muestra que el par es muy pequeño a bajas velocidades. Éste aumenta a un valor máximo a medida que la velocidad lo hace y finalmente cae nuevamente a cero cuando la velocidad se aproxima a la velocidad sincrónica  $n_s$ .



**Figura 6.** Curva de velocidad del par en función de la rotación de un motor de inducción monofásico.

Los bajos valores de par a bajas velocidades se deben al hecho de que las corrientes inducidas en el rotor producen campos magnéticos, creando fuerzas que actúan sobre el rotor en varias direcciones. La mayor parte de estas fuerzas se anulan entre sí y la fuerza resultante que actúa sobre el rotor es débil. Esto explica por qué el motor de inducción monofásico mostrado en la figura 5 se debe arrancar manualmente. Para obtener un par a velocidades bajas (par de arranque), se debe producir un campo magnético giratorio en el estátor cuando el motor está arrancando. Dicho campo se puede crear mediante dos corrientes alternas,  $I_1$  e  $I_2$ , desfasadas  $90^\circ$  entre sí y dos electroimanes colocados perpendicularmente.

La figura 7 muestra el motor de inducción monofásico de base de la figura 5 con la adición de un segundo electroimán colocado en ángulo recto con el primero. El segundo electroimán es idéntico al primero y se conecta a la misma fuente de alimentación ca. Las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  en los electroimanes (corrientes de devanado) están en fase debido a que las bobinas tienen la misma impedancia. Sin embargo, debido a la inductancia de éstas, hay un desplazamiento de fase entre las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  y la tensión ca de la fuente  $E_S$ , como se muestra en el diagrama de fasores de la figura 7.

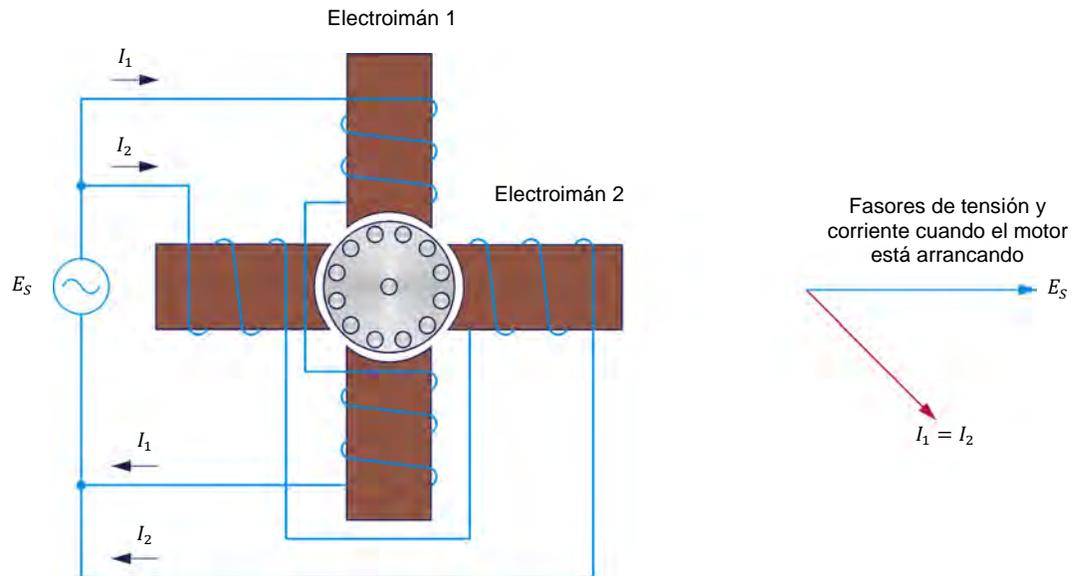
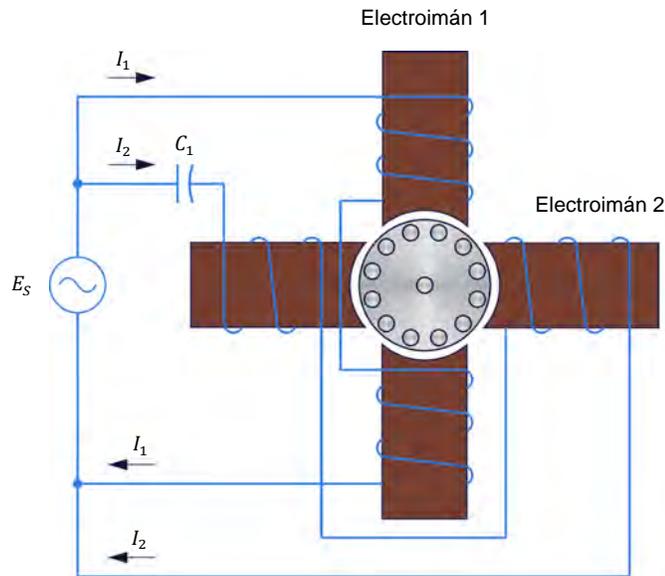


Figura 7. Adición de un segundo electroimán al motor de inducción monofásico de la figura 5.

### Adición de un condensador y un devanado auxiliar al motor de inducción monofásico

Debido a que las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  en los electroimanes (corrientes de devanado) de la figura 7 están en fase, no hay ningún campo magnético giratorio producido en el estator del motor. Sin embargo, es posible cambiar la fase de la corriente  $I_2$  mediante la conexión de un condensador ( $C_1$ ) en serie con el devanado del electroimán 2, como se muestra en la figura 8. Se puede seleccionar la capacitancia del condensador  $C_1$  para que la corriente  $I_2$  produzca una corriente  $I_1$  a  $90^\circ$  cuando el motor está arrancando. Como resultado, cuando el motor está arrancando se crea un campo magnético giratorio. El condensador crea el equivalente a una fuente de alimentación bifásica ca y permite que el motor desarrolle un par de arranque.



Formas de onda y fasores cuando el motor está arrancando

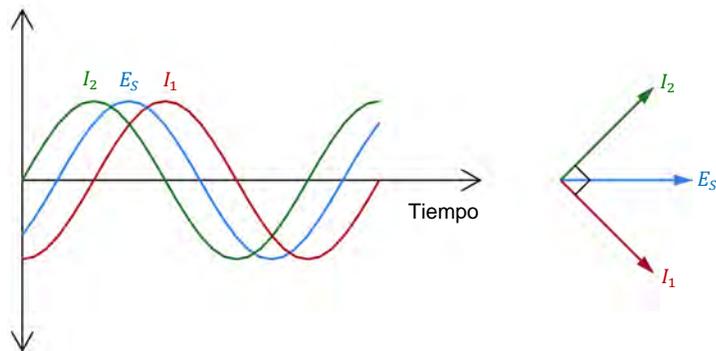


Figura 8. Adicionando un condensador al motor de inducción monofásico se permite que el motor desarrolle un par de arranque.

Otra forma de crear un desplazamiento de fase entre las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  es utilizar un devanado con menos vueltas de alambre de tamaño más pequeño. El devanado resultante, que se llama **devanado auxiliar**, tiene más resistencia y menos inductancia y la corriente está casi en fase con la fuente de tensión. Aunque el desplazamiento de fase entre las dos corrientes es menor de  $90^\circ$  cuando el motor está arrancando, como se muestra en la figura 9, se crea un campo magnético rotativo. El par producido es suficiente para que el motor comience a rotar en aplicaciones que no requieren altos valores de par de arranque. Dicho motor con un devanado auxiliar se llama un motor de inducción de fase partida.

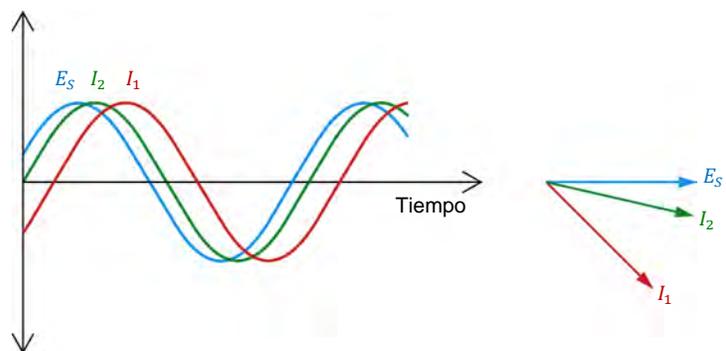


Figura 9. Desplazamiento de fase entre las corrientes de devanado cuando se utiliza un devanado auxiliar.

### Interruptor centrífugo

El devanado auxiliar no puede soportar altas corrientes sin sufrir daños durante más de unos pocos segundos, ya que está hecho de alambre fino. Por lo tanto, está conectado a través de un **interruptor centrífugo** que se abre y desconecta el bobinado del circuito del motor cuando éste alcanza aproximadamente el 75% de la velocidad normal. Cuando el interruptor centrífugo se abre, el campo magnético rotativo se mantiene por la interacción de los campos magnéticos producidos por el estátor y el rotor.



Figura 10. Los motores de inducción monofásicos son usados en máquinas de lavado convencionales, refrigeradores, bombas, compresores y equipos de aire acondicionado.

## RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento es dividido en las siguientes secciones:

- Instalación y conexiones
- Operación trifásica, bifásica y monofásica de un motor de inducción jaula de ardilla trifásico
- Funcionamiento de un motor de inducción monofásico (tipo arranque por condensador y fase partida)

## PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con altas tensiones. No haga ni modifique ninguna de las conexiones tipo banana con la alimentación encendida, a menos que se especifique lo contrario.

### Instalación y conexiones

*En esta sección, configurará un circuito conformado por un motor de inducción jaula de ardilla trifásico y el equipo necesario para medir los parámetros del motor.*

1. Consulte la Tabla de utilización del equipo que se encuentra en el Apéndice A para obtener la lista del material requerido para realizar este ejercicio. Instale el equipo necesario en el [Puesto de trabajo](#).
2. En la [Fuente de alimentación](#), asegúrese de que los interruptores principal y de alimentación de 24 V ca estén en la posición **O** (apagado) y que la perilla de control de tensión esté ajustada en **0%** (completamente hacia la izquierda). Luego, conecte la [Fuente de alimentación](#) a un tomacorriente ca mural trifásico.
3. Conecte la [Entrada de potencia](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y de control \(DACI\)](#) a la fuente de potencia de 24 V ca de la [Fuente de alimentación](#).

Encienda la fuente de potencia de 24 V ca de la [Fuente de alimentación](#).

4. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) al puerto USB de la computadora.
5. Conecte el equipo como se muestra en la figura 11. Utilice la salida de tensión ca trifásica variable de la [Fuente de alimentación](#) para implementar la fuente de potencia de tensión ca variable. *E1*, *I1*, *I2* e *I3* son la tensión y las corrientes de entrada de la [Interfaz de adquisición de datos y de control \(DACI\)](#).

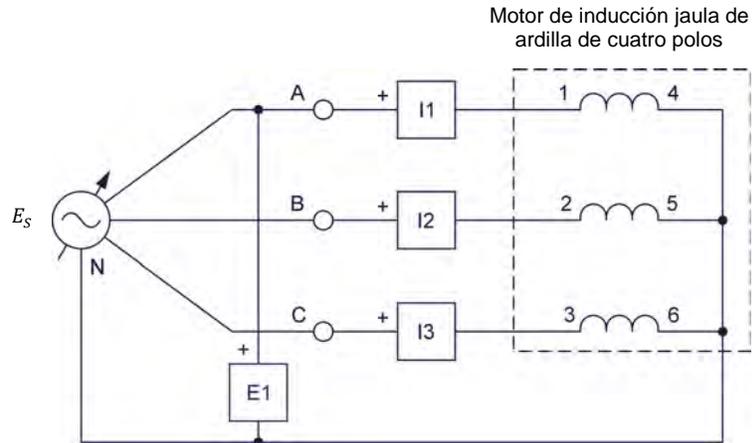


Figura 11. Motor de inducción jaula de ardilla trifásico.

6. Encienda la computadora, luego inicie el software **LVDAC-EMS**.

En la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**, asegúrese de que sea detectada la **Interfaz de adquisición de datos y de control**. Verifique que para dicha interfaz esté seleccionada la función **Instrumentación informatizada**. Seleccione la tensión y frecuencia que corresponden a aquellas de su red de potencia ca local, luego haga clic en el botón **Aceptar** para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.

7. En el software **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Aparatos de medición**. Ajuste cuatro medidores para medir los valores eficaces (rms) de la tensión de fase  $E_{1-N}$  (entrada **E1**) y las corrientes de línea (entradas **I1**, **I2** e **I3**) de la fuente de potencia ca trifásica  $E_S$ .

Haga clic en el botón **Regeneración continua** para habilitar la actualización continua de los valores indicados por los distintos medidores en la aplicación **Aparatos de medición**.

### Operación trifásica, bifásica y monofásica de un motor de inducción jaula de ardilla trifásico

*En esta sección, utilizará el analizador de fasores para observar el funcionamiento de un motor de inducción jaula de ardilla trifásico cuando opera con tres, dos y una fase de la fuente de potencia trifásica ca.*

8. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **I** (encendido) para encender la **Fuente de alimentación**. Luego ajuste la perilla de control de tensión de manera que la tensión aplicada a cada una de las bobinas (indicada por el medidor **E1** de la ventana **Aparatos de medición**) sea igual a la tensión nominal de esos devanados.



La tensión y corriente nominales de las bobinas del **Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos** aparecen en el panel frontal del módulo.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

El **Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos**, ¿arranca con facilidad y rota normalmente?

Sí       No

9. En el software **LVDAC-EMS**, abra el **Analizador de fasores**. Fije el fasor de tensión  $E_{1-N}$  ( $E1$ ) como fasor de referencia, luego haga los ajustes apropiados con el fin de observar dicho fasor así como los otros de las corrientes de línea medidos utilizando las entradas **I1**, **I2** e **I3** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** (es decir, las corrientes en el motor de inducción jaula de ardilla trifásico).

¿Todos los fasores de corriente de línea (**I1**, **I2** e **I3**) son iguales en magnitud y están separados por un ángulo de fase de  $120^\circ$ , confirmando que crean un campo magnético giratorio normal?

Sí       No

10. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **O** (apagado) para apagar la **Fuente de alimentación**. (Deje la fuente de potencia de 24 V ca de la **Fuente de alimentación** encendida.)

Abra el circuito en el punto A mostrado en la figura 11. Asegúrese de que la entrada de tensión  $E1$  de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** permanezca conectada a la fuente de potencia ca  $E_S$ .

11. Lleve el interruptor principal de la fuente a la posición **I** (encendido) para encender la **Fuente de alimentación**.

El **Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos**, ¿arranca con facilidad y rota normalmente?

Sí       No

En la ventana **Analizador de fasores**, observe los fasores de las corrientes de entrada **I2** e **I3**. ¿Existe un desfase entre estos para crear un campo magnético giratorio?

Sí       No

12. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **O** (apagado) para apagar la **Fuente de alimentación** y coloque la perilla de control de tensión en 0%. (Deje la fuente de potencia de 24 V ca de la **Fuente de alimentación** encendida.)

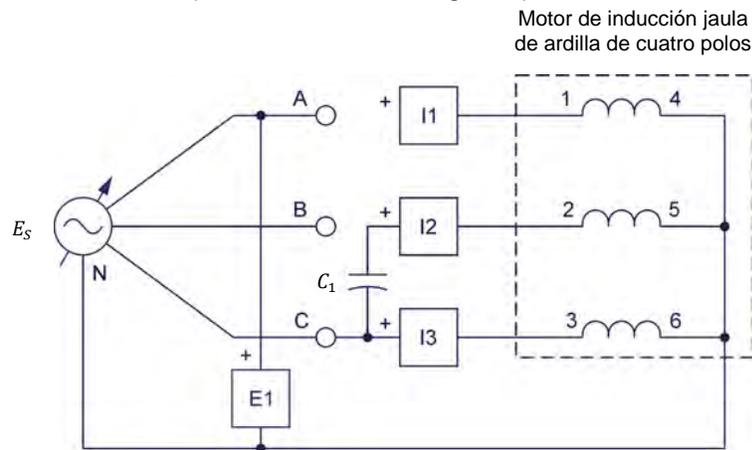
Abra el circuito en el punto B de la figura 11. Deje el circuito abierto en el punto A.

13. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **I** (encendido) para encender la **Fuente de alimentación**. Luego ajuste la perilla de control de tensión alrededor del 50% y espere aproximadamente 5 segundos. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **O** (apagado) para apagar la **Fuente de alimentación** y coloque la perilla de control de tensión en 0%. (Deje la fuente de potencia de 24 V ca de la **Fuente de alimentación** encendida.)

El **Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos**, ¿arranca con facilidad y rota normalmente?

- Sí       No

14. Conecte un capacitor ( $C_1$ ) al circuito del motor como se muestra en la figura 12. Utilice el módulo **Carga capacitiva** para implementar el capacitor  $C_1$ . El valor de capacitancia para este condensador depende de la de su red ca local (véase la tabla del diagrama).



Red de potencia ca local		$C_1$ ( $\mu\text{F}$ )
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	15.4
220	50	5.1
240	50	4.6
220	60	4.2

Figura 12. Adición de un condensador al circuito del motor.

15. Lleve el interruptor principal a la posición **I** (encendido) para encender la **Fuente de alimentación**. Luego gire lentamente la perilla de control hasta **100%**. Mientras hace esto, observe los fasores de las corrientes de entrada **I2** e **I3** del **Analizador de fasores** cuando la tensión aumenta.

¿El Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos comienza a rotar?  
Explique brevemente por qué.

---

---

---

16. En el módulo **Carga capacitiva**, ajuste las palancas de todos los interruptores en la posición **O** (apagado) para desconectar el capacitor del circuito del motor y detener el flujo de corriente en uno de los dos devanados del **Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos**.

¿El motor continúa girando, mostrando así que puede funcionar con corriente ca monofásica, una vez que ha comenzado?

Sí       No

17. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **O** (apagado) para apagar la **Fuente de alimentación** y gire la perilla de control de tensión hasta **0%**. (Deje la fuente de potencia de 24 V ca de la **Fuente de alimentación** encendida.)

### **Funcionamiento de un motor de inducción monofásico (tipo arranque por condensador y fase partida)**

*En esta sección, observará la operación de un motor de inducción monofásico usando el motor con arranque por condensador y el analizador de fasores.*

18. Retire todos los cables de la **Entrada de potencia**, excepto el cable de conexión de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)** a la fuente de potencia de 24 V ca de la **Fuente de alimentación**.

Conecte el circuito del motor con arranque por condensador mostrado en la figura 13. Use una fase (terminales **4** y **N**) de la salida de la **Fuente de alimentación** de tensión trifásica variable para implementar la fuente de potencia monofásica ca de tensión variable. **E1** e **I1** son las entradas de tensión y de corriente de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**, respectivamente.

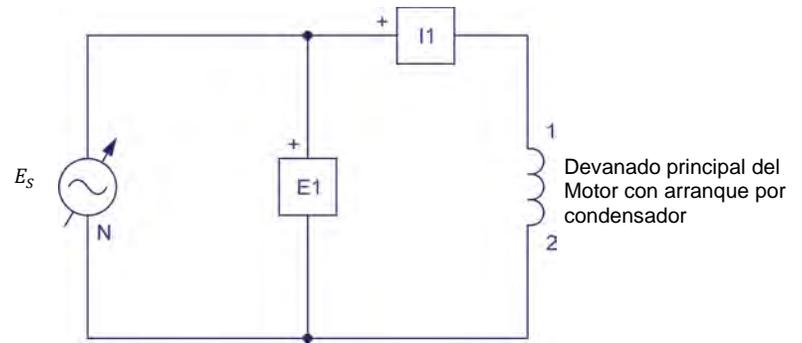


Figura 13. Circuito del motor con arranque por condensador.

19. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición I (encendido) para encender la Fuente de alimentación. Luego gire la perilla de control de tensión hasta 10%.

En la ventana **Analizador de fasores**, haga los ajustes apropiados con el fin de observar el fasor de tensión ( $E1$ ) y de corriente ( $I1$ ) de la fuente. Observe que el fasor de corriente (que representa la corriente del devanado principal) retrasa al de tensión de la fuente.

Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión en 50%.

¿El Motor con arranque por condensador comienza a rotar?

Sí       No

20. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición O (apagado) para apagar la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de tensión hasta 0%. (Deje la fuente de potencia de 24 V ca de la Fuente de alimentación encendida.)

Conecte el devanado auxiliar del Motor con arranque por condensador y la entrada  $I2$  de la Interfaz de adquisición de datos y de control como se muestra en la figura 14. Tenga en cuenta que esta configuración, a pesar de que utiliza el Motor con arranque por condensador, corresponde de hecho a un motor de inducción de fase partida.

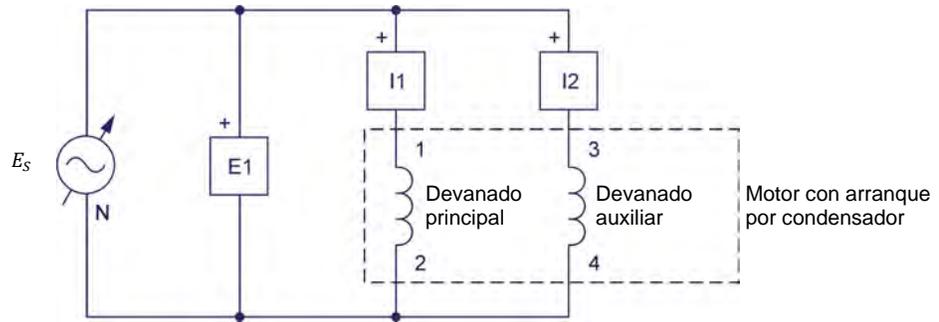


Figura 14. Conexión del devanado auxiliar para implementar un motor de inducción de fase partida.

21. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición I (encendido) para encender la Fuente de alimentación. Luego, gire lentamente la perilla de control de tensión hasta 10%.

En el Analizador de fasores, observe los fasores de corriente ( $I_1$  e  $I_2$ ). Éstos representan las corrientes del devanado principal y auxiliar, respectivamente.

El desfase del fador de la corriente auxiliar ( $I_2$ ) con respecto al de la tensión de la fuente ( $E_1$ ), ¿es menor que el de la corriente del devanado principal, confirmando de este modo que la impedancia del devanado auxiliar es más resistiva y menos inductiva cuando el motor está arrancando?

- Sí       No

¿El desfase entre los fasores de corriente ( $I_1$  e  $I_2$ ) es menor a  $90^\circ$ ?

- Sí       No

22. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión en 50%. ¿El Motor con arranque por condensador comienza a rotar?

- Sí       No



Si usted está utilizando el software LVSIM-EMS, es posible que deba incrementar la tensión por encima de 50% (es decir, hasta alrededor de 60-70%) para que el motor empiece a rotar.

Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **O** (apagado) para apagar la **Fuente de alimentación** y gire la perilla de control de tensión hasta **0%**. (Deje la fuente de potencia de 24 V ca de la **Fuente de alimentación** encendida.)

### ATENCIÓN

Cuando se realiza esta etapa del ejercicio, es posible que se sobrepase la corriente nominal del devanado auxiliar del **Motor con arranque por condensador**. Por lo tanto, complete la etapa en el menor tiempo posible. Si el disyuntor de dicho motor se dispara, apague la **Fuente de alimentación**, restablezca el disyuntor, encienda nuevamente la fuente y continúe con la etapa.

- 23.** Modifique el circuito del motor con arranque por condensador para que el condensador del mismo esté conectado en serie con el devanado auxiliar, como se muestra en la figura 15.

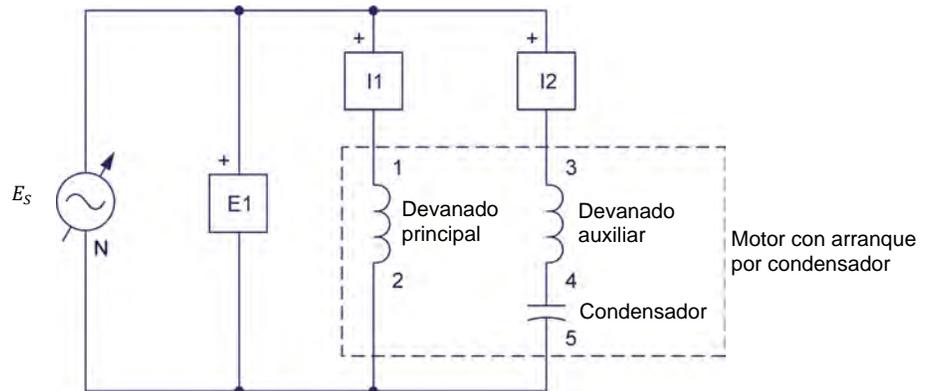


Figura 15. Conexión de un condensador en serie con el devanado auxiliar.

- 24.** Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **I** (encendido) para encender la **Fuente de alimentación**. Luego gire lentamente la perilla de control de tensión hasta **10%**.

En el **Analizador de fasores**, observe los fasores de corriente (***I*<sub>1</sub>** e ***I*<sub>2</sub>**).

Al conectar un condensador en serie con el devanado auxiliar, ¿se crea un desfase de aproximadamente 90° entre los fasores de corriente?

Sí       No

En la **Fuente de alimentación**, ajuste la perilla de control de tensión en **50%**. ¿El **Motor con arranque por condensador** comienza a rotar?

Sí       No

Deje el motor funcionando durante unos minutos, Mientras hace esto, observe los fasores de corriente ( $I_1$  e  $I_2$ ) en el [Analizador de fasores](#).

Describa lo que sucede.

---



---

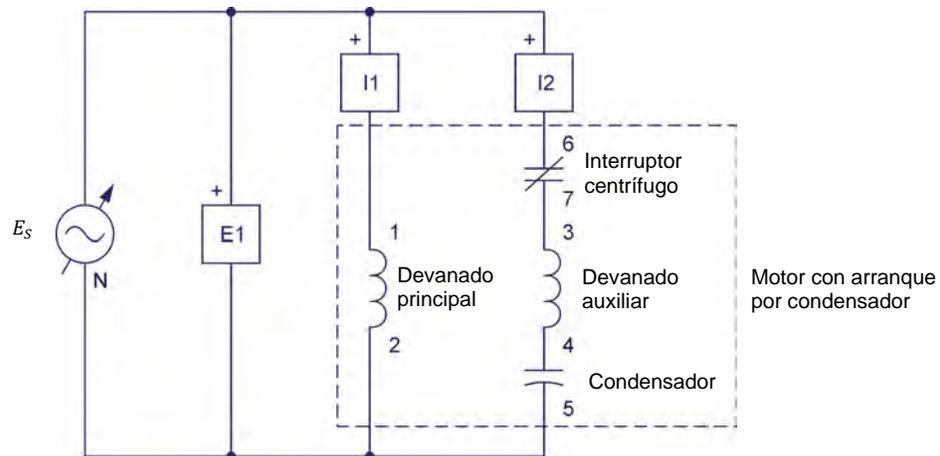


---

- 25.** Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **O** (apagado) para apagar la [Fuente de alimentación](#) y gire la perilla de control de tensión hasta **0%**. (Deje la fuente de potencia de 24 V ca de la [Fuente de alimentación](#) encendida.)

En el [Motor con arranque por condensador](#), restablezca el disyuntor disparado.

Modifique el circuito del motor con arranque por condensador conectando el interruptor centrífugo del motor en serie con el devanado auxiliar y el condensador, como se muestra en la figura 16.



**Figura 16.** Conexión de un interruptor centrífugo en serie con el devanado auxiliar y condensador.

- 26.** Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **I** (encendido) para encender la [Fuente de alimentación](#) y gire lentamente la perilla de control de tensión hasta un valor cercano a **100%**. Mientras hace esto, observe en el [Analizador de fasores](#) los fasores de corriente ( $I_1$  e  $I_2$ ) cuando la tensión aumenta.

¿El [Motor con arranque por condensador](#) comienza a rotar?

Sí       No

Explique brevemente por qué el fasor de corriente auxiliar del devanado (I<sub>2</sub>) se reduce a cero poco después de que el motor ha empezado girar.

---

---

---

27. Lleve el interruptor principal de alimentación a la posición **O** (apagado) para apagar la **Fuente de alimentación** y gire la perilla de control de tensión hasta **0%**. Luego, apague la fuente de potencia de 24 V ca. Cierre el software **LVDAC-EMS**. Desconecte todos los cables y vuelva a colocarlos en su lugar de almacenamiento.

### CONCLUSIÓN

En este ejercicio, observó que un motor de inducción jaula de ardilla trifásico arranca y opera casi con normalidad cuando está alimentado con sólo dos fases de una fuente de potencia trifásica ca, debido a que en estas condiciones el campo magnético giratorio se mantiene. Sin embargo, observó que cuando el motor está conectado a una sola fase, no se crea ningún campo magnético giratorio y el motor no es capaz de rotar. Demostró que cuando al motor de inducción se le adiciona un devanado auxiliar y un condensador, dicho motor puede arrancar y operar normalmente cuando está alimentado por una fuente de potencia monofásica ca. También observó que esto produce dos corrientes (la principal y la auxiliar del devanado) que están desfasadas unos 90° y que crean el campo magnético giratorio necesario cuando el motor está arrancando. Por último, observó que se utiliza un interruptor centrífugo para desconectar el devanado auxiliar cuando el motor de inducción monofásico alcanza suficiente velocidad para mantener el campo magnético rotativo.

### PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cómo gira un motor de inducción jaula de ardilla trifásico cuando está alimentado por sólo dos fases de la fuente de potencia trifásica ca?

---

---

2. Cuando un motor de inducción jaula de ardilla trifásico está alimentado por sólo una fase de la fuente de potencia trifásica ca, ¿rota de forma normal?

---

---

3. ¿Por qué la adición de un devanado auxiliar y un de condensador al motor de inducción monofásico ayuda a mejorar la operación del motor?

---

---

4. Explique por qué los motores de inducción monofásicos de tipo con condensador de arranque utilizan un interruptor centrífugo.

---

---

---

---

5. Explique por qué el devanado auxiliar tiene una mayor resistencia y menor inductancia.

---

---

## Tabla de utilización del equipo

Para realizar los ejercicios de este manual se necesitan los siguientes equipos.

Equipos		Ejercicio 1
Modelo	Descripción	
8134-2 <sup>(1)</sup>	Puesto de trabajo	1
8221-2 <sup>(2)</sup>	Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos	1
8251	Motor con arranque por condensador	1
8331	Carga capacitiva	1
8821	Fuente de alimentación	1
8951-L	Cables de conexión	1
8990	Computadora	1
9063-B <sup>(3)</sup>	Interfaz de adquisición de datos y de control	1
<p><sup>(1)</sup> También se puede utilizar el Puesto de trabajo móvil, modelo 8110-2.  <sup>(2)</sup> También se puede utilizar el modelo 8221-0.  <sup>(3)</sup> El modelo 9063-B está compuesto por la Interfaz de adquisición de datos y de control, modelo 9063, con el conjunto de funciones Instrumentación computarizada, modelo 9069-1.</p>		

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Glosario de términos nuevos

<b>devanado auxiliar</b>	Devanado utilizado para crear un desfase entre las corrientes en el estátor del motor de inducción monofásico. Esto aumenta el par de arranque y ayuda a la puesta en marcha del motor. El devanado auxiliar tiene un menor número de vueltas de alambre de tamaño más pequeño que el bobinado principal y por lo tanto tiene más resistencia y menos inductancia que el mismo.
<b>freno de corrientes de Foucault</b>	Electroimán fijo que crea un par de frenado que actúa sobre un rotor jaula de ardilla.
<b>inducción electromagnética</b>	Consiste en la producción de una fuerza electromotriz (es decir, una tensión inducida) en un circuito. Ésta resulta de un cambio en el flujo magnético que pasa a través de ese circuito. Por ejemplo, se induce una tensión entre los extremos de un bucle de alambre cuando el flujo magnético que pasa a través del mismo varía en función del tiempo.
<b>interruptor centrífugo</b>	Interruptor de accionamiento por una fuerza centrífuga que desconecta el devanado auxiliar una vez que el motor de inducción monofásico comienza a girar. Esto es necesario porque el devanado auxiliar no puede soportar altas corrientes por más de unos pocos segundos sin sufrir daños, ya que está hecho de alambre fino.
<b>motor de inducción monofásico</b>	Motor de inducción alimentado por una fuente de alimentación monofásica ca. Los siguientes dos tipos de motor de inducción monofásico son comúnmente utilizados: motor de inducción con arranque por condensador y el motor de inducción de fase partida.

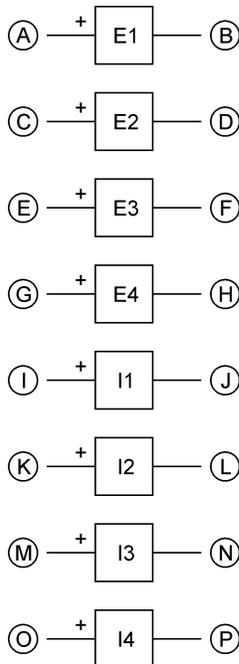
Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Símbolos de los diagramas de circuitos

En los diagramas de circuitos de este manual se utilizan diferentes tipos de símbolos. Cada símbolo es la representación funcional de un dispositivo eléctrico específico que se puede implementar con los equipos. El empleo de estos símbolos simplifica de manera importante las interconexiones que se deben mostrar en los diagramas de los circuitos y, por lo tanto, facilita la comprensión del funcionamiento de esos circuitos.

Para cada símbolo, a excepción de los que representan fuentes de alimentación, resistores, inductores y condensadores, este apéndice da el nombre del dispositivo que el símbolo representa así como los equipos requeridos y las conexiones necesarias para conectar adecuadamente cada dispositivo al circuito. Observe que los terminales de cada símbolo están identificados mediante letras encerradas en un círculo. Esas mismas letras identifican los terminales correspondientes del diagrama de Equipos y conexiones. Tenga en cuenta además, que cuando el diagrama de Equipos y conexiones contiene cifras, éstas corresponden a los números de terminales serigrafados en el equipamiento real.

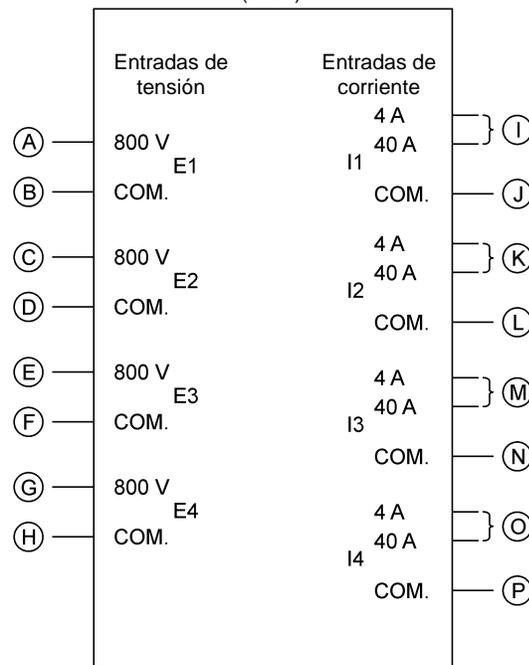
### Símbolo



Entradas aisladas para medición de tensión y corriente

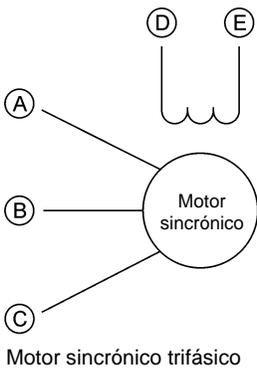
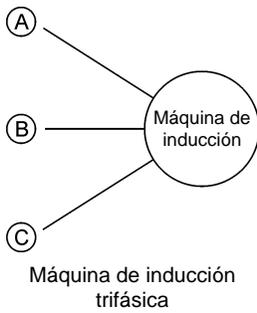
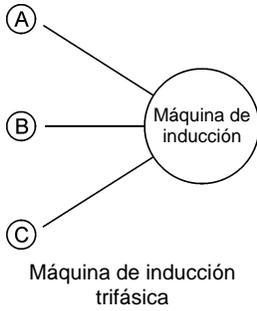
### Equipos y conexiones

Interfaz de adquisición de datos y de control (9063)



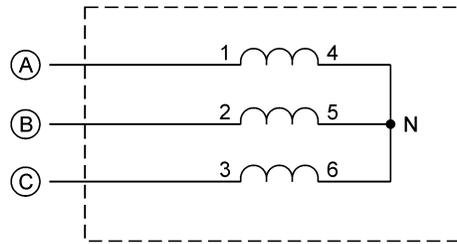
Cuando la corriente de una de las entradas I1, I2, I3 o I4 supera los 4 A de forma permanente o momentánea, utilice el terminal de entrada de 40 A y ajuste el parámetro Gama de la entrada correspondiente en Alta en la pantalla Ajustes de la Interfaz de adquisición de datos y de control del software LVDAC-EMS.

**Símbolo**

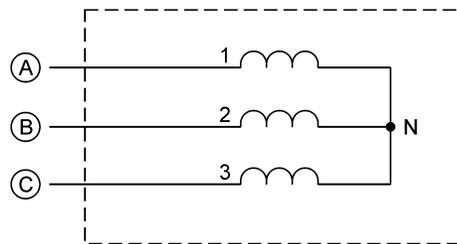


**Equipos y conexiones**

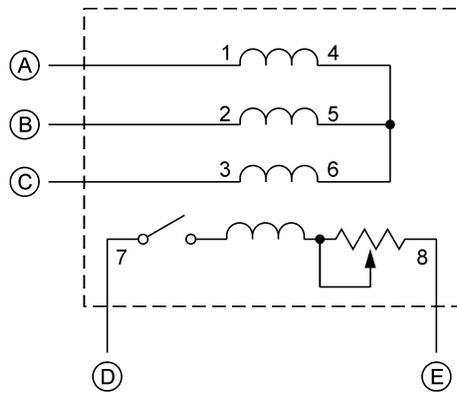
Motor jaula de ardilla de cuatro polos (8221-0)



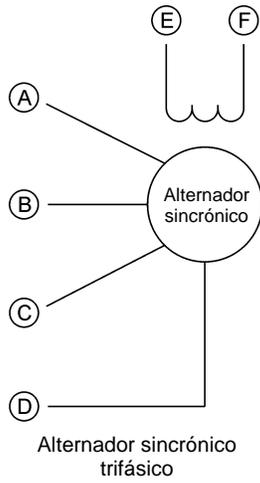
Máquina de inducción trifásica (8221-2)



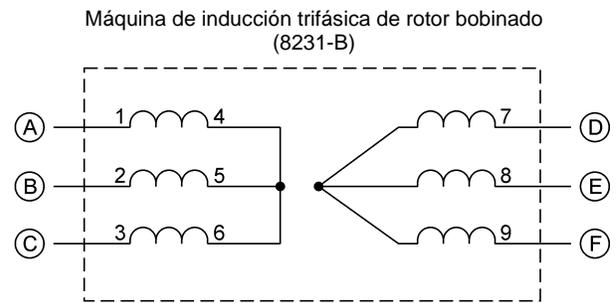
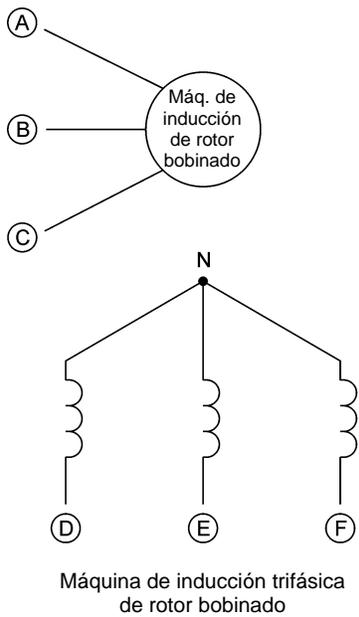
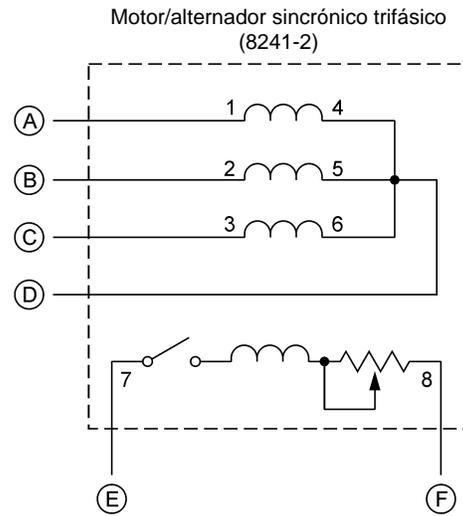
Motor/alternador sincrónico trifásico (8241-2)



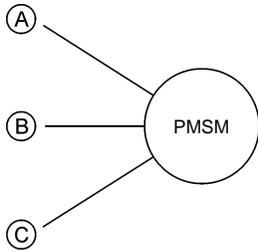
**Símbolo**



**Equipos y conexiones**



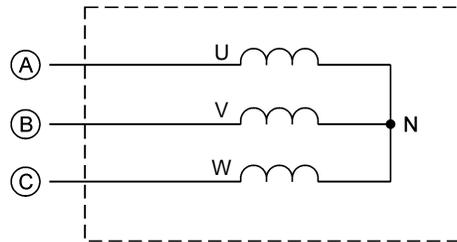
**Símbolo**



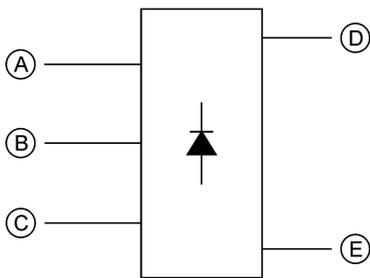
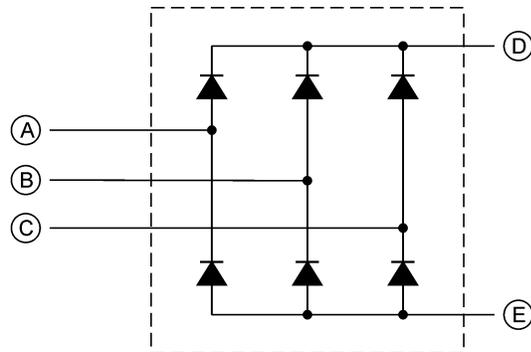
Máquina sincrónica de imán permanente

**Equipos y conexiones**

Máquina sincrónica de imán permanente (8245)

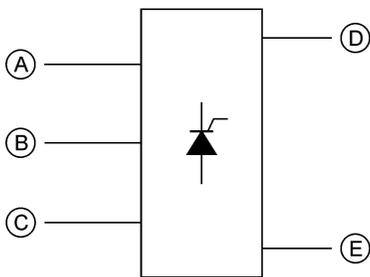
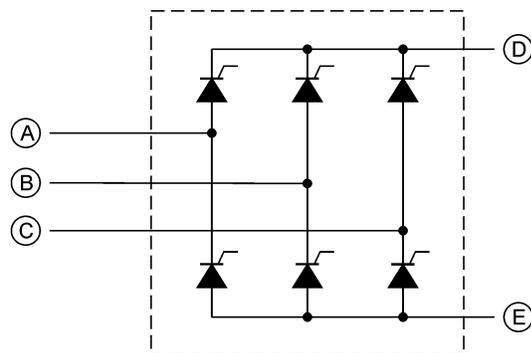


Rectificador y condensadores de filtrado (8842-A)



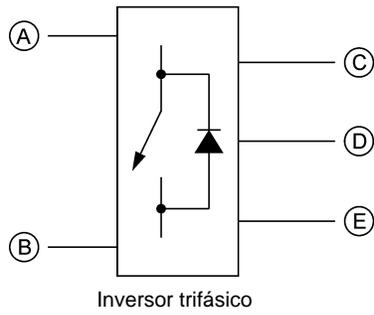
Rectificador trifásico de onda completa con diodos de potencia

Tiristores de potencia (8841)

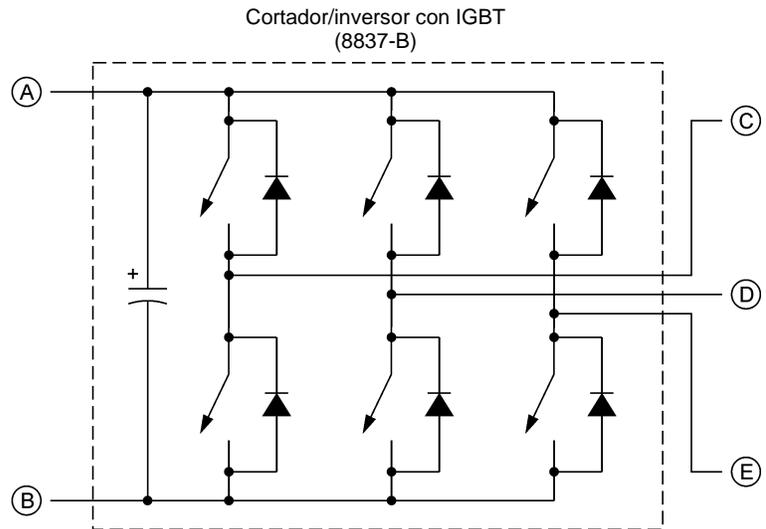


Puente trifásico de tiristores de potencia

**Símbolo**



**Equipos y conexiones**



Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Índice de términos nuevos



*El número de página en negrita indica la entrada principal. Consulte el Glosario de términos nuevos de la página 21 para encontrar las definiciones de dichos términos.*

devanado auxiliar .....	<b>8, 9</b>
inducción electromagnética .....	<b>1</b>
interruptor centrífugo.....	<b>9</b>
motor de inducción monofásico .....	<b>6, 7</b>

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Bibliografía

Boylestad, Robert L., *Introductory Circuit Analysis*, 11ª Edición, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006, ISBN 978-0131730441.

Wildi, Theodore, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 6ª Edición, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005, ISBN 978-0131776913.