

# Bancos trifásicos de transformadores

**FESTO**

Electricidad y Nuevas Energías

LabVolt Series

Manual del estudiante

FESTO



Manual del estudiante

Bancos trifásicos de transformadores

## 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

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

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden



000057944900000000000100

Festo Didactic  
es  
579449

**Electricidad y Nuevas Energías**

# **Bancos trifásicos de transformadores**

**Manual del estudiante**

579449

Nº de artículo: 579449 (Versión impresa) 591968 (CD-ROM)

Primera edición

Actualización: 08/2015

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 978-2-89640-877-1 (Versión impresa)

ISBN 978-2-89640-878-8 (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 manual 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 .....	IX
<b>Introducción Bancos trifásicos de transformadores .....</b>	<b>1</b>
OBJETIVO DEL MANUAL .....	1
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES .....	1
Introducción a los transformadores de potencia trifásicos .....	1
Tipos de transformadores de potencia trifásicos .....	2
Conexión de los bobinados de los bancos trifásicos de transformadores en estrella y triángulo .....	2
Bobinado del secundario conectado en estrella .....	3
Bobinado del ssecundario conectado en triángulo .....	4
<b>Ejercicio 1 Configuraciones de los transformadores trifásicos.....</b>	<b>5</b>
PRINCIPIOS .....	5
Configuraciones comunes de los transformadores trifásicos .....	5
Relaciones de tensión, corriente y fase de las cuatro configuraciones más comunes de los transformadores trifásicos .....	7
Configuraciones estrella-estrella y triángulo-triángulo .....	7
Configuración estrella-triángulo .....	7
Configuración triángulo-estrella .....	7
Resumen de las características de las cuatro configuraciones más comunes de los transformadores trifásicos .....	8
Usos de los bancos trifásicos de transformadores .....	10
PROCEDIMIENTO .....	11
Montaje y conexiones .....	11
Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración estrella-estrella .....	13
Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración estrella-triángulo .....	14
Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración triángulo-triángulo .....	17
Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración triángulo-estrella .....	20
CONCLUSIÓN .....	24
PREGUNTAS DE REVISIÓN .....	25
<b>Apéndice A Tabla de utilización del equipo .....</b>	<b>27</b>
<b>Apéndice B Glosario de términos nuevos .....</b>	<b>29</b>

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

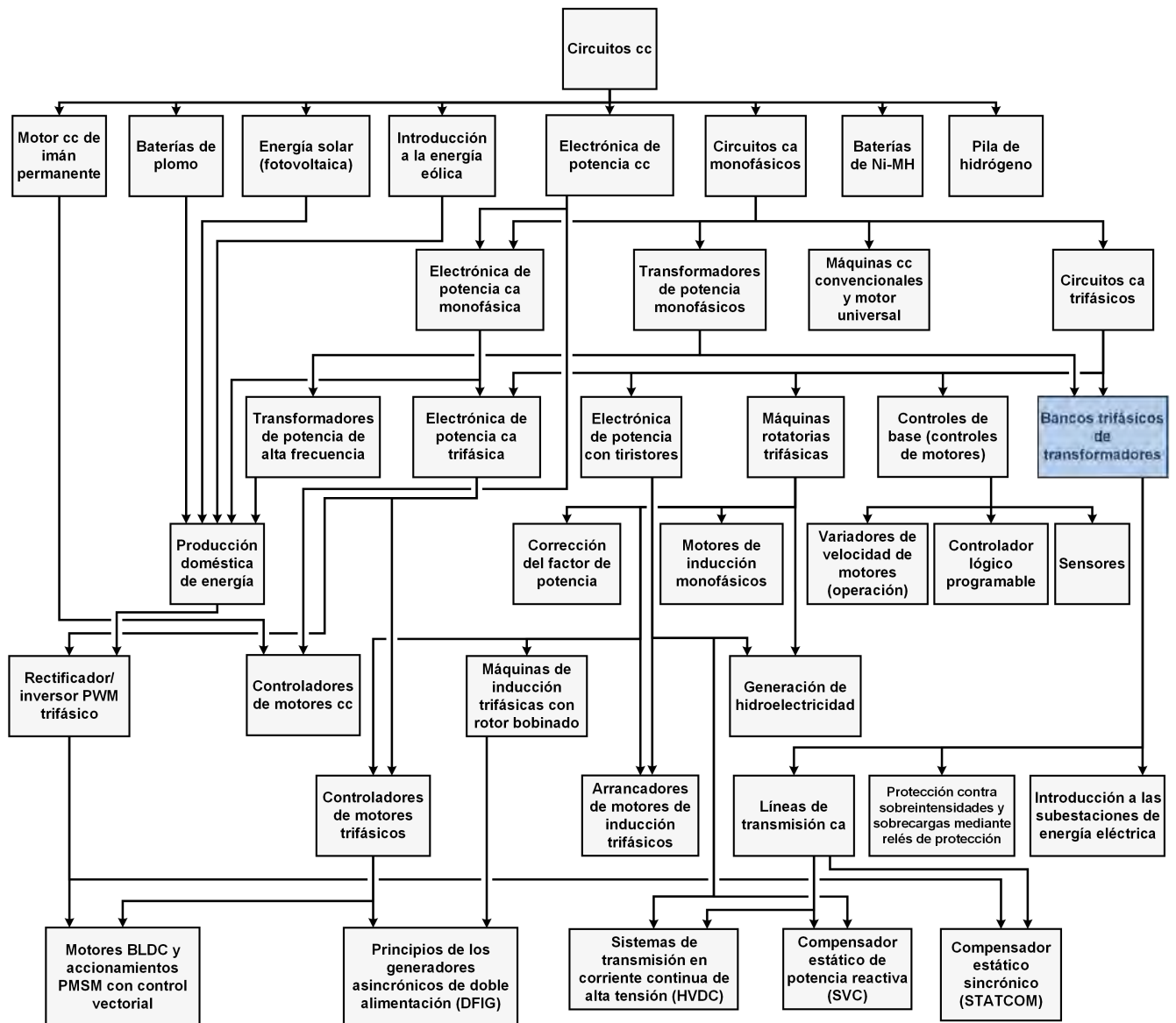
# Índice

<b>Apéndice C</b>	<b>Tabla de impedancia para los módulos de carga .....</b>	<b>31</b>
<b>Apéndice D</b>	<b>Símbolos de los diagramas de circuitos .....</b>	<b>33</b>
	Índice de términos nuevos .....	39
	Bibliografía .....	41

# 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.



Programa didáctico en tecnologías de la energía eléctrica.



# Prefacio

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], asíncronos 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.

Invitamos a los lectores de este manual 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.

## Acerca de este manual

Los bancos trifásicos de transformadores cumplen la misma función en los circuitos trifásicos que los transformadores de potencia en los circuitos monofásicos. Esto significa que dichos bancos se utilizan, principalmente, para elevar o reducir la tensión del secundario con respecto al primario. Debido a que la potencia trifásica se utiliza ampliamente en todo el mundo, tanto para la transmisión como para la distribución de potencia, los bancos trifásicos de transformadores son uno de los componentes eléctricos más comunes y su utilización es esencial en toda red de potencia ca trifásica.

Es posible utilizar diferentes configuraciones trifásicas de transformadores para conectar los bobinados primario y secundario de un banco trifásico de transformadores. Cada configuración tiene características diferentes. Por lo tanto, cuando se conecta un banco trifásico de transformadores a un circuito es importante determinar cuáles son las características que mejor responden a las exigencias del circuito y seleccionar la configuración del transformador trifásico que mejor responda a esas exigencias. Las cuatro configuraciones más comunes son estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella.

Este manual, *Bancos trifásicos de transformadores*, presenta los conceptos básicos de dichos bancos y permite estudiar las diferentes características de estas máquinas eléctricas. Los estudiantes aprenden cómo conectar los bobinados de los bancos trifásicos utilizando las configuraciones en estrella o en triángulo. También conocerán los cuatro tipos más comunes de configuraciones de transformadores trifásicos: estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella. Además, los estudiantes determinan, para cada una de estas configuraciones, las relaciones de tensión, corriente y fase entre los bobinados primario y secundario de los bancos trifásicos de transformadores. También aprenden a calcular las relaciones de fase apropiadas entre los bobinados de fase. Finalmente, verifican la teoría presentada en este manual realizando cálculos y mediciones de circuitos.



**Banco trifásico de transformadores utilizado para distribución de energía.**

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Acerca de este manual

## 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, debe haber leído previamente los manuales siguientes: *Circuitos cc*, p/n. 86350, *Circuitos ca monofásicos*, p/n 86358, *Transformadores monofásicos de potencia*, p/n. 86377, y *Circuitos ca trifásicos* p/n 86360.

## 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).

## Bancos trifásicos de transformadores

### OBJETIVO DEL MANUAL

Cuando haya terminado las actividades de este manual, se habrá familiarizado con la operación de los bancos trifásicos de transformadores. Sabrá cómo conectar los bobinados del banco en configuración estrella o triángulo. También conocerá cómo conectar el banco trifásico de transformadores en configuraciones estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella. Se introducirán los conceptos de las relaciones de tensión, corriente y fase entre los bobinados del primario y del secundario para cada configuración. Finalmente, se familiarizará con los diferentes usos de los bancos trifásicos de transformadores en circuitos de potencia ca trifásicos.

### RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios fundamentales cubren los siguientes puntos:

- Introducción a los transformadores de potencia trifásicos
- Tipos de transformadores de potencia trifásicos
- Conexión de los bobinados de los bancos trifásicos de transformadores en estrella y triángulo

### PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

#### Introducción a los transformadores de potencia trifásicos

Los transformadores de potencia trifásicos cumplen la misma función en los circuitos trifásicos que los transformadores monofásicos en los circuitos monofásicos. Esto significa que los transformadores trifásicos se utilizan, principalmente, para elevar o reducir la tensión del secundario con respecto al primario. La inducción electromagnética creada entre los bobinados primario y secundario permite que tanto los transformadores trifásicos como los monofásicos puedan operar de esa manera. Los transformadores trifásicos, al igual que los monofásicos, son dispositivos bidireccionales y proporcionan aislamiento entre los bobinados primario y secundario.

Las relaciones de tensión y corriente de los transformadores trifásicos, al igual que las de los monofásicos, dependen de la relación de espiras (es decir, de la relación entre las espiras del bobinado primario con respecto a las del secundario). Cuando el número de espiras del primario es menor que el del secundario, el transformador se comporta como elevador. En caso contrario, opera como un reductor.

Cada bobinado (ya sea en el primario o secundario) de un transformador trifásico de potencia tiene una polaridad particular en todo instante dado en relación con la polaridad del otro bobinado, como ocurre en un transformador de potencia monofásico. La polaridad de cada bobina de un transformador trifásico es muy importante cuando se debe conectar con las otras.

Al igual que en los transformadores monofásicos, la potencia nominal de uno trifásico es igual a la suma de las potencias nominales de las bobinas del primario (esta suma es igual a la suma de las potencias nominales de las

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

bobinas del secundario). Las pérdidas de potencia (es decir, pérdidas en el hierro y cobre) que se producen en un transformador trifásico, son muy similares a las presentes en uno monofásico. Como en el caso de los monofásicos, el rendimiento de los transformadores trifásicos resulta afectado por dichas pérdidas. Como en el caso de todos los transformadores de potencia, los trifásicos también son dispositivos con alto rendimiento.

Por su parte, el fenómeno de saturación que se presenta en los transformadores trifásicos es similar al que se produce en los monofásicos. Por lo tanto, cuanto mayor es la frecuencia de operación, menor es la saturación del transformador. Por otro lado, los valores nominales de tensión, corriente y potencia en los transformadores trifásicos, se determinan para que la saturación se mantenga en un nivel aceptable, de la misma forma que para los transformadores monofásicos. Esto significa que, para un nivel de saturación dado, a mayor frecuencia de operación del transformador trifásico, mayores serán los valores nominales de tensión, corriente y potencia.

### **Tipos de transformadores de potencia trifásicos**

Existen dos tipos básicos de transformadores de potencia trifásicos: **transformadores trifásicos de núcleo único** y **bancos trifásicos de transformadores**. Los primeros están contruidos con las bobinas de tres transformadores monofásicos arrolladas alrededor de un núcleo de hierro. Por su parte, los bancos de transformadores se construyen agrupando tres transformadores monofásicos individuales. Para una potencia nominal dada, los transformadores trifásicos de núcleo único son más pequeños, más livianos y más económicos que los bancos trifásicos. No obstante, estos últimos son más fáciles de mantener, porque cuando se daña una de las bobinas, se puede sustituir el transformador afectado solamente sin tener que reemplazar toda la unidad.

Observe que este manual cubre los bancos trifásicos de transformadores, por lo tanto, de ahora en más a los transformadores de potencia trifásicos se los llamará bancos trifásicos de transformadores. Sin embargo, los principios básicos de operación de los transformadores trifásicos de núcleo único se aplican a dichos bancos. En consecuencia, la teoría presentada en lo que resta de este manual es válida para ambos tipos de transformadores.

### **Conexión de los bobinados de los bancos trifásicos de transformadores en estrella y triángulo**

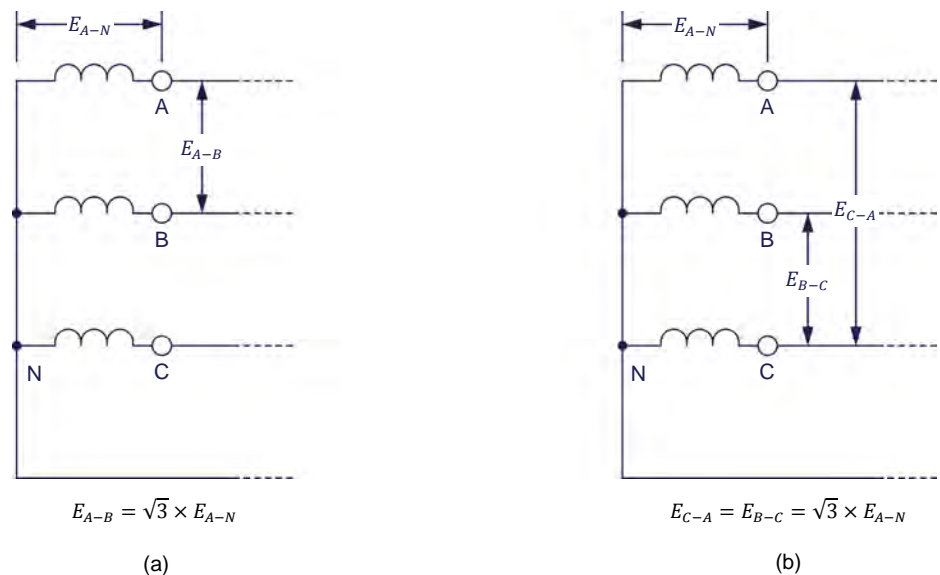
Cuando se conectan los bobinados primario o secundario de un banco trifásico de transformadores, se debe respetar siempre la secuencia de fase para que la relación de fases entre las tensiones del primario y del secundario sea la esperada. Por ejemplo, cuando se conecta el bobinado del primario de uno de los transformadores del banco a la fase 1 de una fuente de potencia ca, el bobinado del secundario de dicho transformador se debe considerar como la fase 1 del sistema. De igual forma, cuando se conecta el bobinado primario o secundario de los transformadores utilizados en un banco trifásico, se debe respetar sus polaridades. Esto asegura que la relación de fase de las tensiones en el bobinado secundario sea la esperada.

Debido a que un error en la conexión de los bobinados primarios o secundarios de un banco trifásico puede cambiar la relación de fases de las diferentes tensiones del secundario, se deben tomar ciertas precauciones adicionales antes de poner en servicio un banco trifásico de transformadores. Esto se trata en las siguientes secciones de esta introducción.

### ***Bobinado del secundario conectado en estrella***

Para conectar el bobinado secundario de un banco trifásico de transformadores en estrella, es necesario unir un extremo de cada una de las tres bobinas a un punto común, conectar éste al conductor neutro y luego conectar el otro extremo de cada bobina a los tres conductores de línea. Una vez hecho lo anterior, se puede verificar la relación de fase de las tensiones de las bobinas secundarias, confirmando que las tensiones de línea en el secundario son  $\sqrt{3}$  veces más elevadas que las de fase. Esto puede lograrse realizando el siguiente procedimiento:

1. Mida la tensión de línea entre 2 de las tres bobinas (por ejemplo, tensión de línea  $E_{A-B}$ ) para confirmar que es  $\sqrt{3}$  veces más grande que la tensión de fase en cualquiera de las otras dos bobinas (por ejemplo, tensión de fase  $E_{A-N}$ ). Esto se muestra en la figura 1(a).
2. Mida las tensiones de línea entre la tercera bobina y las otras dos (por ejemplo, tensiones de línea  $E_{C-A}$  y  $E_{B-C}$ ) para confirmar que ambas son  $\sqrt{3}$  veces más grandes que la tensión de fase medida en el primer paso (por ejemplo, tensión de fase  $E_{A-N}$ ). Esto se muestra en la figura 1(b).

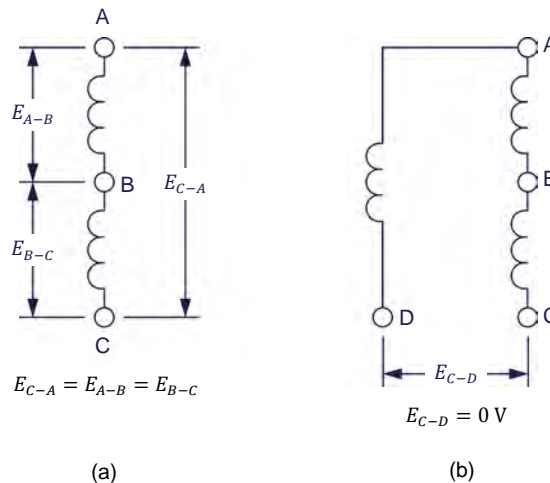


**Figura 1. Conexión en estrella de las bobinas del secundario de un banco trifásico de transformadores.**

**Bobinado del ssecundario conectado en triángulo**

Para conectar en triángulo las bobinas del secundario de un banco trifásico de transformadores, se debe conectar la primera bobina en serie con la segunda, ésta en serie con la tercera y esta última en serie con la primera para cerrar el triángulo. Luego, se conectan los tres conductores de línea en cada vértice del triángulo. Sin embargo, cuando se conecta en triángulo las bobinas del secundario de un banco trifásico, es importante verificar que la relación de tensiones en dichas bobinas es correcta antes de cerrar el triángulo. Esta verificación es importante debido a que si no se respeta la polaridad, fluirá una corriente de corto circuito muy alta en las bobinas del secundario que podría dañar seriamente el banco trifásico de transformadores. Por esta razón, para conectar el bobinado secundario en triángulo es necesario seguir el siguiente procedimiento:

1. Mida la tensión a través de dos bobinas conectadas en serie (por ejemplo, tensión  $E_{C-A}$ ) para confirmar que es igual a la tensión a través de cualquiera de las otras dos (por ejemplo, tensiones  $E_{A-B}$  y  $E_{B-C}$ ). Esto se muestra en la figura 2(a).
2. Conecte la tercera bobina en serie.
3. Mida la tensión a través de las tres bobinas conectadas en serie (por ejemplo, tensión  $E_{C-D}$ ) para confirmar que es igual a cero. Esto se muestra en la figura 2(b).
4. Cuando haya confirmado que se respetó la polaridad de las bobinas secundarias del banco trifásico de transformadores (es decir, una vez que haya realizado los pasos 1 a 3 de este procedimiento), cierre el triángulo.



**Figura 2. Conexión en triángulo de las bobinas del secundario de un banco trifásico de transformadores.**

## Configuraciones de los transformadores trifásicos

**OBJETIVO DEL EJERCICIO** Cuando haya terminado este ejercicio, sabrá cómo conectar los bancos trifásicos de transformadores en configuraciones estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella. Determinará las relaciones de tensión, corriente y fase entre los bobinados primario y secundario de un banco para cada una de esas configuraciones. Además, se familiarizará con los diferentes usos de los bancos trifásicos de transformadores en circuitos de potencia ca trifásicos.

**RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS**

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Configuraciones comunes de los transformadores trifásicos
- Relaciones de tensión, corriente y fase de las cuatro configuraciones más comunes de los transformadores trifásicos
- Resumen de las características de las cuatro configuraciones más comunes de los transformadores trifásicos
- Usos de los bancos trifásicos de transformadores

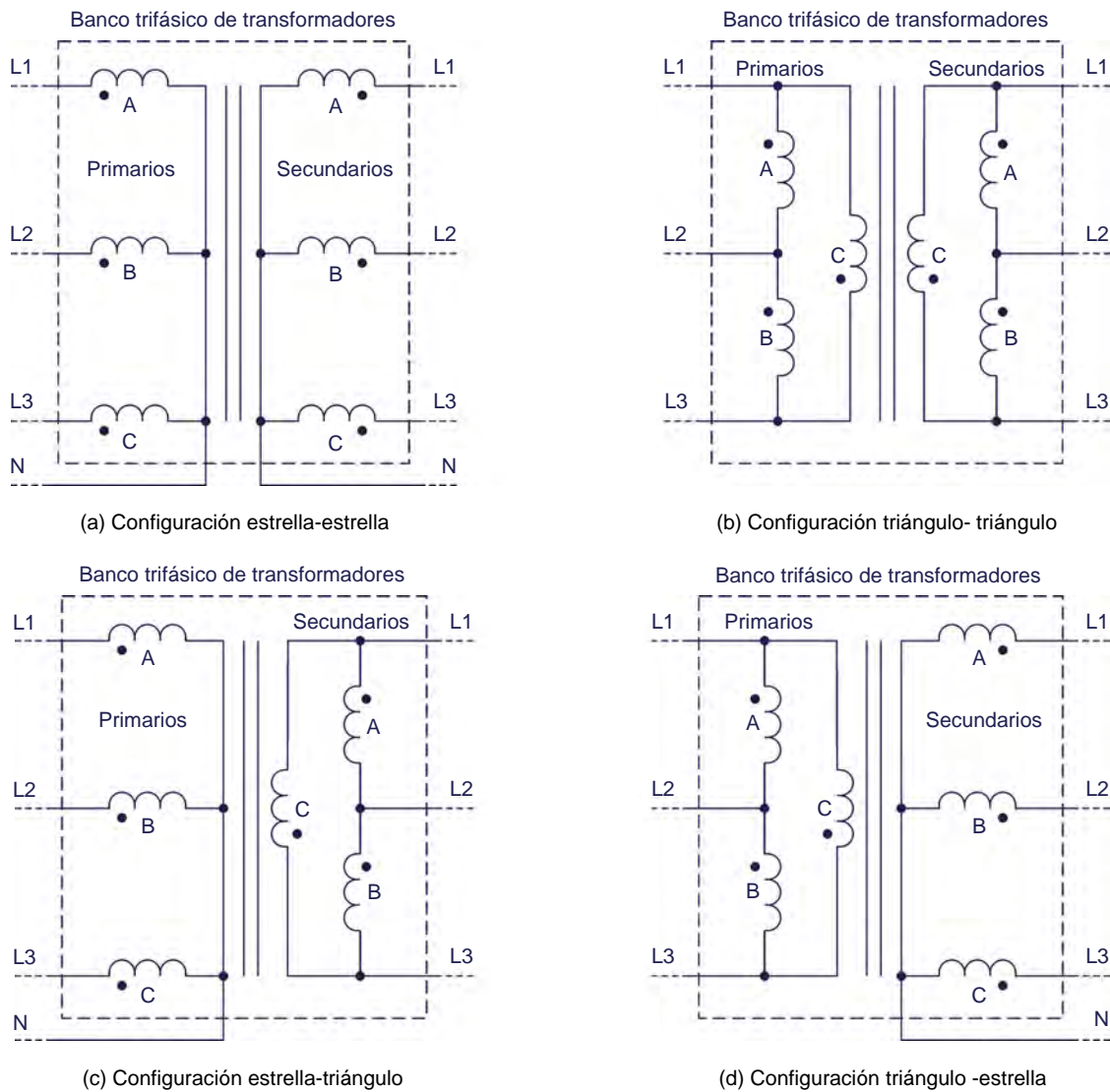
**PRINCIPIOS**

### Configuraciones comunes de los transformadores trifásicos

Dependiendo de cómo se conecten los bobinados primario y secundario, existen diferentes **configuraciones de los transformadores trifásicos**. Cada configuración tiene características diferentes. Antes de conectar un banco trifásico a un circuito, es importante determinar qué características exige dicho circuito y en base a este criterio se debe elegir la configuración del transformador trifásico más conveniente.

Las cuatro configuraciones más comunes de los transformadores trifásicos son; estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella. Cada una de estas configuraciones se ilustra en la figura 3. La letra (A, B o C) al lado de cada bobinado de la figura 3 identifica cada uno de los transformadores de un banco. Esto permite identificar fácilmente los bobinados primario y secundario de los tres transformadores que forman el banco trifásico de la figura 3.





**Figura 3. Las cuatro configuraciones más comunes de los transformadores trifásicos.**

Como se muestra en la figura, los bobinados conectados en estrella usan cuatro conductores, mientras que los conectados en triángulo utilizan sólo tres. Cuando se conecta un banco trifásico de transformadores en configuración estrella-triángulo o triángulo-estrella es posible modificar el número de conductores de 4 a 3 o de 3 a 4 respectivamente. Ambas configuraciones pueden representar una ventaja importante, dependiendo de los requerimientos de la aplicación para la que se utilizará.

### **Relaciones de tensión, corriente y fase de las cuatro configuraciones más comunes de los transformadores trifásicos**

Las características más importantes de cada configuración de los transformadores trifásicos mencionadas en la sección anterior (es decir, estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella) son sus relaciones de tensión, corriente y fase respectivas entre los bobinados primario y secundario. Las siguientes tres secciones presentan dichas relaciones para cada configuración de los transformadores trifásicos. Observe que debido a que las configuraciones estrella-estrella y triángulo-triángulo tienen relaciones de tensión, corriente y fase similares, ambas configuraciones son tratadas en la misma sección. También note que en las siguientes secciones, la relación de espiras de cada transformador de un banco trifásico de transformadores se asume igual a 1:1. Esto permite la observación de los efectos que tiene cada configuración en las relaciones de tensión, corriente y fase del banco trifásico de transformadores, independientemente de la relación de espiras.

#### ***Configuraciones estrella-estrella y triángulo-triángulo***

Cuando se conecta un banco trifásico de transformadores ya sea en configuración estrella-estrella o triángulo-triángulo, las relaciones de tensión, corriente y fase entre los bobinados primario y secundario son idénticas a las relaciones encontradas en los transformadores monofásicos convencionales. Esto significa que los valores de las tensiones y corrientes de línea en el secundario son iguales a las del primario (sin tener en cuenta las pérdidas). Además, las ondas seno de la tensión de línea en el secundario están en fase con aquellas del primario. Se puede decir lo mismo para las ondas seno de la corriente de línea del secundario respecto a aquellas del primario.

#### ***Configuración estrella-triángulo***

Cuando un banco trifásico de transformadores se conecta en configuración estrella-triángulo, los valores y fases de las tensiones y corrientes en el secundario son diferentes de aquellos en el primario. Por tanto, en la configuración estrella-triángulo, el valor de las tensiones de línea en el secundario es igual al valor de dichas tensiones en el primario divididas por  $\sqrt{3}$ . Por otro lado, el valor de las corrientes de línea en el secundario es igual al valor de dichas corrientes en el primario multiplicadas por  $\sqrt{3}$ . Además, las ondas seno de las tensiones de línea en el secundario atrasan  $30^\circ$  a las del primario. Lo mismo puede decirse para las ondas seno de las corrientes de línea en el secundario con respecto a aquellas en el primario.

#### ***Configuración triángulo-estrella***

Cuando un banco trifásico de transformadores está conectado en configuración triángulo-estrella, los valores y fases de las tensiones y corrientes de línea en el secundario no son iguales a las del primario. Por tanto, en la configuración triángulo-estrella, el valor de las tensiones de línea en el secundario es igual a las tensiones de línea del primario multiplicadas por  $\sqrt{3}$ . Por otro lado, el valor de las corrientes de línea en el secundario es igual a las corrientes de línea del primario divididas por  $\sqrt{3}$ . Además, las ondas seno de las tensiones de línea en el secundario adelantan  $30^\circ$  a las del primario. Se puede decir lo mismo para las ondas seno de las corrientes de línea en el secundario con respecto a las del primario.

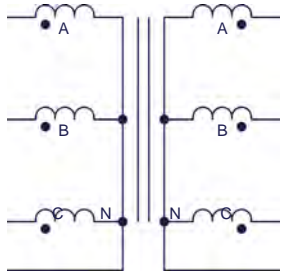
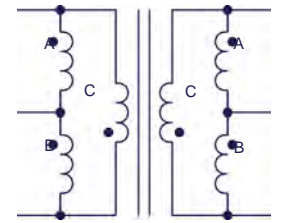
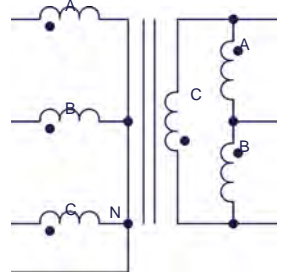
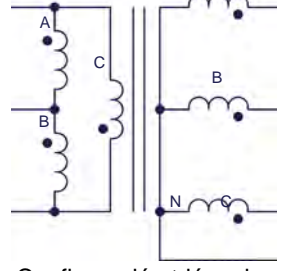
Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

### **Resumen de las características de las cuatro configuraciones más comunes de los transformadores trifásicos**

La siguiente tabla proporciona un resumen de las diferentes características de las cuatro configuraciones de los transformadores trifásicos presentadas en la sección anterior (es decir, estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella).

Tabla 1. Resumen de las características de las configuraciones de los transformadores trifásicos.

Configuración de los transformadores trifásicos	Relación de las tensiones de línea ( $E_{Pri.}:E_{Sec.}$ )	Relación de las corrientes de línea ( $I_{Pri.}:I_{Sec.}$ )	Desfase (Sec. respecto al Pri.)	Número de espiras (Pri.:Sec.)
 <p>Configuración estrella-estrella</p>	1:1	1:1	0°	4:4
 <p>Configuración triángulo-triángulo</p>	1:1	1:1	0°	3:3
 <p>Configuración estrella-triángulo</p>	$\sqrt{3}:1$	$1:\sqrt{3}$	-30° (30° en atraso)	4:3
 <p>Configuración triángulo-estrella</p>	$1:\sqrt{3}$	$\sqrt{3}:1$	30° (30° en adelanto)	3:4

Recuerde que las relaciones de tensión y de corriente de línea presentadas en la tabla 1 son válidas solamente cuando la relación de espiras de los transformadores del banco trifásico es igual a 1:1. Si esto no se cumple, las tensiones de línea en el secundario se determinan multiplicando las tensiones de línea del primario por la relación de tensión apropiada (según la configuración del banco trifásico) y por el inverso de la relación de espiras ( $N_{Sec.}/N_{Pri.}$ ) de los transformadores. De la misma manera, las corrientes de línea del secundario se determinan multiplicando las corrientes de línea del primario por la relación de corriente apropiada (según la configuración del banco trifásico) y por la relación de espiras ( $N_{Pri.}/N_{Sec.}$ ) de los transformadores.

### **Usos de los bancos trifásicos de transformadores**

Los bancos trifásicos de transformadores se utilizan en los circuitos de potencia ca por las mismas razones que se emplean los transformadores de potencia monofásicos en los circuitos ca monofásicos, es decir, para elevar o reducir las tensiones en el circuito y proveer aislamiento entre los bobinados primario y secundario. Sin embargo, las propiedades especiales de ciertos tipos de configuraciones de los transformadores trifásicos, presentadas en las secciones anteriores, permiten que los bancos trifásicos se utilicen para ciertas aplicaciones adicionales. Los principales usos de los bancos trifásicos en los circuitos de potencia ca se resumen a continuación.

1. Permiten elevar o reducir las tensiones de los circuitos de potencia ca trifásicos.
2. Proporcionan aislamiento eléctrico entre los bobinados primario y secundario.
3. Permiten, cuando están conectados en configuración estrella-triángulo o triángulo-estrella, reducir de 3 a 4 o aumentar de 4 a 3 respectivamente, el número de conductores en los circuitos de potencia ca trifásicos.
4. Permiten, cuando están conectados en configuración estrella-triángulo o triángulo-estrella, desfazar las tensiones y corrientes de línea entrantes  $-30^\circ$  o  $30^\circ$ , respectivamente.

## RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento está dividido en las siguientes secciones:

- Montaje y conexiones
- Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración estrella-estrella
- Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración estrella-triángulo
- Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración triángulo-triángulo
- Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración triángulo-estrella

## PROCEDIMIENTO



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

### Montaje y conexiones

*En esta sección, preparará un circuito conformado por un banco trifásico de transformadores conectado en configuración estrella-estrella. Luego configurará el equipo de medición requerido para estudiar las relaciones de tensión, corriente y fase del banco trifásico de transformadores.*

1. Consulte la Tabla de utilización del equipo en el Apéndice A para obtener la lista del material requerido para realizar este ejercicio.

Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).

2. En la [Fuente de alimentación](#), asegúrese de que los interruptores de potencia ca y cc se encuentren en la posición **O** (apagado), luego conecte la [Fuente de alimentación](#) a un tomacorriente trifásico ca de pared.

Conecte la [Entrada de potencia](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) a la fuente de 24 V. Encienda dicha fuente.

3. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) a un puerto USB de la computadora.

4. Encienda la computadora, luego inicie el software [LVDAC-EMS](#).

En la ventana [Arranque del software LVDAC-EMS](#), asegúrese que se detecta la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#). Verifique que para dicha interfaz esté disponible la función [Instrumentación computarizada](#). Seleccione la tensión y frecuencia de red que corresponden a aquellas de la red de potencia ca local, luego haga clic en el botón [Aceptar](#) para cerrar la ventana [Arranque de LVDAC EMS](#).

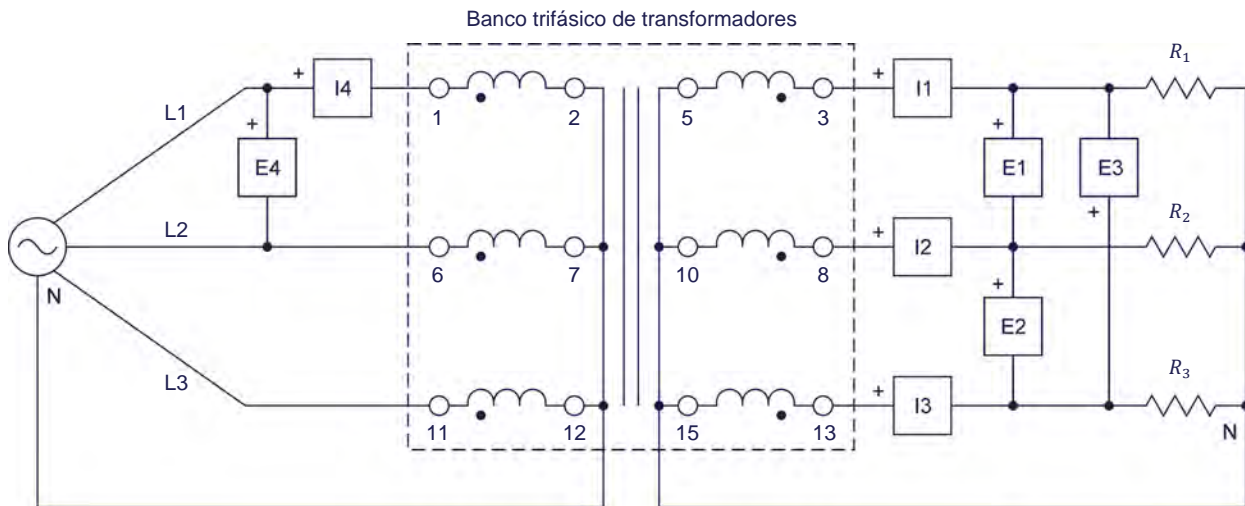
Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

5. Conecte el equipo como se muestra en la figura 4.



Los valores de las cargas resistivas usadas en los circuitos de este manual dependen de la tensión y frecuencia de la red de potencia ca local. Cada vez que sea necesario, debajo del diagrama del circuito se incluye una tabla que contiene los valores de resistencia de cada carga resistiva para las tensiones de red ca de 120 V, 220 V y 240 V, y para las frecuencias de 50 Hz y 60 Hz. Asegúrese de utilizar los valores de los componentes que corresponden a las tensiones y frecuencias de la red de potencia ca local.



Red de potencia ca local		$R_1, R_2, R_3$ ( $\Omega$ )
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

Figura 4. Banco trifásico de transformadores conectado en configuración estrella-estrella.

6. Haga los ajustes necesarios en la **Carga resistiva** para obtener los valores de resistencia requeridos.



El Apéndice C muestra las configuraciones de los interruptores requeridas en la **Carga resistiva** para obtener diferentes valores de resistencia.

7. En la ventana **Aparatos de medición**, haga las configuraciones necesarias para medir los valores rms (ca) de las tensiones de línea  $E_{Sec.1}$ ,  $E_{Sec.2}$  y  $E_{Sec.3}$  (entradas **E1**, **E2** y **E3**, respectivamente), y las corrientes de línea  $I_{Sec.1}$ ,  $I_{Sec.2}$  e  $I_{Sec.3}$  (entradas **I1**, **I2** e **I3**, respectivamente) en el secundario del banco trifásico de transformadores. Configure otros dos medidores para medir la tensión  $E_{Pri.}$  y la corriente de línea  $I_{Pri.}$  en el primario (entradas **E4** e **I4**, respectivamente).

### Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración estrella-estrella

En esta sección, medirá las tensiones y corrientes de línea en el primario y en el secundario de un banco trifásico de transformadores. Utilizará los valores medidos para determinar las relaciones de tensión y de corriente entre los bobinados primario y secundario de dicho banco. Luego, utilizará el Analizador de fasores y el Osciloscopio para determinar el desfase entre las tensiones de línea en el secundario y en el primario. Por último, confirmará que las relaciones de tensión, corriente y fase medidas en una conexión estrella-estrella de un banco trifásico de transformadores corresponden a las presentadas en la teoría de la introducción del ejercicio.

8. Encienda la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.
9. En la ventana Aparatos de medición, mida las tensiones de línea  $E_{Sec.1}$ ,  $E_{Sec.2}$  y  $E_{Sec.3}$  en el secundario del banco trifásico de transformadores, así como la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario. Además, mida las corrientes de línea  $I_{Sec.1}$ ,  $I_{Sec.2}$  e  $I_{Sec.3}$  en el secundario del banco, así como la corriente de línea  $I_{Pri.}$  en el primario. Registre los valores a continuación.

$$E_{Sec.1} = \text{_____ V} \qquad I_{Sec.1} = \text{_____ A}$$

$$E_{Sec.2} = \text{_____ V} \qquad I_{Sec.2} = \text{_____ A}$$

$$E_{Sec.3} = \text{_____ V} \qquad I_{Sec.3} = \text{_____ A}$$

$$E_{Pri.} = \text{_____ V} \qquad I_{Pri.} = \text{_____ A}$$

10. Utilice los valores de tensión y de corriente medidos en el paso previo para determinar las relaciones de tensión y de corriente entre los bobinados del primario y del secundario del banco trifásico de transformadores cuando está conectado en configuración estrella-estrella.

$$\text{Relación de tensión } (E_{Pri.}:E_{Sec.}) = \text{____:____}$$

$$\text{Relación de corriente } (I_{Pri.}:I_{Sec.}) = \text{____:____}$$

11. En el software LVDAC-EMS, inicie el Analizador de fasores y haga las configuraciones requeridas para observar los fasores de las tensiones de línea  $E_{Sec.1}$ ,  $E_{Sec.2}$  y  $E_{Sec.3}$  en el secundario (entradas E1, E2 y E3, respectivamente), así como la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario del banco trifásico (entrada E4). Configure el fasor de la tensión de línea  $E_{Pri.}$  (entrada E4) en el primario como el fasor de referencia.

Utilice el Analizador de fasores para determinar el desfase entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario del banco trifásico.

$$\text{Desfase entre } E_{Sec.1} \text{ y } E_{Pri.} = \text{_____}^\circ$$

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden



12. En el software **LVDAC-EMS**, inicie el **Osciloscopio** y haga las configuraciones requeridas para observar las formas de onda de las tensiones de línea  $E_{Sec.1}$ ,  $E_{Sec.2}$  y  $E_{Sec.3}$  en el secundario (entradas **E1**, **E2**, y **E3**, respectivamente), así como las tensiones de línea  $E_{Pri.}$  en el primario del banco trifásico de transformadores (entrada **E4**).

Utilice el **Osciloscopio** para determinar el desfase entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario del banco trifásico de transformadores.

Desfase entre  $E_{Sec.1}$  y  $E_{Pri.}$  = \_\_\_\_\_ °

El desfase entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario que acaba de determinar, ¿confirma el desfase obtenido previamente usando el **Analizador de fasores**?

Sí       No

13. Las relaciones de tensión, corriente y fase que acaba de determinar para el banco trifásico de transformadores conectado en configuración estrella-estrella, ¿corresponden a la teoría presentada en la introducción del ejercicio?

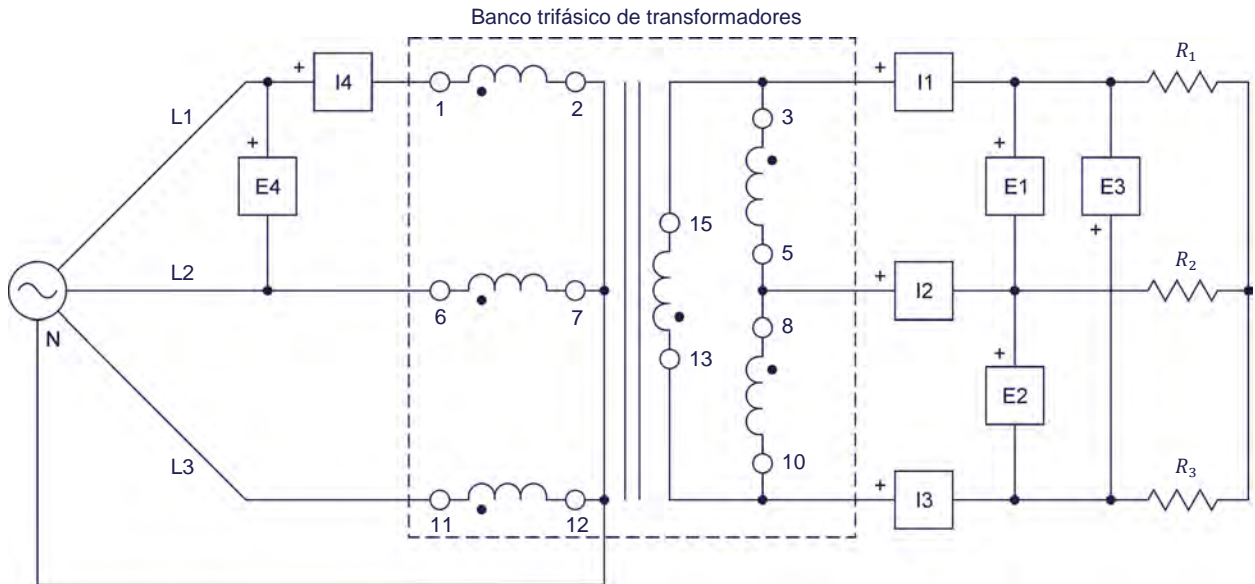
Sí       No

14. En la **Fuente de alimentación**, apague la fuente de potencia ca.

### **Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración estrella-triángulo**

*En esta sección, conectará un banco trifásico de transformadores en configuración estrella-triángulo. Medirá las tensiones y corrientes de línea en el secundario y en el primario del banco. Utilizará los valores medidos para determinar las relaciones de tensión y corriente entre los bobinados primario y secundario del banco trifásico de transformadores. Utilizará el Analizador de fasores y el Osciloscopio para determinar el desfase entre las tensiones de línea en el secundario y las tensiones de línea del primario. Finalmente, confirmará que las relaciones de tensión, corriente y fase medidas en el banco conectado en configuración estrella-triángulo corresponden a la teoría presentada en la introducción del ejercicio.*

15. Conecte el equipo como se muestra en la figura 5. En este circuito, sólo se modificaron las conexiones de los bobinados del secundario del banco trifásico de transformadores en relación con el circuito utilizado en la sección previa.



Red de potencia ca local		$R_1, R_2, R_3$ ( $\Omega$ )
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

Figura 5. Banco trifásico de transformadores conectado en configuración estrella-triángulo.

16. En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia ca trifásica.
17. En la ventana Aparatos de medición, mida las tensiones de línea  $E_{Sec.1}$ ,  $E_{Sec.2}$  y  $E_{Sec.3}$  en el secundario del banco trifásico de transformadores, así como la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario. Además, mida las corrientes de línea  $I_{Sec.1}$ ,  $I_{Sec.2}$  e  $I_{Sec.3}$  en el secundario del banco, así como la corriente de línea  $I_{Pri.}$  en el primario. Registre los valores a continuación.

$$E_{Sec.1} = \text{_____ V} \qquad I_{Sec.1} = \text{_____ A}$$

$$E_{Sec.2} = \text{_____ V} \qquad I_{Sec.2} = \text{_____ A}$$

$$E_{Sec.3} = \text{_____ V} \qquad I_{Sec.3} = \text{_____ A}$$

$$E_{Pri.} = \text{_____ V} \qquad I_{Pri.} = \text{_____ A}$$

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

18. Utilice los valores de tensión y de corriente de línea que midió en el paso anterior para determinar las relaciones de tensión y de corriente entre los bobinados del primario y del secundario del banco trifásico de transformadores cuando está conectado en configuración estrella-triángulo.

Relación de tensión ( $E_{Pri.}:E_{Sec.}$ ) = \_\_\_\_: \_\_\_\_

Relación de corriente ( $I_{Pri.}:I_{Sec.}$ ) = \_\_\_\_: \_\_\_\_

19. Utilice el [Analizador de fasores](#) y el [Osciloscopio](#) para determinar el desfase entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario del banco trifásico de transformadores.

Desfase entre  $E_{Sec.1}$  y  $E_{Pri.}$  = \_\_\_\_\_°

20. Las relaciones de tensión, corriente y fase que determinó para el banco trifásico de transformadores conectado en configuración estrella-triángulo, ¿corresponden a la teoría presentada en la introducción del ejercicio?

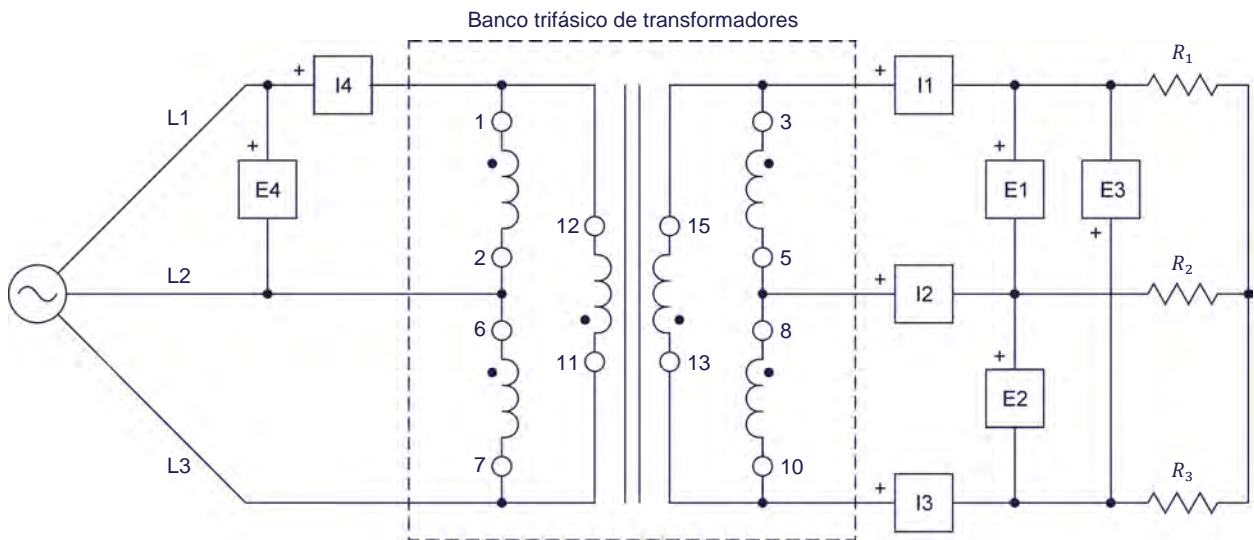
Sí       No

21. En la [Fuente de alimentación](#), apague la fuente de potencia ca trifásica.

### Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración triángulo-triángulo

En esta sección, conectará el banco trifásico de transformadores en configuración triángulo-triángulo. Medirá las tensiones y corrientes de línea en el secundario del banco, así como en el primario. Utilizará los valores medidos para determinar las relaciones de tensión y de corriente entre los bobinados del primario y secundario del banco. Utilizará el Analizador de fasores y el Osciloscopio para determinar el desfase entre las tensiones de línea del secundario y las del primario. Confirmará que las relaciones de tensión, corriente y fase medidas cuando en una configuración triángulo-triángulo corresponden a la teoría presentada en la introducción del ejercicio. Luego, invertirá las conexiones de los bobinados del secundario. Utilizará el Analizador de fasores y el Osciloscopio para observar el desfase resultante entre las tensiones de línea del secundario y primario. Luego analizará los resultados.

- 22.** Conecte el equipo como se muestra en la figura 6. En este circuito, solo se modificaron las conexiones de los bobinados del primario del banco trifásico de transformadores en relación con el circuito utilizado en la sección anterior.



Red de potencia ca local		$R_1, R_2, R_3$ ( $\Omega$ )
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

Figura 6. Banco trifásico de transformadores conectado en configuración triángulo-triángulo.

- 23.** En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia ca trifásica.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

24. En la ventana de **Aparatos de medición**, mida las tensiones de línea  $E_{Sec.1}$ ,  $E_{Sec.2}$  y  $E_{Sec.3}$  en el secundario del banco trifásico de transformadores, así como la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario. Además, mida las corrientes de línea  $I_{Sec.1}$ ,  $I_{Sec.2}$  e  $I_{Sec.3}$  en el secundario del banco, así como la corriente de línea  $I_{Pri.}$  en el primario. Registre los valores a continuación.

$$E_{Sec.1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_{Sec.1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$E_{Sec.2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_{Sec.2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$E_{Sec.3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_{Sec.3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$E_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

25. Utilice los valores de las tensiones y corrientes de línea medidos en el paso anterior para determinar las relaciones de tensión y de corriente entre el primario y secundario del banco trifásico de transformadores cuando está conectado en configuración triángulo-triángulo.

$$\text{Relación de tensión } (E_{Pri.}:E_{Sec.}) = \underline{\hspace{1cm}}:\underline{\hspace{1cm}}$$

$$\text{Relación de corriente } (I_{Pri.}:I_{Sec.}) = \underline{\hspace{1cm}}:\underline{\hspace{1cm}}$$

26. Utilice el **Analizador de fasores** y el **Osciloscopio** para determinar el desfase entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario del banco trifásico de transformadores.

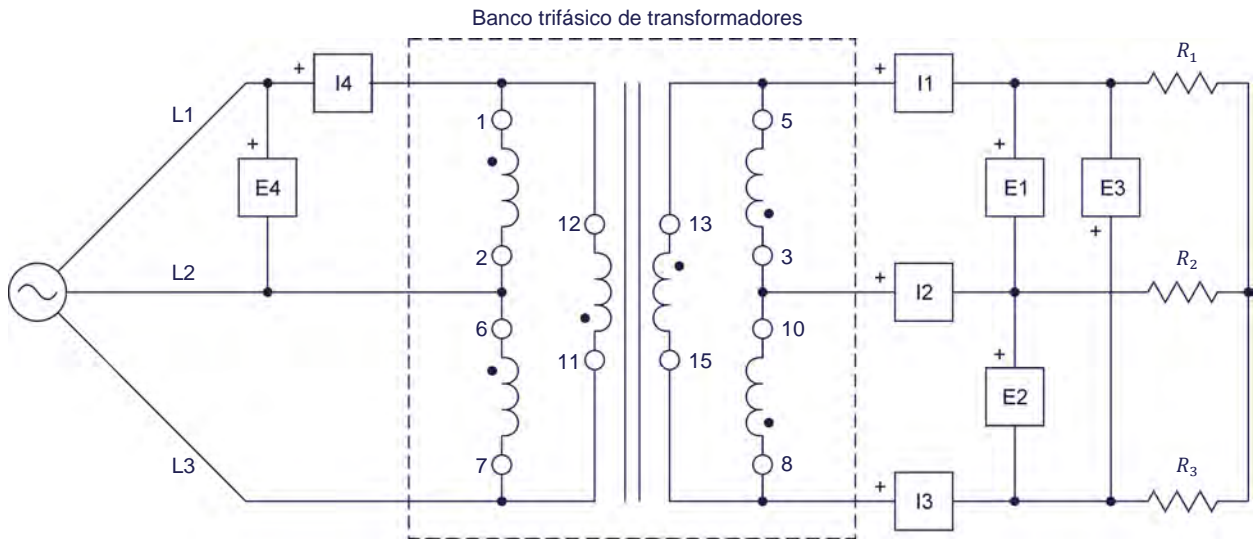
$$\text{Desfase entre } E_{Sec.1} \text{ y } E_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}}^\circ$$

27. Las relaciones de tensión, corriente y fase que determinó para el banco trifásico de transformadores conectado en configuración triángulo-triángulo, ¿corresponden a la teoría presentada en la introducción del ejercicio?

Sí       No

28. En la **Fuente de alimentación**, apague la fuente de potencia ca trifásica.

29. Invierta las conexiones en cada uno de los bobinados del secundario del banco trifásico de transformadores. El circuito debe configurarse como en la figura 7.



Red de potencia ca local		$R_1, R_2, R_3$ ( $\Omega$ )
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

Figura 7. Banco trifásico de transformadores conectado en configuración triángulo-triángulo con conexiones invertidas en los bobinados del secundario.

30. En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia ca trifásica.
31. Utilice el Analizador de fasores y el Osciloscopio para determinar el desfase entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario del banco trifásico de transformadores.

Desfase entre  $E_{Sec.1}$  y  $E_{Pri.}$  = \_\_\_\_\_°

32. ¿Qué sucede con el desfase entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario cuando se invierten las conexiones en los bobinados del secundario del banco trifásico de transformadores?

---

---

---

---

¿Sus resultados confirman que es importante respetar la polaridad de las bobinas cuando se interconectan los bobinados del banco trifásico de transformadores? Explique brevemente por qué.

---

---

---

---

33. En la **Fuente de alimentación**, apague la fuente de potencia ca trifásica.

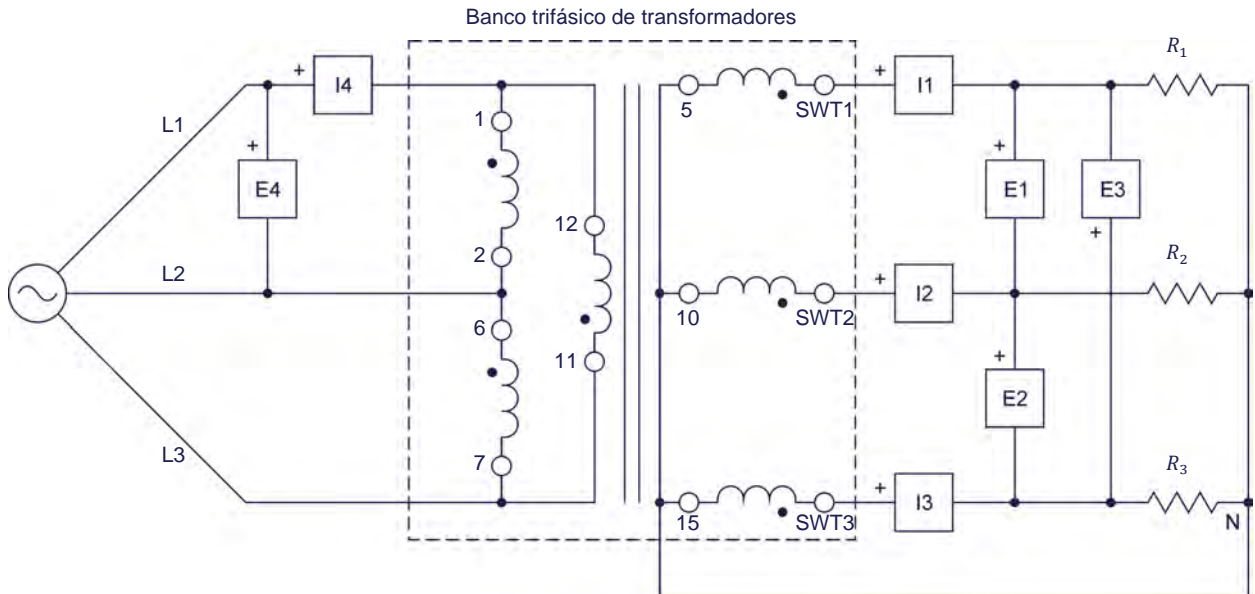
### **Relaciones de tensión, corriente y fase en una configuración triángulo-estrella**

*En esta sección, conectará un banco trifásico de transformadores en configuración triángulo-estrella. Medirá las tensiones y corrientes de línea en el secundario del banco, así como en el primario. Usando los valores medidos, determinará las relaciones de tensión y corriente entre los bobinados del primario y secundario del banco. Luego usará el Analizador de fasores y el Osciloscopio para determinar el desfase entre las tensiones de línea en el secundario y en el primario. Finalmente, confirmará que las relaciones de tensión, corriente y fase medidas en un banco trifásico de transformadores en una configuración triángulo-estrella corresponden a la teoría presentada en la introducción del ejercicio. Luego invertirá las conexiones de los bobinados en el secundario del banco trifásico. Utilizará el Analizador de fasores y el Osciloscopio para observar el desfase resultante entre las tensiones y corrientes de línea del secundario y del primario. Luego analizará los resultados.*

34. Conecte el equipo como se indica en la figura 8. En este circuito, sólo se modificaron las conexiones de los bobinados del secundario del banco trifásico de transformadores, con respecto al último circuito utilizado en la sección anterior. Asegúrese de que los números de los terminales del secundario del **Banco trifásico de transformadores** corresponden a las derivaciones de los bobinados del secundario SWT1, SWT2 y SWT3 indicadas en la tabla de la figura 8.



Si realiza los ejercicios con redes de potencia ca locales de 220 V y 240 V, las conexiones de los bobinados del secundario del Banco trifásico de transformadores hacen que la tensión del secundario sea igual a la del primario dividida por  $\sqrt{3}$  (es decir, la relación de tensión del banco trifásico es igual a  $\sqrt{3}:1$ ). Esto se hace para reducir la tensión medida en el secundario del banco, que de otra manera alcanzaría valores demasiado altos para esas tensiones de las redes de potencia ca locales.



Red de potencia ca local		SWT1	SWT2	SWT3	$R_1, R_2, R_3$ ( $\Omega$ )
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	3	8	13	300
220	50	4	9	14	629
240	50	4	9	14	686
220	60	4	9	14	629

Figura 8. Banco trifásico de transformadores conectado en configuración triángulo-estrella.

35. Ajuste de manera adecuada los interruptores de la Carga resistiva para obtener el valor de resistencia requerido.
36. En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia ca trifásica.

**ATENCIÓN**

En esta etapa del ejercicio, los valores nominales de tensión y de potencia del módulo Carga resistiva se exceden de manera importante. En consecuencia, es necesario realizar el resto de esta etapa en menos de 2 minutos para evitar dañar dicho módulo.



En la ventana **Aparatos de medición**, mida las tensiones  $E_{Sec.1}$ ,  $E_{Sec.2}$  y  $E_{Sec.3}$  en el secundario del banco trifásico de transformadores, así como la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario. Además, mida las corrientes de línea  $I_{Sec.1}$ ,  $I_{Sec.2}$  e  $I_{Sec.3}$  en el secundario del banco, así como la corriente de línea  $I_{Pri.}$  en el primario. Registre los valores a continuación.

$$E_{Sec.1} = \text{_____ V}$$

$$I_{Sec.1} = \text{_____ A}$$

$$E_{Sec.2} = \text{_____ V}$$

$$I_{Sec.2} = \text{_____ A}$$

$$E_{Sec.3} = \text{_____ V}$$

$$I_{Sec.3} = \text{_____ A}$$

$$E_{Pri.} = \text{_____ V}$$

$$I_{Pri.} = \text{_____ A}$$

En la **Fuente de alimentación**, apague la fuente de potencia ca trifásica.

- 37.** Utilice los valores de tensión y de corriente que registró en el paso anterior para determinar las relaciones de tensión y de corriente entre el primario y secundario del banco trifásico de transformadores conectado en configuración triángulo-estrella.

$$\text{Relación de tensión } (E_{Pri.}:E_{Sec.}) = \text{____:____}$$

$$\text{Relación de corriente } (I_{Pri.}:I_{Sec.}) = \text{____:____}$$



*Si realiza los ejercicios con redes de potencia ca locales de 220 V y 240 V, asegúrese de determinar las relaciones de tensión y de corriente entre el primario y secundario del banco trifásico de transformadores que pertenecen exclusivamente a esta configuración triángulo-estrella (es decir, no tenga en cuenta la relación de tensión  $\sqrt{3}:1$  debida a la conexión del banco trifásico de transformadores como un transformador reductor). Para esto, multiplique los valores de tensión del secundario obtenidos en el paso anterior por  $\sqrt{3}$  y divida los valores de corriente del secundario que obtuvo en el paso previo por  $\sqrt{3}$ .*

- 38.** En la **Fuente de alimentación**, encienda la fuente de potencia ca trifásica.

### ATENCIÓN

En esta etapa del ejercicio, los valores nominales de tensión y de potencia del módulo **Carga resistiva** se exceden de manera importante. En consecuencia, es necesario realizar el resto de esta etapa en menos de 2 minutos para evitar dañar dicho módulo.

Utilice el **Analizador de fasores** y el **Osciloscopio** para determinar el desfasaje entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario, del banco trifásico de transformadores.

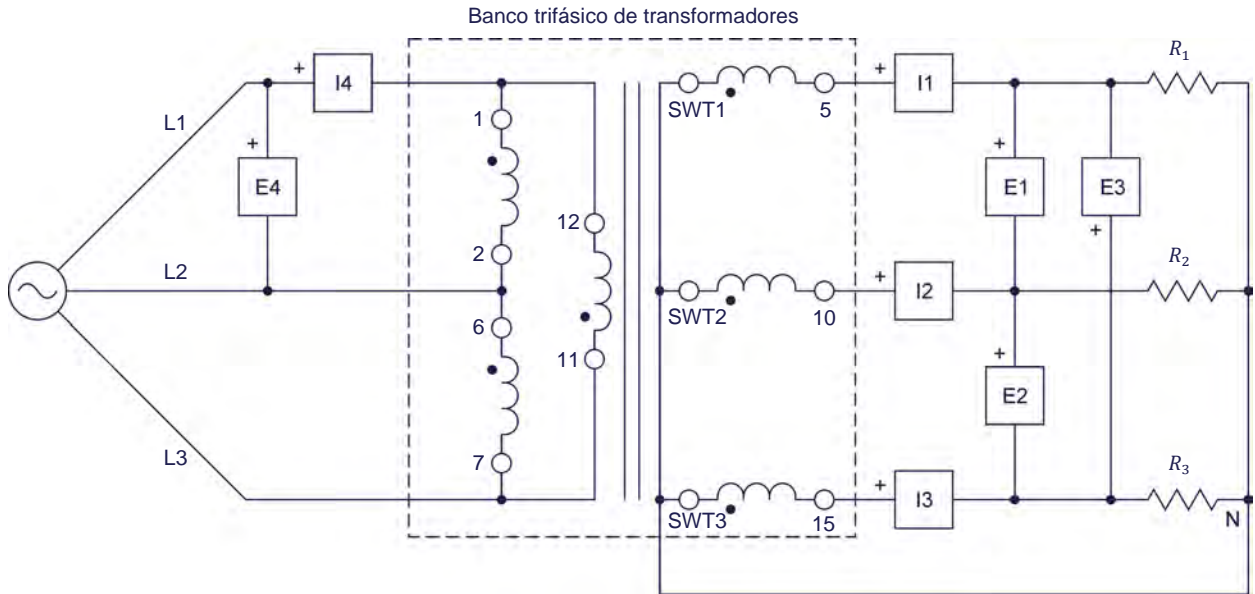
$$\text{Desfasaje entre } E_{Sec.1} \text{ y } E_{Pri.} = \text{_____}^\circ$$

En la **Fuente de alimentación**, apague la fuente de potencia ca trifásica.

39. Las relaciones de tensión, corriente y fase determinadas para el banco trifásico de transformadores conectado en configuración triángulo-estrella, ¿corresponden a la teoría presentada en la introducción de este ejercicio?

Sí  No

40. Invierta las conexiones en cada uno de los bobinados del secundario del banco trifásico de transformadores. El circuito resultante se muestra en la figura 9.



Red de potencia ca local		SWT1	SWT2	SWT3	$R_1, R_2, R_3$ ( $\Omega$ )
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	3	8	13	300
220	50	4	9	14	629
240	50	4	9	14	686
220	60	4	9	14	629

Figura 9. Banco trifásico de transformadores conectado en configuración triángulo-estrella, con conexiones invertidas en los bobinados del secundario.

**41.** En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia ca.

**ATENCIÓN**

En esta etapa del ejercicio, los valores nominales de tensión y de potencia del módulo **Carga resistiva** se exceden de manera importante. En consecuencia, es necesario realizar el resto de esta etapa en menos de 2 minutos para evitar dañar dicho módulo.

Utilice el **Analizador de fasores** y el **Osciloscopio** para determinar el desfasaje de la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario del banco trifásico de transformadores.

Desfasaje entre  $E_{Sec.1}$  y  $E_{Pri.}$  = \_\_\_\_\_ °

Encienda la fuente de potencia ca trifásica de la **Fuente de alimentación**.

**42.** ¿Qué sucede con el desfasaje entre la tensión de línea  $E_{Sec.1}$  en el secundario y la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario cuando se invierten las conexiones en los bobinados del secundario del banco trifásico de transformadores?

---

---

---

---

El efecto de invertir las conexiones de los bobinados del secundario del banco trifásico de transformadores conectado en triángulo-estrella, ¿es similar al que observó en el paso 31 cuando el banco trifásico se conectó en configuración triángulo-triángulo?

Sí       No

**43.** Cierre el software **LVDAC-EMS**, luego apague el todo el equipo. Desconecte todos los conductores y vuelva a colocarlos en su lugar de almacenamiento.

**CONCLUSIÓN**

En este ejercicio, aprendió cómo conectar bancos trifásicos de transformadores en configuraciones estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella. También determinó las relaciones de tensión, corriente y fase entre los bobinados del primario y los del secundario de un banco trifásico de transformadores en cada una de esas configuraciones. Observó los usos de estos bancos en los circuitos trifásicos de potencia ca.

**PREGUNTAS DE REVISIÓN**

1. ¿Cuáles son las principales diferencias entre los transformadores de potencia trifásicos de núcleo único y los bancos trifásicos de transformadores?

---

---

---

---

---

---

---

---

2. ¿Cómo es posible confirmar que los bobinados del secundario de un banco trifásico de transformadores configurado en estrella fueron conectados de manera apropiada (es decir, la polaridad del bobinado ha sido respetada)? Explique brevemente.

---

---

---

---

---

---

---

---

3. ¿Cómo es posible confirmar que los bobinados del secundario de un banco trifásico de transformadores configurado en triángulo fueron conectados de manera apropiada (es decir, la polaridad del bobinado ha sido respetada) antes de cerrar el triángulo? Explique brevemente.

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Considere un banco trifásico de transformadores conectado en configuración triángulo-estrella. Cada bobina del primario de dicho banco está compuesta de 800 espiras, mientras que cada una del secundario cuenta con 1340 espiras. Dado que la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario es igual a 208 V, determine la tensión de línea  $E_{Sec.}$  en el secundario.

---

---

---

5. Considere un banco trifásico de transformadores conectado en configuración estrella-triángulo. Cada bobina del primario está compuesta de 4800 espiras, mientras que cada una del secundario cuenta con 1600 espiras. Sabiendo que la tensión de línea  $E_{Pri.}$  en el primario es igual a 75 kV, determine la tensión de línea  $E_{Sec.}$  en el secundario.

---

---

---

## Tabla de utilización del equipo

Para realizar los ejercicios de este manual, se requiere el siguiente equipo.

Equipo		Ejercicio 1
Modelo	Descripción	
8131 <sup>(1)</sup>	Estación de trabajo	1
8311	Carga resistiva	1
8348-4	Banco trifásico de transformadores	1
8951-L	Cables de conexión	1
8823	Fuente de alimentación	1
8990	Computadora	1
9063-B <sup>(2)</sup>	Interfaz de adquisición de datos y control	1
30004-2	Fuente de 24 V ca	1

<sup>(1)</sup> La estación de trabajo móvil modelo 8110 y la estación de trabajo modelo 8134 también pueden ser usadas.

<sup>(2)</sup> El modelo 9063-B está compuesto por la Interfaz de adquisición de datos y control, Modelo 9063, con el conjunto de funciones Instrumentación computarizada, modelo 9069-1.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Glosario de términos nuevos

**banco trifásico de transformadores**

Los bancos trifásicos de transformadores están conformados por tres transformadores monofásicos individuales. Para un valor nominal de potencia dado, los bancos trifásicos son más grandes, requieren más material y son más económicos que los transformadores trifásicos de núcleo único. Sin embargo, los bancos trifásicos son más fáciles de mantener porque si uno de los bobinados se daña, solo es necesario reemplazar uno de los transformadores del banco en lugar de tener que reemplazar toda la unidad.

**configuración trifásica de transformadores**

La configuración trifásica de transformadores determina cómo se conectan los bobinados del primario y del secundario. Las cuatro configuraciones más comunes para transformadores trifásicos son estrella-estrella, triángulo-triángulo, estrella-triángulo y triángulo-estrella. Cada una de estas configuraciones presenta diferentes características. Cuando se conecta un transformador trifásico a un circuito, es importante determinar cuáles son las características que el circuito requiere y elegir la configuración en consecuencia.

**transformador de potencia trifásico de núcleo único**

Los transformadores trifásicos de núcleo único están contruidos con las bobinas de tres transformadores monofásicos arrolladas alrededor de un núcleo de hierro. Para una potencia nominal dada, dichos transformadores son más pequeños, requieren menos material y son más económicos que los bancos trifásicos de transformadores. Sin embargo, el mantenimiento de los transformadores trifásicos de núcleo único es más complicado porque cuando se daña uno de los bobinados se debe reemplazar toda la unidad en lugar de reemplazar el transformador dañado, como en el caso de los bancos.



Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Tabla de impedancia para los módulos de carga

La siguiente tabla lista los valores de impedancia que pueden obtenerse usando la Carga resistiva, modelo 8311, la Carga inductiva, modelo 8321, y la Carga capacitiva, modelo 8331. La figura 10 muestra los elementos de carga y sus conexiones. Se pueden utilizar otras combinaciones en paralelo para obtener los mismos valores de impedancia listados.

Tabla 2. Tabla de impedancia para los módulos de carga.

Impedancia ( $\Omega$ )			Posición de los interruptores								
120 V 60 Hz	220 V 50 Hz/60 Hz	240 V 50 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1200	4400	4800									
600	2200	2400									
300	1100	1200									
400	1467	1600									
240	880	960									
200	733	800									
171	629	686									
150	550	600									
133	489	533									
120	440	480									
109	400	436									
100	367	400									
92	338	369									
86	314	343									
80	293	320									
75	275	300									
71	259	282									
67	244	267									
63	232	253									
60	220	240									
57	210	229									

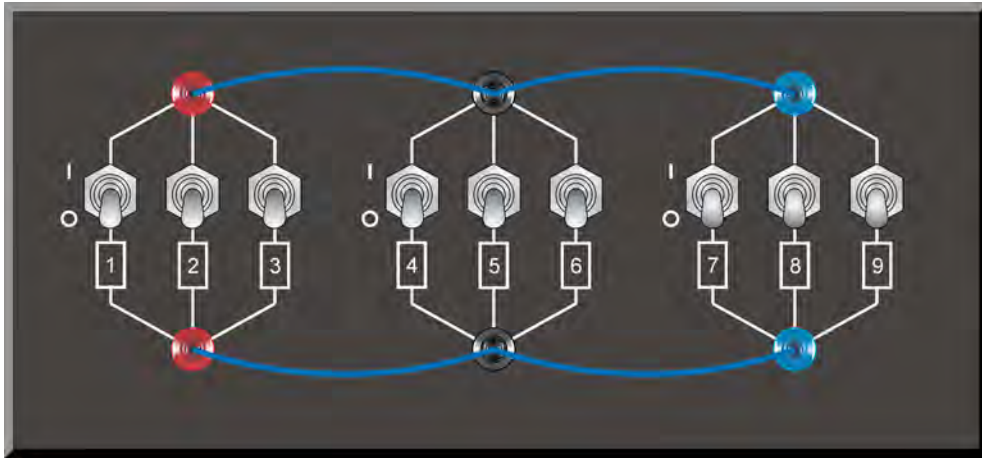


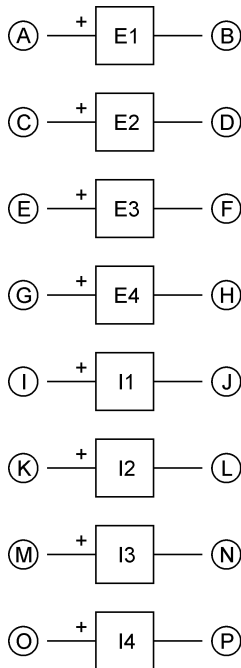
Figura 10. Ubicación de los elementos de carga en la Carga resistiva, Carga inductiva y Carga capacitiva, modelos 8311, 8321 y 8331, respectivamente.

## 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 serigrafiados en el equipamiento real.

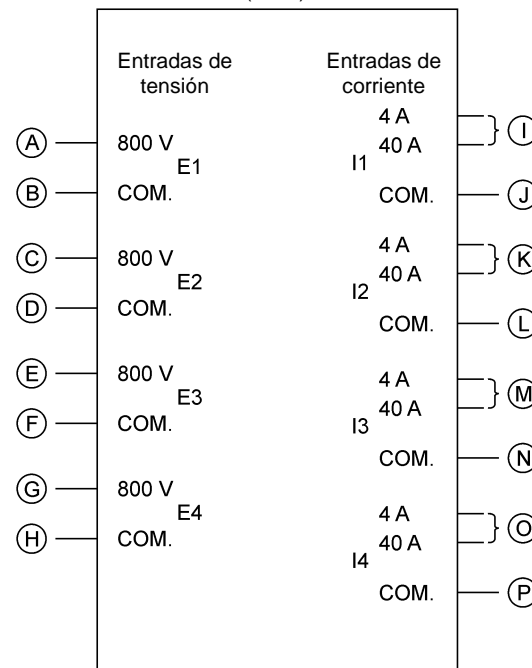
### Símbolo



Entradas aisladas para medición de tensión y corriente

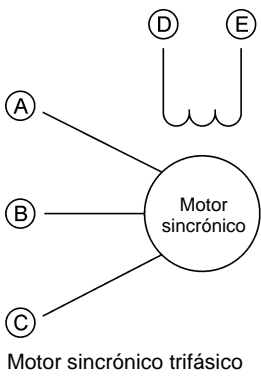
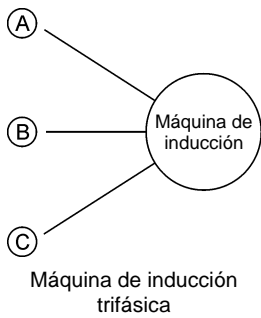
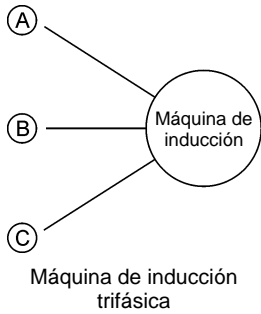
### Equipos y conexiones

Interfaz de adquisición de datos y de control (9063)

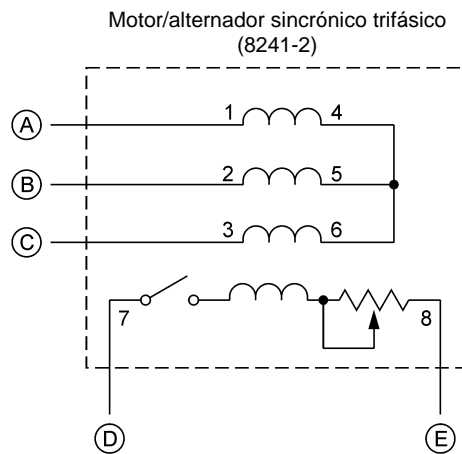
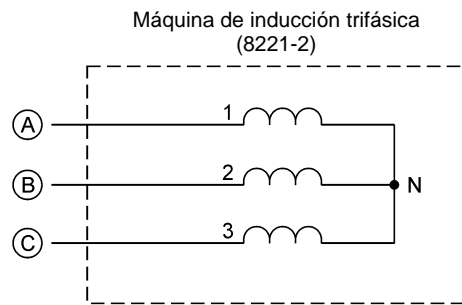
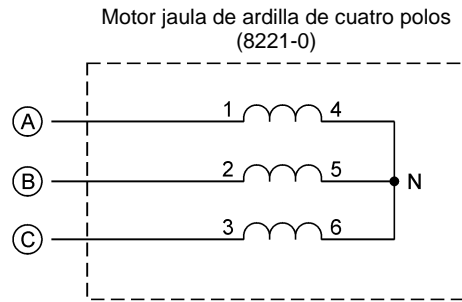


Cuando la corriente de una de las entradas I1, I2, I3 o I4 supera los 4 A de forma permanente o momentánea, utilice el terminal de entrada de 40 A y ajuste el parámetro Gama de la entrada correspondiente en Alta en la pantalla Ajustes de la Interfaz de adquisición de datos y de control del software LVDAC-EMS.

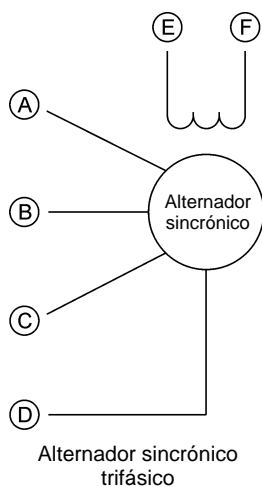
**Símbolo**



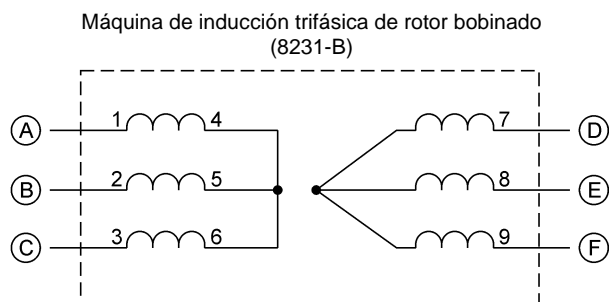
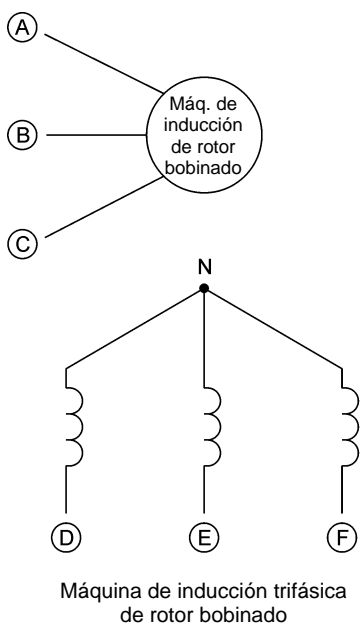
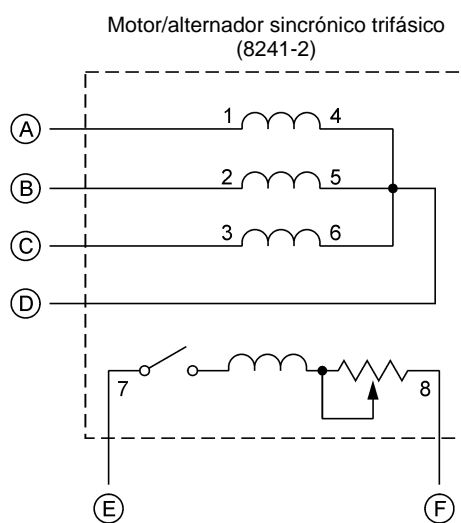
**Equipos y conexiones**



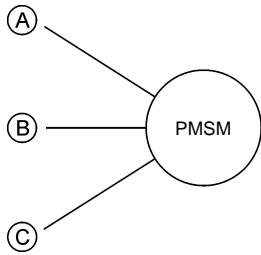
**Símbolo**



**Equipos y conexiones**



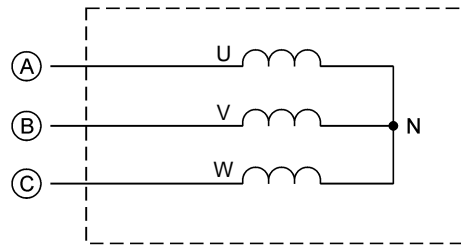
**Símbolo**



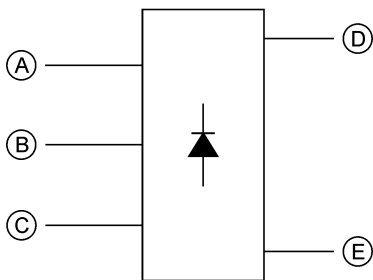
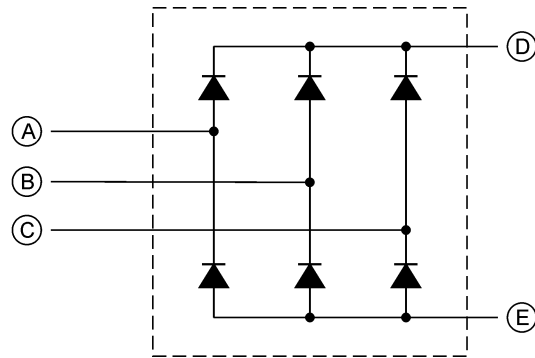
Máquina sincrónica de imán permanente

**Equipos y conexiones**

Máquina sincrónica de imán permanente (8245)

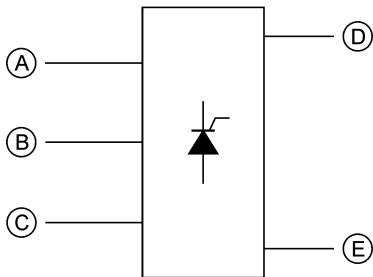
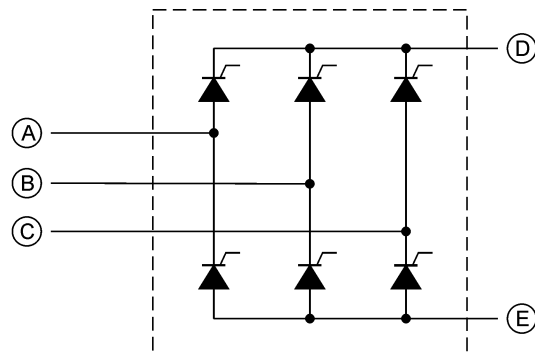


Rectificador y condensadores de filtrado (8842-A)



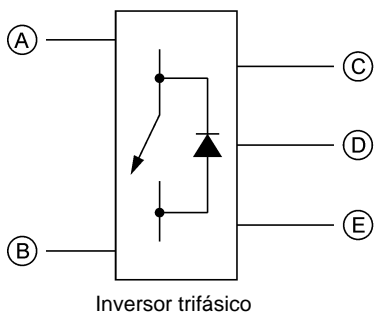
Rectificador trifásico de onda completa con diodos de potencia

Tiristores de potencia (8841)



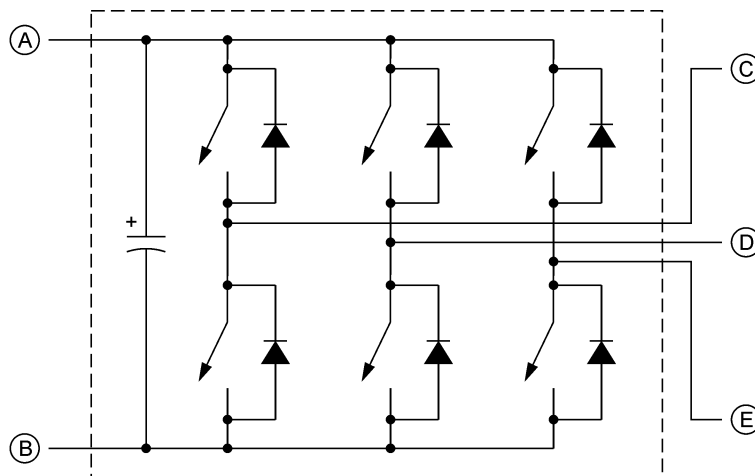
Puente trifásico de tiristores de potencia

**Símbolo**



**Equipos y conexiones**

Cortador/inversor con IGBT  
(8837-B)





Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Índice de términos nuevos



Los números de página en **negrita** indican la entrada principal del tema.  
Consulte el Glosario de nuevos términos para ver las definiciones.

bancos trifásicos de transformadores .....	<b>2</b> , 5, 10
configuraciones de transformadores trifásicos .....	<b>5</b> , 8, 10
transformadores trifásicos de núcleo único .....	<b>2</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.