

Circuitos ca trifásicos

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

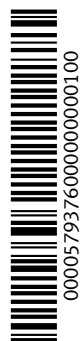
Festo Didactic Ltée/Ltd
675, rue du Carbone
Québec (Québec) G2N 2K7
Tel.: +1 418 849-1000
Sin cargo: +1-800-522-8658
Fax: +1 418 849-1666
services.didactic@festo.com

Manual del estudiante

Circuitos ca trifásicos

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden
www.festo-didactic.com

Festo Didactic
es
579376



000057937600000000000100

Electricidad y Nuevas Energías

Circuitos ca trifásicos

Manual del estudiante

579376

Nº de artículo: 579376 (Versión impresa) 591859 (CD-ROM)

Primera edición

Actualización: 10/2018

Por el personal de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 2013

Internet: www.festo-didactic.com

e-mail: did@de.festo.com

Impreso en Canadá

Todos los derechos reservados

ISBN 978-2-89640-869-6 (Versión impresa)

ISBN 978-2-89640-870-2 (CD-ROM)

Depósito legal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2013

Depósito legal – Library and Archives Canada, 2013

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 curso y en los equipos:

Símbolo	Descripción
	PELIGRO indica un nivel alto de riesgo que, de no ser evitado, ocasionará la muerte o lesiones de gravedad.
	ADVERTENCIA indica un nivel medio de riesgo, que de no ser evitado, puede ocasionar la muerte o lesiones de gravedad.
	ATENCIÓN indica un nivel bajo de riesgo, que de no ser evitado, puede ocasionar lesiones menores o leves.
	ATENCIÓN 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. Consultar la documentación correspondiente.
	Precaución, riesgo al levantar
	Precaución, riesgo de atrapamiento en transmisiones por correa
	Precaución, riesgo de atrapamiento en transmisiones por cadena
	Precaución, riesgo de atrapamiento en transmisiones por engranaje
	Precaución, riesgo de aplastamiento las manos
	Aviso, radiación no ionizante
	Consultar la documentación correspondiente.
	Corriente continua

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Símbolos de seguridad y de uso frecuente

Símbolo	Descripción
	Corriente alterna
	Corriente alterna y continua
	Corriente alterna trifásica
	Terminal de tierra (común)
	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 curso	IX
Ejercicio 1 Circuitos trifásicos.....	1
PRINCIPIOS	1
Introducción a los sistemas polifásicos y a los circuitos trifásicos.....	1
Configuraciones en estrella y en triángulo	3
Diferencia entre tensiones de fase y de línea, y corrientes de fase y de línea	4
Potencia en circuitos trifásicos equilibrados.....	6
PROCEDIMIENTO.....	6
Montaje y conexiones	7
Mediciones de las tensiones de fase y de línea en la fuente de alimentación.....	8
Mediciones de tensión, corriente y potencia en un circuito conectado en estrella.....	10
Mediciones de tensión, corriente y potencia en un circuito conectado en triángulo	14
CONCLUSIÓN.....	17
PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	18
Ejercicio 2 Medición de potencia trifásica.....	19
PRINCIPIOS	19
Cálculo de potencia en circuitos trifásicos equilibrados	19
Medición de potencia en circuitos monofásicos	20
Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores utilizando tres medidores de potencia	21
Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (método de los dos vatímetros)	22
Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (método de los dos vatímetros)	25

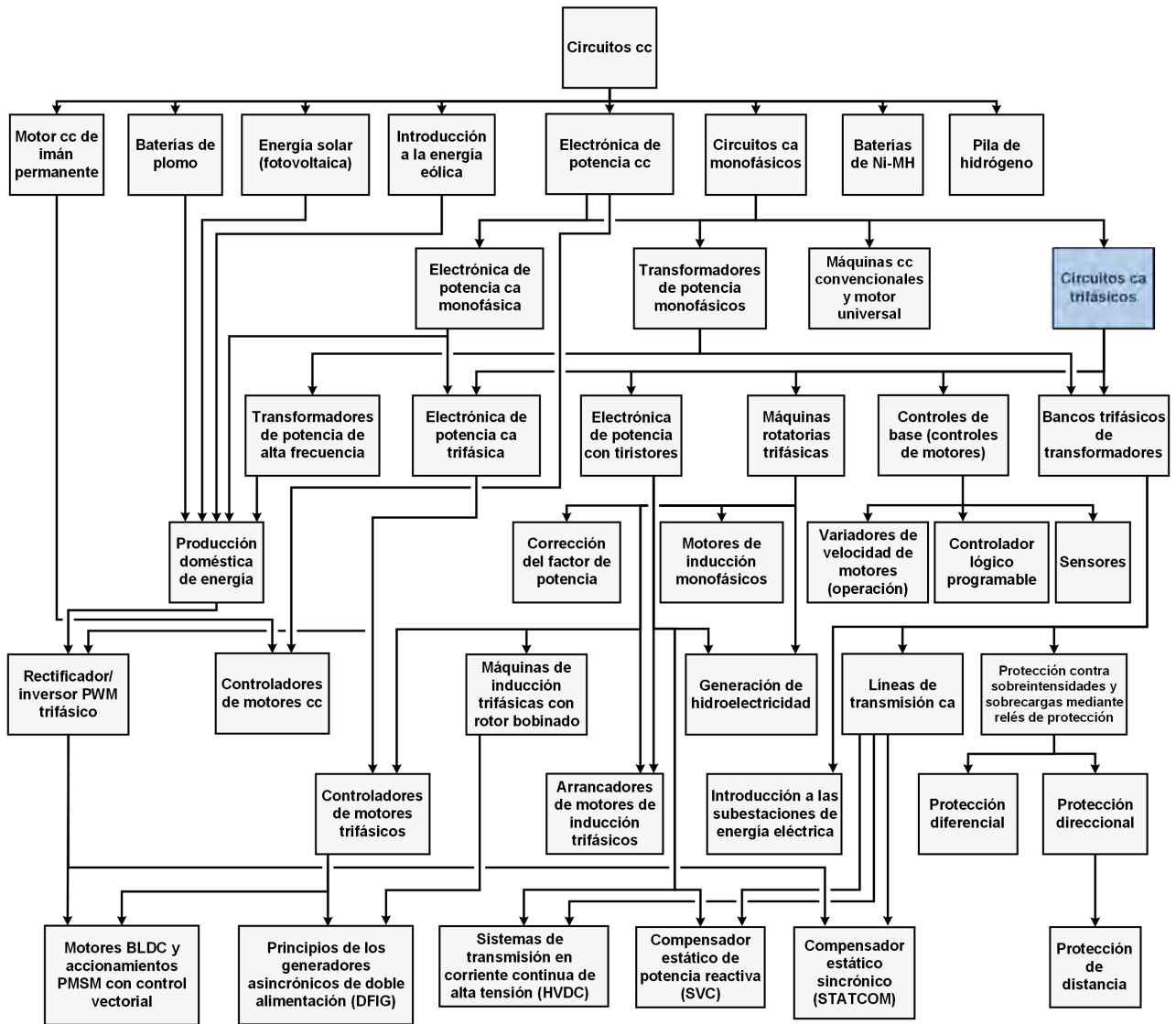
Índice

PROCEDIMIENTO.....	26
Montaje y conexiones	26
Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (configuración en estrella) utilizando tres medidores de potencia	28
Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (configuración en estrella) utilizando el método de los dos vatímetros	31
Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (configuración en triángulo) utilizando el método de los dos vatímetros	33
Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (configuración en estrella) utilizando el método de los dos vatímetros.....	36
CONCLUSIÓN.....	39
PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	39
Ejercicio 3 Secuencia de fases	41
PRINCIPIOS	41
Fundamentos de la secuencia de fases.....	41
Determinación de la secuencia de fases de un sistema de potencia trifásico utilizando un osciloscopio.....	44
Conexión de un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico.....	46
PROCEDIMIENTO.....	47
Montaje y conexiones	47
Determinación de la secuencia de fases de la fuente de alimentación ca trifásica	49
CONCLUSIÓN.....	50
PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	51
Apéndice A Tabla de utilización del equipo	53
Apéndice B Glosario de términos nuevos.....	55
Apéndice C Tabla de impedancia para los módulos de carga	57
Apéndice D Símbolos de los diagramas de circuitos	59
Índice de términos nuevos	65
Bibliografía	67

Prefacio

La producción de energía a partir de recursos naturales renovables como el viento, la luz solar, la lluvia, las mareas, el calor geotérmico, etc., ha cobrado bastante importancia en los 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 satisfacer 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 crecientes necesidades de formación en el amplio sector de la energía eléctrica, se ha desarrollado el Programa didáctico en tecnologías de la energía eléctrica, un programa de aprendizaje modular destinado a escuelas técnicas, colegios y universidades. El programa se muestra a continuación en forma de un organigrama, en donde cada cuadro representa un curso.



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 a enviarnos sus opiniones, comentarios y sugerencias para mejorarlo.

Por favor, envíelos a services.didactic@festo.com.

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

Acerca de este curso

La potencia ca trifásica es una de las formas de distribución de energía eléctrica más comunes a nivel mundial. Muchos países emplean este tipo de potencia para fines de distribución, ya que es más simple, más económica y más eficiente que la potencia ca monofásica. Aunque la mayoría de los circuitos de las residencias y pequeños edificios están cableados para potencia ca monofásica, esos circuitos se alimentan a partir de líneas de distribución trifásicas.

La potencia ca trifásica tiene numerosas ventajas en comparación con otras formas de distribución de energía. La principal ventaja es que es posible reducir la sección del conductor neutro, o eliminarlo totalmente, debido a que las corrientes de fase de un sistema trifásico se anulan entre sí. Esto significa que las líneas trifásicas pueden suministrar más potencia para un peso y costo de equipo determinado. Asimismo, los sistemas de potencia trifásicos producen una transferencia de potencia más constante, lo que reduce las vibraciones que se presentan cuando se conectan al sistema motores y alternadores (en especial los grandes). Aunque es posible que un sistema eléctrico polifásico tenga más de tres fases, el trifásico es el sistema polifásico con menor número de fases que presenta las ventajas mencionadas anteriormente. Los sistemas de distribución eléctrica con mayor número de fases son, hasta el momento, demasiado complejos y costosos para justificar su uso corriente.

Este curso, *Circuitos ca trifásicos*, permite aprender los conceptos fundamentales relativos a la potencia ca trifásica. Inicialmente se explican los dos tipos básicos de conexiones de los circuitos eléctricos trifásicos: las configuraciones en estrella (o Y) y en triángulo (o delta). El estudiante aprende a calcular las tensiones y corrientes de fase y de línea, el balance de fases, etc. Después, aprende a medir la potencia en circuitos trifásicos con el método de los dos vatímetros, y a calcular el factor de potencia. Por último, el estudiante aprende qué es la secuencia de fases y cómo determinarla en un sistema de potencia trifásico.

Consideraciones de seguridad

Los símbolos de seguridad que pueden emplearse en este curso y en los equipos se listan en la tabla Símbolos de seguridad y de uso frecuente al principio de este documento.

Los procedimientos de seguridad relacionados con las tareas que se le pedirá realizar se indican en cada ejercicio.

Asegúrese de emplear el equipo de protección 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.

Acerca de este curso



Líneas de distribución de potencia trifásica.¹

Prerrequisito

Es requisito previo para este curso haber completado los cursos siguientes: *Circuitos cc* y *Circuitos ca monofásicos*.

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).

¹ Fotografía de Wing-Chi Poon, junio 24, 2005 en Wikipedia:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Three_Phase_Electric_Power_Transmission.jpg. Disponible bajo licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic (CC BY-SA 2.5): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5>.

Circuitos trifásicos

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya completado este ejercicio, sabrá qué son los circuitos trifásicos y cómo resolver circuitos trifásicos equilibrados conectados en configuraciones estrella (Y) y triángulo (delta). También conocerá la diferencia entre tensiones de línea y de fase, y corrientes de línea y de fase, así como la relación entre los valores de los parámetros de línea y de fase en circuitos trifásicos conectados en estrella y en triángulo. Aprenderá qué es la secuencia de fases de un circuito trifásico. Sabrá cómo calcular la potencia activa que se disipa en cada fase de los circuitos trifásicos y la potencia activa total que se disipa en un circuito. Por último, podrá utilizar mediciones de tensión y de corriente para verificar la teoría y los cálculos que se presentan en este ejercicio.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los puntos siguientes:

- Introducción a los sistemas polifásicos y a los circuitos trifásicos
- Configuraciones en estrella y en triángulo
- Diferencia entre tensiones de fase y de línea, y corrientes de fase y de línea
- Potencia en circuitos trifásicos equilibrados

PRINCIPIOS

Introducción a los sistemas polifásicos y a los circuitos trifásicos

Un sistema polifásico es básicamente un sistema ca compuesto por cierto número de sistemas ca monofásicos que tienen la misma frecuencia y funcionan en secuencia. Cada fase de un sistema polifásico (es decir, la fase de cada sistema ca monofásico) está desplazada cierto intervalo angular respecto de la siguiente. En todo sistema polifásico, el valor del intervalo angular entre cada fase depende del número de fases del sistema. Este curso cubre el tipo de sistema polifásico más común, esto es, el sistema trifásico.

Los sistemas trifásicos, también conocidos como circuitos trifásicos, son sistemas polifásicos de tres fases, como su nombre lo indica. No son más difíciles de resolver que los circuitos monofásicos. En la mayoría de los casos, los circuitos trifásicos son simétricos y tienen impedancias idénticas en cada una de sus tres ramas (fases). Cada rama se puede tratar exactamente igual que un circuito monofásico, ya que un **circuito trifásico equilibrado** no es más que una combinación de tres circuitos monofásicos. Por lo tanto, las relaciones de tensión, corriente y potencia de circuitos trifásicos se pueden determinar utilizando las mismas ecuaciones y métodos básicos desarrollados para circuitos monofásicos. Los circuitos trifásicos asimétricos o desequilibrados representan una condición especial y su análisis es más complejo. Dichos circuitos no se cubren en detalle en este curso.

Un circuito ca trifásico es un circuito alimentado por tres ondas de tensión sinusoidales de igual frecuencia y magnitud, las cuales están desfasadas 120° entre sí. El desfase entre cada forma de onda de tensión de una fuente de alimentación ca trifásica es, por tanto, 120° ($360^\circ \div 3$ fases). La figura 1 muestra un ejemplo de un generador (alternador) trifásico simplificado que produce potencia ca trifásica. Un imán en rotación genera un campo magnético que gira al interior de tres bobinas de alambre idénticas (bobinados o arrollamientos), ubicadas físicamente a un ángulo de 120° entre sí, produciendo así tres tensiones ca separadas (una por bobinado). Como el imán en rotación del generador gira a una velocidad fija, la frecuencia de la potencia ca producida es constante, y las tres tensiones separadas alcanzan el valor de tensión máxima una después de la otra a intervalos de fase de 120° .

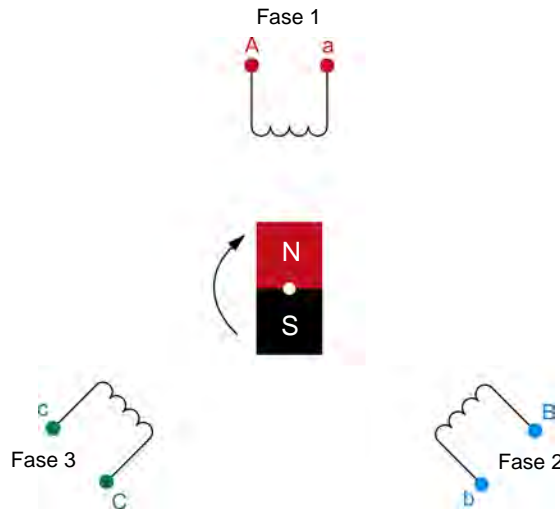
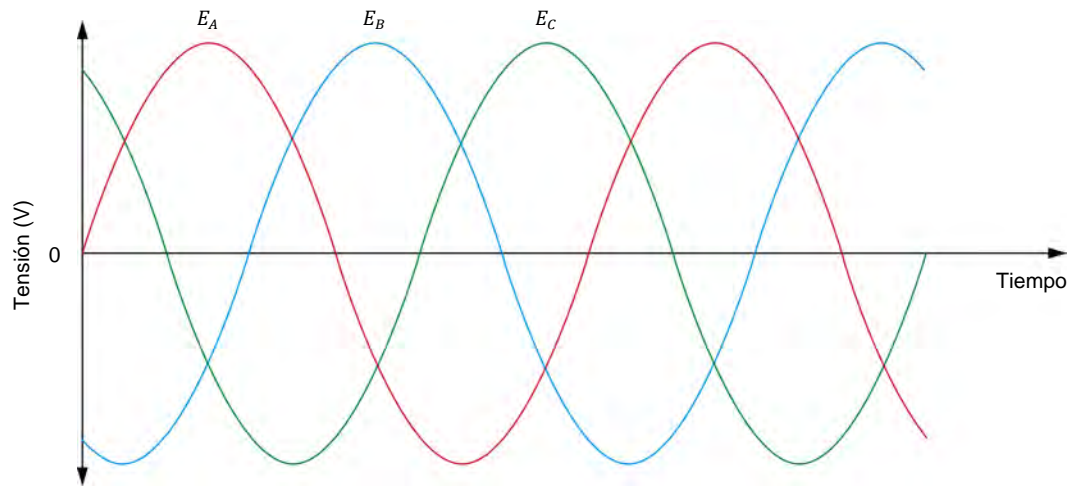


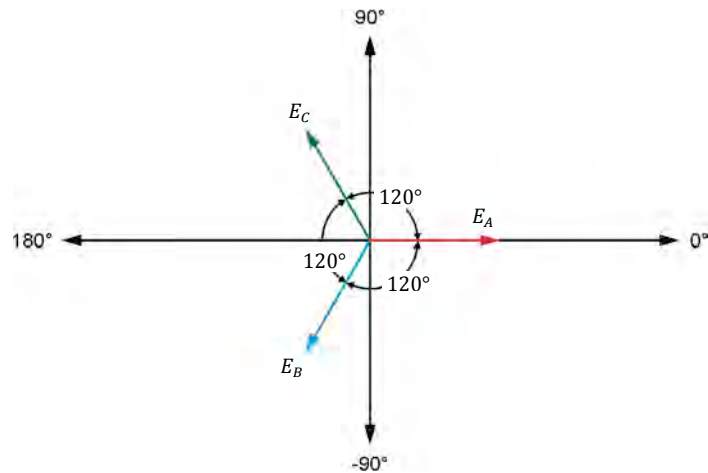
Figura 1. Generador trifásico simplificado.

La **secuencia de fases** de las formas de onda de tensión de una fuente de alimentación ca trifásica indica el orden en que se siguen una a la otra y alcanzan el valor de tensión máximo. La figura 2 muestra un ejemplo de las formas de onda de tensión producidas en una fuente de alimentación ca trifásica, así como el diagrama de fasores de esas formas de onda. Las formas de onda y los fasores de tensión de la figura 2 siguen la secuencia de fases E_A , E_B , E_C , que escrita de forma abreviada es la secuencia A-B-C. Esta secuencia de fases se obtiene cuando el imán en el generador trifásico de la figura 1 gira en sentido horario.

La secuencia de fases de una fuente de alimentación ca trifásica es importante porque determina el sentido de rotación de todo motor trifásico conectado a la fuente. Si las fases se conectan fuera de secuencia, el motor gira en el sentido opuesto, y puede haber serias consecuencias. Por ejemplo, si un motor trifásico cuando gira en sentido horario hace que un elevador ascienda, conectar los cables de fase del motor de forma incorrecta hará que el elevador descienda cuando se supone que debe ascender, y viceversa, lo que podría resultar en un serio accidente.



(a) Formas de onda de tensión producidas en una fuente de alimentación ca trifásica.



(b) Diagrama de fases relativo a las formas de onda de tensión de la parte (a)

Figura 2. Secuencia de fases A-B-C de una fuente de alimentación ca trifásica.

Configuraciones en estrella y en triángulo

Los bobinados de una fuente de alimentación ca trifásica (por ejemplo, el generador de la figura 1) pueden conectarse bien sea en **configuración estrella** o en **configuración triángulo**. El nombre de las configuraciones deriva de la apariencia de los circuitos que las representan, es decir, la letra Y designa la configuración en estrella y la letra griega delta (Δ) designa la configuración en triángulo. Las conexiones de cada configuración se muestran en la figura 3. Cada tipo de configuración tiene características eléctricas definidas.

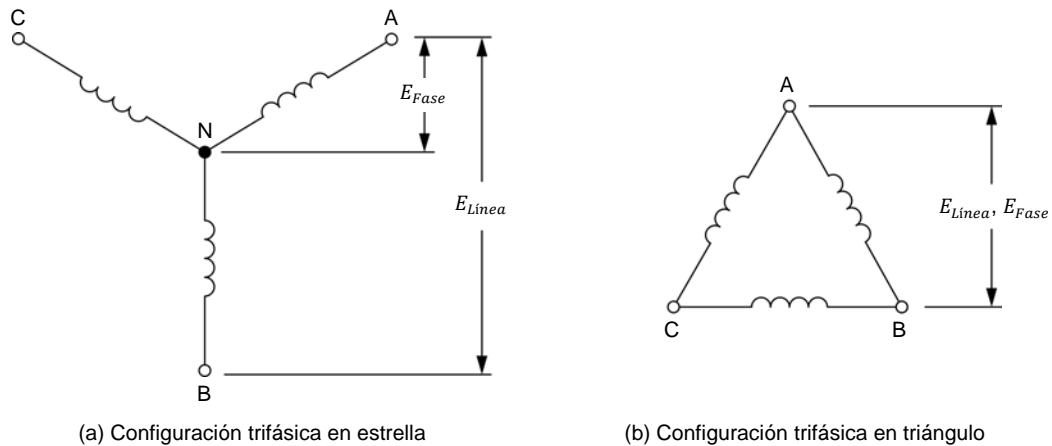


Figura 3. Tipos de configuraciones de sistemas trifásicos.

Como lo ilustra la figura 3, en los circuitos en estrella, un extremo de cada uno de los tres bobinados (o fases) de la fuente de alimentación ca trifásica se conecta a un punto común llamado neutro. No circula ninguna corriente en el neutro porque las corrientes que circulan por los tres bobinados (es decir, las corrientes de fase) se anulan entre sí cuando el sistema está equilibrado. En general, los sistemas conectados en estrella constan de tres o cuatro conductores (conectados a los puntos A, B, C y N en la figura 3a), dependiendo de si el sistema cuenta o no con una línea neutra.

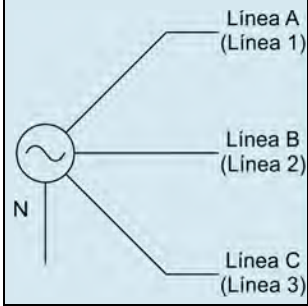
La figura 3b muestra que, en un circuito en triángulo, los tres bobinados de la fuente de alimentación ca trifásica están conectados entre sí formando un triángulo. Los tres conductores de línea se conectan a los tres puntos de unión del circuito (puntos A, B y C en la figura 3b). En un circuito trifásico conectado en triángulo no existe un punto al que pueda conectarse un conductor neutro. Por lo tanto, los sistemas conectados en triángulo suelen ser sistemas de tres conductores.

Diferencia entre tensiones de fase y de línea, y corrientes de fase y de línea

La tensión que produce un solo bobinado de un circuito trifásico se denomina tensión de línea a neutro, o simplemente **tensión de fase**, E_{Fase} . En una fuente de alimentación ca trifásica conectada en estrella, la tensión de fase se mide entre el conductor neutro y uno de los puntos A, B o C, como se muestra en la figura 3a. Esto da lugar a las siguientes tres tensiones de fase distintas: E_{A-N} , E_{B-N} y E_{C-N} .

La tensión entre cualesquiera dos bobinados de un circuito trifásico se llama tensión de línea a línea, o simplemente **tensión de línea** $E_{Línea}$. En una fuente de alimentación ca trifásica conectada en estrella, la tensión de línea es $\sqrt{3}$ (aproximadamente 1,73) veces mayor que la tensión de fase (esto es, $E_{Línea} = \sqrt{3} E_{Fase}$). En una fuente de alimentación ca trifásica conectada en triángulo, la tensión entre cualesquiera dos bobinados es igual a la tensión en el tercer bobinado de la fuente (esto es, $E_{Línea} = E_{Fase}$), como se observa en la figura 3b. En ambos casos, esto resulta en las siguientes tres tensiones de línea distintas: E_{A-B} , E_{B-C} y E_{C-A} .

La figura siguiente muestra el símbolo eléctrico con el que se representa una fuente de alimentación ca trifásica. Adviértase que en ocasiones las líneas A, B y C se identifican como líneas 1, 2 y 3, respectivamente.



Los conductores de las tres líneas (conductores conectados a los puntos A, B y C) y el conductor neutro de un sistema de potencia trifásico están a menudo disponibles para conectarlos a la carga, bien sea según una configuración en estrella o una en triángulo. Los dos tipos de conexiones de circuito se ilustran en la figura 4. El análisis del circuito demuestra que la tensión (tensión de línea) entre cualesquiera dos conductores de línea, o líneas, de una carga conectada en estrella es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión (tensión de fase) a través de cada resistor de carga. Asimismo, la **corriente de línea** $I_{Línea}$ que circula por cada línea de la fuente de alimentación es igual a la **corriente de fase** I_{Fase} que circula por cada resistor de carga. Por otro lado, en una carga conectada en triángulo, la tensión (tensión de fase) en cada resistor de carga es igual a la tensión de línea de la fuente. Además, la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente (corriente de fase) de cada resistor de carga. La corriente de fase en una carga conectada en triángulo es, por tanto, $\sqrt{3}$ veces menor que la corriente de línea.

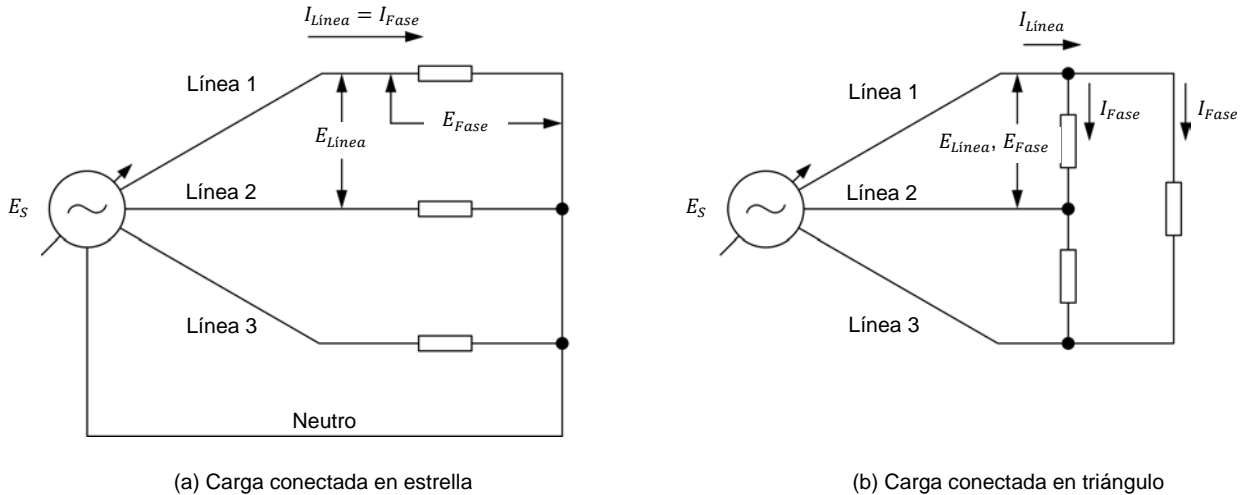


Figura 4. Tipos de conexiones de carga.

Las relaciones entre las tensiones y corrientes de línea y de fase simplifican el análisis de los circuitos trifásicos equilibrados. A continuación se muestra una forma abreviada de escribir estas relaciones.

En circuitos conectados en estrella:

$$E_{Línea} = \sqrt{3} \times E_{Fase} \quad \text{e} \quad I_{Línea} = I_{Fase}$$

En circuitos conectados en triángulo:

$$E_{Línea} = E_{Fase} \quad \text{e} \quad I_{Línea} = \sqrt{3} \times I_{Fase}$$

Potencia en circuitos trifásicos equilibrados

Las fórmulas para calcular las potencias activa, reactiva y aparente en circuitos trifásicos equilibrados son las mismas que se utilizan para circuitos monofásicos. Con base en la fórmula para calcular la potencia de un circuito monofásico, la potencia activa disipada en cada fase de una carga conectada en estrella o en triángulo es igual a:

$$P_{Fase} = E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi \quad (1)$$

- donde P_{Fase} es la potencia activa disipada en cada fase de un circuito trifásico, expresada en vatios (W).
- E_{Fase} es la tensión de fase en cada fase de un circuito trifásico, expresada en voltios (V).
- I_{Fase} es la corriente de fase que circula por cada fase de un circuito trifásico, expresada en amperios (A).
- φ es el ángulo entre la tensión y la corriente de fase en cada fase de un circuito trifásico, expresado en grados (°).

Por consiguiente, la potencia activa total P_T disipada en un circuito trifásico es igual a:

$$P_T = 3 \times P_{Fase} = 3 \times E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi \quad (2)$$

- donde P_T es la potencia activa total disipada en un circuito trifásico, expresada en vatios (W).

En circuitos trifásicos estrictamente resistivos, la tensión y la corriente están en fase, lo que significa que $\cos \varphi$ es igual a 1. Por esta razón, la potencia activa total P_T disipada en esos circuitos es igual a:

$$P_T = 3 \times E_{Fase} \times I_{Fase}$$

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento consta de las secciones siguientes:

- Montaje y conexiones
- Mediciones de las tensiones de fase y de línea en la fuente de alimentación
- Mediciones de tensión, corriente y potencia en un circuito conectado en estrella
- Mediciones de tensión, corriente y potencia en un circuito conectado en triángulo

PROCEDIMIENTO



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

Montaje y conexiones

En esta sección efectuará el montaje de los equipos para medir las tensiones de línea a neutro (fase) y de línea a línea (línea) de una fuente de alimentación ca trifásica.

1. Consulte en el Apéndice A la Tabla de utilización del equipo, a fin de obtener la lista de los equipos necesarios para realizar este ejercicio.
2. Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).
3. Asegúrese de que los interruptores de alimentación ca y cc en la [Fuente de alimentación](#) estén en la posición **O** (apagado). Después, conecte dicha fuente a una toma ca trifásica.
4. Conecte la [Alimentación](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) a la [Salida de energía](#) del módulo [Fuente de alimentación ca de 24 V](#). Encienda el módulo [Fuente de alimentación ca de 24 V](#).
5. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) a un puerto USB de la computadora.
6. Encienda la computadora e inicie el software [LVDAC-EMS](#).

En la ventana [Arranque de LVDAC-EMS](#), asegúrese de que la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) haya sido detectada. Asegúrese de que en la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) esté disponible la función [Instrumentación computarizada](#). Seleccione la tensión y la frecuencia de red correspondientes a la tensión y frecuencia de su red ca local, y después haga clic en el botón [Aceptar](#) para cerrar la ventana [Arranque de LVDAC-EMS](#).

7. En [LVDAC-EMS](#), abra la ventana [Aparatos de medición](#). En esta ventana, ajuste los medidores para medir los valores de tensión eficaces (ca) en las entradas [E1](#), [E2](#) y [E3](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#). Haga clic en el botón [Regeneración continua](#) para activar la actualización continua de los valores que indican los distintos medidores de la ventana [Aparatos de medición](#).
8. Instale el circuito que se muestra en la figura 5.

Conecte las entradas [E1](#), [E2](#) y [E3](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) (DACI) a fin de medir primero las tensiones de fase de la [Fuente de alimentación](#) E_{1-N} , E_{2-N} y E_{3-N} , respectivamente. Después, modificará las conexiones de las entradas [E1](#), [E2](#) y [E3](#) de la DACI a fin de medir las tensiones de línea de la [Fuente de alimentación](#) E_{1-2} , E_{2-3} y E_{3-1} , respectivamente.



Asegúrese de conectar las entradas E1, E2 y E3 de la Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI) con la polaridad que se indica en la figura.

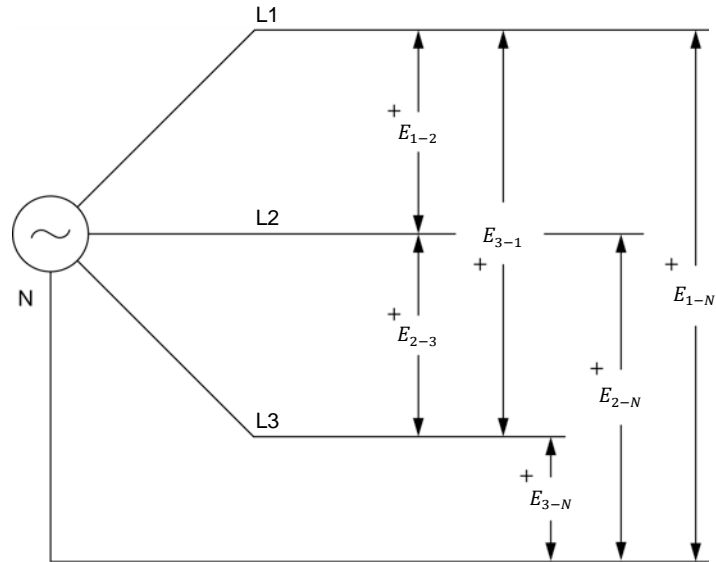


Figura 5. Mediciones de las tensiones de fase y de línea.

Mediciones de las tensiones de fase y de línea en la fuente de alimentación

En esta sección medirá las tensiones de fase de la fuente de alimentación ca trifásica en la *Fuente de alimentación* y observará las formas de onda y los fasores de dichas tensiones utilizando el *Osciloscopio* y el *Analizador de fasores*, respectivamente. Medirá las tensiones de línea de la fuente de alimentación ca trifásica en la *Fuente de alimentación*. Después, calculará la relación entre la tensión de línea promedio y la tensión de fase promedio, y confirmará que dicha relación es igual a $\sqrt{3}$.

9. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.
10. Mida y registre a continuación las tensiones de fase de la fuente de alimentación ca trifásica.

$$E_{1-N} = \text{_____ V}$$

$$E_{2-N} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-N} = \text{_____ V}$$

Determine el valor promedio de las tensiones de fase.

$$E_{Fase} \text{ Promedio} = \frac{E_{1-N} + E_{2-N} + E_{3-N}}{3} = \text{_____ V}$$

11. En LVDAC-EMS, abra el **Osciloscopio** y haga los ajustes apropiados para observar las formas de onda de las tensiones de fase relativas a las entradas **E1**, **E2** y **E3** de la DACI.

¿Es igual a 120° el desfase entre cada onda de tensión sinusoidal de la fuente de alimentación ca trifásica?

Sí No

12. En LVDAC-EMS, abra el **Analizador de fasores** y haga los ajustes apropiados para observar los fasores de las tensiones de fase relativas a las entradas **E1**, **E2** y **E3** de la DACI.

¿Es igual a 120° el desfase entre cada fador de tensión de la fuente de alimentación ca trifásica?

Sí No

13. Apague la fuente de alimentación ca trifásica.

14. En la DACI, modifique las conexiones de las entradas de tensión **E1**, **E2** y **E3** para medir las tensiones de línea (E_{1-2} , E_{2-3} y E_{3-1} , respectivamente) de la fuente de alimentación ca trifásica (véase la figura 5).



Asegúrese de conectar las entradas **E1**, **E2** y **E3** de la *Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)* con la polaridad que se indica en la figura 5.

15. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

16. Mida y registre a continuación las tensiones de línea de la fuente de alimentación ca trifásica.

$$E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{2-3} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-1} = \text{_____ V}$$

17. Apague la fuente de alimentación ca trifásica.

18. Determine el valor promedio de las tensiones de línea.

$$E_{\text{Linea}} \text{ Promedio} = \frac{E_{1-2} + E_{2-3} + E_{3-1}}{3} = \text{_____ V}$$

19. Calcule la relación entre la tensión de línea promedio $E_{Línea}$ y la tensión de fase promedio E_{Fase} .

$$\frac{E_{Línea} \text{ Promedio}}{E_{Fase} \text{ Promedio}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

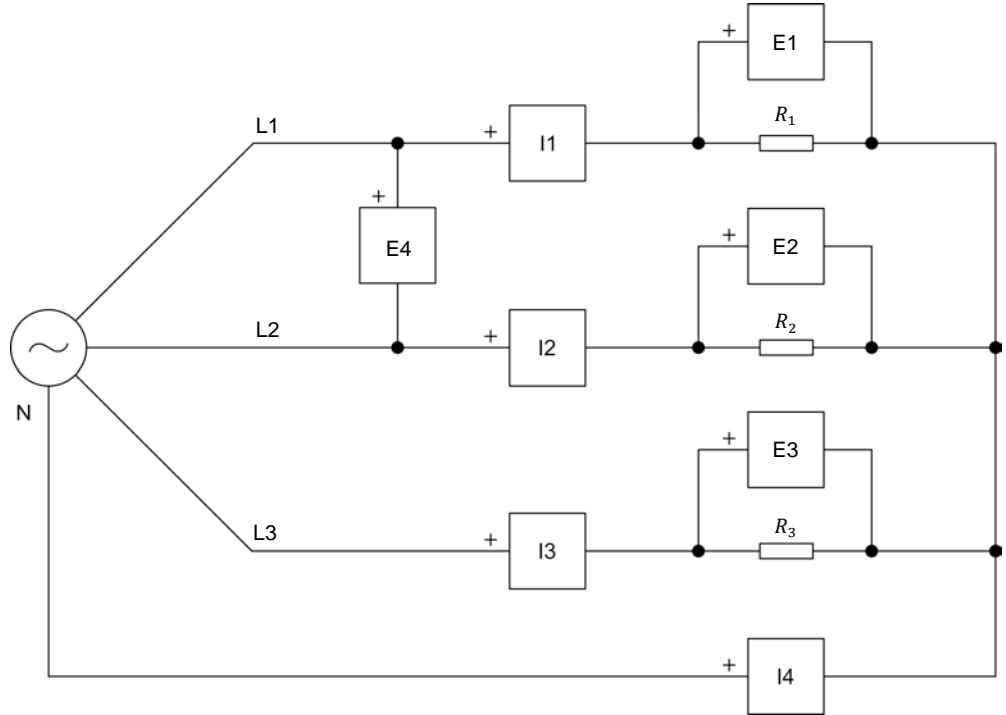
20. ¿Es igual a aproximadamente 1,73 (esto es, $\sqrt{3}$) la relación que se calculó en el paso anterior entre la tensión de línea promedio $E_{Línea}$ y la tensión de fase promedio E_{Fase} ?

Sí No

Mediciones de tensión, corriente y potencia en un circuito conectado en estrella

En esta sección montará un circuito trifásico conectado en estrella utilizando tres resistores de carga. Medirá las tensiones y corrientes de fase en el circuito, así como la tensión de línea del circuito y la corriente de línea en el neutro. Confirmará que la carga está equilibrada y que la relación entre la tensión de línea y la tensión de fase promedio en el circuito es igual a $\sqrt{3}$. Verificará que la corriente que circula en la línea del neutro es igual a cero, y que al retirar esa línea no se afectan las tensiones y corrientes medidas. Después, utilizará las tensiones y corrientes de fase medidas para calcular la potencia activa disipada en cada fase del circuito y la potencia activa total que este disipa. Por último, calculará la potencia activa total disipada en el circuito utilizando los valores promedio de tensión y corriente de fase medidos, y comparará los dos valores calculados de potencia activa total.

21. Monte el circuito trifásico resistivo, conectado en estrella, de la figura 6.



Red de alimentación ca local		R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	300	300	300
220	50	1100	1100	1100
240	50	1200	1200	1200
220	60	1100	1100	1100

Figura 6. Circuito trifásico conectado en estrella alimentando una carga resistiva trifásica.



Los valores de ciertos componentes (por ejemplo, resistores y condensadores) que se utilizan en los circuitos de este manual dependen de la tensión y frecuencia de su red ca local. Siempre que sea necesario, una tabla debajo del diagrama de circuito indica el valor de cada componente para tensiones de 120 V, 220 V y 240 V y frecuencias de 50 Hz y 60 Hz en la red ca local. Asegúrese de utilizar los valores de los componentes correspondientes a la tensión y frecuencia de la red de alimentación ca local.

- 22.** Realice los ajustes necesarios en los interruptores del módulo **Carga resistiva**, a fin de obtener los valores de resistencia requeridos.

El Apéndice C enumera los ajustes necesarios en el módulo **Carga resistiva** para obtener distintos valores de resistencia.

23. En la ventana **Aparatos de medición**, haga los ajustes necesarios a fin de medir los valores eficaces (ca) de las tensiones E_{R1} , E_{R2} , E_{R3} y $E_{Línea}$ (entradas **E1**, **E2**, **E3** y **E4**, respectivamente, de la DACI), así como las corrientes I_{R1} , I_{R2} , I_{R3} y I_N (entradas **I1**, **I2**, **I3** e **I4**, respectivamente, de la DACI).

24. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

25. Mida y registre a continuación las tensiones y corrientes en el circuito de la figura 6.

$$E_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

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

$$I_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

26. Apague la fuente de alimentación ca trifásica.

27. Compare las tensiones de carga individuales E_{R1} , E_{R2} y E_{R3} medidas en el paso 25. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

Compare las corrientes de carga individuales I_{R1} , I_{R2} y I_{R3} medidas en el paso 25. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

¿Significa esto que la carga trifásica está equilibrada?

Sí No

28. Calcule la tensión de fase promedio E_{Fase} utilizando las tensiones de fase que se registraron en el paso 25.

$$E_{Fase} \text{ Promedio} = \frac{E_{R1} + E_{R2} + E_{R3}}{3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

29. ¿Es aproximadamente igual a $\sqrt{3}$ la relación entre la tensión de línea $E_{Línea}$ medida en el paso 25 y la tensión de fase promedio E_{Fase} que se obtuvo en el paso anterior?

Sí No

30. ¿Es aproximadamente igual a cero la corriente I_N que circula por la línea neutra?

Sí No

31. Desconecte la línea neutra y después encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

Tras desconectar la línea neutra, ¿se afectan las mediciones de tensión y de corriente que indica la ventana **Aparatos de medición**?

Sí No

¿Es necesaria la línea neutra en un circuito trifásico equilibrado conectado en estrella?

Sí No

32. Apague la fuente de alimentación ca trifásica.

33. Utilice las tensiones y corrientes que ha registrado en el paso 25 para calcular la potencia activa que se disipa en cada fase del circuito y la potencia activa total P_T que se disipa en dicho circuito.

$$P_{R1} = E_{R1} \times I_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_{R2} = E_{R2} \times I_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_{R3} = E_{R3} \times I_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

34. Calcule la corriente de fase promedio I_{Fase} utilizando las corrientes de fase que se han registrado en el paso 25.

$$I_{Fase} \text{ Promedio} = \frac{I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}}{3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

35. Calcule la potencia activa total P_T que se disipa en el circuito. Para ello, utilice la tensión de fase promedio E_{Fase} que se obtuvo en el paso 28 y la corriente de fase promedio I_{Fase} del paso anterior. Después, compare el resultado con la potencia activa total P_T que se calculó en el paso 33. ¿Son los valores aproximadamente iguales?

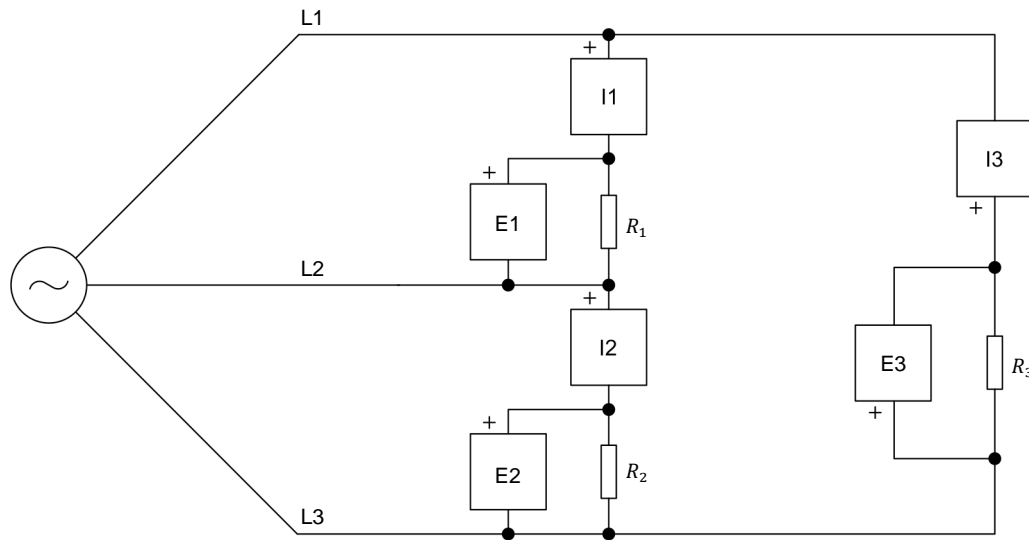
$$P_T = 3 \times E_{Fase} \times I_{Fase} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

Sí No

Mediciones de tensión, corriente y potencia en un circuito conectado en triángulo

En esta sección montará un circuito trifásico conectado en triángulo utilizando tres resistores de carga. Medirá las tensiones y corrientes de fase en el circuito. Después, modificará el circuito a fin de medir las corrientes de línea de este. Confirmará que la carga está equilibrada y que la relación entre la corriente de línea promedio y la corriente de fase promedio en el circuito es igual a $\sqrt{3}$. Después, utilizará las tensiones y corrientes de fase medidas para calcular la potencia activa disipada en cada fase del circuito y la potencia activa total que este disipa. Por último, calculará la potencia activa total que se disipa en el circuito utilizando los valores promedio de tensión y corriente de fase medidos, y comparará los dos valores calculados de potencia activa total.

36. Monte el circuito trifásico resistivo, conectado en triángulo, de la figura 7.



Red de alimentación ca local		R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	300	300	300
220	50	1100	1100	1100
240	50	1200	1200	1200
220	60	1100	1100	1100

Figura 7. Circuito trifásico conectado en triángulo alimentando una carga resistiva trifásica.

37. Realice los ajustes necesarios en los interruptores del módulo **Carga resistiva**, a fin de obtener los valores de resistencia requeridos.

38. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica, registre en los espacios de abajo las tensiones y corrientes del circuito, y apague inmediatamente la fuente de alimentación ca trifásica.

ATENCIÓN

No deje encendida la fuente de alimentación ca trifásica durante mucho tiempo, ya que la potencia que disipan los resistores de carga excede su potencia nominal.

$$E_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

39. Compare las tensiones de carga individuales E_{R1} , E_{R2} y E_{R3} medidas en el paso anterior. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

Compare las corrientes de carga individuales I_{R1} , I_{R2} y I_{R3} medidas en el paso anterior. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

¿Significa esto que la carga está equilibrada?

Sí No

40. Calcule la corriente de fase promedio I_{Fase} utilizando los valores de corriente de fase que se han registrado en el paso 38.

$$I_{Fase} \text{ Promedio} = \frac{I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}}{3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

41. Vuelva a conectar las entradas de corriente *I1*, *I2* e *I3* de la DACI, como se muestra en la figura 8, a fin de medir las corrientes de línea en el circuito trifásico conectado en triángulo.

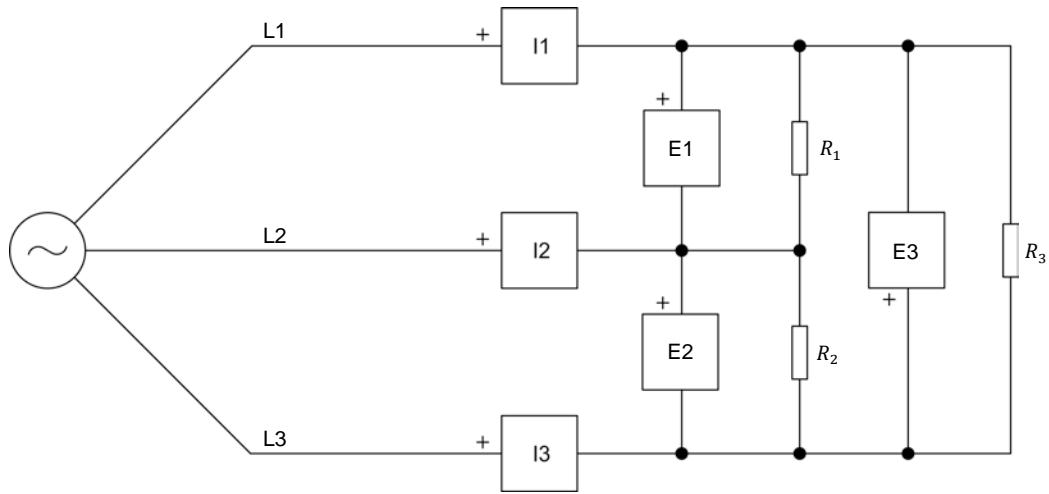


Figura 8. Mediciones de corriente de línea en el circuito trifásico conectado en triángulo.

42. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica, registre en los espacios de abajo las corrientes de línea del circuito, y apague inmediatamente la fuente de alimentación ca trifásica.

ATENCIÓN

No deje encendida la fuente de alimentación ca trifásica durante mucho tiempo, ya que la potencia que disipan los resistores de carga excede su potencia nominal.

$$I_{Línea 1} = \text{_____ A}$$

$$I_{Línea 2} = \text{_____ A}$$

$$I_{Línea 3} = \text{_____ A}$$

43. Determine el valor promedio de las corrientes de línea que se han medido en el paso anterior.

$$I_{Línea \text{ Promedio}} = \frac{I_{Línea 1} + I_{Línea 2} + I_{Línea 3}}{3} = \text{_____ A}$$

44. Calcule la relación entre la corriente de línea promedio $I_{Línea}$ que se obtuvo en el paso anterior y la corriente de fase promedio I_{Fase} del paso 40.

$$\frac{I_{Línea \text{ Promedio}}}{I_{Fase \text{ Promedio}}} = \text{_____}$$

¿Es la relación aproximadamente igual a $\sqrt{3}$?

Sí No

- 45.** Utilice las tensiones y corrientes del circuito, que ha registrado en el paso 38, para calcular la potencia activa disipada en cada fase del circuito y la potencia activa total P_T que se ha disipado en este.

$$P_{R1} = E_{R1} \times I_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_{R2} = E_{R2} \times I_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_{R3} = E_{R3} \times I_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

- 46.** Calcule la tensión de fase promedio E_{Fase} utilizando las tensiones de fase que se registraron en el paso 38.

$$E_{Fase} \text{ Promedio} = \frac{E_{R1} + E_{R2} + E_{R3}}{3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

- 47.** Calcule la potencia activa total P_T disipada en el circuito. Para ello, utilice la tensión de fase promedio E_{Fase} , registrada en el paso anterior, y la corriente de fase promedio I_{Fase} obtenida en el paso 40. Compare el resultado con la potencia activa total P_T que se calculó en el paso 45. ¿Son los valores aproximadamente iguales?

$$P_T = 3 \times E_{Fase} \times I_{Fase} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

Sí No

- 48.** Cierre el software [LVDAC-EMS](#) y apague todos los equipos. Desconecte todos los conductores y devuélvalos a su sitio de almacenamiento.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió en qué consisten los circuitos trifásicos. Observó la diferencia entre tensiones de línea y de fase, y corrientes de línea y de fase, así como la relación entre los valores de los parámetros de línea y de fase en circuitos trifásicos conectados en estrella y en triángulo. Aprendió qué es la secuencia de fases de un circuito trifásico. Asimismo, aprendió a calcular la potencia activa que se disipa en cada fase de un circuito trifásico y la potencia activa total que se disipa en este tipo de circuito. Por último, utilizó mediciones de tensión y de corriente para confirmar la teoría y los cálculos que se presentaron en el ejercicio.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Explique la diferencia entre la tensión de fase y la tensión de línea en un circuito trifásico.

2. ¿Cuál es la relación entre las tensiones de línea y de fase, y la relación entre las corrientes de línea y de fase en un circuito trifásico conectado en estrella?

3. ¿Cuál es la relación entre las tensiones de línea y de fase, y la relación entre las corrientes de línea y de fase en un circuito trifásico conectado en triángulo?

4. La tensión de fase E_{Fase} medida en una carga resistiva trifásica equilibrada conectada en estrella es de 60 V. Calcule la tensión de línea $E_{Línea}$ y la corriente I_N que circula por la línea neutra.

5. En un circuito trifásico resistivo equilibrado conectado en triángulo, la tensión de fase E_{Fase} es de 120 V, y la corriente de línea $I_{Línea}$ es de 3,46 A. Calcule la potencia activa total P_T disipada en el circuito.

Medición de potencia trifásica

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya terminado este ejercicio será capaz de calcular las potencias activa, reactiva y aparente de circuitos trifásicos equilibrados conectados en estrella o en triángulo. Aprenderá a utilizar un medidor de potencia en circuitos monofásicos a fin de medir la potencia de estos. Asimismo, sabrá cómo medir potencia en circuitos trifásicos de tres y cuatro conductores.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los puntos siguientes:

- Cálculo de potencia en circuitos trifásicos equilibrados
- Medición de potencia en circuitos monofásicos
- Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores utilizando tres medidores de potencia
- Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (método de los dos vatímetros)
- Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (método de los dos vatímetros)

PRINCIPIOS

Cálculo de potencia en circuitos trifásicos equilibrados

Como se observó en el Ejercicio 1, la potencia activa total P_T que se le suministra a una carga trifásica equilibrada (esto es, la potencia activa total disipada en un circuito), puede calcularse mediante la ecuación siguiente:

$$P_T = 3 \times P_{Fase} = 3 (E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi)$$

En un circuito conectado en estrella, $E_{Fase} = E_{Línea} / \sqrt{3}$ y la corriente de fase I_{Fase} es igual a la corriente de línea $I_{Línea}$. Por lo tanto, la ecuación de arriba se convierte en:

$$P_T = \frac{3}{\sqrt{3}} (E_{Línea} \times I_{Línea} \times \cos \varphi)$$

El factor $3/\sqrt{3}$ puede simplificarse para obtener $\sqrt{3}$, de modo que la ecuación final para calcular la potencia activa total que se disipa en el circuito conectado en estrella es:

$$P_T = \sqrt{3} (E_{Línea} \times I_{Línea} \times \cos \varphi) \quad (3)$$

donde P_T es la potencia activa total disipada en el circuito trifásico, expresada en vatios (W).

En un circuito conectado en triángulo se obtiene la misma ecuación porque la tensión de fase E_{Fase} es igual a la tensión de línea $E_{Línea}$, y porque $I_{Fase} = I_{Línea}/\sqrt{3}$. Por lo tanto, en un circuito equilibrado conectado en estrella o en triángulo, la potencia activa total P_T disipada en el circuito trifásico puede calcularse empleando la ecuación (3).

Dado que $(E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi)$ es la expresión que representa la potencia activa P_{Fase} disipada en una sola fase de un circuito trifásico, se deduce que la expresión $E_{Fase} \times I_{Fase}$ representa la potencia aparente en una sola fase. Por lo tanto, la potencia aparente total S_T en un circuito trifásico equilibrado conectado en estrella o en triángulo puede calcularse empleando la ecuación siguiente:

$$S_T = 3 (E_{Fase} \times I_{Fase}) \quad (4)$$

donde S_T es la potencia aparente total en el circuito trifásico, expresada en voltio-amperios (VA).

Siguiendo los mismos pasos utilizados para obtener la ecuación con la que se calcula la potencia activa total P_T en circuitos trifásicos a partir de la tensión de línea $E_{Línea}$ y la corriente de línea $I_{Línea}$, la ecuación para calcular la potencia aparente total S_T en un circuito trifásico se puede reescribir como sigue:

$$S_T = \sqrt{3} (E_{Línea} \times I_{Línea}) \quad (5)$$

El factor de potencia de un circuito trifásico equilibrado es la relación entre la potencia activa total y la potencia aparente total (esto es, P_T/S_T), y la relación entre P_T , Q_T y S_T es la misma que para los circuitos ca monofásicos (esto es, $S_T^2 = P_T^2 + Q_T^2$). Por lo tanto, la potencia reactiva total Q_T en un circuito trifásico se puede calcular por medio de la ecuación siguiente:

$$Q_T = \sqrt{S_T^2 - P_T^2} \quad (6)$$

donde Q_T es la potencia reactiva total en el circuito trifásico, expresada en voltio-amperios reactivos (var).

Medición de potencia en circuitos monofásicos

Existen instrumentos comerciales para medir directamente las potencias activa, reactiva y aparente. Estos instrumentos se denominan medidores de potencia. Por lo general, el medidor de potencia cuenta con un selector que permite medir potencia activa, reactiva o aparente. Un medidor de potencia determina la potencia midiendo la tensión y la corriente del circuito. Por lo tanto, todos estos instrumentos suelen tener al menos una entrada de tensión y una de corriente para medir esas variables en el circuito. La figura 9a muestra las conexiones típicas de un medidor de potencia en un circuito monofásico. La figura 9b muestra las conexiones equivalentes necesarias para medir potencia utilizando el módulo Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI).

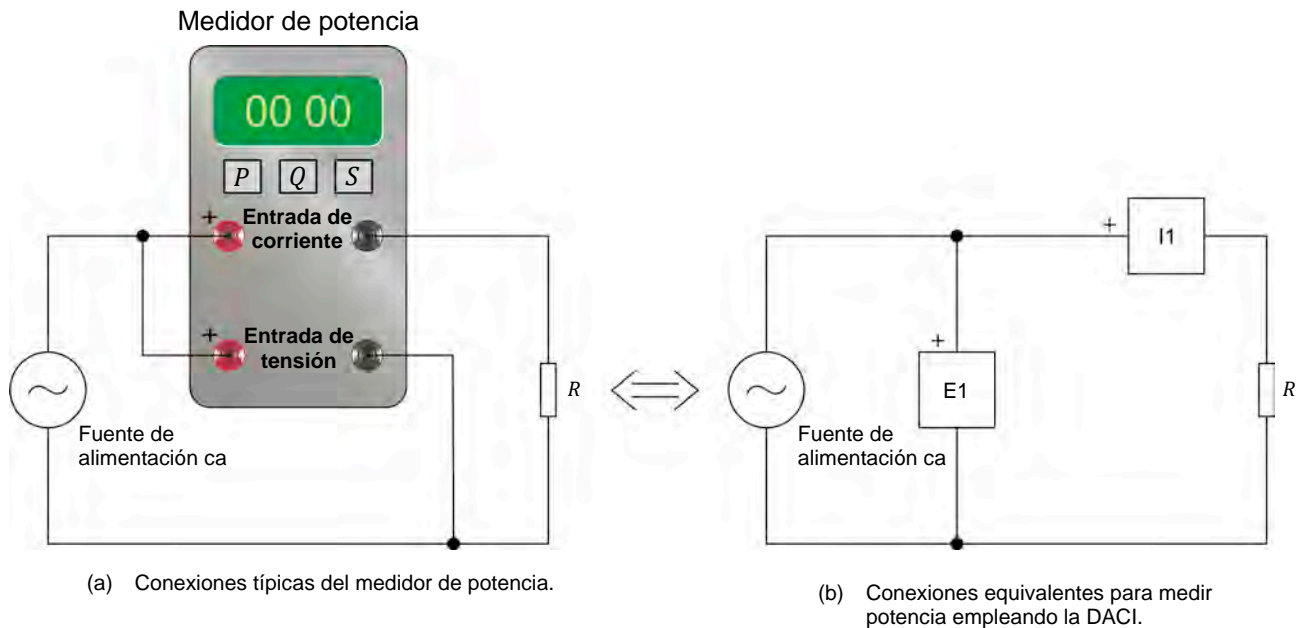


Figura 9. Diagramas de circuitos trifásicos que muestran las conexiones necesarias para efectuar mediciones de potencia.

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores utilizando tres medidores de potencia

La medición de la potencia total en un circuito trifásico de cuatro conductores se realiza midiendo primero la tensión y la corriente en cada fase del circuito (es decir, la tensión y la corriente en cada elemento de carga) y calculando después las potencias activa y reactiva en cada fase del circuito a partir de la tensión y la corriente medidas en dichas fases. La potencia activa total P_T en el circuito trifásico de cuatro conductores no es más que la suma algebraica de los valores de potencia activa obtenidos en las tres fases del circuito. De modo similar, la potencia reactiva total Q_T no es más que la suma algebraica de los valores de potencia reactiva obtenidos en las tres fases del circuito.

En otras palabras, es como medir las potencias activa y reactiva en cada fase de manera independiente utilizando tres medidores de potencia y calculando la suma algebraica de los valores de las tres mediciones de potencia (activa o reactiva). Por tanto, la potencia aparente total S_T puede obtenerse calculando la suma vectorial de la potencia activa total P_T y la potencia reactiva total Q_T . La figura 10 muestra las conexiones necesarias para medir la potencia total en un circuito trifásico de cuatro conductores empleando la DACI. Advierta que, en el diagrama del circuito, las entradas E1 e I1, E2 e I2 y E3 e I3 representan cada una un medidor de potencia.

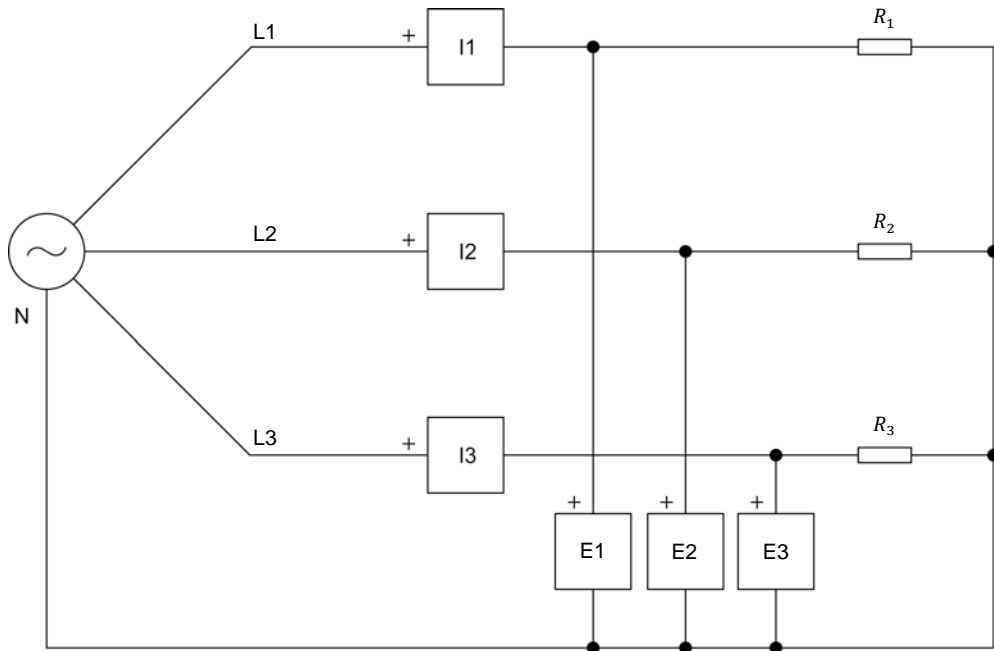


Figura 10. Medición de potencia trifásica utilizando tres medidores de potencia.

El método de medición de potencia de la figura 10 funciona sin importar si el circuito trifásico está equilibrado o no.

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (método de los dos vatímetros)

Un circuito trifásico de tres conductores no es más que un circuito trifásico con tres conductores de línea, pero sin conductor neutro. Los circuitos trifásicos de tres conductores se utilizan a menudo porque permiten transportar potencia trifásica utilizando tres conductores en lugar de cuatro. Esto hace que estos circuitos sean más económicos que los circuitos trifásicos de cuatro conductores.

El método para medir la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores visto en la sección anterior no se puede utilizar para medir la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores. Por ejemplo, cuando la carga se conecta mediante una configuración en estrella, pueden medirse las corrientes de fase, pero no las tensiones de fase (tensión en cada elemento de carga), ya que el punto neutro no suele estar disponible para conectar las entradas de tensión de los medidores de potencia, como lo muestra la figura 11.

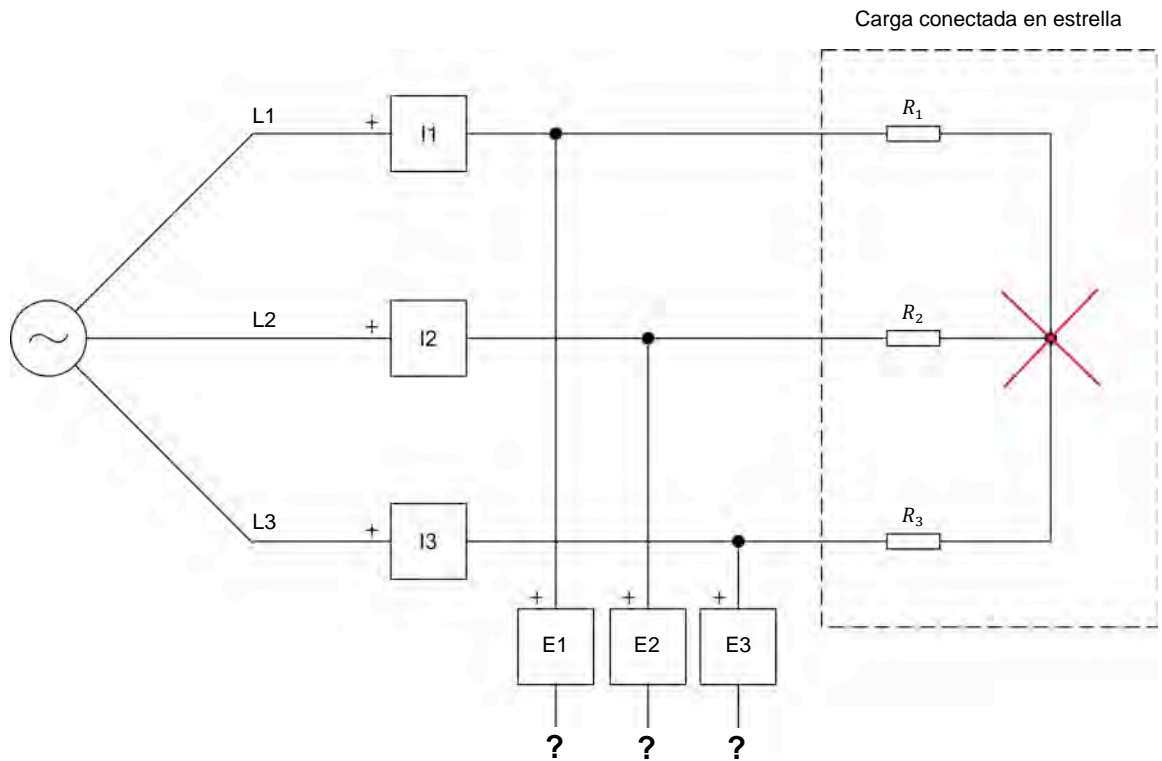


Figura 11. Diagrama de un circuito trifásico de tres conductores conectado en estrella, en el que se muestra que a menudo es imposible conectar las entradas de tensión de los medidores de potencia al punto neutro del circuito.

De forma similar, cuando se conecta la carga mediante una configuración en triángulo, pueden medirse las tensiones de fase, pero no las corrientes de fase (corrientes que circulan por los elementos de carga), porque a menudo es imposible el acceso individual a cada elemento de carga (es decir, es imposible conectar la entradas de corriente de los medidores de potencia para medir las corrientes de fase), como lo muestra la figura 12.

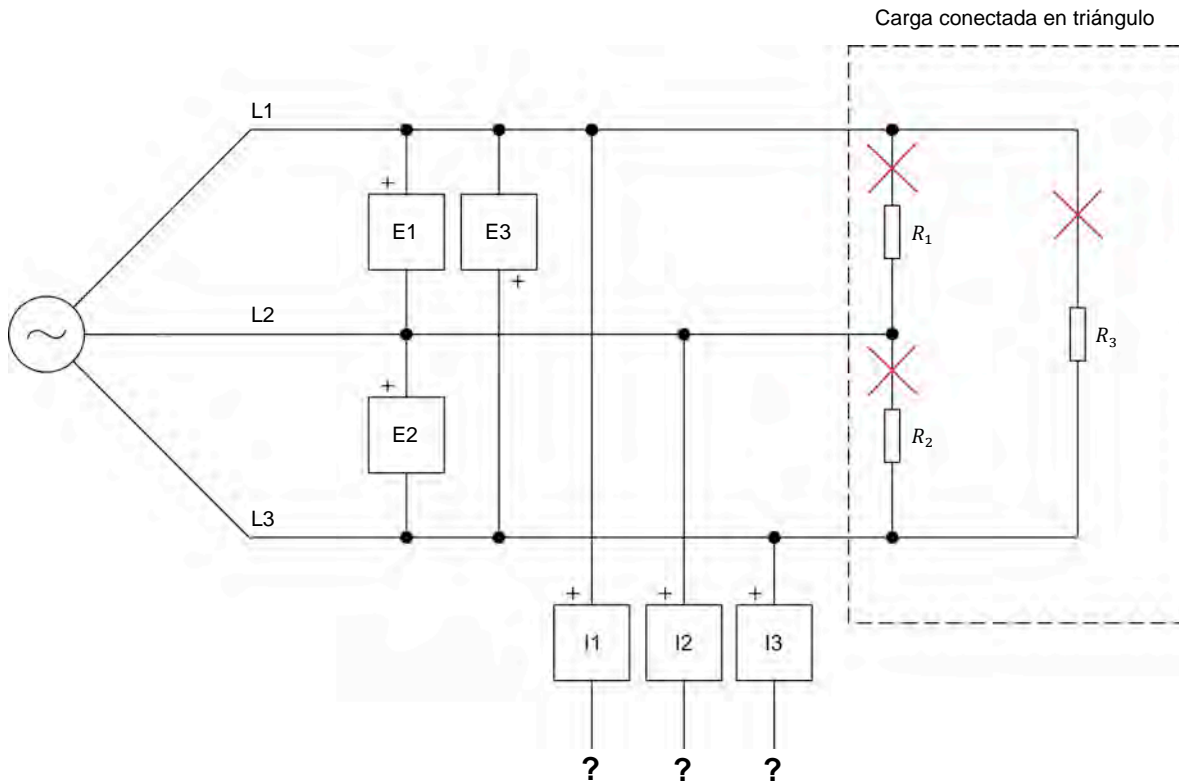


Figura 12. Diagrama de un circuito trifásico de tres conductores conectado en triángulo, en el que se muestra que no es posible conectar las entradas de corriente de los medidores de potencia para medir las corrientes de fase.

Para medir la potencia total (bien sea la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T o la potencia aparente total S_T) en circuitos trifásicos de tres conductores, se puede utilizar un método que emplea solo dos medidores de potencia. Este método se suele conocer como el **método de los dos vatímetros**, ya que inicialmente se implementó con dos vatímetros en lugar de dos medidores de potencia. La figura 13 muestra las conexiones de las entradas de tensión y corriente de los dos medidores de potencia necesarios para este método de medición de potencia trifásica. Advierta que las entradas de tensión y corriente de los medidores de potencia se deben conectar con la polaridad indicada en la figura para obtener mediciones correctas.

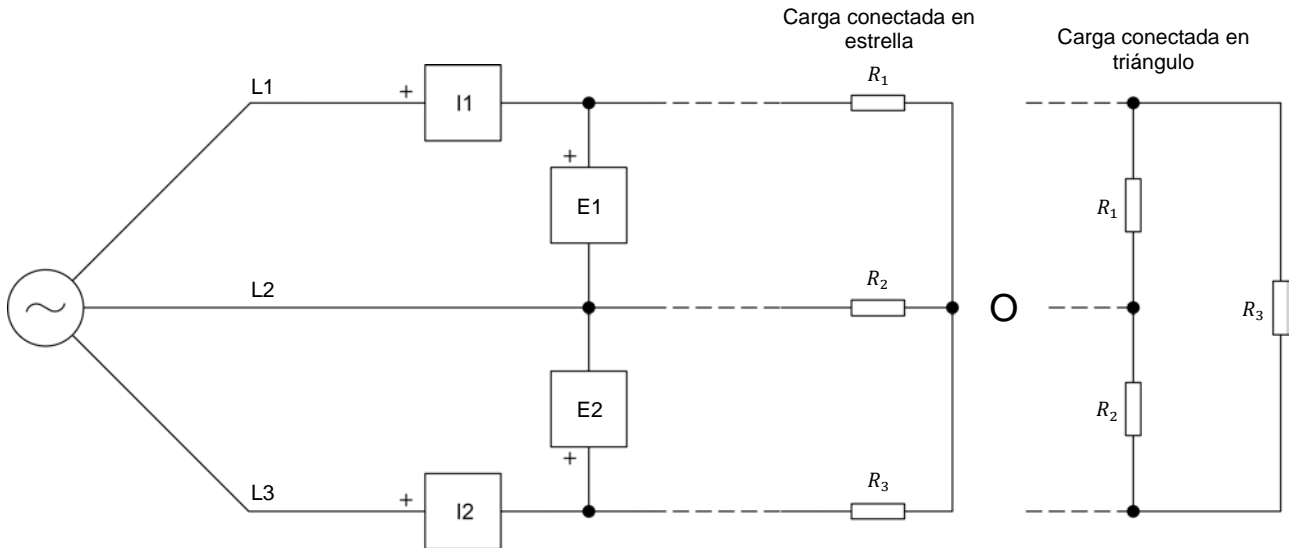


Figura 13. Conexiones de las entradas de tensión y corriente de los medidores de potencia en un circuito trifásico de tres conductores cuando se mide la potencia total utilizando el método de los dos vatímetros.

La potencia activa total P_T en el circuito trifásico de tres conductores de la figura 13 es simplemente la suma algebraica de los valores de potencia activa que indican los dos medidores de potencia. De modo similar, la potencia reactiva total Q_T no es más que la suma algebraica de los valores de potencia reactiva que indican los dos medidores de potencia. Por tanto, la potencia aparente total S_T puede obtenerse calculando la suma vectorial de la potencia activa total P_T y la potencia reactiva total Q_T . Este método de medición de potencia funciona sin importar si el circuito trifásico está equilibrado o no.

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (método de los dos vatímetros)

El método de los dos vatímetros para la medición de potencia también se puede utilizar para medir la potencia total (bien sea activa, reactiva o aparente) en circuitos trifásicos de cuatro conductores. Este método es útil porque solo requiere dos medidores de potencia (es decir, dos entradas de tensión y dos entradas de corriente) en lugar de tres (es decir, tres entradas de tensión y tres entradas de corriente) como en el caso del método que se vio antes en la teoría. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado cuando se usa el método de los dos vatímetros para medir la potencia total de un circuito trifásico de cuatro conductores, ya que el método solo funciona con circuitos equilibrados.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento consta de las secciones siguientes:

- Montaje y conexiones
- Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (configuración en estrella) utilizando tres medidores de potencia
- Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (configuración en estrella) utilizando el método de los dos vatímetros
- Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (configuración en triángulo) utilizando el método de los dos vatímetros
- Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (configuración en estrella) utilizando el método de los dos vatímetros

PROCEDIMIENTO



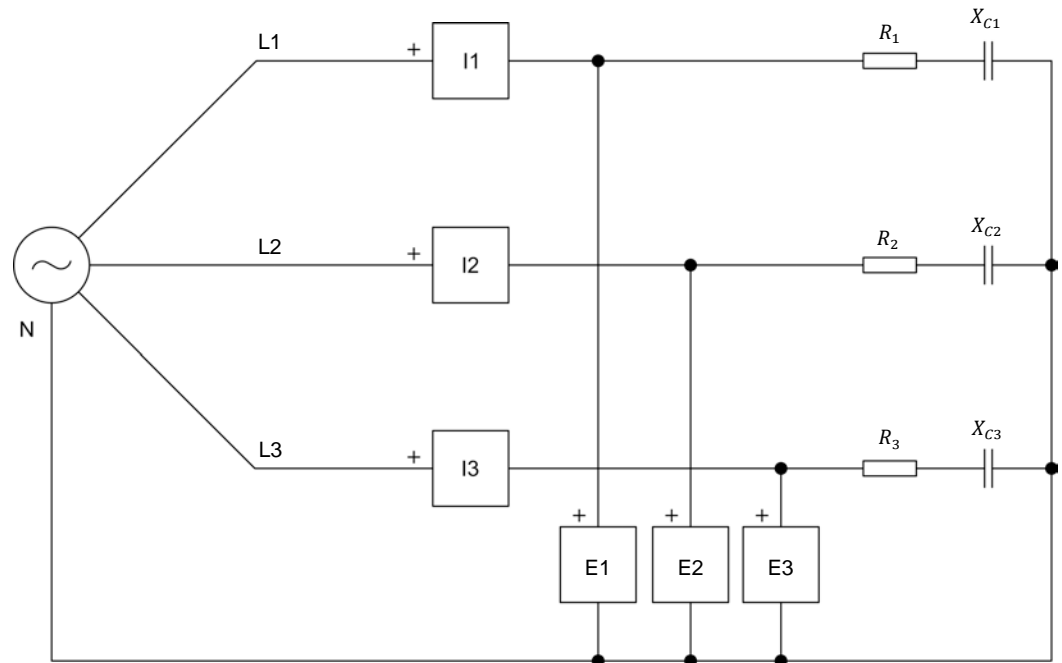
En este ejercicio se trabaja con altas tensiones. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana cuando la alimentación esté encendida, a menos que se especifique lo contrario.

Montaje y conexiones

En esta sección instalará el equipo para medir potencia en un circuito trifásico de cuatro conductores empleando tres medidores de potencia.

1. Consulte en el Apéndice A la Tabla de utilización del equipo, a fin de obtener la lista de los equipos necesarios para realizar este ejercicio.
2. Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).
3. Asegúrese de que los interruptores de alimentación ca y cc en la [Fuente de alimentación](#) estén en la posición **O** (apagado). Después, conecte dicha fuente a una toma ca trifásica.
4. Conecte la [Alimentación](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) a la [Salida de energía](#) del módulo [Fuente de alimentación ca de 24 V](#). Encienda el módulo [Fuente de alimentación ca de 24 V](#).
5. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y de control](#) a un puerto USB de la computadora.
6. Encienda la computadora e inicie el software [LVDAC-EMS](#).

7. En la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**, asegúrese de que la **Interfaz de adquisición de datos y de control** haya sido detectada. Asegúrese de que en la **Interfaz de adquisición de datos y de control** esté disponible la función **Instrumentación computarizada**. Seleccione la tensión y la frecuencia de red correspondientes a la tensión y frecuencia de su red ca local, y después haga clic en el botón **Aceptar** para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.
8. Instale el circuito que se muestra en la figura 14.



Red de alimentación ca local		R_1, R_2, R_3 (Ω)	X_{C1}, X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	171	240
220	50	629	880
240	50	686	960
220	60	629	880

Figura 14. Circuito trifásico equilibrado, de cuatro conductores, conectado en estrella, configurado para medir potencia empleando tres medidores de potencia.

9. Realice los ajustes necesarios en los interruptores de los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva**, a fin de obtener los valores de resistencia y capacitancia requeridos.

El Apéndice C enumera los ajustes necesarios en los interruptores de los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva**, a fin de obtener distintos valores de resistencia y capacitancia.

10. En **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Aparatos de medición**. Haga los ajustes necesarios a fin de medir los valores eficaces (ca) de las tensiones de fase E_{1-N} , E_{2-N} y E_{3-N} (entradas **E1**, **E2** y **E3**, respectivamente), y las corrientes de fase $I_{Fase\ 1}$, $I_{Fase\ 2}$ e $I_{Fase\ 3}$ (entradas **I1**, **I2** e **I3**, respectivamente). Ajuste otros tres medidores para medir potencia a partir de las entradas **E1** e **I1** (medidor **PQS1**), **E2** e **I2** (medidor **PQS2**) y **E3** e **I3** (medidor **PQS3**). Estos tres medidores de potencia se utilizarán de manera sucesiva para medir la potencia activa (P_1 , P_2 y P_3), la potencia reactiva (Q_1 , Q_2 y Q_3) y la potencia aparente (S_1 , S_2 y S_3) en cada fase del circuito. Ajuste los medidores en el modo de regeneración continua.

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (configuración en estrella) utilizando tres medidores de potencia

En esta sección resolverá el circuito instalado en la sección previa calculando los valores de potencia activa, reactiva y aparente en cada fase del circuito, así como los valores totales de potencia activa, reactiva y aparente del circuito. Medirá los valores de tensión, corriente y potencia, y confirmará que los parámetros medidos del circuito son aproximadamente iguales a los calculados. Después desequilibrará el circuito trifásico modificando la impedancia en una de sus fases, y resolverá el circuito trifásico desequilibrado resultante. Por último, medirá los valores totales de potencia activa, reactiva y aparente del circuito, y verificará que los parámetros medidos del circuito son aproximadamente iguales a los calculados, confirmando así que la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores, tanto equilibrados como desequilibrados, se puede medir utilizando tres medidores de potencia.

11. Resuelva el circuito de la sección anterior (figura 14) para determinar los valores de los parámetros siguientes: potencia activa P , potencia reactiva Q y potencia aparente S en cada fase del circuito, así como la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T del circuito.

12. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

Registre a continuación las tensiones y corrientes medidas en el circuito de la figura 14, así como las potencias activa, reactiva y aparente en cada fase del circuito, después apague la fuente de alimentación ca trifásica.



Puede cambiar el tipo de potencia (es decir, activa, reactiva o aparente) que mide un medidor de potencia en la ventana [Aparatos de medición](#) haciendo clic en el botón [Modo del medidor](#). Con este método puede efectuar rápidamente todas las mediciones de potencia activa, después todas las de potencia reactiva y finalmente todas las de potencia aparente utilizando los mismos tres medidores de potencia.

Tensiones y corrientes medidas:

$$E_{1-N} = \text{_____ V} \qquad I_{\text{Fase 1}} = \text{_____ A}$$

$$E_{2-N} = \text{_____ V} \qquad I_{\text{Fase 2}} = \text{_____ A}$$

$$E_{3-N} = \text{_____ V} \qquad I_{\text{Fase 3}} = \text{_____ A}$$

Potencias activa, reactiva y aparente medidas:

$$P_1 = \text{_____ W} \qquad P_2 = \text{_____ W}$$

$$P_3 = \text{_____ W}$$

$$Q_1 = \text{_____ var} \qquad Q_2 = \text{_____ var}$$

$$Q_3 = \text{_____ var}$$

$$S_1 = \text{_____ VA} \qquad S_2 = \text{_____ VA}$$

$$S_3 = \text{_____ VA}$$

13. Compare los valores de tensión, corriente y potencia (activa, reactiva y aparente) medidos en el paso anterior con los valores de los parámetros que se calcularon en el paso 11. ¿Son todos los valores aproximadamente iguales?

Sí No

14. En la ventana [Aparatos de medición](#), ajuste un medidor adicional para medir la potencia total (bien sea activa, reactiva o aparente) a partir de los valores que proveen los tres medidores que se utilizaron para medir la potencia en cada fase del circuito.



La función $PQS1 + PQS2 + PQS3$ (a la que se accede por medio de la ventana [Ajustes del medidor](#) de la aplicación [Aparatos de medición](#)) permite sumar (bien sea algebraica o vectorialmente) los valores de potencia de los medidores $PQS1$, $PQS2$ y $PQS3$. El medidor de potencia total se puede ajustar para que indique el valor de potencia bien sea activa, reactiva o aparente.

18. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

Mida y registre de forma sucesiva la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor de potencia que se ajustó para medir la potencia total, después apague la fuente de alimentación ca trifásica.

$$P_T = \text{_____ W} \qquad Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

19. Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T que se midieron en el paso anterior con los valores totales de potencia que se calcularon en el paso 17. ¿Son todos los valores aproximadamente iguales?

Sí No

¿Confirman las mediciones efectuadas en esta sección que la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores, tanto equilibrados como desequilibrados, se puede medir utilizando tres medidores de potencia?

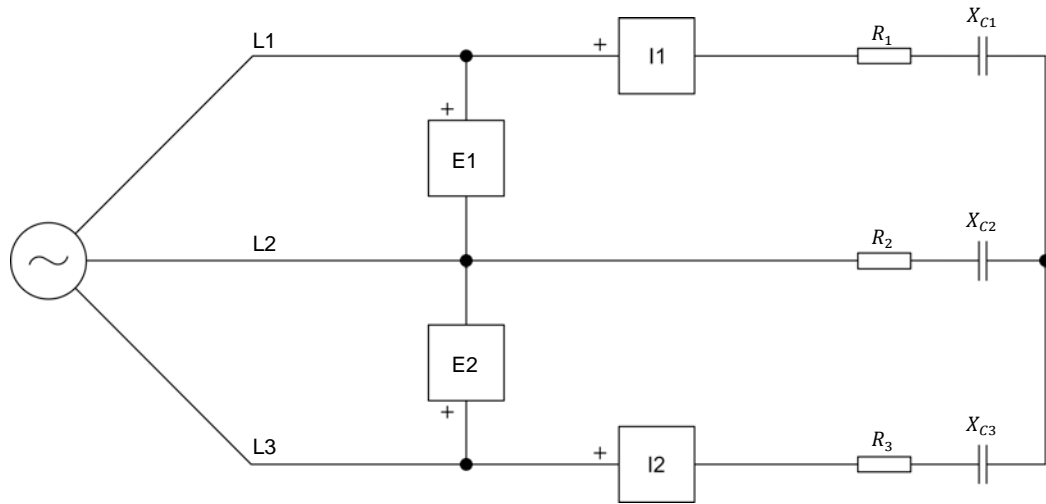
Sí No

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (configuración en estrella) utilizando el método de los dos vatímetros

En esta sección montará un circuito trifásico equilibrado de tres conductores, conectado en estrella. Medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales en el circuito utilizando el método de los dos vatímetros, y verificará que los valores de potencia medidos son iguales a los valores calculados, confirmando así que el método de los dos vatímetros funciona para medir la potencia total en circuitos trifásicos equilibrados de tres conductores.

20. Instale el circuito que se muestra en la figura 15.

La carga trifásica equilibrada en el circuito de la figura 15 es idéntica a la carga trifásica equilibrada del circuito (figura 14) que se utilizó en la sección anterior de este ejercicio. Los valores de potencia activa total P_T , potencia reactiva total Q_T y potencia aparente total S_T son, por tanto, iguales a los que se calcularon en la sección anterior (véase el paso 11) del ejercicio.



Red de alimentación ca local		R_1, R_2, R_3 (Ω)	X_{C1}, X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	171	240
220	50	629	880
240	50	686	960
220	60	629	880

Figura 15. Circuito trifásico equilibrado de tres conductores, conectado en estrella, configurado para mediciones de potencia mediante el método de los dos vatímetros.

21. Realice los ajustes necesarios en los interruptores de los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva**, a fin de obtener los valores de resistencia y capacitancia requeridos.

22. En la ventana **Aparatos de medición de LVDAC-EMS**, haga los ajustes necesarios a fin de medir los valores eficaces (ca) de las tensiones de línea E_{1-2} y E_{3-2} (entradas **E1** y **E2**, respectivamente) y las corrientes de línea $I_{Línea 1}$ e $I_{Línea 3}$ (entradas **I1** e **I2**). Ajuste otros dos medidores para medir potencia a partir de las entradas **E1** e **I1** (medidor **PQS1**) y **E2** e **I2** (medidor **PQS2**). Por último, ajuste otro medidor para medir la potencia total a partir de los valores que proveen los medidores **PQS1** y **PQS2**.



La función **PQS1 + PQS2** (a la que se accede por medio de la ventana **Ajustes del medidor de la aplicación Aparatos de medición**) efectúa la suma (bien sea algebraica o vectorial) de los valores de potencia de los medidores **PQS1** y **PQS2**. El medidor de potencia total se puede ajustar para que indique el valor de potencia bien sea activa, reactiva o aparente.

23. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

Mida y registre de forma sucesiva la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor que se ajustó para medir la potencia total, después apague la fuente de alimentación ca trifásica.

$$P_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W} \qquad Q_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$$

$$S_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$$

24. Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T , que se midieron en el paso anterior, con los valores totales de potencia que se calcularon en el paso 11. ¿Son todos los valores aproximadamente iguales?

Sí No

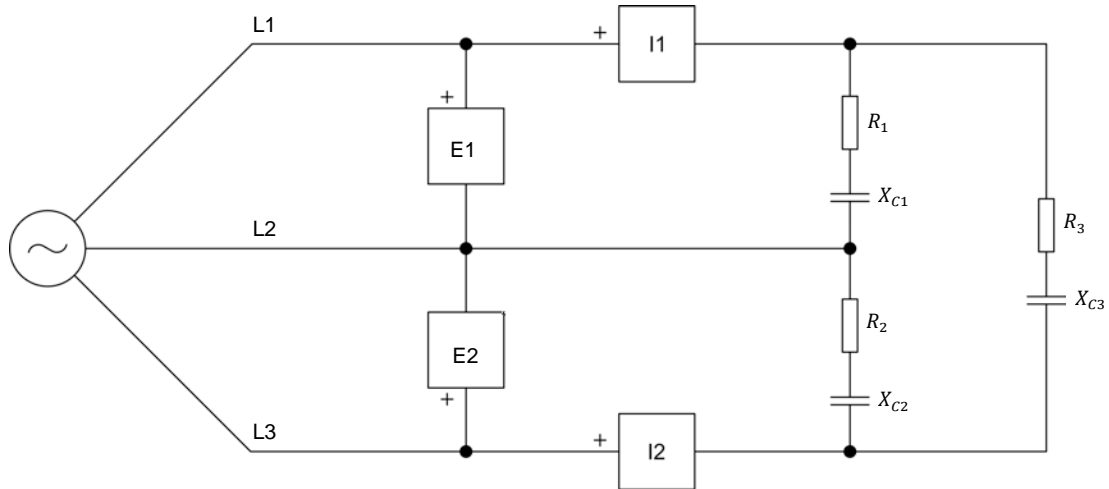
¿Confirman las mediciones efectuadas en esta sección que el método de los dos vatímetros para medir potencia puede utilizarse a fin de medir la potencia total en circuitos trifásicos equilibrados de tres conductores, conectados en estrella?

Sí No

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (configuración en triángulo) utilizando el método de los dos vatímetros

En esta sección montará un circuito trifásico equilibrado, de tres conductores, conectado en triángulo. Resolverá el circuito calculando los valores de potencia activa, reactiva y aparente en cada fase del circuito, así como los valores totales de potencia activa, reactiva y aparente del circuito. Medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales en el circuito utilizando el método de los dos vatímetros, y confirmará que los valores medidos son iguales a los calculados. Después, desequilibrará el circuito trifásico modificando la impedancia en una de sus fases, y resolverá el circuito trifásico desequilibrado resultante. Por último, medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales en el circuito utilizando el método de los dos vatímetros, y verificará que los valores medidos son iguales a los calculados, confirmando así que el método de los dos vatímetros para medir potencia puede utilizarse para medir la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores, tanto equilibrados como desequilibrados.

25. Instale el circuito que se muestra en la figura 16.



Red de alimentación ca local		R_1, R_2, R_3 (Ω)	X_{C1}, X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	171	240
220	50	629	880
240	50	686	960
220	60	629	880

Figura 16. Circuito trifásico equilibrado de tres conductores, conectado en triángulo, configurado para mediciones de potencia mediante el método de los dos vatímetros.

26. Realice los ajustes necesarios en los interruptores de los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva**, a fin de obtener los valores de resistencia y capacitancia requeridos.

27. Resuelva el circuito de la figura 16 para determinar los parámetros siguientes: potencia activa P , potencia reactiva Q y potencia aparente S en cada fase del circuito, así como la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T del circuito.

28. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

Mida y registre de forma sucesiva la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor que se ajustó para medir la potencia total, después apague la fuente de alimentación ca trifásica.

$$P_T = \text{_____ W} \qquad Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

29. Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T , que se midieron en el paso anterior, con los valores totales de potencia que se calcularon en el paso 27. ¿Son todos los valores aproximadamente iguales?

- Sí No

30. Modifique los ajustes de los interruptores de los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva** a fin de definir los valores de resistencia y de reactancia capacitiva del circuito de la figura 16 según los valores de la tabla 2. Debido a estas modificaciones, la carga trifásica ahora está desequilibrada (es decir, la primera fase del circuito tiene una impedancia diferente respecto de la segunda y tercera fase).

Tabla 2. Valores de resistencia y reactancia capacitiva utilizados para desequilibrar el circuito trifásico de tres conductores, conectado en triángulo, de la figura 16.

Red de alimentación ca local		R_1 (Ω)	R_2, R_3 (Ω)	X_{C1} (Ω)	X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	300	171	600	240
220	50	1100	629	2200	880
240	50	1200	686	2400	960
220	60	1100	629	2200	880

31. Resuelva el circuito de la figura 16 utilizando los valores de resistencia y reactancia capacitiva que figuran en la tabla 2, a fin de determinar los parámetros siguientes: potencia activa total P_T , potencia reactiva total Q_T y potencia aparente total S_T del circuito.

32. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

Mida y registre de forma sucesiva la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor que se ajustó para medir la potencia total, después apague la fuente de alimentación ca trifásica.

$$P_T = \text{_____ W} \qquad Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

33. Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T , que se midieron en el paso anterior, con los valores totales de potencia que se calcularon en el paso 31. ¿Son todos los valores aproximadamente iguales?

Sí No

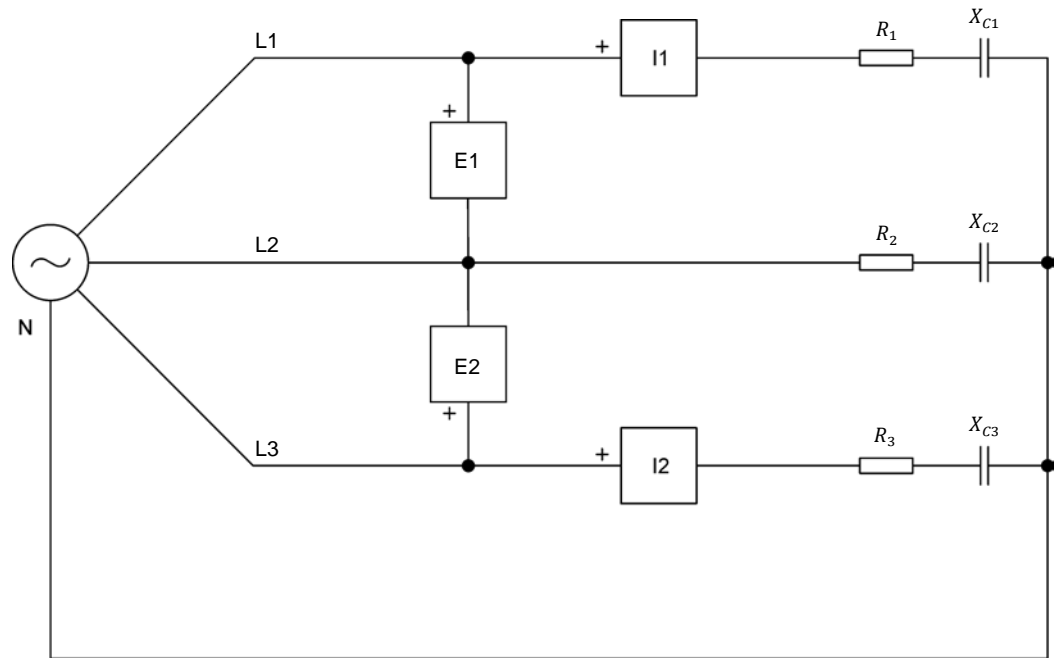
¿Confirman las mediciones efectuadas en esta sección que el método de los dos vatímetros para medir potencia puede utilizarse a fin de medir la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores, tanto equilibrados como desequilibrados, conectados en triángulo?

Sí No

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores (configuración en estrella) utilizando el método de los dos vatímetros

En esta sección, montará un circuito trifásico equilibrado, de cuatro conductores, conectado en estrella, similar al que se armó en la primera sección de este ejercicio para medir la potencia total utilizando tres medidores de potencia, pero solo utilizará dos vatímetros (es decir, dos entradas de tensión y dos entradas de corriente) para medir la potencia total. Medirá los valores totales de las potencias activa, reactiva y aparente en el circuito trifásico equilibrado utilizando el método de los dos vatímetros, y confirmará que los valores medidos son iguales a los que se calcularon para este circuito cuando está configurado para medir potencia utilizando tres medidores de potencia. Después, desequilibrará el circuito trifásico modificando la impedancia en una de sus fases. Medirá los valores totales de las potencias activa, reactiva y aparente en el circuito utilizando el método de los dos vatímetros, y verificará que los valores medidos son diferentes de los que se calcularon para este circuito cuando está configurado para medir potencia utilizando tres medidores de potencia. Confirmará que el método de los dos vatímetros solo puede utilizarse para medir la potencia total en circuitos trifásicos equilibrados, de cuatro conductores.

34. Instale el circuito que se muestra en la figura 17.



Red de alimentación ca local		R_1, R_2, R_3 (Ω)	X_{C1}, X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	171	240
220	50	629	880
240	50	686	960
220	60	629	880

Figura 17. Circuito trifásico de cuatro conductores, conectado en estrella, configurado para mediciones de potencia mediante el método de los dos vatímetros.

35. Realice los ajustes necesarios en los interruptores de los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva**, a fin de obtener los valores de resistencia y capacitancia requeridos.



El circuito trifásico equilibrado que se acaba de instalar corresponde al circuito trifásico desequilibrado de cuatro conductores que se instaló en la primera sección de este ejercicio para medir la potencia total utilizando tres medidores de potencia. Los cálculos necesarios para resolver el circuito son idénticos a los del paso 11 y no es necesario repetirlos.

36. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

Mida y registre de forma sucesiva la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor que se ajustó para medir la potencia total, después apague la fuente de alimentación ca trifásica.

$$P_T = \text{_____ W} \qquad Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

37. Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T , que se midieron en el paso anterior, con los valores totales de potencia que se calcularon en el paso 11. ¿Son todos los valores aproximadamente iguales?

Sí No

38. Modifique los ajustes de los interruptores de los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva** a fin de definir los valores de resistencia y de reactancia capacitiva del circuito de la figura 17 según los valores de la tabla 3. Debido a estas modificaciones, la carga trifásica ahora está desequilibrada (es decir, la primera fase del circuito tiene una impedancia diferente respecto de la segunda y tercera fase).

Tabla 3. Valores de resistencia y reactancia capacitiva utilizados para desequilibrar el circuito trifásico de cuatro conductores, conectado en estrella.

Red de alimentación ca local		R_1 (Ω)	R_2, R_3 (Ω)	X_{C1} (Ω)	X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	300	171	600	240
220	50	1100	629	2200	880
240	50	1200	686	2400	960
220	60	1100	629	2200	880



El circuito trifásico desequilibrado que se acaba de instalar corresponde al circuito trifásico desequilibrado, de cuatro conductores, que se instaló para medir potencia utilizando tres medidores de potencia en la segunda sección de este ejercicio. Los cálculos necesarios para resolver el circuito son idénticos a los del paso 17 y no es necesario repetirlos.

39. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

Mida y registre de forma sucesiva la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor que se ajustó para medir la potencia total, después apague la fuente de alimentación ca trifásica.

$$P_T = \text{_____ W} \qquad Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

40. Compare los valores de potencia activa total P_T , potencia reactiva total Q_T y potencia aparente total S_T , que se midieron en el paso anterior, con los valores totales de potencia que se calcularon en el paso 17. ¿Son todos los valores iguales?

Sí No

¿Qué conclusiones puede sacar sobre el método de medición de potencia de los dos vatímetros al medir la potencia en circuitos trifásicos de cuatro conductores?

41. Cierre el software **LVDAC-EMS** y apague todos los equipos. Desconecte todos los conductores y devuélvalos a su sitio de almacenamiento.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió cómo calcular las potencias activa, reactiva y aparente en circuitos trifásicos equilibrados conectados en estrella y en triángulo. También aprendió cómo utilizar los medidores de potencia para medir potencia en circuitos trifásicos. Aprendió a medir la potencia en circuitos trifásicos de tres y cuatro conductores. Asimismo, aprendió cuándo es posible utilizar el método de medición de potencia de los dos vatímetros para medir la potencia en un circuito trifásico.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un circuito trifásico equilibrado, estrictamente resistivo, conectado en triángulo, tiene una tensión de línea $E_{Línea}$ de 100 V y una corriente de línea $I_{Línea}$ de 1,5 A. Calcule la potencia activa total P_T que se disipa en la carga resistiva del circuito.

2. Explique cómo conectar dos medidores de potencia a las líneas de un circuito trifásico de tres conductores cuando se utiliza el método de los dos vatímetros para medir potencia.

3. Un circuito trifásico equilibrado, resistivo y capacitivo, conectado en estrella, tiene una tensión de fase E_{Fase} de 80 V y una corriente de fase I_{Fase} de 2,5 A. Calcule la potencia aparente total S_T en el circuito.

4. Un circuito trifásico equilibrado, de tres conductores, resistivo y capacitivo, se conecta a dos medidores de potencia configurados para la medición de potencia mediante el método de los dos vatímetros. Las lecturas de potencia activa en los medidores son de 175 W y -35 W. Calcule la potencia activa total P_T disipada en el circuito.

5. ¿En qué tipos de circuitos trifásicos no funciona el método de medición de potencia de los dos vatímetros para medir la potencia total del circuito?

Secuencia de fases

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya completado este ejercicio sabrá en qué consiste una secuencia de fases y por qué es importante conocerla en un sistema de potencia trifásico. Será capaz de determinar la secuencia de fases de un sistema de potencia trifásico utilizando un osciloscopio.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los puntos siguientes:

- Fundamentos de la secuencia de fases
- Determinación de la secuencia de fases de un sistema de potencia trifásico utilizando un osciloscopio
- Conexión de un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico

PRINCIPIOS

Fundamentos de la secuencia de fases

Como se mencionó antes en este curso, un sistema de potencia trifásico es un sistema polifásico en el que tres tensiones, E_A , E_B y E_C tienen igual magnitud y están desfasadas 120° entre sí. Sin embargo, el simple hecho de decir que las tensiones están desfasadas 120° no basta para describir el sistema por completo. El orden en que las tensiones se suceden entre sí, es decir, la secuencia de fases del sistema de potencia, también es importante.

La secuencia de fases de un sistema de potencia se determina directamente en la estación generadora de potencia por el sentido de rotación de los generadores ca. La figura 18a muestra un sistema de potencia trifásico girando en sentido horario (cw, del inglés *clockwise*). La secuencia de fases es entonces A-B-C-A-B-C.... La figura 18b y la figura 18c muestran las formas de onda y el diagrama de fasores de las tensiones de fase resultantes, respectivamente.

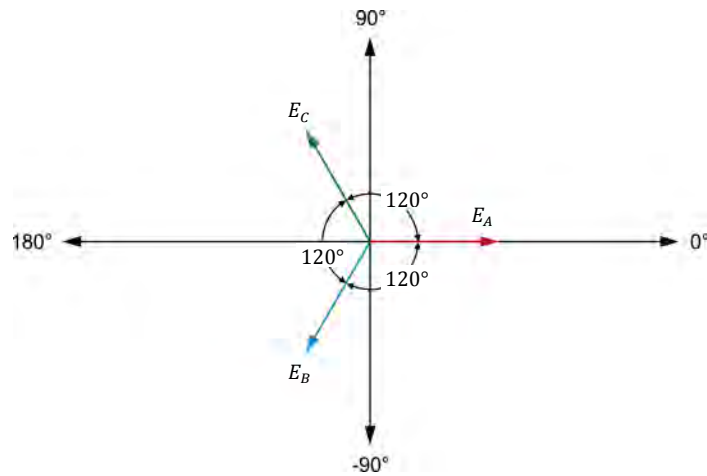
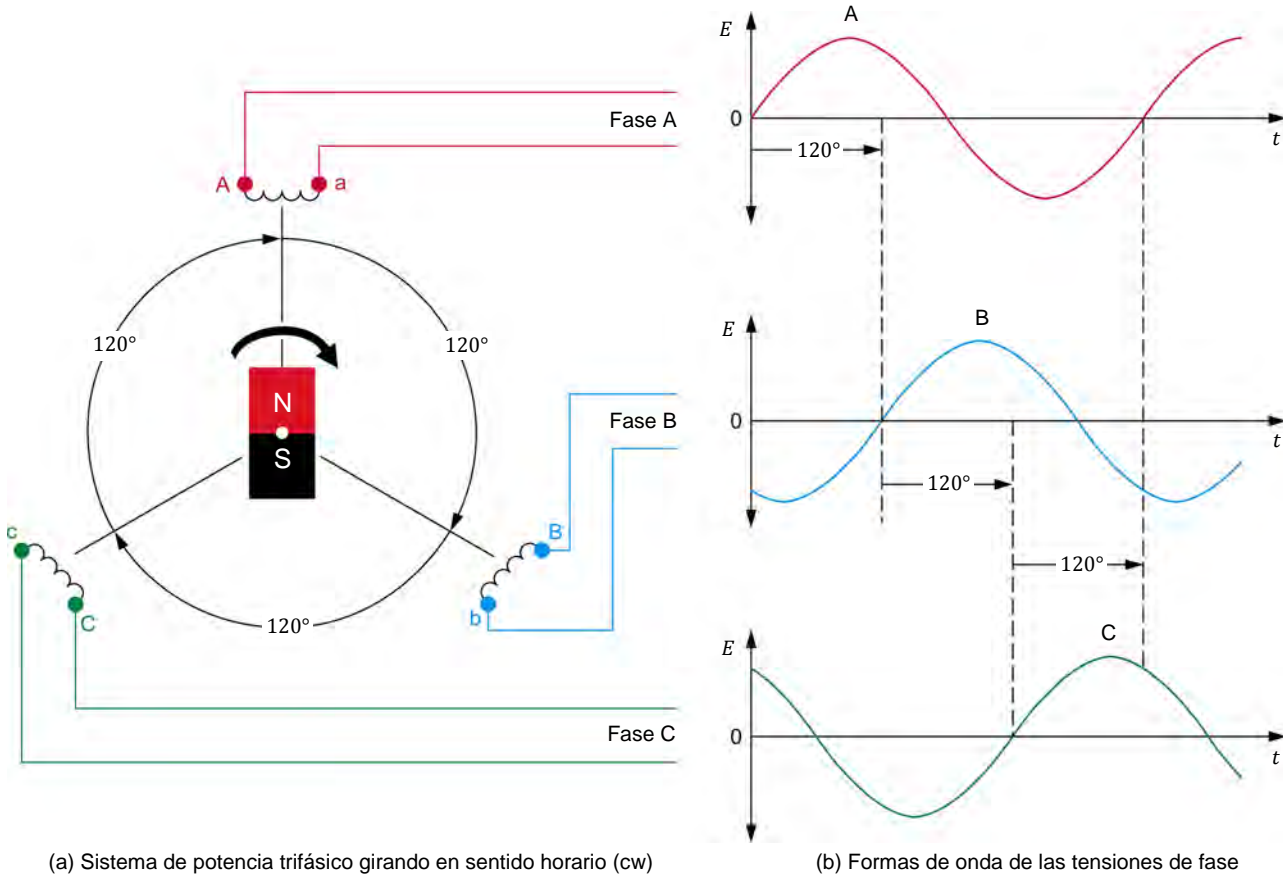
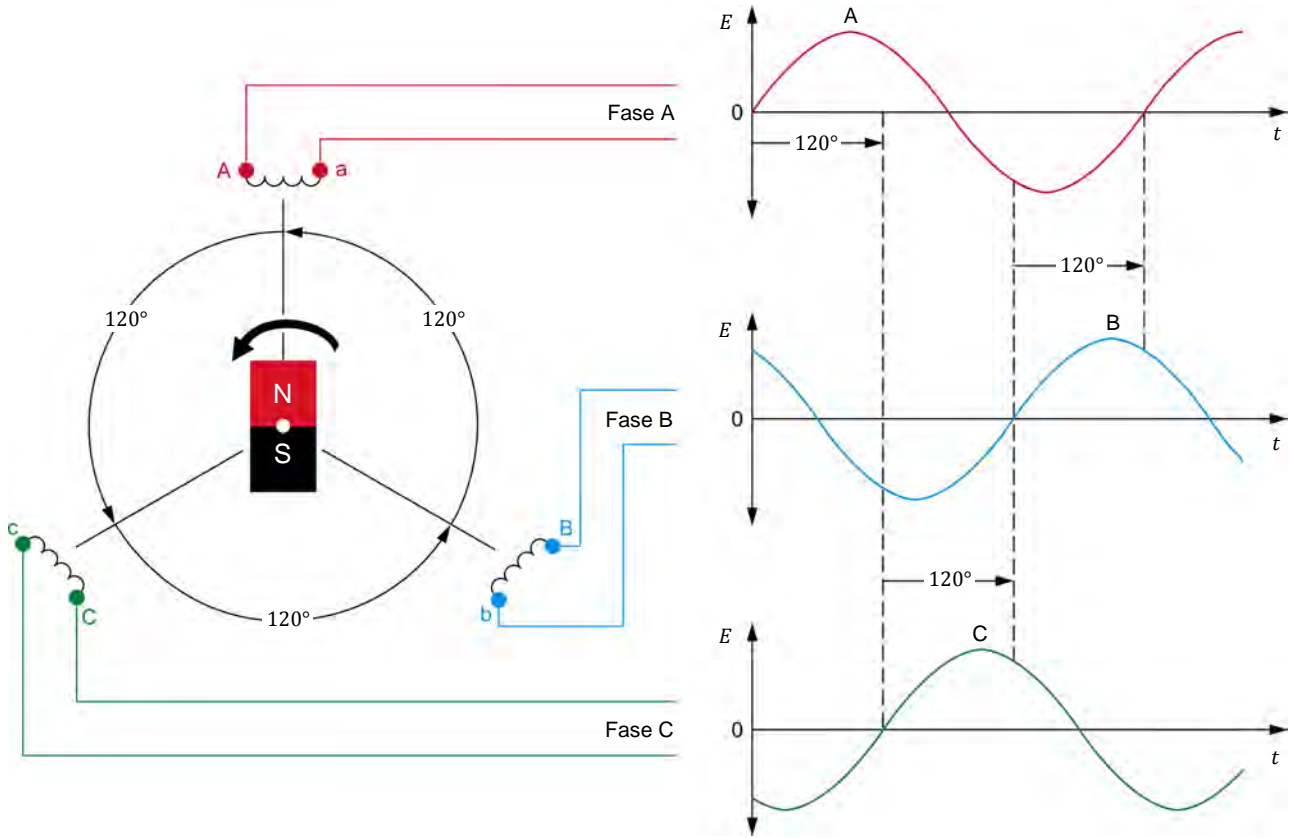


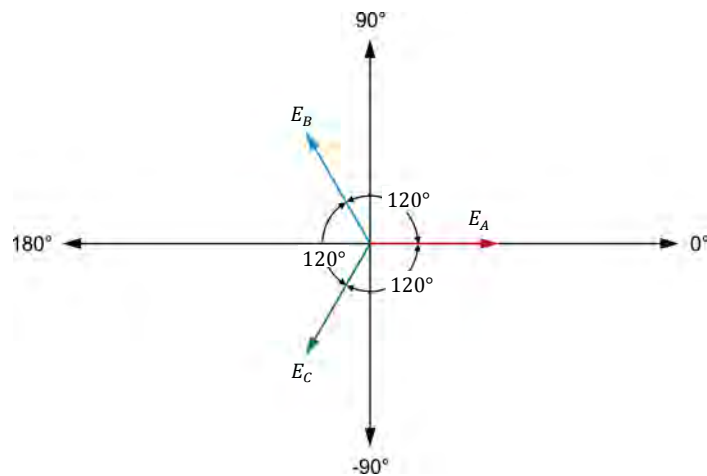
Figura 18. Secuencia de fases A-B-C-A-B-C....

Por otro lado, la figura 19a muestra el mismo sistema de potencia trifásico girando en sentido antihorario (ccw, del inglés *counterclockwise*). La secuencia de fases correspondiente es A-C-B-A-C-B.... La figura 19b y la figura 19c muestran las formas de onda y el diagrama de fasores de las tensiones de fase resultantes, respectivamente.



(a) Sistema de potencia trifásico girando en sentido antihorario (ccw)

(b) Formas de onda de las tensiones de fase



(c) Diagrama de fasores de las tensiones de fase

Figura 19. Secuencia de fases A-C-B-A-C-B....

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Cuando la secuencia de fases A-B-C se escribe como A-B-C-A-B-C..., es claro que B-C-A y C-A-B representan la misma secuencia que A-B-C, y que solamente ha cambiado la fase utilizada como referencia para describir la secuencia. La secuencia opuesta a A-B-C es A-C-B, que es la misma que C-B-A y B-A-C (como se demuestra al escribir la secuencia en la forma A-C-B-A-C-B...). Por lo tanto, la secuencia de fases de un sistema trifásico se puede invertir simplemente intercambiando cualesquiera dos de las fases del sistema.

Cuando se conecta un motor trifásico a las líneas de potencia, es fundamental conocer la secuencia de fases del sistema de distribución porque el sentido en que el motor gire depende de dicha secuencia. Por ejemplo, considere la conexión de un motor trifásico de 4000 kW. Se necesitan varias horas de trabajo de un técnico electricista para conectar los tres enormes conductores del motor al sistema de potencia trifásico local. Si no se determina la secuencia de fases con anterioridad, hay un cincuenta por ciento de probabilidad de que el motor gire en el sentido incorrecto, lo que supone realizar todo el trabajo de nuevo, además de posibles daños al equipo si el motor está conectado a una carga. Otra situación en la que la secuencia de fases es de importancia crítica es cuando se requiere potencia adicional en una red de potencia ca trifásica, y se debe añadir uno o más alternadores (generadores ca trifásicos) para compartir la carga. Los alternadores están conectados en paralelo, por lo que, si la secuencia de fases es incorrecta, se producirán serios daños tras cerrar el interruptor que conecta los alternadores a la red de potencia.

Determinación de la secuencia de fases de un sistema de potencia trifásico utilizando un osciloscopio

La secuencia de fases de un sistema de potencia trifásico se puede determinar de forma rápida observando las formas de onda de la tensión de fase del sistema en un osciloscopio. La figura 20 muestra la pantalla de un osciloscopio en el momento en que los canales 1, 2 y 3 del osciloscopio están conectados a las fases A, B y C, respectivamente, de una fuente de alimentación ca trifásica. En este caso, las formas de onda de tensión de las fases A, B y C figuran en secuencia de arriba abajo en la pantalla del osciloscopio, e indican que la secuencia de fases para las conexiones actuales a los canales 1, 2 y 3 es A-B-C.

Ajustes del Osciloscopio
 Escala Canal 1.....200 V/div
 Escala Canal 2.....200 V/div
 Escala Canal 3.....200 V/div
 Base de tiempo..... 5 ms/div

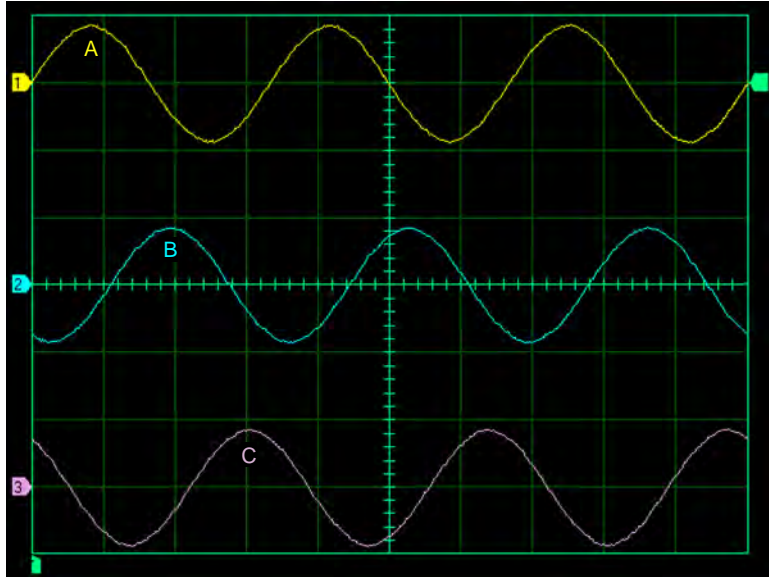


Figura 20. Pantalla del osciloscopio cuando los canales 1, 2 y 3 del osciloscopio están conectados a las fases A, B y C, respectivamente, de una fuente de alimentación ca trifásica.

La figura 21 muestra el osciloscopio cuando se han invertido las conexiones a las fases B y C de la fuente de alimentación ca trifásica, de modo que los canales 1, 2 y 3 del osciloscopio están ahora conectados a las fases A, C y B respectivamente. En este caso, las formas de onda de tensión de las fases A, C y B figuran en secuencia de arriba abajo en la pantalla del osciloscopio, e indican que la secuencia de fases para las conexiones actuales a los canales 1, 2 y 3 es A-C-B. Por lo tanto, la pantalla del osciloscopio muestra claramente que la secuencia de fases se ha invertido.

Ajustes del Osciloscopio
 Escala Canal 1.....200 V/div
 Escala Canal 2.....200 V/div
 Escala Canal 3.....200 V/div
 Base de tiempo..... 5 ms/div

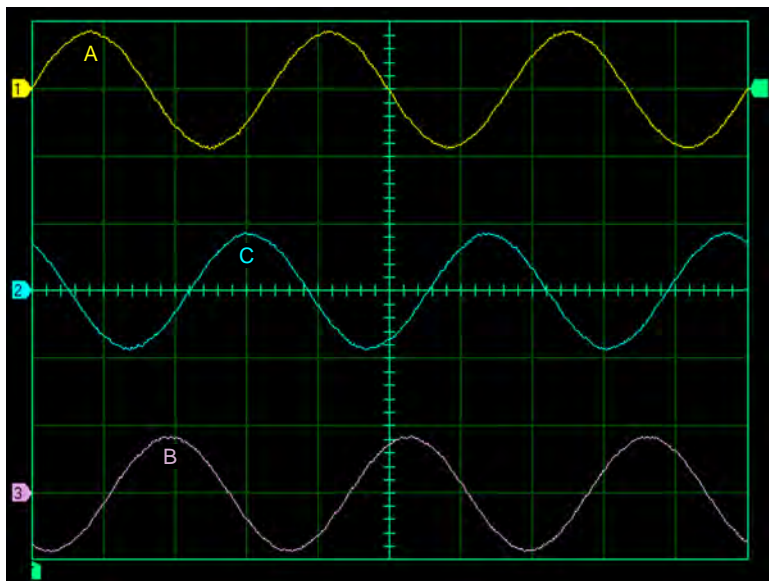


Figura 21. Pantalla del osciloscopio cuando los canales 1, 2 y 3 del osciloscopio están conectados a las fases A, C y B, respectivamente, de una fuente de alimentación ca trifásica.

Conexión de un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico

Cuando el conductor neutro de un sistema de potencia trifásico está disponible, cada canal del osciloscopio se puede conectar directamente a un conductor de línea y al conductor neutro para medir una tensión de fase, como se muestra en la figura 22.

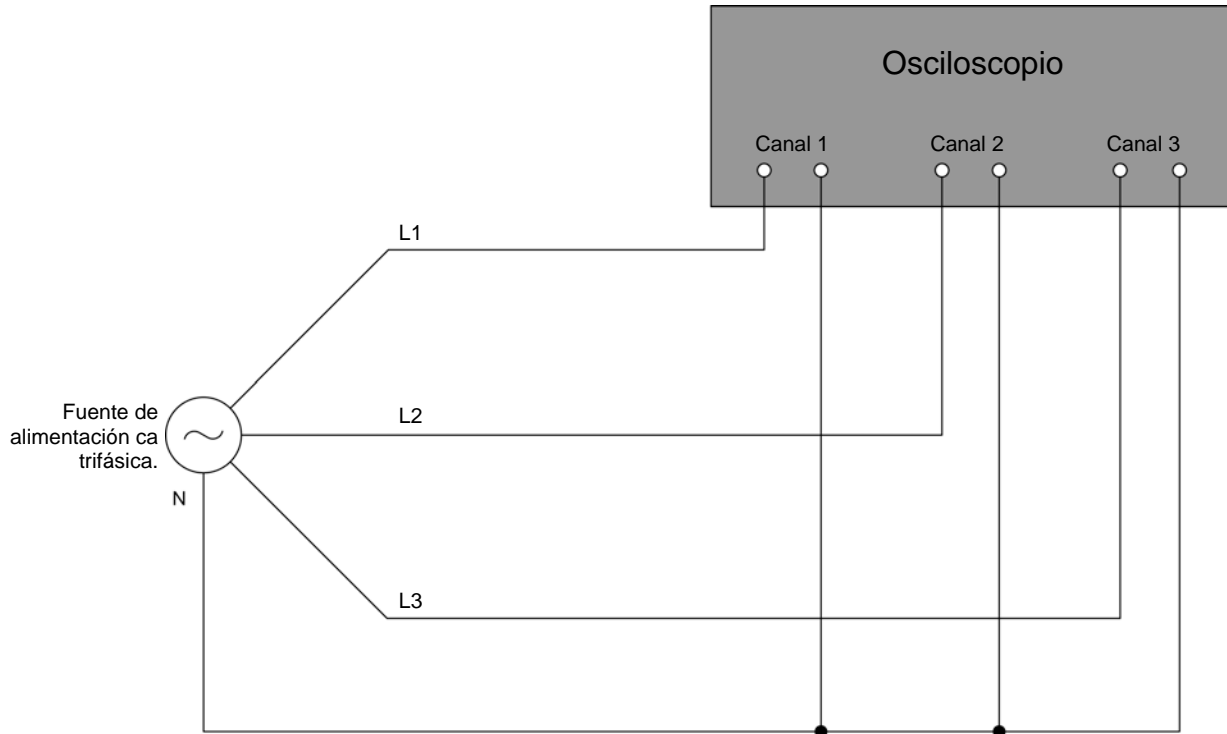


Figura 22. Conexiones del osciloscopio a un sistema de potencia trifásico de cuatro conductores.

En la mayoría de los casos no es posible realizar la conexión directa de un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico de tres conductores para medir las tensiones de fase, ya que a menudo el punto neutro no está disponible. En este caso, se conecta temporalmente una carga resistiva equilibrada, conectada en estrella, a los conductores de línea del sistema de potencia trifásico, y cada canal del osciloscopio se conecta para medir la tensión de fase en uno de los resistores de carga. La figura 23 muestra las conexiones requeridas para conectar un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico de tres conductores (sistema sin conductor neutro).

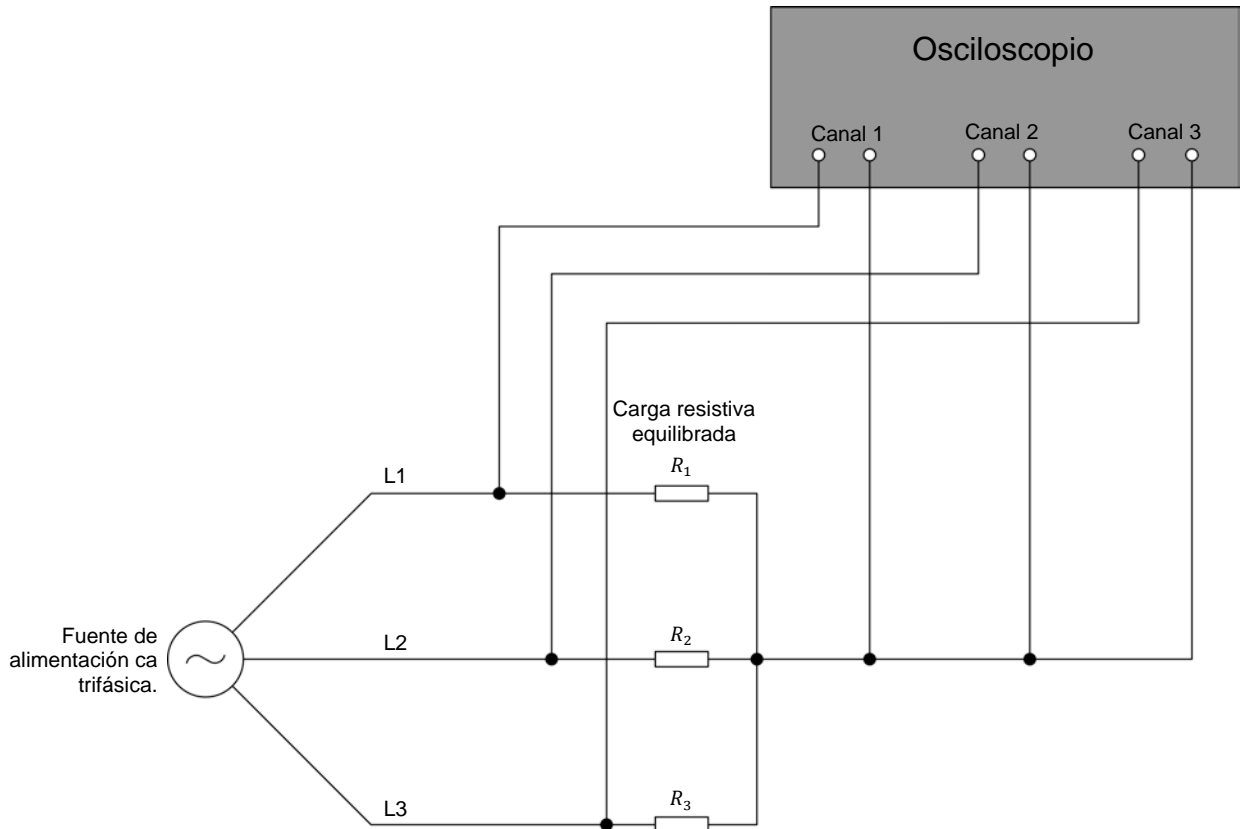


Figura 23. Conexiones del osciloscopio a un sistema de potencia trifásico de tres conductores (sistema sin conductor neutro).

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento consta de las secciones siguientes:

- Montaje y conexiones
- Determinación de la secuencia de fases de la fuente de alimentación ca trifásica

PROCEDIMIENTO



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

Montaje y conexiones

En esta sección, efectuará el montaje de los equipos para determinar la secuencia de fases de la fuente de alimentación ca trifásica en la Fuente de alimentación.

1. Consulte en el Apéndice A la Tabla de utilización del equipo, a fin de obtener la lista de los equipos necesarios para realizar este ejercicio.

2. Instale el equipo requerido en el **Puesto de trabajo**.
3. Asegúrese de que los interruptores de alimentación ca y cc en la **Fuente de alimentación** estén en la posición **O** (apagado). Después, conecte dicha fuente a una toma ca trifásica.
4. Conecte la **Alimentación** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** a la **Salida de energía** del módulo **Fuente de alimentación ca de 24 V**. Encienda el módulo **Fuente de alimentación ca de 24 V**.
5. Conecte el puerto USB de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** a un puerto USB de la computadora.
6. Encienda la computadora e inicie el software **LVDAC-EMS**.
7. En la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**, asegúrese de que la **Interfaz de adquisición de datos y de control** haya sido detectada. Asegúrese de que en la **Interfaz de adquisición de datos y de control** esté disponible la función **Instrumentación computarizada**. Seleccione la tensión y la frecuencia de red correspondientes a la tensión y frecuencia de su red ca local, y después haga clic en el botón **Aceptar** para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.
8. Instale el circuito que se muestra en la figura 24.

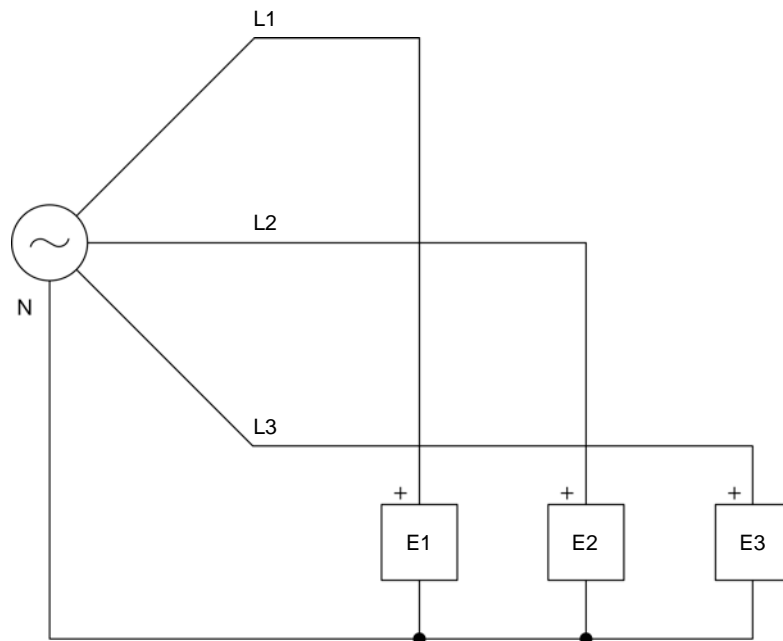


Figura 24. Circuito configurado para determinar la secuencia de fases de la fuente de alimentación ca trifásica en la **Fuente de alimentación**.

Determinación de la secuencia de fases de la fuente de alimentación ca trifásica

En esta sección determinará la secuencia de fases de la fuente de alimentación ca trifásica en la *Fuente de alimentación* mediante la observación de las formas de onda de tensión de fase en el *Osciloscopio*, y confirmará la secuencia de fases observando los fasores de tensión de fase en el *Analizador de fasores*. Después, intercambiará las conexiones en dos de los terminales de la fuente de alimentación ca trifásica y determinará la nueva secuencia de fases utilizando el *Osciloscopio*. Por último, confirmará la nueva secuencia de fases utilizando el *Analizador de fasores*.

9. Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.
10. En LVDAC-EMS, abra el *Osciloscopio* y haga los ajustes apropiados para observar las formas de onda de las tensiones de fase relativas a las entradas *E1*, *E2* y *E3* de la *Interfaz de adquisición de datos y de control*.

Determine la secuencia de fases de la fuente de alimentación ca trifásica a partir de las formas de onda de tensión de fase que se observan en el *Osciloscopio*.



La secuencia de fases relativa a los terminales *L1*, *L2* y *L3* de la *Fuente de alimentación* es A-B-C. Cuando está correctamente cableada la toma de la fuente de alimentación ca trifásica a la que se conecta la *Fuente de alimentación*, la secuencia de las tensiones de fase en los terminales *L1*, *L2* y *L3* es A-B-C.

Secuencia de fases: _____

11. En LVDAC-EMS, abra el *Analizador de fasores* y haga los ajustes apropiados para observar los fasores de las tensiones de fase medidas en las entradas *E1*, *E2* y *E3* de la DACI.
12. En el *Analizador de fasores*, observe las posiciones relativas de los fasores de tensión de fase en los terminales *L1*, *L2* y *L3* de la *Fuente de alimentación* (es decir, los fasores de las tensiones de fase medidos en las entradas *E1*, *E2* y *E3* de la DACI, respectivamente). Determine la secuencia de fases a partir de los fasores de tensión de fase observados.

Secuencia de fases: _____

¿Es la secuencia de fases igual a la que se determinó en el paso 10?

- Sí No

13. Apague la fuente de alimentación ca trifásica.

Intercambie las conexiones en los terminales *L2* y *L3* de la **Fuente de alimentación**. Esto no cambia la secuencia de fases de la fuente de alimentación ca trifásica en la **Fuente de alimentación**. No obstante, esto invierte la secuencia de fases de la tensión de la fuente que se percibe en las entradas de tensión *E1*, *E2* y *E3* de la DACI.

Encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

14. Utilice el **Osciloscopio** para determinar la secuencia de fases de la tensión de la fuente que se percibe en las entradas de tensión *E1*, *E2* y *E3* de la DACI. Registre esa secuencia a continuación.

Secuencia de fases: _____

¿Es la secuencia de la tensión de fase opuesta a la que se registró en el paso 10?

Sí No

15. Utilice el **Analizador de fasores** para observar las posiciones relativas de los fasores de la tensión de fase medida en las entradas de tensión *E1*, *E2* y *E3* de la DACI. Determine la secuencia de fases de la tensión de la fuente que se percibe en las entradas de tensión *E1*, *E2* y *E3* de la DACI. Registre esa secuencia a continuación.

Secuencia de fases: _____

¿Es la secuencia de fases igual a la que se determinó en el paso anterior?

Sí No

16. ¿Qué efecto se produce en la secuencia de fases percibida de la fuente de alimentación ca trifásica en la **Fuente de alimentación** tras intercambiar las conexiones en dos terminales de esta última?

17. Cierre el software **LVDAC-EMS** y apague todos los equipos. Desconecte todos los conductores y devuélvalos a su sitio de almacenamiento.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió en qué consiste una secuencia de fases y por qué es importante conocerla en un sistema de potencia ca trifásico. Aprendió cómo determinar la secuencia de fases de una fuente de alimentación ca trifásica utilizando un osciloscopio.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Por qué es importante conocer la secuencia de fases de un sistema de distribución de potencia trifásico cuando se conecta un motor trifásico al sistema?

2. ¿Cuál es la secuencia de fases opuesta a B-A-C?

3. Determine la secuencia de fases de las formas de onda de tensión que aparecen en la figura siguiente.

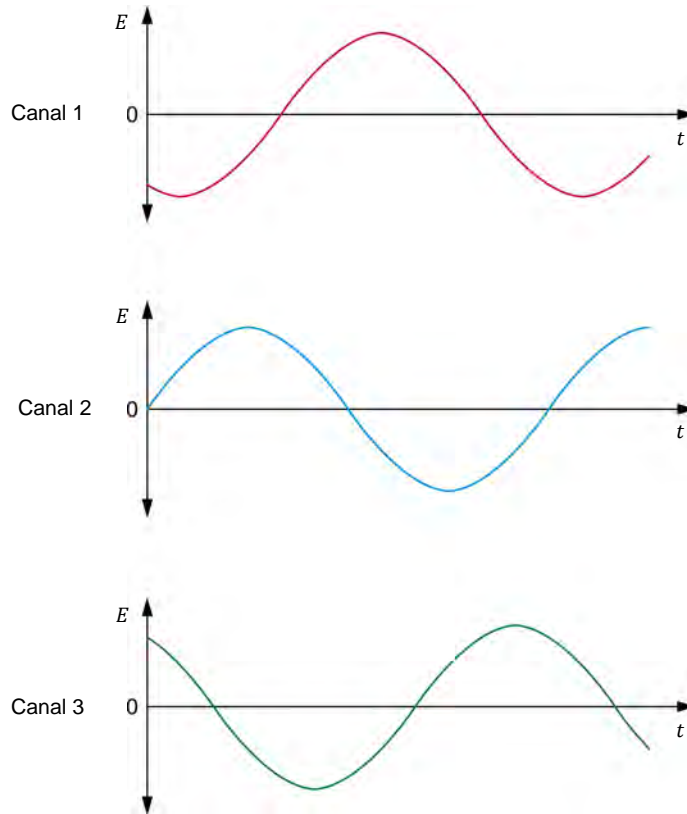


Figura 25. Formas de onda de tensión.

Secuencia de fases: _____

4. ¿Cómo puede utilizarse un osciloscopio para determinar la secuencia de fases de un sistema de potencia ca trifásico de tres conductores?

5. Un motor trifásico gira en sentido horario cuando las líneas A, B y C de una fuente de alimentación ca trifásica se conectan a los cables 1, 2 y 3 del motor, respectivamente. Si se intercambian las conexiones de forma que las líneas A, B y C estén conectadas ahora a las líneas 3, 1 y 2, respectivamente, ¿cuál será el sentido de giro del motor? Explique.

Tabla de utilización del equipo

El siguiente equipo es necesario para realizar los ejercicios de este curso.

Equipo		Ejercicio		
Modelo	Descripción	1	2	3
8131 ⁽¹⁾	Puesto de trabajo de tres módulos	1	1	1
8311-0 ⁽²⁾	Carga resistiva	1	1	1
8331	Carga capacitiva		1	
8823	Fuente de alimentación	1	1	1
8951-L	Cables de conexión	1	1	1
9063-B ⁽³⁾	Interfaz de adquisición de datos y de control	1	1	1
<p>(1) También puede utilizarse el Puesto de trabajo móvil, modelo 8110, y el Puesto de trabajo, modelo 8134.</p> <p>(2) Módulo Carga resistiva de tensión nominal correspondiente a la tensión de la red de alimentación ca local (variante del modelo 8311-0).</p> <p>(3) El modelo 9063-B consiste en 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

circuito trifásico equilibrado

Un circuito trifásico equilibrado es un circuito ca trifásico con impedancias iguales en cada una de las tres ramas de carga. Las tres tensiones de fase que alimentan el circuito son de igual amplitud, pero están desfasadas 120° entre sí. Un circuito trifásico equilibrado es, por tanto, una combinación de tres circuitos monofásicos. Por lo tanto, las reglas para calcular tensión, corriente y potencia en circuitos monofásicos también pueden emplearse en los circuitos trifásicos equilibrados.

configuración en estrella

Una configuración en estrella es un tipo de conexión de circuitos trifásicos en que se conectan entre sí un extremo de cada una de las tres ramas de la fuente o de la carga en un punto de unión común que se conoce como neutro. Cada uno de los tres conductores de línea está conectado a una rama individual del circuito, y se puede conectar un conductor neutro al punto neutro del circuito. En un circuito trifásico equilibrado no circula corriente por el conductor neutro.

configuración en triángulo

Una configuración en triángulo es un tipo de conexión de circuitos trifásicos en que las tres ramas de la fuente o de la carga están conectadas extremo con extremo para formar un bucle de circuito continuo (cerrado). Los tres conductores de línea se conectan a los tres puntos de unión del circuito. En un circuito trifásico conectado en triángulo no existe un punto al que pueda conectarse un conductor neutro.

corriente de fase

La corriente de fase de un circuito trifásico es la que se mide en cualquier fase del circuito (esto es, la corriente que circula en cada elemento de una carga trifásica). En circuitos trifásicos equilibrados conectados en triángulo, la corriente de fase es $\sqrt{3}$ veces menor que la corriente de línea.

corriente de línea

La corriente de línea de un circuito trifásico es la que se mide en cualquier conductor de línea del circuito. En circuitos trifásicos equilibrados conectados en triángulo, la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase.

método de los dos vatímetros

El método de los dos vatímetros es un método para la medición de potencia en circuitos trifásicos que consiste en conectar dos medidores de potencia monofásicos entre los conductores de línea, de forma tal que la potencia total es la suma algebraica de las mediciones de los dos instrumentos. Cuando se utiliza este método, se conectan las dos entradas de corriente de los medidores de potencia para medir la corriente de línea en dos de los conductores de línea, mientras que las dos entradas de tensión de los medidores se conectan para medir las tensiones de línea entre los dos conductores de línea conectados a las entradas de corriente y al conductor de línea restante. El método de los dos vatímetros permite medir la potencia en sistemas de potencia trifásicos de tres conductores puesto que solo utiliza las mediciones de tensión y corriente de línea.

secuencia de fases

La secuencia de fases de un sistema de potencia ca trifásico es el orden en que las tensiones de fase alcanzan su valor máximo (pico). La forma habitual abreviada para indicar la secuencia de fases es A-B-C, que es equivalente a las secuencias B-C-A y C-A-B. La secuencia de fases opuesta a A-B-C es A-C-B (C-B-A, B-A-C).

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

tensión de fase

La tensión de fase en un circuito trifásico es la tensión que se mide entre cualquier conductor de línea y el conductor neutro del circuito. En circuitos trifásicos equilibrados conectados en estrella, la tensión de fase es $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión de línea.

tensión de línea

La tensión de línea en un circuito trifásico es la tensión que se mide entre cualesquiera dos conductores de línea del circuito. En circuitos trifásicos equilibrados conectados en estrella, la tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase.

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, o la Carga capacitiva, modelo 8331. La figura 26 muestra los elementos de carga y sus conexiones. Se pueden utilizar otras combinaciones en paralelo para obtener los mismos valores de impedancia listados.

Tabla 4. Tabla de impedancia para los módulos de carga.

Impedancia (Ω)			Posición de los interruptores								
120 V 60 Hz	220/230 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									

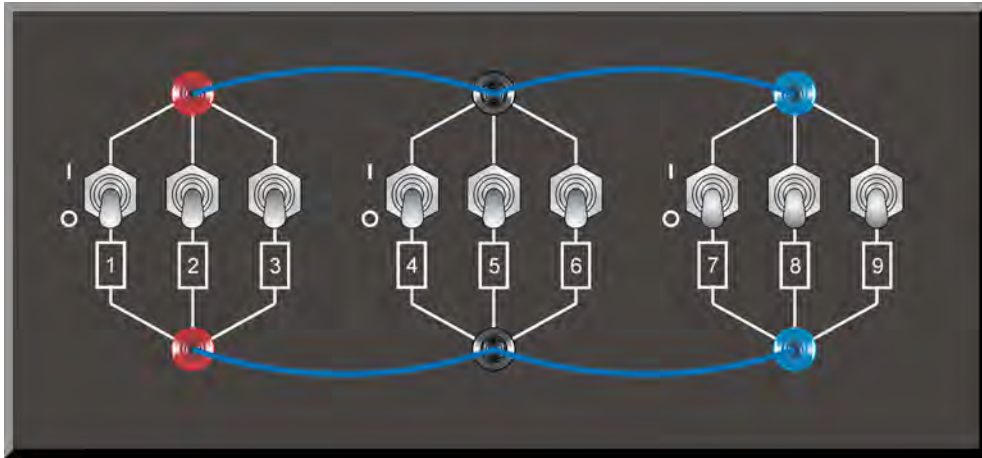


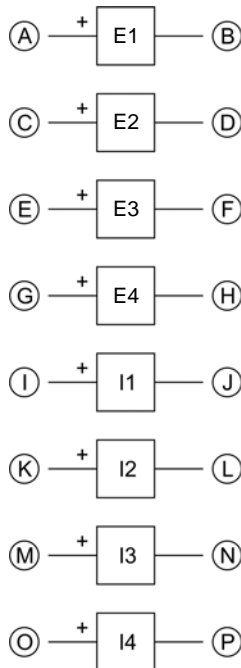
Figura 26. Ubicación de los elementos de carga en la Carga resistiva, Carga inductiva y Carga capacitiva, modelos 8311, 8321 y 8331, respectivamente.

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, en este apéndice se encuentra el nombre del dispositivo que el símbolo representa, así como los equipos requeridos y las conexiones necesarias para conectar adecuadamente el dispositivo a un 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



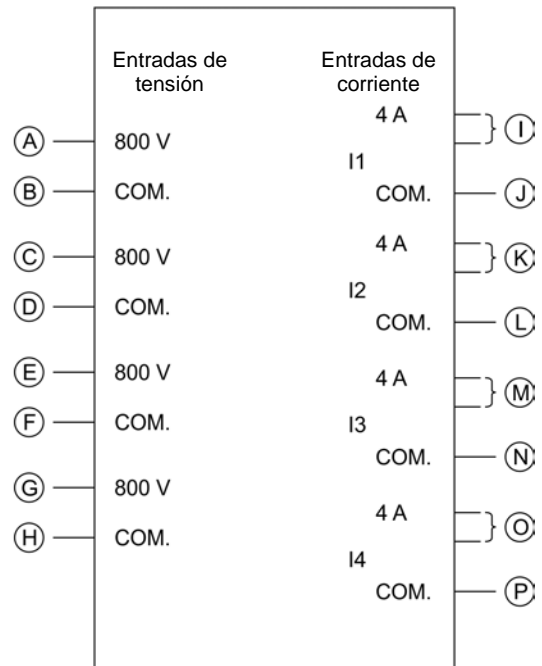
Entradas aisladas para medición de tensión y corriente



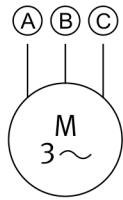
Cuando la corriente de una de las entradas I1, I2, I3 o I4 supera 4 A (de forma permanente o momentánea), utilice el terminal correspondiente de la entrada de 40 A y ajuste el parámetro Gama de dicha entrada en Alta en la pantalla Ajustes de la Interfaz de adquisición de datos y de control del software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

Equipos y conexiones

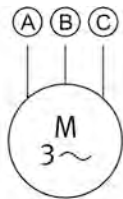
Interfaz de adquisición de datos y de control (9063)



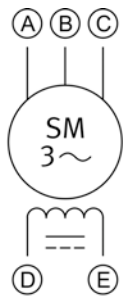
Símbolo



Máquina de inducción trifásica



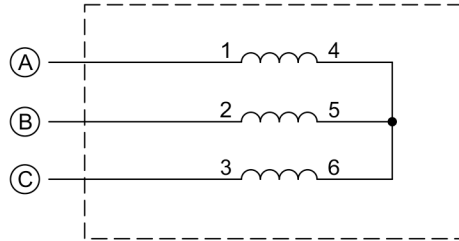
Máquina de inducción trifásica



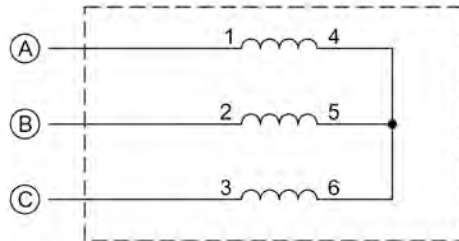
Motor sincrónico trifásico

Equipos y conexiones

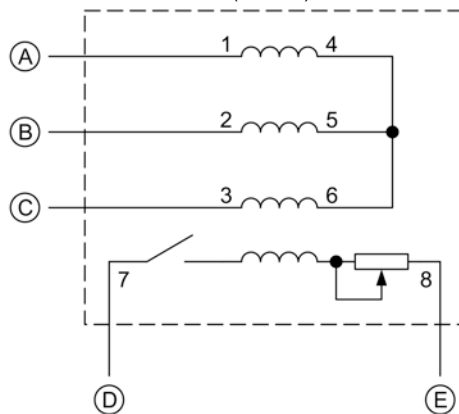
Motor jaula de ardilla de cuatro polos (8221-0)



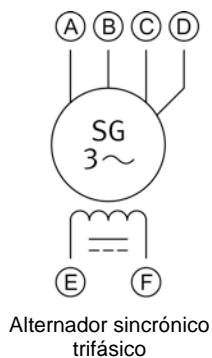
Máquina de inducción trifásica (8221-2)



Motor/alternador sincrónico trifásico (8241-2)

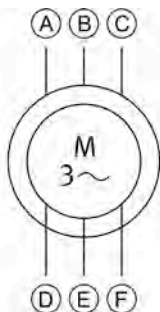
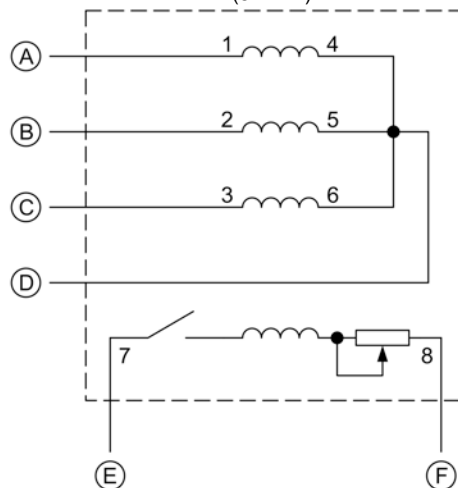


Símbolo

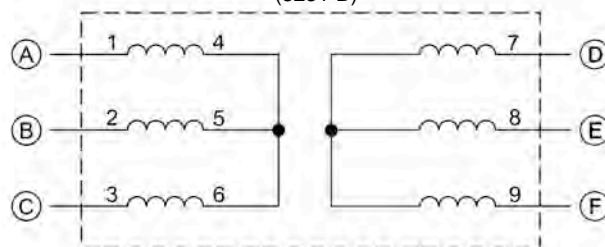


Equipos y conexiones

Motor/alternador sincrónico trifásico (8241-2)



Máquina de inducción trifásica de rotor bobinado (8231-B)



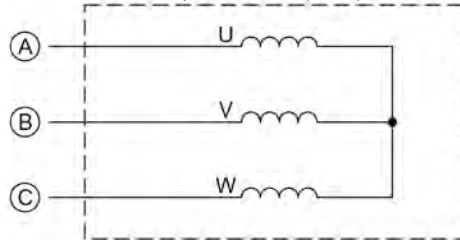
Símbolo



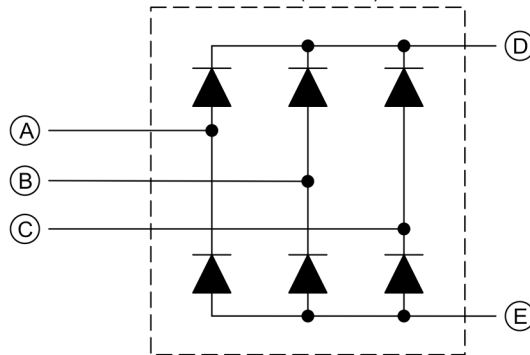
Máquina sincrónica de imán permanente

Equipos y conexiones

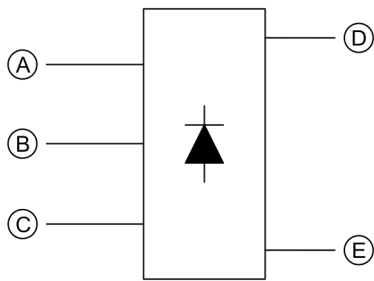
Máquina sincrónica de imán permanente (8245)



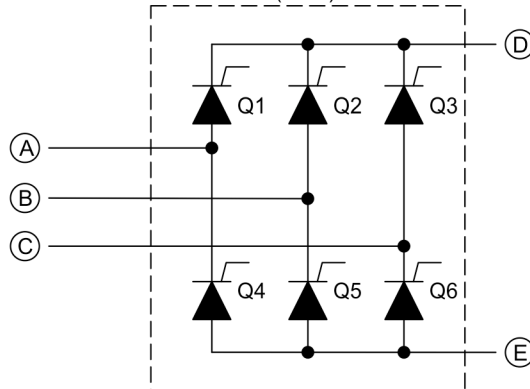
Rectificador y condensadores de filtrado (8842-A)



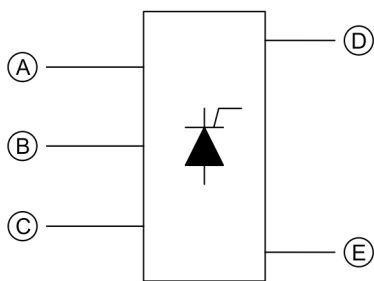
Rectificador trifásico de onda completa con diodos de potencia



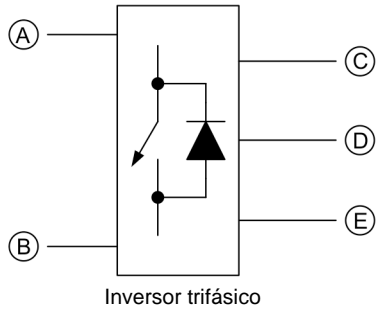
Tiristores de potencia (8841)



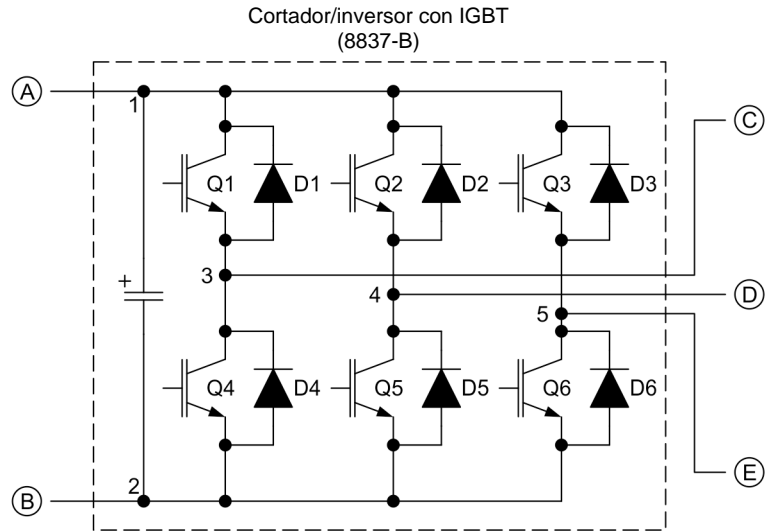
Puente trifásico de tiristores de potencia



Símbolo



Equipos y conexiones



El símbolo del interruptor electrónico en el inversor trifásico de arriba sustituye al símbolo del MOSFET o del IGBT. No es un símbolo IEC o ANSI.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Índice de términos nuevos



El número de página en negrilla indica la entrada principal. Consulte el Glosario de términos nuevos para obtener las definiciones de dichos términos.

circuito trifásico equilibrado.....	1 , 20
configuración estrella.....	3
configuración triángulo.....	3
corriente de fase.....	5 , 19
corriente de línea.....	5 , 19, 20
método de los dos vatímetros.....	24 , 25
secuencia de fases.....	1 , 2 , 41, 43, 44, 45
tensión de fase.....	4 , 5, 20, 44, 46
tensión de línea.....	4 , 5, 20

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Bibliografía

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

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