

# Corrección del factor de potencia

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

Corrección del factor de potencia

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

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

Festo Didactic  
es  
595121



0000595121000000000100

**Electricidad y Nuevas Energías**

# **Corrección del factor de potencia**

**Manual del estudiante**

595121

Nº de artículo: 595121 (Versión impresa) 595688 (CD-ROM)

Primera edición

Actualización: 03/2017

Por el personal de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 2017

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

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

Impreso en Canadá

Todos los derechos reservados

ISBN 978-2-89747-911-4 (Versión impresa)

ISBN 978-2-89747-913-8 (CD-ROM)

Depósito legal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2017

Depósito legal – Library and Archives Canada, 2017

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

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

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

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

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

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

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

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Símbolos de seguridad y de uso frecuente

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

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

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Símbolos de seguridad y de uso frecuente

Símbolo	Descripción
	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 manual .....	IX
<b>Introducción Introducción a la corrección del factor de potencia .....</b>	<b>1</b>
OBJETIVO DEL MANUAL .....	1
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES .....	1
El problema de un factor de potencia bajo en una aplicación industrial .....	1
<b>Ejercicio 1 Corrección del factor de potencia .....</b>	<b>3</b>
PRINCIPIOS .....	3
Corrección del factor de potencia de una aplicación industrial .....	3
Uso de baterías de condensadores conmutados para la corrección variable del factor de potencia .....	6
Tipos de corrección del factor de potencia: centralizada frente a distribuida .....	7
Corrección centralizada del factor de potencia .....	7
Corrección distribuida del factor de potencia .....	8
Comparación de la corrección del factor de potencia: centralizada frente a distribuida .....	10
Corrección del factor de potencia en los circuitos trifásicos .....	11
PROCEDIMIENTO .....	13
Montaje y conexiones .....	13
Aplicación industrial con una carga estrictamente resistiva .....	16
Aplicación industrial con cargas resistivas e inductivas.....	17
Corrección centralizada del factor de potencia.....	19
Corrección distribuida del factor de potencia en una aplicación industrial trifásica. ....	25
CONCLUSIÓN .....	30
PREGUNTAS DE REVISIÓN .....	31
<b>Apéndice A Tabla de utilización del equipo .....</b>	<b>33</b>
<b>Apéndice B Glosario de términos nuevos .....</b>	<b>35</b>
<b>Apéndice C Tabla de impedancia para los módulos de carga .....</b>	<b>37</b>

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

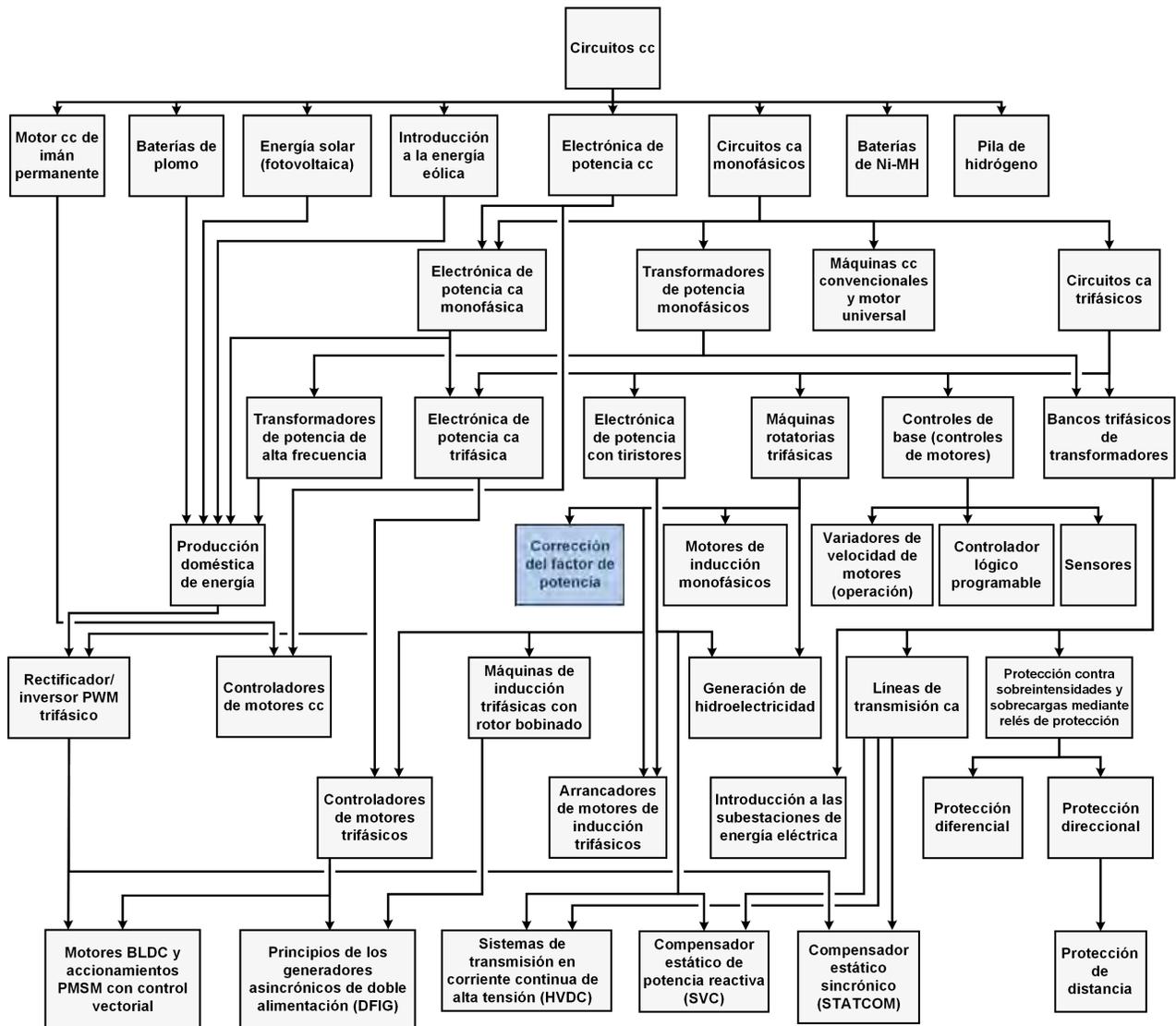
# Índice

<b>Apéndice D Símbolos de los diagramas de circuitos.....</b>	<b>39</b>
Índice de términos nuevos .....	45
Bibliografía .....	47

# Prefacio

La producción de energía a partir de recursos naturales renovables como el viento, la luz del sol, la lluvia, las mareas, el calor geotérmico, etc., ha ganado mucho protagonismo en estos últimos años dado que es un medio eficaz para reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Últimamente, ha surgido como una tendencia importante la necesidad de tecnologías innovadoras para hacer que las redes sean más inteligentes debido a que el aumento de la demanda de energía eléctrica que se observa en todo el mundo hace que para las redes actuales de muchos países resulte cada vez más difícil 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 necesidades cada vez más diversificadas en materia de capacitación 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 organigrama de más abajo muestra el programa en el que cada caja representa un curso específico.



Programa didáctico en tecnologías de la energía eléctrica.

# Prefacio

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

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

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

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

## Acerca de este manual

En la actualidad, la mayoría de las instalaciones industriales cuentan con mecanismos para la corrección del factor de potencia. Ello se debe a que, en general, cuando este tipo de instalaciones industriales son de gran tamaño, incluyen cargas y motores que absorben cantidades importantes de potencia reactiva de la red de alimentación ca (corriente alterna), lo que disminuye el factor de potencia. Esta situación es indeseable puesto que la mayoría de las empresas proveedoras de electricidad cobran importes mayores a los clientes cuyo factor de potencia es significativamente inferior a la unidad.

En consecuencia, a fin de evitar el aumento del costo de la electricidad debido a un bajo factor de potencia, los directivos de las instalaciones industriales en las que la demanda de potencia reactiva es elevada, suelen incluir sistemas para suplir esta demanda, con lo que el factor de potencia aumenta hasta volver a la unidad. Esta técnica se conoce como corrección del factor de potencia. En general, la corrección del factor de potencia se logra incluyendo condensadores en la instalación industrial. Estos se ajustan para suministrar la cantidad exacta de potencia reactiva necesaria para restablecer a uno el factor de potencia.

En este curso se aprenden los principios fundamentales de la corrección del factor de potencia. Los estudiantes se familiarizan con las razones detrás de la corrección del factor de potencia en las instalaciones industriales. También aprenden cómo se logra dicha corrección en instalaciones que contienen cargas variables inductivas (como los motores de inducción que arrancan y paran). Adicionalmente, en el curso los estudiantes se familiarizarán con los dos tipos principales de corrección del factor de potencia: centralizada y distribuida. Por último, se aplicarán los principios de la corrección del factor de potencia en circuitos ca monofásicos y trifásicos. La teoría de este manual se verifica a través de distintas mediciones y observaciones en los circuitos.

## Acerca de este manual



La mayoría de las plantas industriales consumen potencia reactiva de la red de alimentación  $ca$ , disminuyendo así su factor de potencia e incrementando los costos de la energía. Al aplicar la corrección del factor de potencia, éste se restablece a uno y, por tanto, se logra una reducción importante en los costos de la energía.

### Consideraciones de seguridad

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

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

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

### Prerrequisitos

Es requisito previo para este curso haber leído los manuales titulados *Circuitos  $cc$* , n.p. 86350, *Circuitos  $ca$  monofásicos*, n.p. 86358, *Circuitos  $ca$  trifásicos*, n.p. 86360, y *Máquinas rotatorias trifásicas*, n.p. 86364.

# Acerca de este manual

## **Sistemas de unidades**

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

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Introducción a la corrección del factor de potencia

### OBJETIVO DEL MANUAL

Cuando haya completado este manual, estará familiarizado con los motivos y los medios para realizar la corrección del factor de potencia en una aplicación industrial o una carga inductiva.

### RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios fundamentales cubren los puntos siguientes:

- El problema de un factor de potencia bajo en una aplicación industrial

### PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

#### El problema de un factor de potencia bajo en una aplicación industrial

Los directivos de la mayoría de las instalaciones industriales actuales deben enfrentar el problema de lograr mantener un factor de potencia alto, ya que dichas instalaciones suelen incluir una gran cantidad de cargas inductivas. Los ejemplos más corrientes de tales cargas son: cintas transportadoras, bombas, molinos, esmeriladoras, mezcladores y hornos de arco. Todos estos aparatos emplean un motor o un transformador que requieren corriente de magnetización (y, por tanto, potencia reactiva) a fin de generar el campo magnético para operar, además de la potencia activa necesaria para producir el trabajo real. Cuanto mayor es la potencia reactiva que una carga requiere, en proporción a su requisito de potencia activa, menor es el factor de potencia de dicha carga. En toda aplicación industrial que incluya varias cargas inductivas, la potencia reactiva que consume cada carga se adiciona en la barra de alimentación principal, donde la aplicación consume potencia eléctrica de la red de alimentación ca. Cuando una aplicación industrial requiere una cantidad significativa de potencia reactiva, en comparación a su requerimiento de potencia activa, el factor de potencia de la aplicación es bajo.

En general, hay un consenso en que los componentes inductivos absorben potencia reactiva, mientras que los capacitivos la suministran, si bien lo cierto es que los componentes reactivos no suministran ni absorben, sino que intercambian potencia reactiva.

En toda aplicación industrial, un factor de potencia bajo (esto es, menor que 0,9, en general) en la barra de alimentación (bus) principal tiene diversas desventajas. La principal desventaja es que un factor de potencia bajo aumenta significativamente la intensidad de la corriente que fluye desde la red de alimentación ca hacia la aplicación industrial, para una cantidad determinada de potencia activa suministrada a la aplicación. Esto se debe a que la red ca tiene que suministrar a la aplicación industrial tanto la cantidad de potencia activa como la cantidad de potencia reactiva que requiere. En consecuencia, aumenta la intensidad de la corriente que fluye en las líneas de distribución que suministran energía eléctrica a la aplicación industrial. La circulación de una corriente más alta en estas líneas de distribución, aumenta las pérdidas en el cobre (pérdidas  $RI^2$ ) en estas líneas y en todos los equipos (líneas de transmisión, transformadores de potencia, etc.) aguas arriba de la red ca. Además, una corriente más alta también requiere que el proveedor de electricidad aumente el tamaño de las líneas de distribución que aportan potencia a la aplicación, y posiblemente el tamaño de otros equipos (líneas de transmisión, transformadores de potencia, etc.) aguas arriba de la red ca, con el fin de proveer la potencia necesaria a la aplicación industrial.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Las pérdidas de potencia adicionales en la red ca causadas por el bajo factor de potencia de una aplicación industrial, así como el equipo de mayor tamaño requerido, resultan en gastos suplementarios para el proveedor de electricidad. Debido a esto, la mayoría de los proveedores de electricidad cobran costos adicionales a los clientes industriales que tienen un bajo factor de potencia. El método utilizado para calcular estos costos adicionales varía de un proveedor a otro, pero, en general, cuanto menor sea el factor de potencia de la aplicación industrial, mayores serán los costos adicionales en la factura de electricidad. Por consiguiente, la mayoría de los grandes clientes industriales utilizan ciertos medios para implementar la **corrección del factor de potencia**. La corrección del factor de potencia consiste en aumentar el factor de potencia de una carga inductiva lo más cerca posible de la unidad. La carga pueden ser los dispositivos eléctricos en una aplicación industrial completa o un dispositivo eléctrico específico en una aplicación industrial tal como un motor de inducción trifásico. La corrección del factor de potencia se logra conectando condensadores a la carga para suministrar la cantidad exacta de potencia reactiva que requiere. Cuando se dimensionan adecuadamente, los condensadores suministran toda la potencia reactiva que la carga requiere y, por lo tanto, llevan el factor de potencia a la unidad. Como verá en el Ejercicio 1, un cliente industrial puede aumentar en gran medida el factor de potencia de su aplicación y reducir sus costos energéticos proporcionando su propia potencia reactiva.



Figura 1. Las grandes plantas industriales que contienen motores y otras cargas reactivas funcionando de forma constante o casi constante (tales como las grandes cintas transportadoras en la planta minera de la figura de arriba) se benefician enormemente de la corrección del factor de potencia.

## Corrección del factor de potencia

**OBJETIVO DEL EJERCICIO** Cuando haya completado este ejercicio, sabrá cómo corregir el factor de potencia de una aplicación industrial cuya demanda de potencia reactiva es fija o variable. Se le presentarán los dos tipos principales de corrección del factor de potencia: centralizada y distribuida. Estará familiarizado con la corrección del factor de potencia de los circuitos trifásicos.

### RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los puntos siguientes:

- Corrección del factor de potencia de una aplicación industrial
- Uso de baterías de condensadores conmutados para la corrección variable del factor de potencia
- Tipos de corrección del factor de potencia: centralizada frente a distribuida  
*Corrección centralizada del factor de potencia. Corrección distribuida del factor de potencia. Comparación de la corrección del factor de potencia: centralizada frente a distribuida.*
- Corrección del factor de potencia en los circuitos trifásicos

### PRINCIPIOS

#### Corrección del factor de potencia de una aplicación industrial

Como se menciona en la introducción a este manual, una aplicación industrial con un bajo factor de potencia tiene efectos negativos en el sistema de transmisión y distribución de energía del proveedor de electricidad, así como en la propia aplicación industrial. A continuación se enumeran los principales efectos negativos:

- Aumenta la intensidad de la corriente que fluye en las líneas de distribución que suministran energía eléctrica a la aplicación industrial.
- Aumenta también la cantidad de pérdidas (pérdidas  $RI^2$ ) en el cobre en las líneas de distribución, así como en el equipo (líneas de transmisión, transformadores, etc.) aguas arriba en la red ca.
- Disminuye la tensión en la barra de alimentación principal de la aplicación industrial.
- Disminuye la cantidad de potencia activa suministrada a la aplicación industrial.

Para ilustrar estos efectos, considere el circuito de la figura 2 que representa una fase del sistema de distribución de un proveedor de electricidad que suministra energía a una aplicación industrial. La resistencia y el inductor conectados en serie con la fuente de alimentación en el sistema de distribución representan la resistencia combinada y la reactancia inductiva de las líneas de distribución y otros equipos en el sistema de distribución. En este ejemplo, la aplicación

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

industrial es una carga estrictamente resistiva (representada por una resistencia), lo que significa que no extrae potencia reactiva, sólo potencia activa. El factor de potencia de la aplicación industrial es, por lo tanto, igual a 1,000.

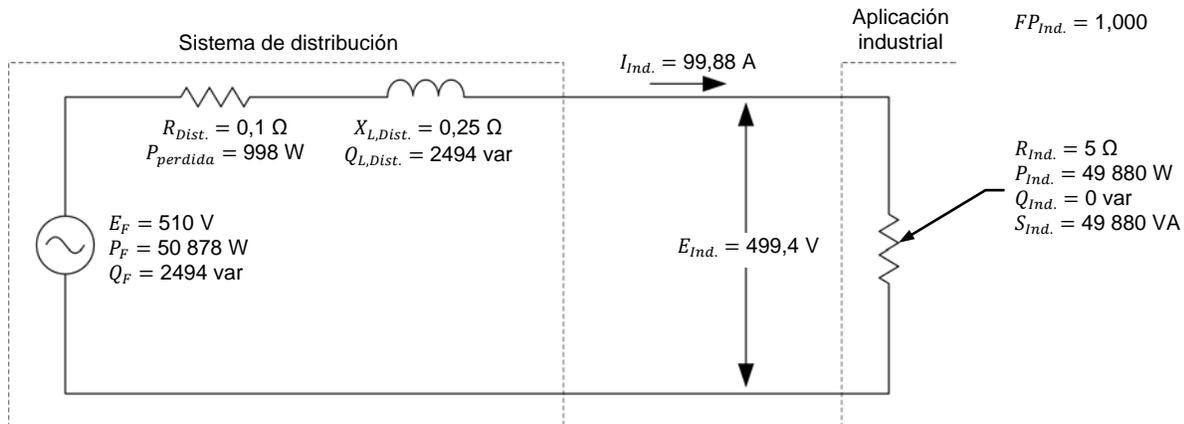


Figura 2. Sistema de distribución que suministra potencia activa a una aplicación industrial con un factor de potencia de 1 (se muestra una fase).

Como se observa en la figura 2, la intensidad de la corriente  $I_{Ind.}$  que fluye en las líneas de distribución que suministran potencia a la aplicación industrial es igual a 99,88 A, la cantidad de potencia activa  $P_{Ind.}$  suministrada a la aplicación industrial es de 49 880 W, mientras que las pérdidas de potencia  $P_{Perdida}$  en el sistema de distribución son de 998 W. El circuito también muestra que la tensión  $E_{Ind.}$  en la barra de alimentación principal de la aplicación industrial es ligeramente inferior que en la fuente de alimentación del sistema de distribución  $E_F$  (499,4 V en comparación a 510 V).

Ahora considere el circuito de la figura 3 que representa el mismo sistema de distribución de la figura 2, pero esta vez suministrando energía a una aplicación industrial que extrae tanto potencia reactiva como potencia activa (representada por una resistencia y un inductor conectados en paralelo).

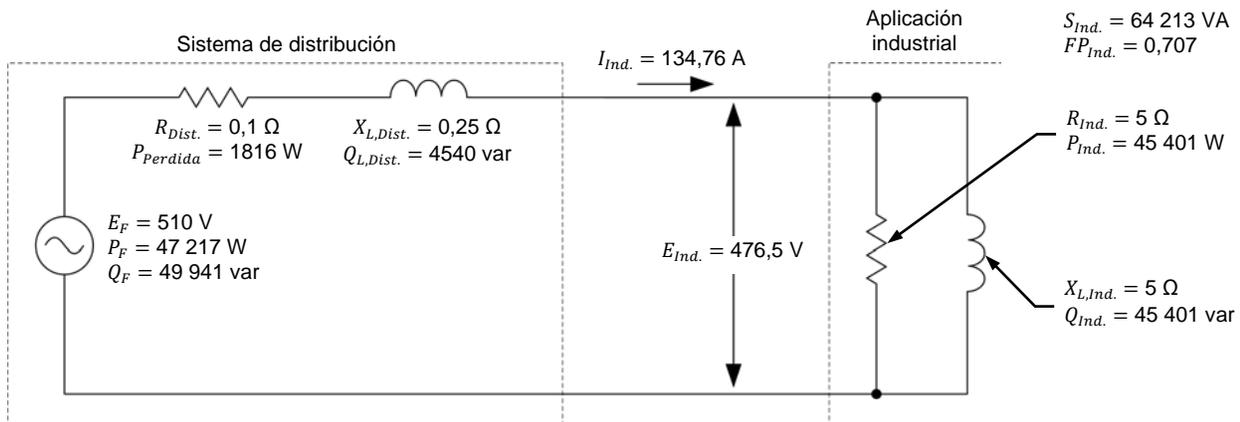
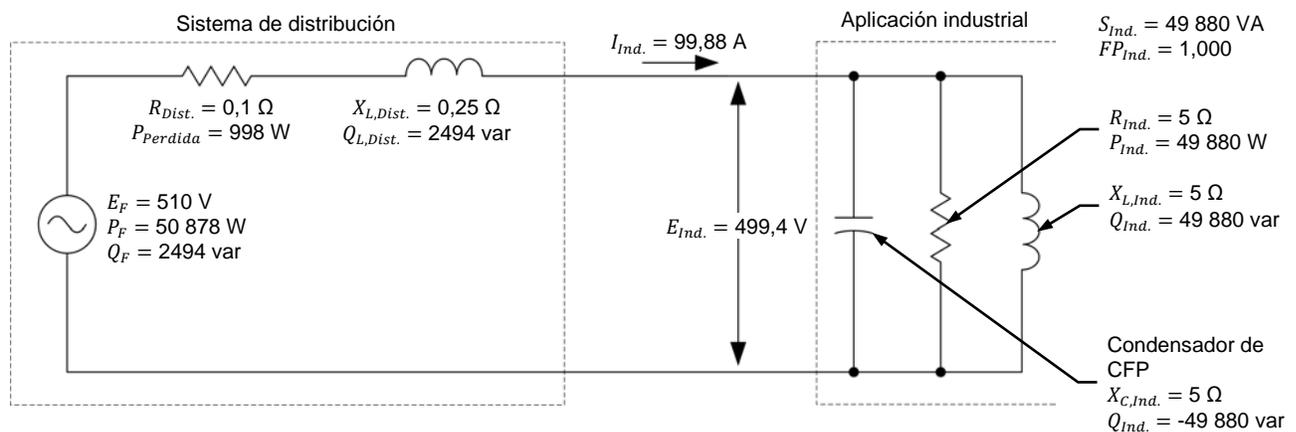


Figura 3. Sistema de distribución que suministra potencia activa y potencia reactiva a una aplicación industrial con un factor de potencia de 0,707 (se muestra una fase).

Como se observa en la figura 3, la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  (45 401 var) que la aplicación industrial extrae del sistema de distribución hace aumentar de forma importante la potencia aparente  $S_{Ind.}$  suministrada a la aplicación (de 49 880 VA a 64 213 VA). Esto, a su vez, hace que la intensidad de la corriente  $I_{Ind.}$  que fluye en las líneas de distribución que suministran potencia a la aplicación industrial pase de 99,88 A a 134,76 A (un aumento de 34,9%). El aumento de la corriente  $I_{Ind.}$  hace que las pérdidas de potencia  $P_{Perdida}$  en el sistema de distribución sean de casi el doble (pasan de 998 W a 1816 W). El aumento de la corriente  $I_{Ind.}$  además causa que la tensión  $E_{Ind.}$  en la barra de alimentación principal de la aplicación industrial pase de 499,4 V a 476,5 V (una disminución del 4,5%) que, a su vez, hace que la cantidad de potencia activa  $P_{Ind.}$  suministrada a la aplicación industrial disminuya ligeramente (de 49 880 W a 45 401 W). Finalmente, esto da como resultado una disminución significativa (de 1,000 a 0,707) del factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial.

Los valores de los diversos parámetros del ejemplo anterior muestran todos los efectos perjudiciales enumerados al principio de esta sección, causados por una aplicación industrial con un factor de potencia bajo. Estos efectos indeseables pueden anularse mediante la implementación de la corrección del factor de potencia (CFP). Esto puede hacerse añadiendo una fuente de potencia reactiva en el bus principal de la aplicación industrial para suministrar la potencia reactiva requerida por las cargas inductivas en la aplicación. Esta fuente de potencia reactiva suele constar de uno o más condensadores conectados en paralelo a la barra de alimentación principal de la aplicación industrial, como se ilustra en la figura 4.



**Figura 4. Sistema de distribución que suministra potencia activa a una aplicación industrial cuyo factor de potencia, de 0,707, se corrige a 1,000 utilizando un condensador conectado en paralelo a la barra de alimentación principal de la aplicación (se muestra una fase).**

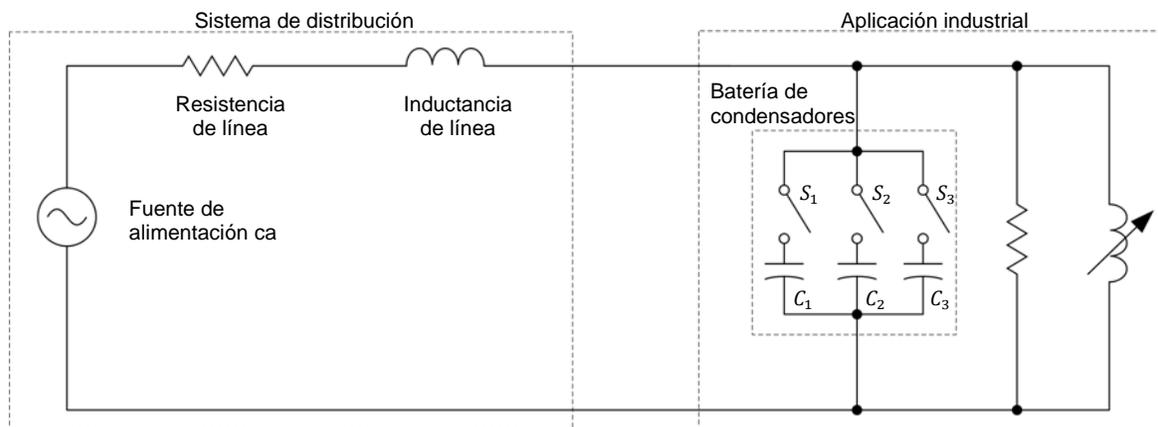
La figura 4 muestra que toda la potencia reactiva que absorbe la carga inductiva de la aplicación industrial (49 880 var) la suministra el condensador de corrección del factor de potencia (CFP), lo que significa que la aplicación no extrae ninguna potencia reactiva del sistema de distribución. Debido a esto, el factor de potencia neto medido en la barra de alimentación principal de la aplicación industrial es igual a 1,000, del mismo modo que cuando la aplicación industrial es estrictamente resistiva, como se muestra en la figura 2. Asimismo, los valores de todos los demás parámetros de la aplicación industrial en el circuito de la figura 4 son iguales a los calculados en el circuito de la figura 2.

Esto significa que una aplicación industrial que contiene tanto cargas resistivas como inductivas cuyo factor de potencia se corrige a 1,000, funciona exactamente como una aplicación industrial ideal que sólo contiene cargas estrictamente resistivas.

### Uso de baterías de condensadores conmutados para la corrección variable del factor de potencia

La figura 4 mostró un ejemplo de corrección del factor de potencia en el que la carga inductiva de la aplicación industrial es fija. En este caso, la reactancia del condensador, necesaria para corregir el factor de potencia de la aplicación industrial, es igual a la reactancia de la carga inductiva en la aplicación. No obstante, en la mayoría de los casos, la reactancia inductiva de la carga en una aplicación industrial varía continuamente. Por ejemplo, esto sucede cuando se activan o desactivan motores, molinos, compresores u hornos de arco. En consecuencia, la variación de la demanda de potencia reactiva resultante puede ser grande o pequeña, rápida o lenta, predecible o impredecible, dependiendo del tipo de aplicación.

Por esta razón, la corrección del factor de potencia en una aplicación industrial cuya demanda de potencia reactiva varía con el tiempo, requiere un condensador de reactancia variable. Sin embargo, los condensadores variables de tensión y potencia altas no están disponibles comercialmente. Como sustituto, una batería de condensadores conmutados de diferentes valores de capacitancia está conectada en paralelo a la carga inductiva variable en la aplicación industrial, como se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Una batería de condensadores conmutados de diferentes valores de capacitancia permite corregir el factor de potencia de una aplicación industrial incluso cuando la reactancia inductiva de la carga varía (se muestra el diagrama monofásico).

Dependiendo de la demanda actual de potencia reactiva de la aplicación industrial, los condensadores se conectan o desconectan para satisfacer la demanda de potencia reactiva de la aplicación lo más cerca posible y mantener el factor de potencia lo más próximo posible a la unidad. Por ejemplo, si la demanda de potencia reactiva de la aplicación industrial es de 25 kvar, los condensadores se conectan o desconectan de manera que la cantidad de potencia reactiva que suministran sea lo más cercana posible a 25 kvar. Esto asegura que la mayor parte de la potencia reactiva requerida por la aplicación industrial la suministren los condensadores de corrección del factor de potencia,

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

y que el sistema de distribución no suministre prácticamente ninguna potencia reactiva. En consecuencia, el factor de potencia de la aplicación industrial visto desde el sistema de distribución parece estar muy cerca de la unidad.



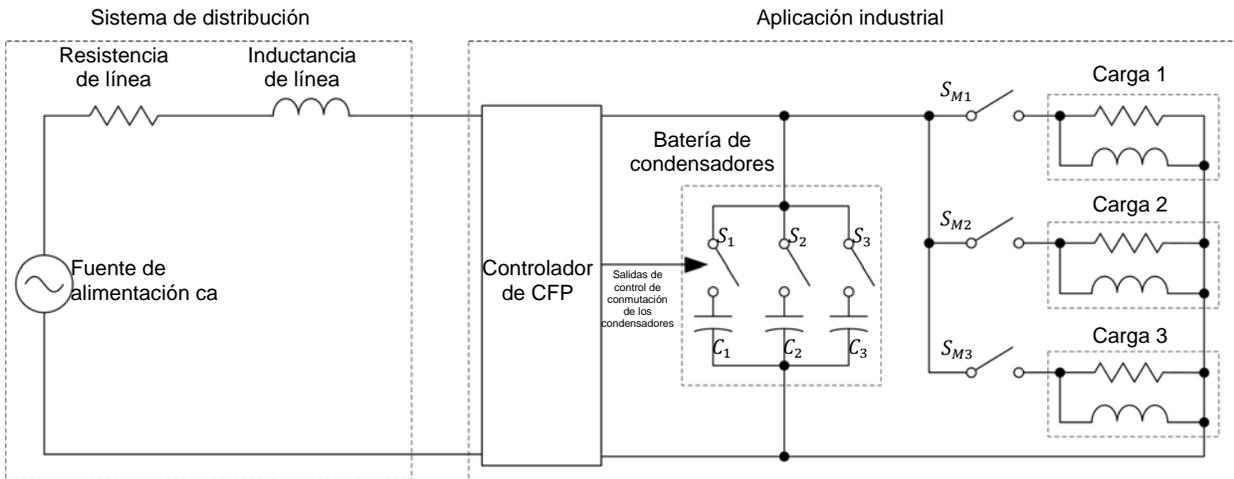
Figura 6. Batería de condensadores empleada para la corrección del factor de potencia.

### Tipos de corrección del factor de potencia: centralizada frente a distribuida

Existen dos tipos principales de corrección del factor de potencia, que se diferencian por la ubicación de los condensadores en la aplicación industrial: **corrección centralizada del factor de potencia** y **corrección distribuida del factor de potencia**. Ambos tipos de corrección se estudian en las subsecciones siguientes.

#### *Corrección centralizada del factor de potencia*

En la corrección centralizada del factor de potencia, la batería de condensadores conmutados se conecta en paralelo a la barra de alimentación principal de la aplicación industrial, como se muestra en la figura 7. En la aplicación industrial de la figura 7, la demanda de potencia reactiva se debe a varias cargas resistivas-inductivas que representan diferentes dispositivos tales como motores y transformadores de potencia. Cada carga puede conectarse o desconectarse usando los interruptores  $S_{M1}$ ,  $S_{M2}$  y  $S_{M3}$ .



**Figura 7.** En la corrección centralizada del factor de potencia, la batería de condensadores conmutados se conecta en paralelo a la barra de alimentación principal de la aplicación industrial (se muestra el diagrama monofásico).

Cuando se usa la corrección centralizada del factor de potencia, la batería de condensadores conmutados debe dimensionarse de tal manera que pueda suministrar suficiente potencia reactiva para satisfacer la demanda de potencia reactiva máxima que se produce cuando se conectan todas las cargas resistivas e inductivas en la aplicación industrial. Además, los valores de capacitancia de los diversos condensadores de la batería deben seleccionarse cuidadosamente a fin de poder alcanzar cualquier valor intermedio de demanda de potencia reactiva (que ocurre cuando no están conectadas todas las cargas resistivas-inductivas). Puesto que la carga inductiva total en una aplicación industrial completa puede variar frecuente y rápidamente, la corrección centralizada del factor de potencia se suele alcanzar empleando un controlador de corrección del factor de potencia. Este controlador monitoriza constantemente la demanda de potencia reactiva de la aplicación industrial, y conecta y desconecta los condensadores de entrada y salida para suministrar la cantidad adecuada de potencia reactiva requerida. Dicho controlador permite que el factor de potencia de la aplicación industrial se mantenga lo más próximo posible a la unidad, sin importar si hay variaciones importantes en la demanda de potencia reactiva. El controlador también asegura que los transitorios del factor de potencia que se producen durante variaciones repentinas de la demanda de potencia reactiva se mantengan tan cortos e imperceptibles como sea posible.

### ***Corrección distribuida del factor de potencia***

En la corrección distribuida del factor de potencia, los condensadores están conectados en paralelo a cada carga inductiva-resistiva significativa en la aplicación industrial, como se muestra en la figura 8. Por lo general, se utiliza un solo condensador fijo para suministrar potencia reactiva a cada carga que requiere corrección del factor de potencia.

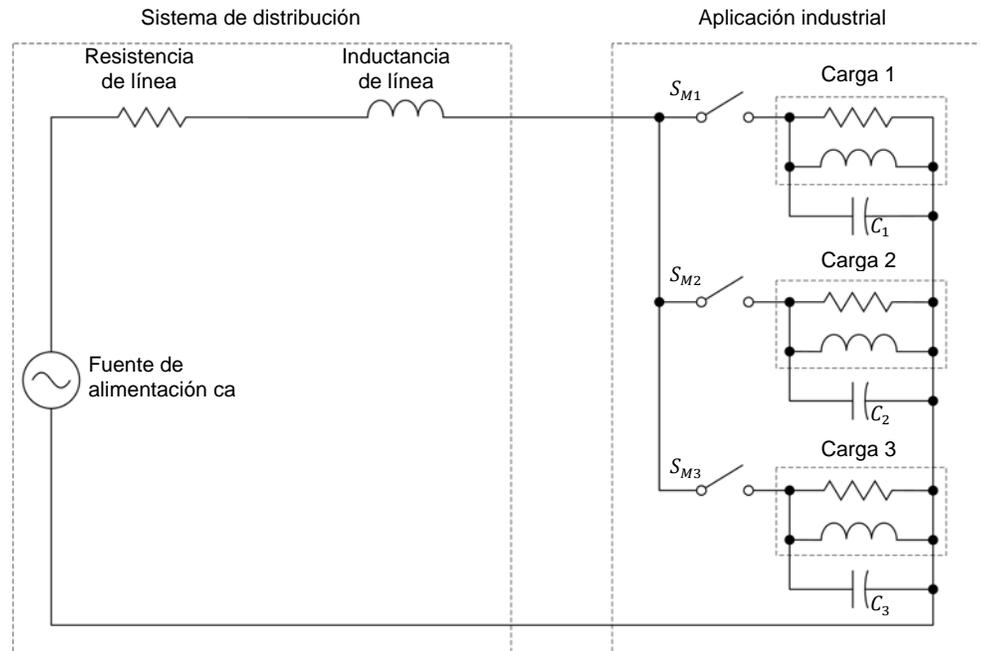


Figura 8. En la corrección distribuida del factor de potencia, se conecta un condensador en paralelo a cada carga resistiva-inductiva importante de la aplicación industrial (se muestra el diagrama monofásico).

Un motor de inducción puede representarse mediante una resistencia variable en paralelo con un inductor fijo, como se muestra a continuación. La resistencia disminuye cuando la carga mecánica aplicada al motor aumenta, pero la reactancia inductiva varía muy poco.

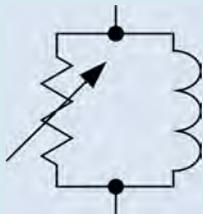


Figura 9. Representación eléctrica equivalente de un motor de inducción.

Cuando se utiliza la corrección distribuida del factor de potencia, cada condensador debe dimensionarse de tal manera que suministre la cantidad exacta de potencia reactiva requerida por la carga inductiva a la que esté conectado. Este tipo de corrección del factor de potencia sólo puede utilizarse cuando la demanda de potencia reactiva de cada carga inductiva no varía mucho con el tiempo. Por esta razón, la corrección distribuida del factor de potencia es especialmente adecuada para motores de inducción, cuya demanda de potencia reactiva es casi constante independientemente de la carga mecánica aplicada al motor (consulte la barra de texto lateral para obtener información adicional).

En la corrección distribuida del factor de potencia, el condensador conectado a cualquier carga dada se conecta o desconecta al mismo tiempo que la carga. De esta manera, tan pronto como la carga se conecta y comienza a consumir la potencia reactiva, el condensador también se conecta y comienza a suministrar dicha potencia. Esto asegura que el factor de potencia de cada carga resistiva-inductiva se corrija individualmente en todo momento.



**Figura 10.** Todo motor de inducción que accione una carga grande, como el molino de bolas de la figura, requiere una cantidad importante de potencia reactiva para funcionar. El empleo de la corrección distribuida del factor de potencia evita que la gran demanda de potencia reactiva del motor afecte al factor de potencia de la aplicación industrial.

#### ***Comparación de la corrección del factor de potencia: centralizada frente a distribuida***

Los dos tipos de corrección del factor de potencia descritos anteriormente presentan ventajas que pueden ser más apropiadas para ciertos tipos de aplicaciones industriales que otras. La corrección centralizada del factor de potencia suele ser más económica que la corrección distribuida puesto que requiere menos condensadores para alcanzar un nivel similar de corrección del factor de potencia. La corrección centralizada del factor de potencia también garantiza que se corrija el factor de potencia de toda la aplicación industrial, mientras que la corrección distribuida corrige el factor de potencia de cada carga individual, lo que no necesariamente asegura que se corrija el factor de potencia de toda la aplicación industrial.

Por otra parte, la corrección distribuida del factor de potencia permite prescindir de un controlador de corrección del factor de potencia, ya que los condensadores se conectan o desconectan al mismo tiempo que la carga a la que están vinculados. Otra ventaja de la corrección distribuida del factor de potencia es que compensa la demanda de potencia reactiva directamente en cada carga, reduciendo así la intensidad de la corriente que fluye a través de las líneas y equipos (por ejemplo, transformadores de potencia, contactores, dispositivos de protección), de la aplicación industrial, que transmiten potencia a las cargas. Esto, a su vez, permite la reducción del tamaño y las especificaciones de las líneas eléctricas y equipos en la aplicación industrial, o la reducción del calor que éstos producen debido a las pérdidas de potencia (pérdidas  $RI^2$ ). Cuando la carga está situada relativamente lejos de la barra de alimentación principal de la aplicación industrial, la reducción de las pérdidas de potencia en las líneas de alimentación internas de la aplicación puede representar un ahorro de energía significativo.

Las ventajas de cada tipo de corrección del factor de potencia sobre la otra se resumen en la tabla 1.

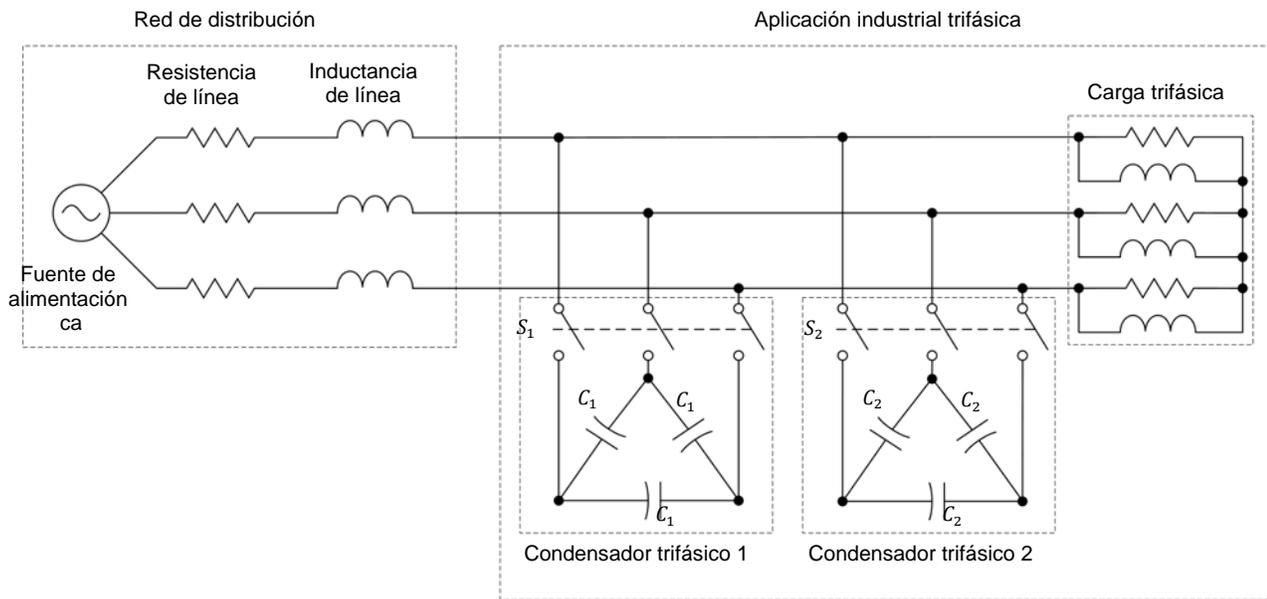
**Tabla 1. Ventajas de la corrección centralizada del factor de potencia respecto de la distribuida y viceversa.**

Corrección centralizada del factor de potencia	Corrección distribuida del factor de potencia
Usualmente más barata debido al menor número de condensadores requeridos para lograr un nivel similar de corrección del factor de potencia	No es necesario un controlador de corrección del factor de potencia, ya que los condensadores se conectan o desconectan al mismo tiempo que la carga a la que están vinculados
Asegura la corrección del factor de potencia en toda la aplicación industrial	Reducción del tamaño y especificaciones de las líneas y equipos, en la aplicación industrial, que suministran energía a las cargas, o reducción del calor que se genera debido a las pérdidas de potencia (pérdidas $RI^2$ ) en estas líneas y equipo

### Corrección del factor de potencia en los circuitos trifásicos

Para facilitar la comprensión de los principios de la corrección del factor de potencia, todos los diagramas de circuito que ha estudiado hasta ahora en este manual son circuitos monofásicos. En aplicaciones industriales, sin embargo, la corrección del factor de potencia se implementa generalmente en circuitos trifásicos. Esto se debe a que la mayoría de las aplicaciones industriales incluyen cargas resistivas e inductivas que funcionan con potencia trifásica.

Los principios detrás de la corrección del factor de potencia en los circuitos trifásicos son idénticos a los de los circuitos monofásicos. La única diferencia es que todo condensador que se utilice para la corrección del factor de potencia en una fase debe repetirse en las otras dos fases para garantizar una corrección igual del factor de potencia (es decir, equilibrada) en las tres fases. Esto se ilustra en la figura 11. En este ejemplo, la batería de condensadores conmutados que se emplea para implementar la corrección del factor de potencia consta de dos grupos de tres condensadores conectados en delta. Cada grupo de condensadores puede conectarse en paralelo a la carga trifásica, mediante un interruptor trifásico ( $S_1$  y  $S_2$  en la figura 11).



**Figura 11. Corrección del factor de potencia en una aplicación industrial trifásica mediante una batería de condensadores trifásicos conmutados.**

Como se observa en la figura 11 cada grupo de tres condensadores en la batería de condensadores conmutados está conectado en una configuración delta (triángulo). Esto se debe a que el uso de condensadores conectados en configuración delta para la corrección del factor de potencia presenta ventajas sobre los condensadores conectados en estrella. La primera ventaja de utilizar condensadores conectados en delta, en lugar de en estrella, es que la corrección del factor de potencia es menos desequilibrada cuando uno de los condensadores de un grupo falla y se abre. En consecuencia, esto limita la cantidad de desequilibrio de tensión resultante de la corrección desequilibrada del factor de potencia causada por el fallo de uno de los condensadores de un grupo. Otra ventaja de la configuración delta sobre la configuración en estrella es que ayuda a reducir la cantidad de **armónicos** en las líneas que alimentan a la aplicación industrial, haciendo así que la aplicación sea más compatible con el sistema de distribución de energía.



Figura 12. Ejemplo de un sistema de corrección del factor de potencia empleado para la corrección centralizada del factor de potencia. Observe los seis condensadores (dos por fase) situados en la parte inferior del sistema.

## RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento consta de las secciones siguientes:

- Montaje y conexiones
- Aplicación industrial con una carga estrictamente resistiva
- Aplicación industrial con cargas resistivas e inductivas
- Corrección centralizada del factor de potencia
- Corrección distribuida del factor de potencia en una aplicación industrial 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, se configurará el equipo necesario para estudiar la corrección del factor de potencia de una aplicación industrial que incluya cargas resistivas e inductivas.*

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.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

Instale el equipo requerido en el **Puesto de trabajo**.



Antes de acoplar máquinas rotatorias, es muy importante asegurarse de que la alimentación esté apagada para evitar la puesta en marcha accidental de dichas máquinas.

Acople mecánicamente el **Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos** al **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, utilizando una correa dentada.

2. Asegúrese de que los interruptores de alimentación ca y cc de la **Fuente de alimentación** estén en la posición **O** (apagado), luego conecte la **Fuente de alimentación** a una toma ca trifásica.

Asegúrese de que el interruptor principal del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** esté en la posición **O** (apagado), luego conecte su **Entrada de alimentación** a una toma ca.

Conecte la **Alimentación** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** a una fuente de alimentación de 24 V ca. Encienda la fuente de alimentación de 24 V ca.

3. Conecte el puerto USB de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** a un puerto USB de la computadora.

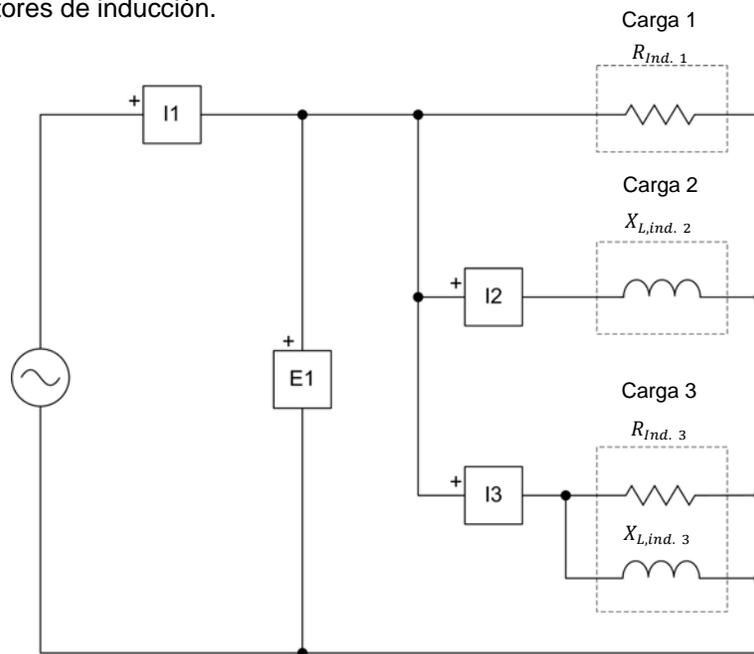
Conecte el puerto USB del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** a un puerto USB de la computadora.

4. Encienda el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, luego coloque el interruptor **Modo de operación** en **Dinamómetro**. Este ajuste permite al **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcionar como un motor de impulsión, un freno, o ambos, dependiendo de la función seleccionada.

5. Encienda el ordenador 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** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** hayan sido detectados. Asegúrese de que esté disponible la función **Instrumentación computarizada** para la **Interfaz de adquisición de datos y de control**. Además, seleccione la tensión y la frecuencia de la red, correspondientes a la tensión y la frecuencia de la red de alimentación ca local, luego haga clic en el botón **Aceptar** para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.

6. Conecte el equipo como se muestra en la figura 13. Utilice una sola fase de la Fuente de alimentación a fin de implementar la fuente de alimentación ca. Utilice una batería de resistencias de la Carga resistiva para implementar las dos resistencias de carga ( $R_{Ind. 1}$  y  $R_{Ind. 3}$ ) en el circuito, y utilice una batería de inductores de la Carga inductiva para implementar los dos inductores de carga ( $X_{L,ind. 2}$  y  $X_{L,ind. 3}$ ). En el circuito de la figura 13, la fuente de alimentación ca representa una fase del sistema de distribución del proveedor de electricidad. Las cargas 1, 2 y 3 representan las distintas cargas inductivas y resistivas de una aplicación industrial, que se conectan a esta fase del sistema de distribución. La Carga 1 es una carga resistiva fija que representa dispositivos estrictamente resistivos en la aplicación, tales como los sistemas de calefacción e iluminación. La Carga 2 representa cargas en la aplicación industrial que absorben potencia reactiva en su mayor parte (por ejemplo, transformadores de potencia que están cargados muy ligeramente). La Carga 3 representa cargas en la aplicación que absorben tanto potencia activa como potencia reactiva, tales como los motores de inducción.



Red de alimentación ca local		Resistencia de las distintas cargas ( $\Omega$ )		Reactancia de las distintas cargas ( $\Omega$ )	
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	$R_{Ind. 1}$	$R_{Ind. 3}$	$X_{L,ind. 2}$	$X_{L,ind. 3}$
120	60	171	$\infty$	$\infty$	$\infty$
220	50	629	$\infty$	$\infty$	$\infty$
240	50	686	$\infty$	$\infty$	$\infty$
220	60	629	$\infty$	$\infty$	$\infty$

Figura 13. Fuente de alimentación ca que suministra potencia a una aplicación industrial que contiene cargas resistivas e inductivas.

7. Haga los ajustes necesarios en los interruptores de la **Carga resistiva** y de la **Carga inductiva** de modo que las resistencias de las cargas  $R_{Ind. 1}$  y  $R_{Ind. 3}$ , así como las reactancias  $X_{L,ind. 2}$  y  $X_{L,ind. 3}$  de la aplicación industrial, sean iguales a las de la tabla de la figura 13. Como puede verse, todos los valores de resistencia y reactancia de las cargas 2 y 3 están ajustados a infinito. En la práctica, esto significa que estas cargas se desconectan, dejando sólo la Carga 1 en el circuito.



Los valores de resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva utilizados en los circuitos de este manual dependen de la tensión y la frecuencia de la red de alimentación ca local. Siempre que sea necesario, una tabla debajo del diagrama de circuitos indica el valor de cada componente para tensiones de red ca de 120 V, 220 V y 240 V, y para frecuencias de red ca de 50 Hz y 60 Hz. Asegúrese de utilizar los valores de los componentes correspondientes a la tensión y frecuencia de la red de alimentación ca local.



En el Apéndice C se indican los ajustes de los interruptores requeridos en la **Carga resistiva**, la **Carga inductiva** y la **Carga capacitiva** para obtener diversos valores de resistencia (o de reactancia).

8. En el software **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Aparatos de medición**. Realice los ajustes necesarios para medir la tensión rms (ca) de la aplicación industrial  $E_{Ind.}$  (entrada **E1**) y la corriente  $I_{Ind.}$  (entrada **I1**). Ajuste tres aparatos de medición a fin de medir la potencia activa  $P_{Ind.}$  suministrada a la aplicación industrial, la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  que la aplicación industrial intercambia con el sistema de distribución (es decir, con la fuente de alimentación ca), y la potencia aparente  $S_{Ind.}$  que se le suministra a la aplicación industrial. En los tres casos, utilice la función de medición **PQS1 (E1, I1)**. Por último, ajuste un aparato de medición para medir el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación [función de medición **PF (E1, I1)**].

### **Aplicación industrial con una carga estrictamente resistiva**

*En esta sección, encenderá la fuente de alimentación ca y medirá los diferentes parámetros de la aplicación industrial. A continuación, analizará los valores medidos y determinará si la corrección del factor de potencia es necesaria para una aplicación industrial que contenga una carga estrictamente resistiva.*

9. En la **Fuente de alimentación**, encienda la fuente de alimentación ca trifásica.

10. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión  $E_{Ind.}$ , la corriente  $I_{Ind.}$ , la potencia aparente  $S_{Ind.}$ , la potencia activa  $P_{Ind.}$ , la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  y el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial. Registre los valores a continuación.

Tensión  $E_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  V

Corriente  $I_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  A

Potencia activa  $P_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  W

Potencia reactiva  $Q_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  var

Potencia aparente  $S_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  VA

Factor de potencia  $FP_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$

11. A partir de los valores registrados en el paso anterior, ¿es necesario corregir el factor de potencia de una aplicación industrial que contenga sólo una carga estrictamente resistiva? Explique de forma sucinta.

---



---



---



---

### Aplicación industrial con cargas resistivas e inductivas

*En esta sección, usted conectará la Carga 2 y medirá los distintos parámetros de la aplicación industrial. A continuación, analizará los valores medidos y determinará si la corrección del factor de potencia es necesaria para una aplicación industrial que contenga cargas resistivas e inductivas.*

12. Haga los ajustes necesarios en los interruptores de la **Carga inductiva**, de modo que la reactancia  $X_{L,ind. 2}$  sea igual a la de la tabla 2. Estos ajustes conectan la Carga 2 de la aplicación industrial al circuito. No modifique los demás interruptores en la **Carga resistiva** y la **Carga inductiva**.

Tabla 2. Resistencia y reactancia de las cargas 1, 2 y 3 de la aplicación industrial.

Red de alimentación ca local		Carga 1	Carga 2	Carga 3	
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	$R_{Ind. 1}$	$X_{L,ind. 2}$	$R_{Ind. 3}$	$X_{L,ind. 3}$
120	60	171	171	$\infty$	$\infty$
220	50	629	629	$\infty$	$\infty$
240	50	686	686	$\infty$	$\infty$
220	60	629	629	$\infty$	$\infty$

13. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión  $E_{Ind.}$ , la corriente  $I_{Ind.}$ , la potencia aparente  $S_{Ind.}$ , la potencia activa  $P_{Ind.}$ , la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  y el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial. Registre los valores a continuación.

Tensión  $E_{Ind.} =$  \_\_\_\_\_ V

Corriente  $I_{Ind.} =$  \_\_\_\_\_ A

Potencia activa  $P_{Ind.} =$  \_\_\_\_\_ W

Potencia reactiva  $Q_{Ind.} =$  \_\_\_\_\_ var

Potencia aparente  $S_{Ind.} =$  \_\_\_\_\_ VA

Factor de potencia  $FP_{Ind.} =$  \_\_\_\_\_

14. Compare los valores de los parámetros de la aplicación industrial, que ha medido en el paso anterior (carga resistiva-inductiva), con los que ha medido en el paso 10 (carga estrictamente resistiva). ¿Qué sucede cuando la carga inductiva se añade a la carga estrictamente resistiva?

---

---

---

---

---

---

15. ¿Es aceptable el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial, que usted ha medido en el paso anterior? Explíquelo de forma sucinta con respecto a la factura de electricidad de la aplicación industrial.

---

---

---

---

---

16. Teniendo en cuenta los parámetros de la aplicación industrial que ha medido en los pasos 10 y 13, ¿qué sucedería cuando la carga inductiva se conecta si una resistencia y un inductor, que representan la impedancia del sistema de distribución, se conectasen en serie a la fuente de alimentación ca? Explique de forma sucinta.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

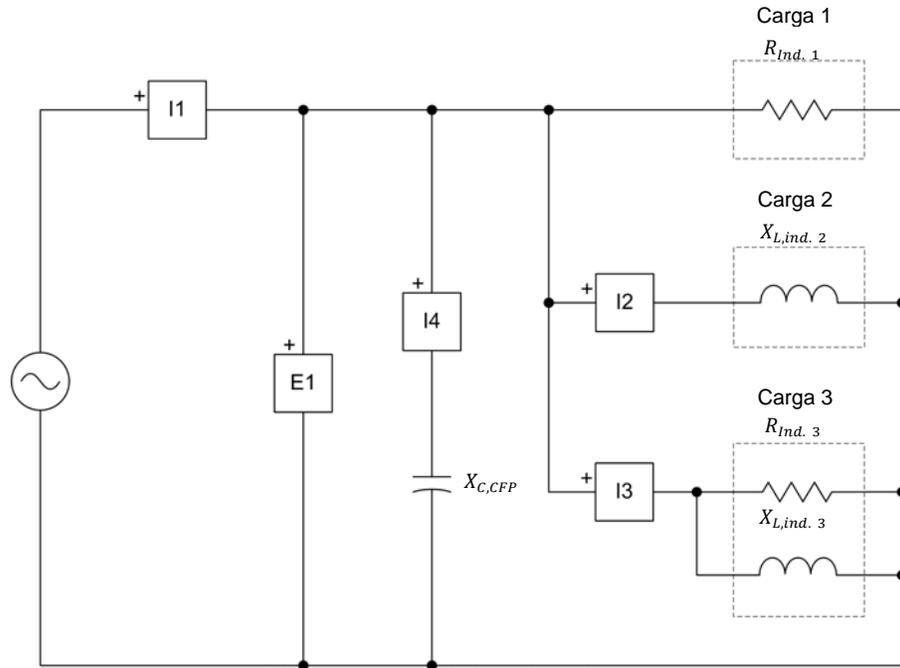
17. En la **Fuente de alimentación**, apague la fuente de alimentación ca trifásica.

### **Corrección centralizada del factor de potencia**

*En esta sección, usted conectará un condensador en paralelo a las cargas de la aplicación industrial para implementar la corrección centralizada del factor de potencia. Encenderá la fuente de alimentación ca y ajustará la reactancia del condensador para que el factor de potencia de la aplicación industrial esté lo más cerca posible de la unidad. Medirá los distintos parámetros de la aplicación industrial. Luego de ello, analizará los resultados, comparando los parámetros medidos cuando hay compensación del factor de potencia en la aplicación, con los medidos sin compensación (registrados en la sección anterior).*

18. Modifique las conexiones del equipo para obtener el circuito de la figura 14. Observe que se incluye un condensador en el circuito y se conecta en paralelo a las cargas de la aplicación industrial. Conecte en paralelo las tres baterías de condensadores de la **Carga capacitiva** a fin de implementar este condensador. Además, se conecta una entrada de corriente adicional en serie con el condensador para permitir la medición de la potencia reactiva que éste suministra. Las demás conexiones del circuito permanecen iguales.

Como se observa en el montaje del equipo, el factor de potencia de la aplicación industrial se corrige mediante la corrección centralizada (es decir, se utiliza una sola batería de condensadores conmutados a fin de corregir el factor de potencia de toda la aplicación industrial).



Red de alimentación ca local		Resistencia de las distintas cargas (Ω)		Reactancia de las distintas cargas. (Ω)		Reactancia del condensador de CFP (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	$R_{Ind. 1}$	$R_{Ind. 3}$	$X_{L,ind. 2}$	$X_{L,ind. 3}$	$X_{C,CFP}$
120	60	171	∞	171	∞	∞
220	50	629	∞	629	∞	∞
240	50	686	∞	686	∞	∞
220	60	629	∞	629	∞	∞

Figura 14. Fuente de alimentación ca que suministra potencia a una aplicación industrial que contiene cargas resistivas e inductivas, con corrección del factor de potencia.

19. En la **Carga capacitiva**, haga los ajustes de interruptores necesarios para que la reactancia  $X_{C,CFP}$  del condensador de corrección del factor de potencia sea infinita (sin corrección del factor de potencia), como se indica en la tabla de la figura 14.
20. En la ventana **Aparatos de medición**, realice los ajustes necesarios para medir la potencia reactiva  $Q_{carga 2}$  intercambiada por la Carga 2 [función de medición **PQS (E1, I2)**], la potencia reactiva  $Q_{carga 3}$  intercambiada por la Carga 3 [función de medición **PQS (E1, I3)**], y la potencia reactiva  $Q_{C,CFP}$  intercambiada por el condensador de corrección del factor de potencia [función de medición **PQS (E1, I4)**].

21. En la **Fuente de alimentación**, encienda la fuente de alimentación ca trifásica.
22. En la **Carga capacitiva**, haga los ajustes de interruptores necesarios para que el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cercano posible de la unidad.

Registre la reactancia  $X_{C,CFP}$  del condensador que empleó para corregir el factor de potencia cuando las cargas 1 y 2 estaban conectadas.

Reactancia  $X_{C,CFP} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Compare la reactancia  $X_{C,CFP}$  del condensador de factor de potencia, que acaba de registrar, con la reactancia  $X_{L,ind. 2}$  de la Carga 2. ¿Son iguales estos valores, como se espera según la teoría?

Sí       No

23. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión  $E_{Ind.}$ , la corriente  $I_{Ind.}$ , la potencia aparente  $S_{Ind.}$ , la potencia activa  $P_{Ind.}$ , la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  y el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial. Registre los valores a continuación.

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

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

Potencia activa  $P_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$

Potencia reactiva  $Q_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$

Potencia aparente  $S_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$

Factor de potencia  $FP_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$

24. Compare los parámetros de la aplicación industrial que ha medido en el paso anterior con los medidos en el paso 13, para responder a las tres preguntas siguientes, acerca de los efectos sobre la corrección del factor de potencia, al conectar un condensador en paralelo a la barra de alimentación principal de la aplicación.

¿Qué sucede con la cantidad de potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  que la aplicación industrial intercambia con el sistema de distribución, así como la cantidad de potencia aparente  $S_{Ind.}$  suministrada a la aplicación industrial? Explique de forma sucinta.

---

---

---

¿Qué sucede con la intensidad de la corriente  $I_{Ind.}$  que la aplicación extrae del sistema de distribución? Explique de forma sucinta.

---

---

---

---

¿Qué sucede con el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial? Explique de forma sucinta.

---

---

---

**25.** ¿Qué efecto tienen las observaciones que acaba de hacer en la factura de electricidad de la aplicación industrial? Explique de forma sucinta.

---

---

---

---

---

**26.** En la ventana **Aparatos de medición**, mida la potencia reactiva intercambiada por la Carga 2  $Q_{Carga\ 2}$  así como la potencia reactiva  $Q_{C,CFP}$  intercambiada por el condensador de corrección del factor de potencia. Registre los valores a continuación.

Potencia reactiva  $Q_{Carga\ 2} =$  \_\_\_\_\_ var

Potencia reactiva  $Q_{C,CFP} =$  \_\_\_\_\_ var

¿Qué puede deducir de los valores de potencia reactiva que acaba de registrar, considerando la cantidad de potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  de la aplicación industrial que registró en el paso 23?

---

---

---

---

---

27. Haga los ajustes necesarios en los interruptores de la **Carga resistiva** y la **Carga inductiva**, de modo que la resistencia  $R_{Ind. 3}$  y la reactancia  $X_{L,ind. 3}$  sean iguales a las de la tabla 3. Estos ajustes conectan la Carga 3 de la aplicación industrial al circuito. No modifique los demás interruptores en la **Carga resistiva** y la **Carga inductiva**.

Tabla 3. Resistencia y reactancia de las cargas 1, 2 y 3 de la aplicación industrial.

Red de alimentación ca local		Resistencia de las distintas cargas ( $\Omega$ )		Reactancia de las distintas cargas ( $\Omega$ )	
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	$R_{Ind. 1}$	$R_{Ind. 3}$	$X_{L,ind. 2}$	$X_{L,ind. 3}$
120	60	171	240	171	171
220	50	629	880	629	629
240	50	686	960	686	686
220	60	629	880	629	629

28. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión  $E_{Ind.}$ , la corriente  $I_{Ind.}$ , la potencia aparente  $S_{Ind.}$ , la potencia activa  $P_{Ind.}$ , la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  y el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial. Registre los valores a continuación.

Tensión  $E_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  V

Corriente  $I_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  A

Potencia activa  $P_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  W

Potencia reactiva  $Q_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  var

Potencia aparente  $S_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$  VA

Factor de potencia  $FP_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$

29. Teniendo en cuenta los parámetros de la aplicación industrial que ha medido en el paso anterior, ¿es aceptable utilizar un condensador fijo para corregir el factor de potencia de una aplicación industrial cuya demanda de potencia reactiva varía significativamente (como cuando se conecta o desconecta una carga)? Explique de forma sucinta.

---



---



---



---



---



---

30. En la **Carga capacitiva**, haga los ajustes de interruptores necesarios para que el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cercano posible de la unidad.

Registre la reactancia  $X_{C,CFP}$  del condensador que empleó para corregir el factor de potencia cuando las cargas 1, 2 y 3 estaban conectadas.

Reactancia  $X_{C,CFP} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Compare la reactancia  $X_{C,CFP}$  del condensador de factor de potencia, que acaba de registrar, con la reactancia combinada de las cargas 2 y 3. ¿Son iguales estos valores, como se espera según la teoría?

Sí       No

31. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión  $E_{Ind.}$ , la corriente  $I_{Ind.}$ , la potencia aparente  $S_{Ind.}$ , la potencia activa  $P_{Ind.}$ , la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  y el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial. Registre los valores a continuación.

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

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

Potencia activa  $P_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$

Potencia reactiva  $Q_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$

Potencia aparente  $S_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$

Factor de potencia  $FP_{Ind.} = \underline{\hspace{2cm}}$

32. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la potencia reactiva intercambiada por las cargas 2 y 3,  $Q_{Carga\ 2}$  y  $Q_{Carga\ 3}$ , respectivamente. Calcule la potencia reactiva total  $Q_{Carga,total}$  intercambiada por las cargas. Por último, mida la cantidad de potencia reactiva  $Q_{C,CFP}$  intercambiada por el condensador de corrección del factor de potencia. Registre todos los valores a continuación.

Potencia reactiva  $Q_{Carga\ 2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$

Potencia reactiva  $Q_{Carga\ 3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$

Potencia reactiva  $Q_{Carga,total} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$

Potencia reactiva  $Q_{C,CFP} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$

La cantidad de potencia reactiva  $Q_{C,CFP}$  intercambiada por el condensador de corrección del factor de potencia, ¿es prácticamente igual a la potencia reactiva total  $Q_{Carga,total}$ , indicando así que el condensador suministra la potencia reactiva requerida por las cargas?

- Sí       No

**33.** Los resultados obtenidos y las observaciones que realizó en esta parte del ejercicio, ¿confirman que puede emplearse una batería de condensadores conmutados y un controlador para conectar y desconectar los condensadores, a fin de corregir el factor de potencia de una aplicación industrial cuya demanda de potencia reactiva es variable?

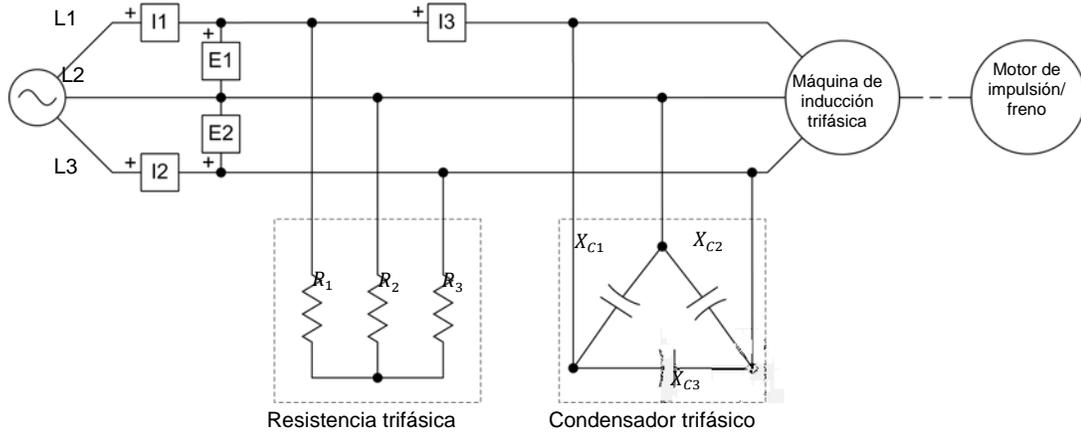
- Sí       No

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

### **Corrección distribuida del factor de potencia en una aplicación industrial trifásica.**

*En esta sección, armará un circuito que consistirá en una fuente de alimentación ca trifásica que suministrará energía a una carga resistiva trifásica, y un motor de inducción acoplado a un freno de par constante. Conectará un condensador trifásico en paralelo al motor de inducción para implementar la corrección distribuida del factor de potencia. Variará la carga mecánica aplicada al motor y observará el efecto en la corrección distribuida del factor de potencia.*

**35.** Conecte el equipo como se muestra en la figura 15. Utilice la **Fuente de alimentación** a fin de implementar la fuente de alimentación ca. Utilice la **Carga resistiva** y la **Carga capacitiva** a fin de implementar la resistencia y el condensador trifásicos, respectivamente. El resistor trifásico representa cargas estrictamente resistivas en la aplicación, tales como los sistemas de calefacción e iluminación, mientras que el condensador trifásico se utiliza para la corrección distribuida del factor de potencia (es decir, para corregir el factor de potencia del motor de inducción trifásico en la aplicación industrial).



Red de alimentación ca local		Resistencia del resistor trifásico	Reactancia del condensador trifásico
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	$R_1, R_2$ y $R_3$ ( $\Omega$ )	$X_{C1}, X_{C2}$ y $X_{C3}$ ( $\Omega$ )
120	60	240	$\infty$
220	50	880	$\infty$
240	50	960	$\infty$
220	60	880	$\infty$

Figura 15. Fuente de alimentación ca trifásica que suministra potencia a un motor de inducción.

36. Haga los ajustes necesarios en los interruptores de la **Carga resistiva**, de modo que la resistencia del resistor trifásico sea igual a la indicada en la figura 15.

Haga los ajustes de interruptores necesarios en la **Carga capacitiva**, de modo que la reactancia del condensador trifásico sea infinita (sin corrección del factor de potencia).

37. En la ventana **Aparatos de medición**, realice los ajustes necesarios para medir el valor rms (ca) de la tensión de línea  $E_{Ind.}$  (entrada  $E1$ ) y de la corriente  $I_{Ind.}$  (entrada  $I1$ ) de la aplicación industrial, así como el valor rms de la corriente del motor de inducción  $I_{Mot.}$  (entrada  $I3$ ). Ajuste tres aparatos de medición a fin de medir la potencia activa  $P_{Ind.}$  suministrada a la aplicación industrial, la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$  que la aplicación industrial intercambia con el sistema de distribución (es decir, con la fuente de alimentación ca), y la potencia aparente  $S_{Ind.}$  que se le suministra a la aplicación industrial. En los tres casos, utilice la función  $PQS1 + PQS2$ . Por último, ajuste un aparato de medición para medir el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación [función de medición  $PF (E1, I2)$ ].

**38.** En LVDAC-EMS, abra la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, y realice los siguientes ajustes:

- Ajuste el parámetro *Función* a *Motor de impulsión/Freno de par constante negativo*.
- Asegúrese de que el parámetro *Control del par* esté ajustado en *Perilla*.
- Ajuste el parámetro *Par* a 0,00 N·m (0,00 lbf·pulg.).
- Asegúrese de que el parámetro *Relación de la polea* esté en 24:24.
- Ajuste el parámetro *Tipo de termistor* a *Tipo 2 de LV*.
- Asegúrese de que el parámetro *Estado* esté en *Parado*.

**39.** En la **Fuente de alimentación**, encienda la fuente de alimentación ca trifásica a fin de suministrarles potencia a la carga resistiva y al motor de inducción trifásicos.

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ponga en marcha el *Motor de impulsión/Freno de par constante negativo*.

**40.** En LVDAC-EMS, abra la ventana **Tabla de datos**.

Ajuste la **Tabla de datos** para registrar la tensión  $E_{Ind.}$ , la corriente  $I_{Ind.}$ , la potencia activa  $P_{Ind.}$ , la potencia reactiva  $Q_{Ind.}$ , la potencia aparente  $S_{Ind.}$  y el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial, así como la corriente del motor de inducción  $I_{Mot.}$  (indicada en la ventana **Aparatos de medición**). Además, ajuste la **Tabla de datos** para registrar el par  $T_{Mot.}$  y la potencia mecánica  $P_M$  del motor de inducción, que aparecen en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.

Haga clic en el botón **Guardar datos** para registrar los parámetros.

**41.** En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, varíe el parámetro *Par*, en pasos de 0,10 N·m (0,89 lbf·pulg.), de 0,00 N·m (0,00 lbf·pulg.) a -1,20 N·m (-10,6 lbf·pulg.) si la frecuencia de la red de alimentación ca es de 60 Hz; o de 0,00 N·m (0,00 lbf·pulg.) a -1,40 N·m (-12,4 lbf·pulg.) si es de 50 Hz. En cada paso, espere a que se estabilice la velocidad del motor de inducción y haga clic en **Guardar datos**, en la **Tabla de datos**, para registrar los parámetros.

42. Observe los datos que acaba de registrar en la [Tabla de datos](#). Describa lo que sucede con la cantidad de potencia reactiva absorbida por el motor de inducción trifásico (corresponde a la potencia reactiva de la aplicación industrial  $Q_{Ind.}$ ) a medida que varía la carga mecánica.

---

---

Considerando su respuesta a la pregunta anterior, ¿sería posible corregir el factor de potencia de la aplicación industrial usando la corrección distribuida del factor de potencia (es decir, conectando un condensador fijo en paralelo al motor de inducción trifásico)? Explique de forma sucinta.

---

---

---

---

---

43. En la ventana [Tabla de datos](#), guarde los datos registrados y luego borre la [Tabla de datos](#) sin modificar los ajustes de guardado.

44. En la [Carga capacitiva](#), haga los ajustes de interruptores necesarios para corregir el factor de potencia del motor de inducción trifásico. Es decir, haga los ajustes de interruptores necesarios para que el factor de potencia de la aplicación industrial, que aparece en la ventana [Aparatos de medición](#), esté lo más cercano posible a la unidad.

Registre la reactancia ( $X_{C1}$ ,  $X_{C2}$  y  $X_{C3}$ ) del condensador que empleó para corregir el factor de potencia del motor de inducción.

Reactancias  $X_{C1}$ ,  $X_{C2}$  y  $X_{C3} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

45. A partir de la tensión medida  $E_{Ind.}$ , calcule la potencia reactiva  $Q_{CFP}$  que suministra el condensador trifásico utilizado para la corrección distribuida del factor de potencia.

Potencia reactiva del condensador trifásico  $Q_{CFP} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$

¿Está el valor calculado relativamente próximo (dentro de 75 var) a la cantidad de potencia reactiva absorbida por el motor de inducción trifásico (véanse los datos registrados en la etapa 41)?

- Sí       No

46. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro *Par* a 0,00 N·m (0,00 lbf·pulg.).
47. En la ventana **Tabla de datos**, haga clic en **Guardar datos** a fin de registrar los parámetros.
48. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, varíe el parámetro *Par*, en pasos de 0,10 N·m (0,89 lbf·pulg.), de 0,00 N·m (0,00 lbf·pulg.) a -1,20 N·m (-10,6 lbf·pulg.) si la frecuencia de la red de alimentación ca es de 60 Hz; o de 0,00 N·m (0,00 lbf·pulg.) a -1,40 N·m (-12,4 lbf·pulg.) si es de 50 Hz. En cada paso, espere a que se estabilice la velocidad del motor de inducción y haga clic en **Guardar datos**, en la **Tabla de datos**, para registrar los parámetros.
49. En la ventana **Tabla de datos**, guarde los datos registrados.
50. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, detenga el *Motor de impulsión/Freno de par constante negativo*.

En la **Fuente de alimentación**, apague la fuente de alimentación ca trifásica, para detener el motor de inducción trifásico.

51. Usando los datos que acaba de guardar, trace en el mismo gráfico las curvas del factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial en función de la potencia mecánica  $P_M$  producida por el motor de inducción trifásico, con y sin corrección distribuida del factor de potencia.
52. Observe las curvas que ha trazado en las etapas precedentes. ¿El gráfico muestra que el uso de la corrección distribuida del factor de potencia, para corregir el factor de potencia de una carga inductiva-resistiva, con una demanda de potencia reactiva prácticamente fija (tal como el motor de inducción trifásico) mejora significativamente el factor de potencia  $FP_{Ind.}$  de la aplicación industrial? Explique de forma sucinta.

---

---

---

---

---

---

- 53.** Observe los datos que ha registrado en la [Tabla de datos](#) en las etapas 41 y 48 (esto es, los datos obtenidos sin y con corrección distribuida del factor de potencia en el motor de inducción, respectivamente). Compare la intensidad de corriente del motor de inducción  $I_{Mot.}$  medida con corrección distribuida del factor de potencia, respecto de la medida sin dicha corrección. ¿Qué puede concluir?

---

---

---

Considerando su respuesta a la pregunta anterior, ¿cuál es el impacto de aplicar la corrección distribuida del factor de potencia en las líneas y en el equipo (por ejemplo, un transformador de potencia, un contactor o un aparato de protección) en la aplicación industrial que transmite potencia al motor de inducción? Explique de forma sucinta.

---

---

---

---

- 54.** A partir de los resultados obtenidos en esta parte del ejercicio, ¿puede concluir que la corrección distribuida del factor de potencia puede utilizarse para corregir el factor de potencia de una aplicación industrial que contiene cargas resistivas-inductivas con una demanda de potencia reactiva prácticamente fija, como los motores de inducción?

Sí       No

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

## CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió cómo corregir el factor de potencia de una aplicación industrial cuya demanda de potencia reactiva es fija o variable. Se le presentaron los dos tipos principales de corrección del factor de potencia: centralizada y distribuida. Se familiarizó con la corrección del factor de potencia en los circuitos trifásicos.

**PREGUNTAS DE REVISIÓN**

1. ¿Qué es la corrección del factor de potencia y cómo suele alcanzarse? Explique de forma sucinta.

---

---

---

---

---

2. ¿Cuáles son los cuatro principales efectos perjudiciales causados por una aplicación industrial con un bajo factor de potencia, sobre el sistema de distribución del proveedor de electricidad y en la propia aplicación industrial?

---

---

---

---

---

---

3. ¿Cuáles son las ventajas de la corrección centralizada del factor de potencia respecto de la distribuida?

---

---

---

---

---

4. ¿Cuáles son las ventajas de la corrección distribuida del factor de potencia respecto de la centralizada?

---

---

---

---

---

5. ¿Qué tipo de configuración (estrella o delta) es preferible para una batería de condensadores conmutados trifásicos utilizada para implementar la corrección del factor de potencia? Explique de forma sucinta.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tabla de utilización del equipo

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

Equipo		Ejercicio
Modelo	Descripción	1
8134 <sup>(1)</sup>	Puesto de trabajo	1
8221-2 <sup>(2)</sup>	Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos	1
8311 <sup>(3)</sup>	Carga resistiva	1
8321	Carga inductiva	1
8331	Carga capacitiva	1
8823	Fuente de alimentación	1
8942	Correa dentada	1
8951-L	Cables de conexión	1
8960-C <sup>(4)</sup>	Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	1
8990	Computadora personal	1
9063-B <sup>(5)</sup>	Interfaz de adquisición de datos y de control	1
30004-2	Fuente de alimentación de 24 V ca	1

(1) También puede utilizarse el Puesto de trabajo móvil, modelo 8110.  
 (2) También puede utilizarse el modelo 8221-0.  
 (3) Unidad de carga resistiva con una clasificación de tensión correspondiente a la tensión de la red de alimentación ca local. Utilice la variante del modelo -00, -01, -02, -05, -06, -07 o -0A.  
 (4) El modelo 8960-C está compuesto por el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, modelo 8960-2, con los conjuntos Funciones estándares (control manual), modelo 8968-1, y Funciones estándares (control computarizado), modelo 8968-2.  
 (5) El modelo 9063-B está compuesto por la Interfaz de adquisición de datos y de control, modelo 9063, con el conjunto de funciones Instrumentación computarizada, modelo 9069-1.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Glosario de términos nuevos

**armónicos**

Los armónicos de una forma de onda son los componentes de su frecuencia. La frecuencia de cada armónico es un múltiplo de la frecuencia fundamental. Estos son altamente indeseables en las redes ca porque pueden afectar el funcionamiento de otros equipos conectados a la red. Además, disminuyen el factor de potencia de la red y, por lo tanto, su capacidad para transmitir potencia activa.

**corrección centralizada del factor de potencia**

Técnica de corrección del factor de potencia que utiliza una batería de condensadores conmutados para mantener el factor de potencia de una aplicación industrial tan cerca como sea posible de la unidad. En la corrección centralizada del factor de potencia, la batería de condensadores conmutados se conecta en paralelo a la barra de alimentación principal de la aplicación industrial. Un controlador de corrección del factor de potencia controla el requisito de potencia reactiva de la aplicación industrial y determina qué condensadores en la batería deben conectarse o desconectarse para suministrar esta cantidad de potencia reactiva.

**corrección del factor de potencia**

La corrección del factor de potencia consiste en aumentar el factor de potencia de una carga inductiva lo más cerca posible de la unidad. Esto se logra conectando condensadores a la carga para suministrar la cantidad exacta de potencia reactiva que requiere. Cuando se dimensionan adecuadamente, los condensadores suministran toda la potencia reactiva que la carga requiere y, por lo tanto, llevan el factor de potencia a la unidad. El uso de la corrección del factor de potencia puede disminuir significativamente la factura de electricidad de un cliente industrial.

**corrección distribuida del factor de potencia**

Técnica de corrección del factor de potencia que utiliza condensadores ubicados en cargas inductivas significativas de una aplicación industrial. Con la corrección distribuida del factor de potencia, un condensador (es decir, uno por fase en los circuitos trifásicos) se conecta en paralelo a cada carga inductiva importante de la aplicación industrial. El valor del condensador se ajusta para que suministre toda la potencia reactiva absorbida por la carga, restableciendo así el factor de potencia unitario para esta carga. Debido a que se utiliza un condensador de valor fijo para cada carga, la corrección distribuida del factor de potencia sólo puede utilizarse cuando el requisito de potencia reactiva de la carga varía muy poco (por ejemplo, un motor de inducción).

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Tabla de impedancia para los módulos de carga

La siguiente tabla lista los valores de impedancia que pueden obtenerse usando la Carga resistiva, modelo 8311, la Carga inductiva, modelo 8321, o la Carga capacitiva, modelo 8331. La figura 16 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 ( $\Omega$ )			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									

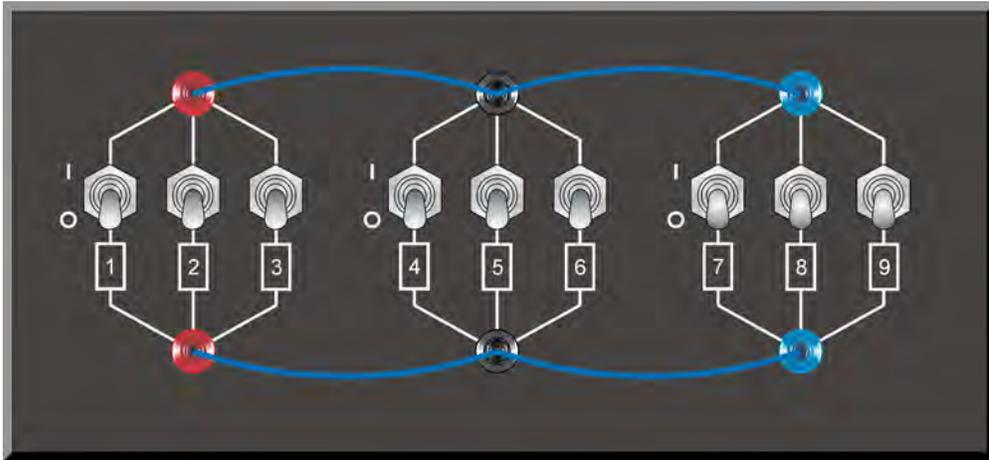


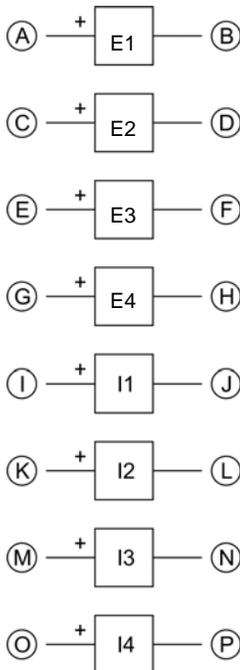
Figura 16. Ubicación de los elementos de carga en la Carga resistiva, Carga inductiva y Carga capacitiva, modelos 8311, 8321 y 8331, respectivamente.

## 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



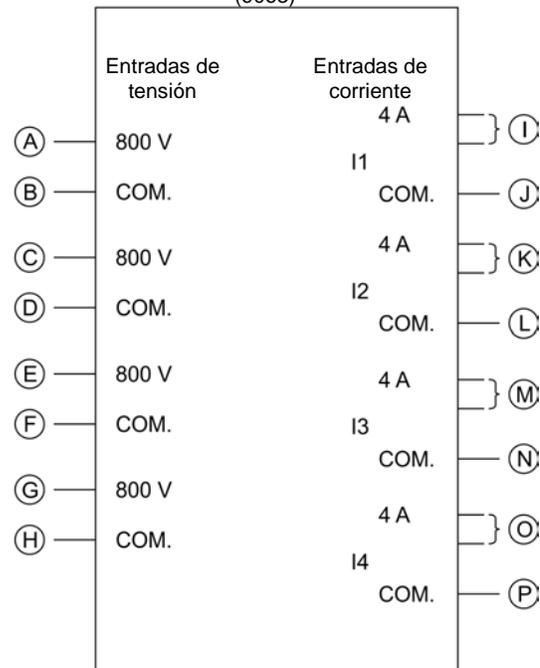
Entradas aisladas para medición de tensión y corriente



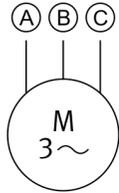
Cuando la corriente de una de las entradas I1, I2, I3 o I4 supera 4 A (de forma permanente o momentánea), utilice el terminal correspondiente de la entrada de 40 A y ajuste el parámetro Gama de dicha entrada en Alta en la pantalla Ajustes de la Interfaz de adquisición de datos y de control del software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

### Equipos y conexiones

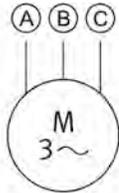
Interfaz de adquisición de datos y de control (9063)



**Símbolo**



Máquina de inducción trifásica



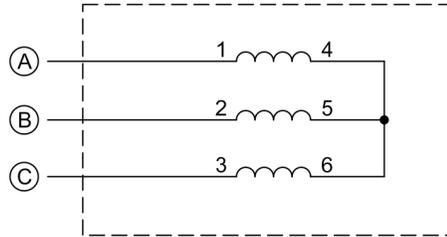
Máquina de inducción trifásica



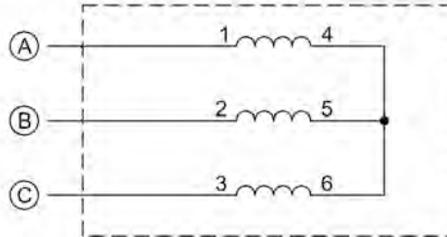
Motor sincrónico trifásico

**Equipos y conexiones**

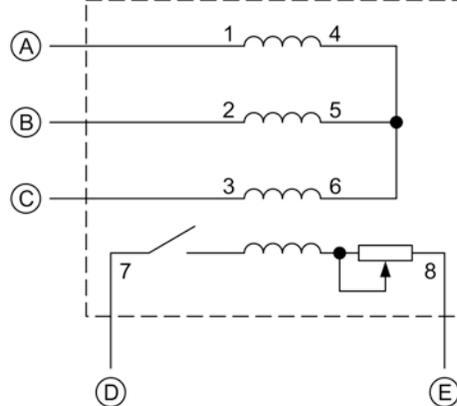
Motor jaula de ardilla de cuatro polos (8221-0)



Máquina de inducción trifásica (8221-2)



Motor/alternador sincrónico trifásico (8241-2)



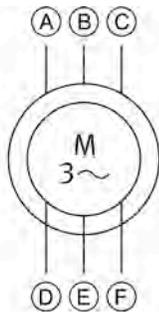
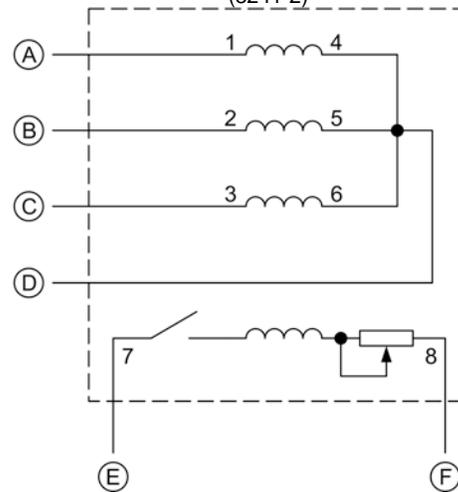
**Símbolo**



Alternador sincrónico trifásico

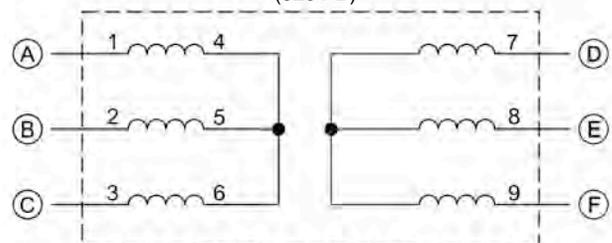
**Equipos y conexiones**

Motor/alternador sincrónico trifásico (8241-2)



Máquina de inducción trifásica de rotor bobinado

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



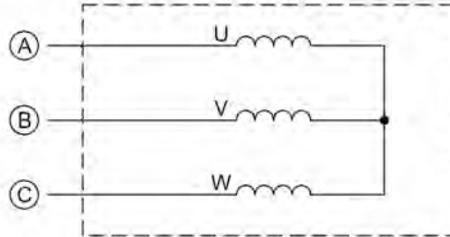
**Símbolo**



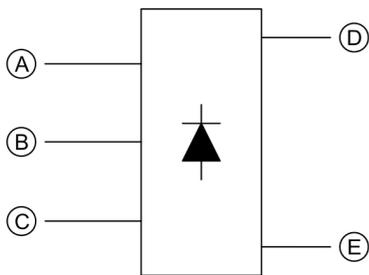
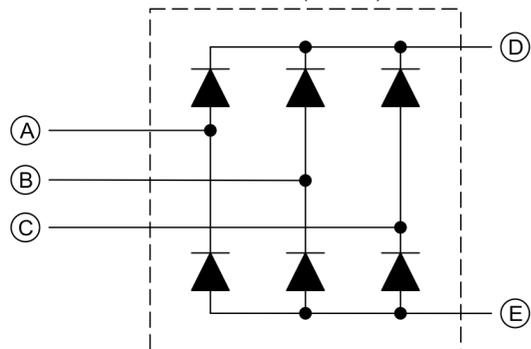
Máquina sincrónica de imán permanente

**Equipos y conexiones**

Máquina sincrónica de imán permanente (8245)

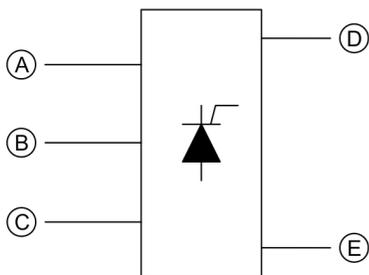
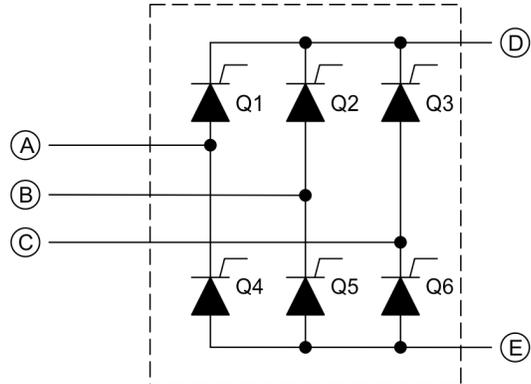


Rectificador y condensadores de filtrado (8842-A)



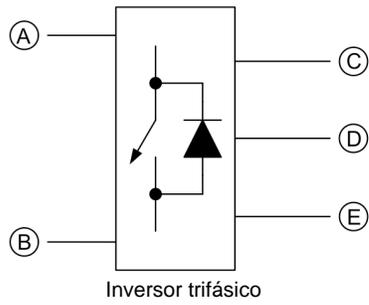
Rectificador trifásico de onda completa con diodos de potencia

Tiristores de potencia (8841)

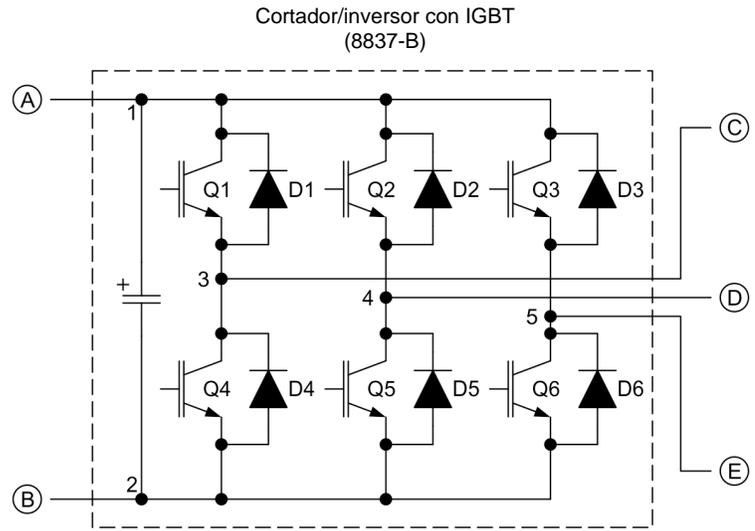


Puente trifásico de tiristores de potencia

**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.*

armónicos.....	<b>12</b>
corrección centralizada del factor de potencia .....	<b>7, 8, 10</b>
corrección del factor de potencia .....	<b>1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12</b>
corrección distribuida del factor de potencia .....	<b>7, 8, 9, 10</b>

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Bibliografía

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

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