

# **Fundamentos de la Distribución Eléctrica**

## **Serie Básica 101**



**Cutler-Hammer**

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

## Temario

**Comenzaremos con una presentación general** para que conozca los aspectos principales de estos dispositivos y sus partes. Después **estudiaremos con detalles cada uno de estos temas:**

<b>Fundamentos de la Distribución Eléctrica</b>	<b>4</b>
Sistema de Distribución Radial	4
Sistema de Distribución en Bucle	4
Sistema de Distribución de Red	4
Sistemas de Empresas de Electricidad	5
Cableado	6
Tipos de Sistema de Potencia	6
<b>Repaso 1</b>	<b>9</b>
<b>Diagrama Unifilar</b>	<b>10</b>
Sistemas Eléctricos	10
Interpretación de Diagramas Unifilares	12
<b>Repaso 2</b>	<b>15</b>
<b>Protección de Sistema</b>	<b>16</b>
condiciones de Sobrecorriente	16
Coordinación del Sistema	17
<b>Estándares y Códigos</b>	<b>19</b>
Estándares	19
Códigos	20
Placas de Fabricante y Etiquetas	21
<b>Repaso 3</b>	<b>22</b>
<b>Glosario</b>	<b>23</b>
<b>Repaso 1 Respuestas</b>	<b>25</b>
<b>Repaso 2 Respuestas</b>	<b>25</b>
<b>Repaso 3 Respuestas</b>	<b>25</b>

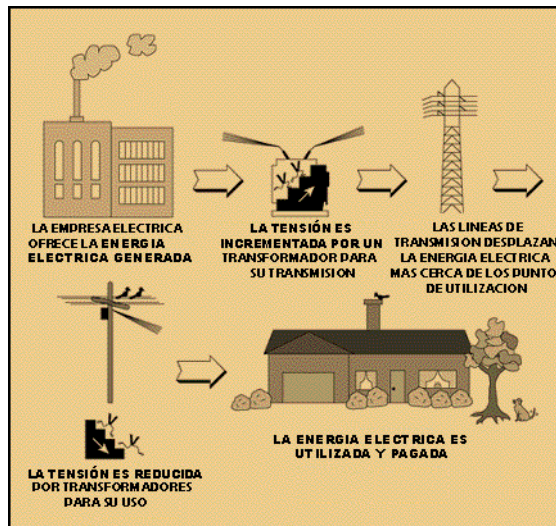
# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

## Bienvenido

Bienvenido al **Módulo 3, Fundamentos de la Distribución Eléctrica.**

Si usted ha terminado exitosamente el Módulo 2, Fundamentos de la Electricidad, está ahora preparado para comenzar a estudiar los sistemas de distribución eléctrica y el equipo asociado. **Si usted no ha terminado el Módulo 2, Fundamentos de Electricidad, le recomendamos que termine ese módulo antes de comenzar el presente.** Este módulo le ofrecerá varios temas diferentes, expresiones y términos comunes del mundo de la distribución eléctrica. Se le presentará información que será empleada en módulos posteriores.

Figura 1. Sistema Sencillo de Distribución Eléctrica



Como los demás módulos en esta serie, este módulo presenta pequeñas secciones fáciles de manejar de material nuevo seguidas por una serie de preguntas sobre este material. Estudie cuidadosamente el material y después conteste a las preguntas sin regresar a lo que usted acaba de leer. Usted será el mejor juez de qué tan bien asimila el material. Repase el material tan frecuentemente como lo considere necesario. Lo más importante es establecer una base sólida para poder pasar de tema en tema y de módulo en módulo.

## Nota sobre las Fuentes

**Los puntos principales se presentan en negritas.**

Los elementos de Glosario se presentan en cursivas y son subrayados la primera vez que aparecen.

## Viendo el Glosario

Las versiones impresas tienen el glosario al final del módulo. Usted puede también hojear el Glosario seleccionando con el mouse la marca de Glosario en el margen izquierdo.

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

## Sistema de Distribución Eléctrica

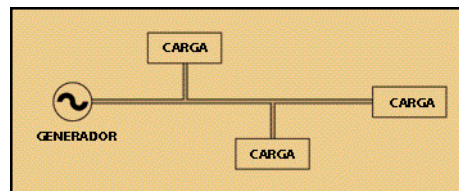
Un sistema de distribución eléctrica es una serie de circuitos eléctricos que suministran energía en la proporción adecuada a domicilios, comercios y plantas industriales. Independientemente del tamaño y de las aplicaciones, el objetivo final es universal: **el suministro económico y seguro de energía eléctrica adecuada a equipos eléctricos.**

En general, existen tres tipos de sistemas de distribución: el *Sistema de Distribución Radial*, *Sistema de Distribución en Bucle* y el *Sistema de Distribución en Red*. El tipo utilizado por la compañía de electricidad depende de los servicios requeridos de la ubicación y de consideraciones económicas.

## Sistema de Distribución Radial

El **Sistema de Distribución Radial** tiene una fuente de energía para un grupo de clientes. Si existe una falla de suministro de energía, todo el grupo se encuentra sin energía. Además, una falla de circuito en algún lugar del sistema podría significar una interrupción de suministro de energía a la totalidad del sistema.

Figura 2. Un Sistema Sencillo de Distribución Radial

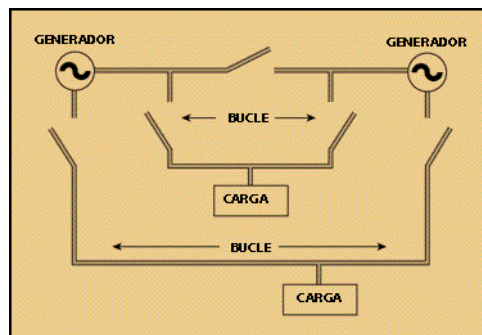


Es el sistema más económico y más ampliamente utilizado. Se emplea para usos residenciales en donde el suministro de electricidad no es crítico si existe una interrupción de alimentación de energía.

## Sistema de Distribución en Bucle

El **Sistema de Distribución en Bucle** crea un bucle en el área de servicio y regresa al punto de origen. La colocación estratégica de interruptores permite que la compañía de electricidad suministre energía a clientes a partir de cualquier dirección. Si una fuente de energía falla, se abre o cierra interruptores para obtener una fuente de energía.

Figura 3. Sistema Sencillo de Distribución en Bucle



Evidentemente, el sistema de bucle ofrece una mejor continuidad de servicio que el sistema radial, con solamente pequeñas interrupciones de servicio durante la conmutación. Puesto que el sistema requiere de equipo adicional para conmutación, es más costoso que el sistema radial. Como resultado, se utiliza para edificios comerciales y centros comerciales en donde es necesario minimizar las interrupciones.

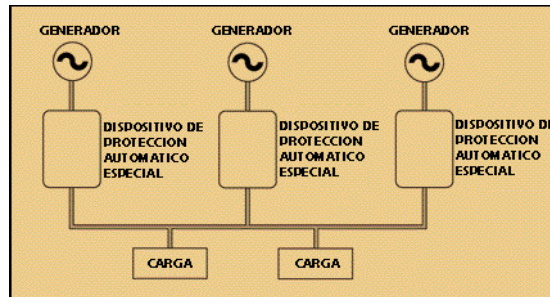
## Sistema de Distribución en Red

El **Sistema de Distribución en Red** es el más costoso y el más confiable en términos de continuidad de servicio. Este sistema consiste de numerosos circuitos de interconexión que operan en la misma tensión de utilización. El cliente está

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

conectado a dos o más fuentes de suministro de energía. Si una fuente de energía falla, el cliente obtiene energía de otras fuentes, sin interrupción.

Figura 4. Sistema Sencillo de Distribución en Red

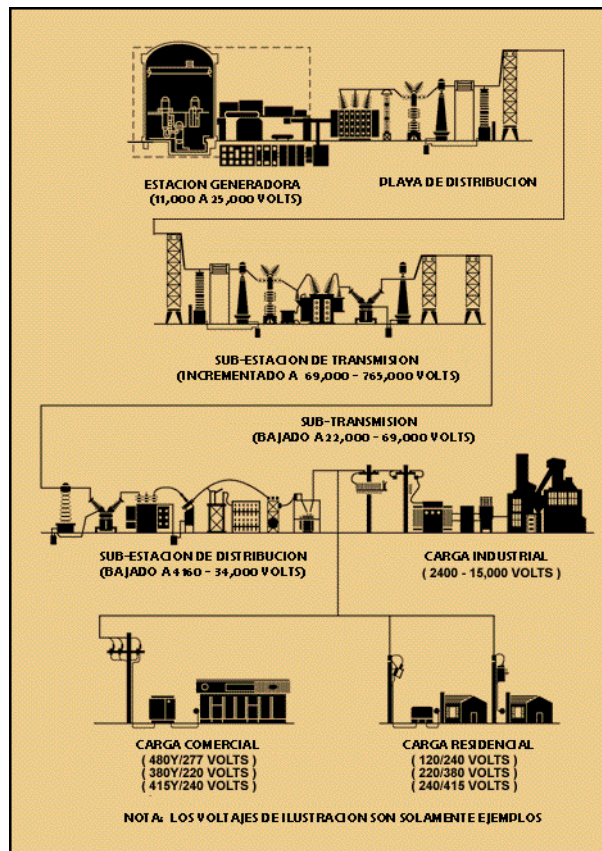


Se utiliza en áreas con demanda importante y/o crítica, tales como grandes complejos de procesos de fabricación críticos e instalaciones de computo centralizadas.

## Sistemas de Empresas de Electricidad

Para entender el Sistema de Distribución Eléctrica, usted tiene que entender el flujo de electricidad desde su generación hasta el usuario final. Para este propósito, vamos a seguir el sistema sencillo de distribución eléctrica en la Figura 5, paso a paso:

Figura 5. Sistema de Distribución Eléctrica



PASO 1: El flujo de electricidad empieza en la compañía de electricidad cuando la electricidad es creada en la **estación de generación**.

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

PASO 2: La tensión es incrementada (aumentada) por un **transformador de generador** en la **Playa de Distribución**. Esto se efectúa para minimizar el tamaño del cable y las pérdidas eléctricas.

PASO 3: La **Sub-estación de Transmisión** incrementa la tensión a través de un Transformador Elevador de 13.8 Kv a 400 Kv por ejemplo. El incremento de la tensión depende de la distancia sobre la cual se desplazará y el tipo de instalaciones al cual se suministrará finalmente. La energía es después distribuida en direcciones múltiples a la **estación de sub-transmisión** apropiada.

PASO 4: La estación de sub-transmisión se encuentra más cerca de su cliente final y como resultado la tensión es reducida por un Transformador Reductor a un nivel entre 23 Kv - 13.8 Kv.

PASO 5: La electricidad es enviada después a la **Sub-estación de Distribución** en donde la tensión es reducida por los Transformadores Reductores a tensiones útiles. La energía es después distribuida a hogares e Instalaciones.

PASO 6: En cada domicilio e instalación o cerca de ellos se encuentran transformadores que ajustan las tensiones al nivel apropiado para uso. Por ejemplo, una gran planta industrial recibirá un nivel de tensión de 13.8 Kv – 440 volts. Utilizará sus propios transformadores reductores en el sitio para producir los diferentes niveles de tensión requeridos en la instalación.

## Cableado

Una de las partes más importantes del sistema de distribución eléctrica es el conductor o cable que lleva la energía desde su fuente hasta su destino. Los cables que atraviesan el país son relativamente pequeños en cuanto a diámetro en comparación las altas tensiones que llevan. ¿Cómo es posible? Para entender el porqué de esta situación, tenemos que ver la fórmula que nos indica la potencia:

$$P = V \times I$$

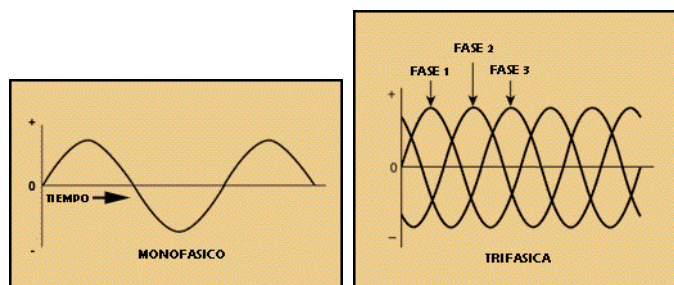
**V= voltaje I = Intensidad P= potencia**

Puesto que la potencia es igual a la tensión multiplicado por la intensidad y puesto que la ecuación es siempre igual en ambos lados, no podemos cambiar la tensión sin cambiar la corriente. Así, cuando se eleva la tensión, la intensidad se tiene que reducir. La reducción de la intensidad permite que la potencia sea transmitida a través de conductores de un diámetro (calibre) menor. Cada reducción del tamaño del conductor reduce el costo y el sistema se vuelve más eficiente.

## Tipos de Sistema de Potencia

Ahora que usted sabe como se transmite la energía, vamos a comentar los dos tipos de energía de CA: Trifásica y Monofásica.

Figura 6. Tipos de Energía CA

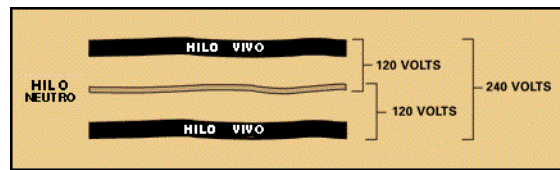


**Sistema Monofásico:** Este sistema es estándar para servicio residencial. Puede consistir de dos o tres hilos que son introducidos en el domicilio en donde se utilizará la energía. El sistema de tres hilos (1 $\phi$ 3W) es más común hoy en día y se

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

comentará aquí. (El sistema de dos hilos ( $1\phi 2W$ ) es común en construcciones más antiguas o en algunos países como México).

Figura 7. Sistema Monofásico de Tres Hilos ( $1\phi 3W$ )



Aún cuando el sistema monofásico moderno emplea tres hilos, es monofásico, no trifásico. Consiste de hecho de tres hilos que entran en el domicilio. Dos hilos vivos y un hilo neutro.

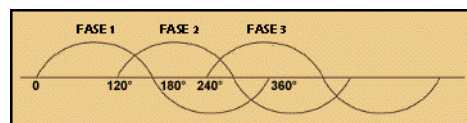
El uso de los tres hilos en combinaciones eléctricas diferentes puede proporcionar tensiones diferentes. Por ejemplo, un circuito puede consistir de uno de los dos hilos vivos y del hilo neutro. Este circuito proporciona 120 volts CA, la tensión requerida para la mayoría de los aparatos eléctricos pequeños y lámparas domésticas.

Otro circuito puede consistir de los dos hilos vivos para proporcionar 240 volts CA, la tensión requerida para equipos eléctricos más grandes tales como secadoras de ropa.

**Sistema Trifásico:** La compañía eléctrica produce energía trifásica, mediante la rotación de tres bobinas a través de un campo magnético dentro de un generador. Conforme giran en el campo magnético, generan energía. Cada fase se encuentra a 120 grados (desfasadas) de las demás.

Cada fase fluye a través del generador en un cable separado. Estas fases son suministradas a los usuarios finales ya sea como energía trifásica o bien como energía monofásica.

Figura 8. Onda Sinusoidal Trifásica



Las instalaciones comerciales e industriales emplean la energía trifásica puesto que es eficiente y permite al equipo funcionar de manera más regular que la energía monofásica. Esto se debe a que cada fase se encuentra a 120 grados de las demás; por consiguiente, el equipo nunca se encuentra con un punto cero. Esto es especialmente importante cuando se trata de motores puesto que cada nueva fase mantiene el motor en funcionamiento.

Además, la energía monofásica está disponible a partir de un sistema trifásico mediante el uso de solamente una de las fases. Esto es benéfico para suministrar energía a luces, receptáculos, dispositivos de calentamiento y acondicionamiento de aire.

Existen dos tipos de sistemas trifásicos: **el sistema trifásico de tres hilos** ( $3\phi 3W$ ) y **el sistema trifásico de cuatro hilos** ( $3\phi 4W$ ). La diferencia principal entre los dos sistemas es que el sistema  $3\phi 4W$  tiene un hilo neutro.

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

Figura 9. Sistema Trifásico de Tres Hilos

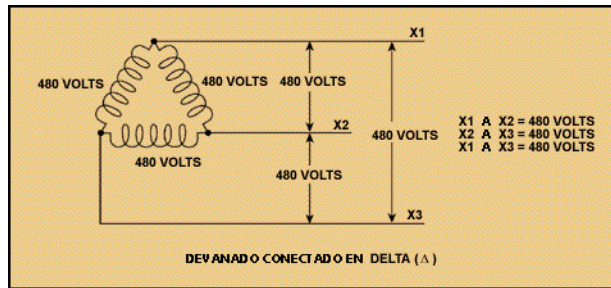
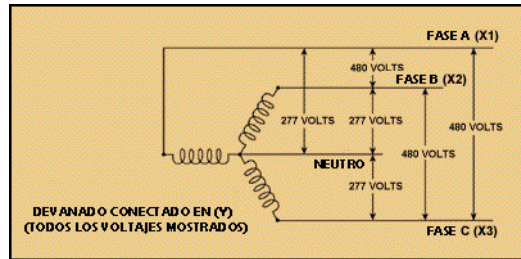


Figura 10. Trifásico, Cuatro Hilos



Estos sistemas ofrecen una amplia gama de tensiones posibles, incluyendo 208, 240, 277, 480 y 600 volts. Las tensiones disponibles son determinadas por la configuración de alambrado dentro del transformador. Varias de estas configuraciones de alambrado estarán abarcadas en el Módulo 4, Transformadores. **Los sistemas de energía Trifásica tienen numerosas ventajas :**

- Proporcionan energía a grandes sitios industriales e instalaciones comerciales de manera eficiente.
- La electricidad monofásica está disponible a partir de un sistema trifásico.
- La energía trifásica permite la operación regular y eficiente de equipos industriales pesados.



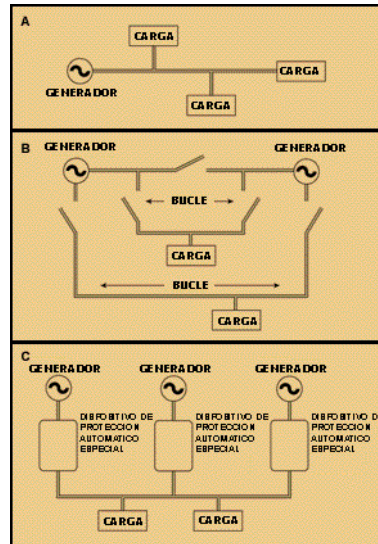
# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

## Repaso 1

Conteste las siguientes preguntas sin ver el material que se le acaba de presentar. Empiece la siguiente sección cuando esté seguro que entiende lo que ya ha leído.

1. ¿Cuáles de los tres sistemas de distribución utilizados por la compañía de electricidad ilustrados abajo ofrece la mayor continuidad de servicio y cuál es el más económico para construir y mantener?

A ó B ó C



Mayor Continuidad: \_\_\_\_\_

Más Económico: \_\_\_\_\_

2. El equipo eléctrico utilizado para incrementar o reducir las tensiones es un \_\_\_\_\_.
3. Cuando la compañía eléctrica genera electricidad, reduce habitualmente la tensión antes que ingrese al sistema de transmisión puesto que es más seguro y más económico desplazar tensiones más bajas hasta los puntos de utilización.  
VERDADERO FALSO
4. Un transformador que reduce la tensión se conoce como un transformador \_\_\_\_\_.
5. El hecho de poder obtener electricidad monofásica a partir de un sistema trifásico es una de las ventajas de un sistema trifásico. Indique dos ventajas adicionales de un sistema de energía trifásica.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Diagramas Unifilares

### Sistemas Eléctricos

Mostramos habitualmente el sistema de distribución eléctrica a través de una representación gráfica conocida como *Diagrama Unifilar*. Una línea puede mostrar la totalidad o una parte de un sistema. Es muy versátil y completo puesto que puede ilustrar circuitos CD muy sencillos, o bien un sistema trifásico muy complejo.

Utilizamos *Símbolos Eléctricos* universalmente aceptados para representar los diferentes componentes eléctricos y su relación dentro de un sistema o circuito. Para interpretar los diagramas unifilares, usted tiene que familiarizarse primero con los símbolos eléctricos. A continuación presentamos los símbolos más frecuentemente utilizados.

Figura 11. Tabla de Símbolos Eléctricos Comunes

Símbolo	Identificación	Explicación
	Transformador	Representa varios transformadores del tipo lleno de líquido hasta el tipo seco. Se imprime habitualmente la información adicional al lado del símbolo indicando las conexiones de devanado, tensiones primario/secundarios, impedancia y características nominales en KVa o MVA.
	Interruptor de circuito removible/removible	Representa normalmente un interruptor de circuito removible de 5kV y más.
	Posición de interruptor de circuito removible/removible futuro	Representa una estructura equipada para aceptar un interruptor de circuito en el futuro (se conoce habitualmente como provisiones).
	Interruptor de circuito no removible	Representa un interruptor de circuito de baja tensión.
	Interruptor de circuito removible/removible	Representa un interruptor de circuito de baja tensión removible.
	Interruptor de desconexión	Representa un interruptor en aplicaciones de baja o alta tensión (se muestra en posición abierta).
	Fusible	Representa fusibles de baja tensión y potencia.
	Barra colectora	Representa una barra colectora de baja y alta tensión.
	Transformador de Corriente	Representa transformadores de corriente montados en equipo ensamblado. Se muestra una relación de 4000A a 5A.
	Transformador de Potencial	Representa transformadores de potencial habitualmente montados en equipo ensamblado. Se muestra una relación de 480V a 120V.
	Tierra	Representa un punto de conexión a tierra.
	Batería	Representa una batería en un paquete de equipo.
	Motor	Representa un motor que se muestra también con una "M" dentro del círculo. Información adicional del motor se imprime habitualmente al lado del símbolo, como por ejemplo la potencia, rpm y tensión.
	Contacto normalmente abierto	Puede representar un contacto simple o un interruptor mono-polo en posición abierta para control de motor.

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

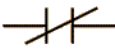
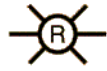





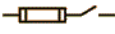
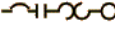
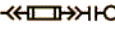
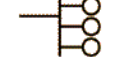

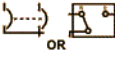
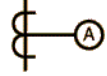






Símbolo	Identificación	Explicación
	Contacto normalmente cerrado	Puede representar un contacto simple o un interruptor mono-polo en posición cerrada para control de motor.
	Luz Piloto	La letra indica el color. El color indicado es rojo.

Figura 12. Símbolos Eléctricos Comunes (Continuación)

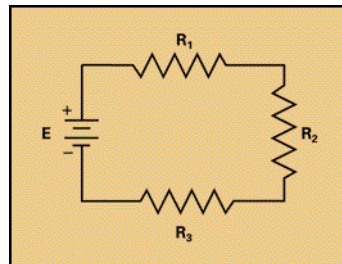
Símbolo	Identificación	Explicación
	Relevador de sobrecarga	Protege un motor en caso de una sobrecarga.
	Capacitor	Representa varios capacitores.
	Amperímetro	Una letra se muestra habitualmente para indicar el tipo de medidor . (A = amperímetro, V = voltímetro, etc.).
	Relevador de protección contra sobrecorriente instantánea	El número del dispositivo indica el tipo de relevador (50 = corriente instantánea, 59 = sobretensión, 86 = bloqueo, etc.).
	Generador de Emergencia	El símbolo se muestra frecuentemente en combinación con un interruptor de transferencia.
	Interruptor con fusible	El símbolo es una combinación de un fusible y un interruptor en posición abierta.
	Control de medidor de Baja tensión	El símbolo es una combinación de un contacto normalmente abierto (interruptor), relevador de sobrecarga, motor y dispositivo de desconexión.
	Arrancador de motor de media tensión	El símbolo es una combinación de un fusible removible, un contacto normalmente abierto (interruptor) y motor.
	Centro de Medidor	Una serie de símbolos circulares que representan medidores habitualmente montados en un gabinete común.
	Centro de carga o tablero	Un interruptor que representa un dispositivo principal y otros interruptores que representan circuitos de alimentación habitualmente en un gabinete común.
	Conmutador de transferencia	Conmutador de transferencia de tipo interruptor de circuito (izquierda) o bien conmutador de transferencia de tipo no interruptor de circuito (derecha).
	Transformador de corriente con amperímetro conectado	El instrumento conectado podría ser un instrumento diferente o bien varios instrumentos diferentes identificados por la letra.
	Relevadores protectores conectados a un transformador de corriente	Los números de dispositivo indican los tipos de relevadores conectados, por ejemplo: 67 = Sobrecorriente direccional 51 = Sobrecorriente temporal.

Notas	<p>1. Algunos dispositivos, especialmente dispositivos más nuevos, pueden no tener símbolos universalmente aceptados. Estos dispositivos pueden ser representados de varias maneras, habitualmente es un asunto de elección personal. En algunos casos, el símbolo es acompañado por una descripción verbal. Ejemplos de esta situación son : </p> <p>2. En numerosos casos, el mismo símbolo puede representar varios componentes. Se distinguen habitualmente entre ellos por letras o números, por ejemplo:  que representan, respectivamente, un motor, un medidor de watt-hora, un amperímetro y un relevador protector de sobrecorriente.</p> <p>3. Símbolos universalmente aceptados tienen frecuentemente información adicional proporcionada cerca. Esto distingue símbolos similares entre ellos. Los siguientes ejemplos son típicos:</p>
	Identifica el interruptor de circuito removible representado por el símbolo como un interruptor de 1200 amperes .
	Identifica el interruptor de circuito fijo representado por el símbolo como un interruptor tri-polar de 225 amperes.
	Indica que el transformador representado por el símbolo está conectado "Delta-Y."

## Interpretación de Diagramas de Unifilar

Ahora, que usted está familiarizado con los símbolos eléctricos, vamos a ver cómo se utilizan para interpretar diagramas unifilares. Abajo presentamos un circuito eléctrico sencillo.

Figura 13. Diagrama Sencillo Unifilar

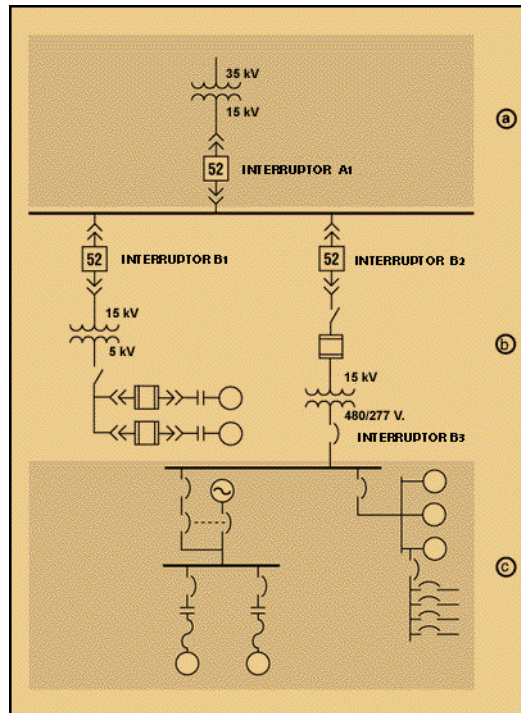


Usted puede ver a través de los símbolos que se trata de un diagrama unifilar que tiene tres resistencias y una batería. La electricidad fluye desde el lado negativo de la batería a través de resistencias hacia el lado positivo de la batería.

Ahora vamos a ver un diagrama unifilar industrial. Cuando se interpreta un diagrama unifilar, se debe siempre comenzar en la parte superior en donde se encuentra la tensión más alta y seguir hasta la tensión más baja. Esto ayuda a entender correctamente las tensiones y sus trayectorias.

Para explicar esto de manera más fácil, hemos dividido el diagrama unifilar en tres secciones.

Figura 14. Un Diagrama Unifilar Industrial Típico



## Área a

Comenzando a partir de arriba, usted observará que un transformador está alimentando energía a todo el sistema. El transformador reduce la tensión de 35kV a 15kV, de conformidad con lo indicado por los números que están al lado del símbolo del transformador.

Una vez bajada la tensión, se encuentra un interruptor de circuito removible (A1). ¿Reconoce usted el símbolo del interruptor de circuito removible? Usted puede considerar que este interruptor puede manejar 15kV puesto que se encuentra relacionado con el lado del 15 kV del transformador y no se indica nada diferente en el diagrama unifilar.

Después del interruptor de circuito removible (A1) a partir del transformador, está unido a una línea horizontal más gruesa. Esta línea horizontal representa una Barra Conductora Eléctrica, que es un dispositivo utilizado para llevar electricidad a otras áreas o circuitos. (Más información sobre Conducto para Barras Conductoras puede encontrarse en el Módulo 14).

## Área b

Usted observará que dos interruptores de circuito removibles adicionales (B1 y B2) se encuentran en la barra conductora y alimentan otros circuitos, que se encuentran a 15kV puesto que no ha habido ninguna indicación de cambio de tensión en el sistema.

Unido al interruptor de circuito removible (B1), se utiliza un transformador reductor para llevar la tensión en esta área del sistema de 15kV a 5kV.

En el lado de 5kV de este transformador, se muestra un interruptor desconectador. El desconectador se utiliza para conectar o aislar el equipo debajo del transformador. El equipo debajo del desconectador se encuentra a 5kV puesto que nada indica lo contrario.

## Fundamentos de la Distribución Eléctrica

¿Reconoce usted el equipo unido al lado inferior del interruptor desconectador como dos arrancadores de motor de media tensión? Numerosos arrancadores podrían estar conectados según los requerimientos particulares del sistema.

Ubique ahora el segundo interruptor de circuito removible (B2). Este interruptor de circuito está fijado sobre un interruptor desconectador con fusible y está conectado a un transformador reductor. Obsérvese que todo el equipo debajo del transformador se considera ahora como un equipo de baja tensión puesto que la tensión ha sido reducida a un nivel de 600 volts o menos.

El último equipo eléctrico en la parte media del diagrama es otro interruptor de circuito (B3). Esta vez, sin embargo, el interruptor de circuito es un Interruptor de Circuito de Baja Tensión Fijo, de conformidad con lo indicado por el símbolo.

Pasando al área inferior del diagrama unifilar, obsérvese que el interruptor de circuito (B3) en la parte media está conectado a la barra conductora en la parte inferior.

### Área c

En la parte izquierda inferior y conectado a la barra conductora se encuentra otro interruptor de circuito fijo. Observe cuidadosamente el siguiente grupo de símbolos. ¿Reconoce usted el símbolo del conmutador de transferencia automática?

Observe también que un símbolo de círculo que represente un generador de emergencia está conectado al conmutador de transferencia automática. Esta área del diagrama unifilar nos indica que es importante que el equipo conectado debajo del conmutador de transferencia automática siga funcionando, aún si se pierde la energía proveniente de la barra conductora. Usted puede decir a partir del diagrama unifilar que el conmutador de transferencia automática conectaría el generador de emergencia al circuito para mantener el equipo en funcionamiento si se perdiera la energía proveniente de la barra conductora.

Un circuito de control de motor de baja tensión está unido al conmutador de transferencia automática a través de una barra conductora de baja tensión. Cerciérese que usted reconoce estos símbolos. Aún cuando sabemos la función exacta del control de motor de baja tensión en este circuito, es evidente que es importante mantener el equipo conectado y funcionando. Una Especificación escrita proporcionaría normalmente los detalles de la aplicación.

En la parte derecha de la tercera área se encuentra otro interruptor de circuito fijo conectado a la barra conductora. Está unido a un centro de medidores, de conformidad con lo indicado por el símbolo formado por tres círculos. Esto indica que la compañía eléctrica está utilizando tres medidores para dar seguimiento a la energía consumida por el equipo debajo del centro de medidores.

Debajo del centro de medidores se encuentra un Centro de carga o Tablero que está alimentando numerosos circuitos más pequeños. Esto podría representar un centro de carga en un edificio que alimenta energía a las luces, aire acondicionado, calentadores y cualquier otro equipo eléctrico conectado al edificio.

Este análisis simplificado de un diagrama unifilar le da la idea de la información que estos diagramas nos proporcionan en cuando a conexiones y equipo eléctricos. Aún cuando algunos diagramas unifilares pueden aparecer excesivamente complejos debido a su tamaño y a la amplia gama de equipos representados, pueden analizarse siempre utilizando el mismo método de paso a paso.

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

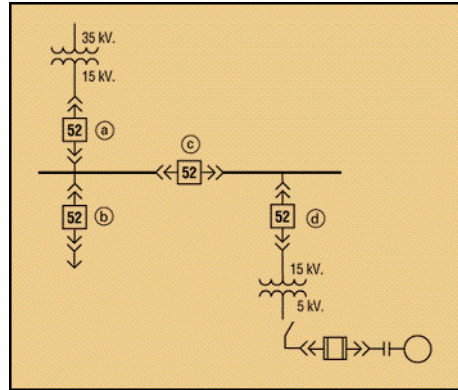
## Repaso 2

Conteste las siguientes preguntas sin ver el material que acabamos de presentar. Empiece la siguiente sección cuando esté seguro que entiende lo que ha leído.

- Un diagrama unifilar muestra los componentes, relaciones eléctricas y conexiones con un circuito monofásico solamente, de ahí viene el nombre de diagrama unifilar.

VERDADERO FALSO

- En un diagrama unifilar ilustrado abajo, el interruptor desconectador mostrado tendría que tener una tensión nominal de ¿cuántos volts, considerando que usted no tiene ninguna información adicional?



- Los cuatro interruptores de circuito removibles mostrados en el diagrama unifilar para la pregunta 2 son indicados por medio de las letras a, b, c, y d. ¿Cuántos de los cuatro interruptores de circuito son interruptores de circuito de clase 5kV? \_\_\_\_\_
- Al lado de los símbolos eléctricos ilustrados abajo, ponga el nombre del componente eléctrico que representa.

- 
- 
- 
- 
- 
-

## Protección de Sistema

El objetivo primario de todo sistema de distribución de energía eléctrica es ofrecer energía a equipo eléctrico con la mayor seguridad. La protección del sistema se diseña para agregar los objetivos restantes de protección de equipo/conductor y continuidad del servicio al costo más razonable.

Los equipos de protección, tales como interruptores de circuito en gabinetes moldeados, durante condiciones de *Sobrecorriente*, deben aislar rápidamente la sección afectada del sistema de alimentación de energía para mantener el servicio a las demás secciones. Deben también minimizar los daños a los equipos y limitar la magnitud o duración de la suspensión del servicio. Primero comentaremos lo que son las condiciones sobrecorriente y después hablaremos de coordinación de sistema.

## Condiciones de Sobrecorriente

**Sobrecorriente:** Es una corriente que es más alta que la cantidad de corriente que un conductor o equipo puede llevar con seguridad. Una condición de sobrecorriente no controlada puede provocar daño al aislamiento y/o equipo como resultado de una temperatura excesiva o de esfuerzos dinámicos excesivos. **El aislamiento del cable es la parte más vulnerable a las condiciones de sobrecorriente.** El conductor mismo puede resistir un nivel extremadamente alto de calor pero el aislamiento alrededor del conductor no.

Existen tres tipos de condiciones de sobrecorriente:

- Sobrecargas
- Corto circuitos
- Fallas de conexión a tierra

**Sobrecarga:** Las *Sobrecargas* son el resultado de colocar cargas excesivas en un circuito, más allá del nivel que el circuito puede manejar con seguridad. Un deterioro del aislamiento en conductores eléctricos es el resultado más frecuente de tales condiciones de sobrecarga.

Cuando existe una condición de sobrecarga, ocurre una acumulación de temperatura entre el aislamiento y el conductor.

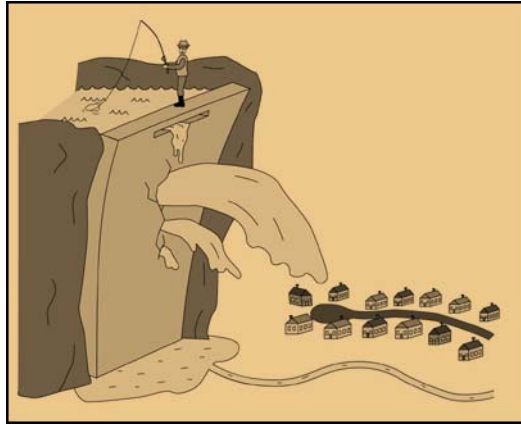
¿Cuántas veces ha tenido que ir al centro de carga en su domicilio y reemplazar un interruptor de circuito? Se crea una condición de sobrecarga, se acumula calor, y el interruptor de circuito se abre para proteger el cable y, en última instancia, la casa.

**Corto circuitos:** Los *Corto circuitos*, frecuentemente conocidos como *Fallas*, son habitualmente causados por corrientes anormalmente altas que fluyen cuando falla el aislamiento de un conductor. Cuando el aislamiento que protege una fase de otra fase, o bien una fase de la tierra se rompe, se puede esperar el flujo de corrientes de corto circuito. La condición de corto circuito debe ser eliminada rápidamente para proteger el sistema contra daños.

Una simple analogía con el agua puede emplearse para comparar la corriente que fluye normalmente en un circuito con una corriente de corto circuito.



Figura 15. Corto circuito en una Presa



Se construye una gran presa que alimenta una cantidad controlada de agua a un pequeño río. Corriente abajo, se construye una pequeña ciudad a lo largo de las orillas del río. La cantidad de agua que se deja entrar al río con seguridad es independiente de la cantidad de agua que se encuentra atrás de la presa. Si la presa se rompe y libera repentinamente el agua acumulada atrás, la ciudad podría ser dañada o hasta arrastrada. Esta masa repentina de agua es como el flujo de la corriente en un circuito en condiciones de falla. El daño depende de la cantidad de agua almacenada atrás de la presa o de la cantidad de corriente disponible para alimentar la falla.

**Fallas de conexión a Tierra:** Una *Falla a Tierra* es un tipo particular de corto circuito. Es un corto circuito entre una de las fases y la tierra. Es probablemente la falla de bajo nivel más común, especialmente en el caso de circuitos de baja tensión.

Las corrientes de falla de conexión a tierra frecuentemente no son de gran magnitud y pueden no ser detectadas durante largos períodos. Este tipo de falla puede ocurrir en toma-corrientes eléctricas localizadas en baños o en otras áreas en donde agua puede estar presente.

## Coordinación del Sistema

Debido a las condiciones de sobrecorriente que pueden ocurrir en sistemas de distribución, se debe coordinar apropiadamente este sistema. Existen tres tipos de coordinaciones de sistema: *Totalmente Calibrado*, *Coordinado Selectivamente* y *Calibrado en Serie*.

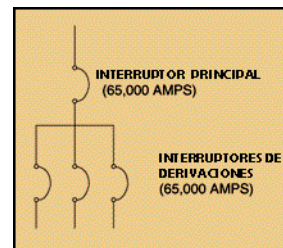
**Sistemas Totalmente Calibrados:** En un sistema totalmente calibrado, todos los interruptores son calibrados para operar independientemente. Tienen todos una *Calibración de Disparo* adecuada para la *Corriente de Falla Máxima* disponible en su punto de aplicación. Todos los interruptores están equipados con elementos disparadores de sobrecorriente instantánea de largo período de retardo.

El método de calibración completa selecciona dispositivos de protección de circuito con calibraciones iguales o mayores que la corriente de falla disponible.

## En Campo

Si un edificio tiene 65,000 amperes de corriente de falla disponible a la entrada del servicio, cada dispositivo de protección de circuito debe también ser calibrado a 65,000 amperes. Abajo presentamos el diagrama unifilar correspondiente a este caso. Un sistema de este tipo proporciona una excelente protección a los circuitos y es muy confiable.

Figura 16. Sistema Totalmente Calibrado



La continuidad del servicio es poco menor que en un sistema coordinado selectivamente, pero el costo inicial es también menor. Cuando se compara con un sistema de combinación en serie, el sistema totalmente calibrado ofrece el mismo nivel de continuidad de Servicio a un costo inicial mayor.

**Sistemas Coordinados Selectivamente:** Como en el caso del sistema totalmente calibrado, todos los interruptores están totalmente calibrados para interrumpir la corriente de falla máxima disponible en su punto de aplicación. El sistema coordinado optimiza selectivamente la continuidad del servicio puesto que solamente el interruptor más cercano a la falla opera para aislar el circuito que presenta la falla.

Cada interruptor corriente arriba en el sistema de distribución de energía incorpora disparadores con retardos cortos. El interruptor corriente arriba debe poder resistir los esfuerzos térmicos y magnéticos causados por la corriente de falla durante el período requerido para que se dispare el interruptor más cercano a la falla.

La selectividad del sistema puede basarse, hasta cierto punto, en lo siguiente:

- Magnitud de la corriente de falla proporcionando selectividad de corriente.
- Tiempo de resistencia a la falla que proporciona selectividad de tiempo.
- Tanto corriente como tiempo que proporcionan selectividad completa.

El sistema coordinado selectivamente es el más costoso de los tres sistemas básicos. Sin embargo, ofrece la mejor protección global de equipo y la máxima continuidad de servicio.

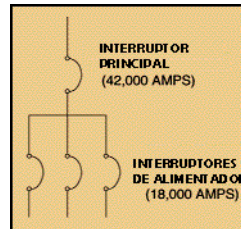
**Sistema Calibrado en Serie:** El sistema calibrado en serie establece que el dispositivo de protección de circuito corriente arriba principal debe tener una calibración de interrupción igual o mayor que la corriente de falla disponible del sistema, pero dispositivos corriente abajo conectados en serie pueden ser calibrados en valores menores. Cuando ocurre una falla, tanto el dispositivo principal como el dispositivo corriente abajo deben abrirse para resolver la falla.

Combinaciones de interruptores calibrados en serie deben ser probadas en serie con el objeto de ser Listadas por UL.

## En Campo

Por ejemplo, un edificio con 42,000 amperes de corriente de falla disponible puede tener el interruptor en la acometida calibrada a 42,000 amperes y los interruptores adicionales corriente abajo calibrados a 18,000 amperes.

Figura 17. Sistema Calibrado en Serie



Sistemas calibrados en serie se contemplan para su uso en sistemas en los cuales circuitos derivados son primariamente alumbrados y otras cargas resistivas. Si los circuitos derivados suministran cargas de motor, se deben emplear sistemas totalmente calibrados o bien sistemas selectivamente coordinados.

La ventaja principal de este sistema es que permite utilizar interruptores de derivación económicos. Sin embargo, puesto que ambos interruptores se disparan en el caso de una falla mayor, la continuidad del servicio puede no ser tan buena como en el caso de los demás sistemas.

Los tres sistemas básicos ofrecen protección de conductores eléctricos y equipo con la misma eficacia. El costo inicial y la continuidad del servicio son los factores variables. La decisión en cuanto a qué sistema de protección utilizar debe basarse en las variables y necesidades de aplicación.

## Estándares y Códigos

La industria eléctrica está regida por un grupo de *Estándares* y *Códigos* para diseñar, fabricar y suministrar equipo eléctrico, y puesto que somos parte de una economía global, deben incluir tanto consideraciones domésticas como internacionales. No hay espacio para compromisos cuando se trata de desempeño, calidad y seguridad. Estándares y códigos estrictos se establecen para ofrecer un grupo de lineamientos con relación al diseño, prueba y fabricación de todos los tipos de equipo eléctrico.

## Estándares

Numerosos estándares están establecidos a través de un proceso de consenso dentro de una industria particular. Una vez logrado el consenso, los estándares son publicados por organizaciones de estándares independientes tales como *ANSI* (American National Standards Institute) [Instituto Americano de Estándares Nacionales].

Ciertos estándares no son requeridos, pero puede ser imposible vender un equipo particular en una cierta área del mundo a menos que cumpla con el estándar relevante.

Hoy en día, muchos estándares de países diferentes establecen lineamientos similares. Un equipo que cumple con un grupo de estándares puede también cumplir con otro grupo con cambios menores. En la mayoría de los casos, sin embargo, el cumplir los requisitos de un grupo de estándares debe ser comprobado y certificado a través de prueba.

La prueba se efectúa frecuentemente en laboratorios de prueba independientes. Por ejemplo, usted está probablemente familiarizado con UL (Underwriters Labo-

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

ratories, Inc.). Muchos equipos son diseñados, construidos y probados de conformidad con los estándares de UL. Los equipos electrodomésticos en su domicilio tienen la aprobación de UL. Usted puede no saber exactamente lo que requiere UL de este equipo, pero la aprobación de UL le da confianza en el sentido que funcionará con seguridad si se emplea correctamente.

Figura 18. Etiqueta de UL



## Códigos

Los códigos eléctricos son grupos de reglas establecidas por cuerpos rectores que establecen:

- Tipo de equipo a utilizar en una situación dada
- Uso apropiado
- Procedimiento de instalación, incluyendo cómo y dónde debe instalarse.

Los códigos llevan habitualmente condiciones **obligatorias** y pueden aplicarse a nivel nacional o bien en un área más limitada, como por ejemplo un solo municipio local. De cualquier manera, tales códigos pueden ser utilizados para facilitar la instalación exitosa del equipo, o bien suspender dicha instalación. Los códigos son poderosos y se debe tener conciencia de los varios códigos y de sus aplicaciones.

Uno de los grupos de códigos más conocidos es el NEC (National Electrical Code), que funciona en combinación con los requisitos de UL. Estos códigos son aplicables en todos los Estados Unidos de América, y rigen todos los equipos eléctricos utilizados en sistemas de distribución de energía, desde la fuente hasta los domicilios particulares, y aún la configuración de los equipos en las casas.

Conforme usted aprenda sobre diferentes tipos de equipo eléctrico, tomará conciencia de los estándares y códigos más importantes para este tipo de equipo en particular. Por ahora, es suficiente tener conciencia de su existencia e importancia.

A continuación presentamos una lista de los estándares y códigos más comunes (pero esta lista dista mucho de ser completa):

- ANSI (American National Standards Institute)
- BSI (British Standards Association)
- CE Mark (Certified European Mark)
- CEC (Canadian Electric Code)
- CSA (Canadian Standards Association)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)
- ISO (International Standards Organization)
- NEC (National Electrical Code)
- NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

## Placas de Fabricante y Etiquetas

- UL (Underwriters Laboratories, Inc.)

Un equipo eléctrico tiene habitualmente una placa de fabricante que ofrece información valiosa en cuanto a la potencia nominal del equipo y las condiciones en las cuales puede operar. Además, ensambles eléctricos tienen placas para identificar estándares aplicables y para determinar el equipo aplicable apropiado. Uno se tiene que acostumbrar a leer las placas y la información que ofrecen.

Las placas pueden encontrarse en los siguientes lugares:

- Fijadas sobre el equipo mismo
- Fijadas sobre el material de empaque durante el embarque
- En la literatura relacionada con el equipo

Las etiquetas pueden servir para varios propósitos:

- Ofrecer instrucciones de manejo e instalación
- Ofrecer información de operación
- Actuar como característica de seguridad dando advertencias y/o precauciones en cuanto a peligros y problemas específicos.

Uno de los usos más importantes de las etiquetas es como característica de seguridad. La mejor forma de eliminar peligros es diseñar un equipo a prueba de impericia. Puesto que de vez en cuando, las personas han rebasado los mejores esfuerzos de los diseñadores para hacer diseños a prueba de fallas, es necesario advertir a la gente en cuanto a los peligros potenciales.

Las etiquetas de seguridad contienen una sola palabra con tipografía grande, por ejemplo PELIGRO, ADVERTENCIA, PRECAUCIÓN o AVISO. La palabra utilizada depende de la clasificación del peligro potencial.

Figura 19. Apariencia Típica de Etiquetas de Seguridad de Advertencia y Precaución



# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

## Repaso 3

Conteste las siguientes preguntas sin hacer referencia al material que se le acaba de presentar.

1. La parte más vulnerable de un circuito eléctrico a condiciones de sobrecorriente es el \_\_\_\_\_.
2. Liste los tres tipos de condiciones de sobrecorriente.
  - a. \_\_\_\_\_
  - b. \_\_\_\_\_
  - c. \_\_\_\_\_
3. ¿Qué condiciones de sobrecorriente tiene habitualmente la menor magnitud de corriente? \_\_\_\_\_
4. En sus propias palabras explique el funcionamiento del NEC.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
5. Las etiquetas de seguridad alertan rápidamente a una persona del grado de peligro potencial o problema mediante el empleo de una sola palabra en tipografía grande como por ejemplo:



Liste otras dos palabras

- a. \_\_\_\_\_
- b. \_\_\_\_\_

## Glosario

<b>ANSI</b>	Abreviatura de American National Standards Institute. No desarrolla estándares, sino que funciona como una entidad coordinadora para el propósito de alentar el desarrollo y la adopción de estándares valiosos.
<b>Códigos</b>	Reglas establecidas por entidades rectoras para el uso y la instalación apropiados y seguros de equipo eléctrico.
<b>Barra Conductora Eléctrica</b>	El(los) conductor(es) habitualmente hecho(s) de cobre o aluminio, que lleva(n) la corriente y sirve(n) como conexión común para dos o más circuitos.
<b>Símbolos Eléctricos</b>	Representaciones gráficas de componentes eléctricos.
<b>Falla</b>	Véase “Corto circuito”.
<b>Corriente de Falla Máxima</b>	El pico de amperaje creado durante una falla eléctrica.
<b>Interruptor de Circuito de Baja Tensión Fijo</b>	Un interruptor calibrado para menos de 1000V y atornillado en una posición fija con una barra conductora o cable mecánicamente atornillado sobre terminales de interruptor.
<b>Totalmente Calibrado</b>	Es un tipo de coordinación de sistema en donde todos los interruptores son calibrados para operar independientemente.
<b>Falla a Tierra</b>	Un corto circuito entre una de las fases y la tierra.
<b>Calibración de Disparo</b>	La corriente de corto circuito máxima que un dispositivo de protección contra sobrecorriente puede interrumpir con seguridad.
<b>Centro de carga</b>	Interruptores de baja tensión montados dentro de un gabinete común que comparten una barra conductora común.
<b>Sistema de Distribución de Bucle</b>	La fuente de energía forma un bucle a través del área de servicio y regresa al punto de origen. Si una fuente de energía falla, se pueden abrir o cerrar interruptores para suministrar la energía.
<b>NEC</b>	National Electric Code — un grupo de estándares para instalaciones eléctricas aplicables en todos los Estados Unidos de América y publicados por la National Fire Protection Association. El NEC trabaja con los requisitos de UL y requiere habitualmente de cumplimiento obligatorio.
<b>Sistema de Distribución en Red</b>	Circuitos interconectados conectan el cliente a dos o más fuentes de energía. Es el más confiable para la continuidad del servicio.
<b>Diagrama Unifilar</b>	Una representación gráfica de un sistema de distribución eléctrica.
<b>Sobrecorriente</b>	Una corriente mayor que la corriente que un conductor o un componente eléctrico puede manejar con seguridad.

# Fundamentos de la Distribución Eléctrica

<b>Sobrecarga</b>	Una acumulación de temperatura provocada por cargas excesivas en un circuito provocando daño al aislamiento del conductor.
<b>Tablero</b>	Véase “Centro de carga”.
<b>Sistema de Distribución Radial</b>	Una fuente de energía para un grupo de clientes. Una falla de circuito en el sistema provoca una interrupción de energía para todos en el sistema.
<b>Coordinado Selectivamente</b>	Un tipo de coordinación de sistema en donde todos los interruptores están totalmente calibrados en el punto de aplicación.
<b>Calibrado en Serie</b>	Un tipo de coordinación de sistema en donde el dispositivo de protección de circuito corriente arriba principal debe tener una calibración de interrupción igual o mayor que la corriente de falla disponible del sistema.
<b>Corto circuito</b>	Corriente anormalmente elevada frecuentemente causada por una falla de aislamiento.
<b>Monofásica</b>	Solamente una fase de las tres fases se utiliza para tensión.
<b>Especificación</b>	Las descripciones detalladas de equipo eléctrico a proporcionar para una aplicación.
<b>Estándares</b>	Lineamientos y reglamentos para la fabricación de equipo electrónico.
<b>Transformador Reductor</b>	Reduce la tensión de salida que se le suministra.
<b>Transformador Elevador</b>	Incrementa la tensión de salida que se le suministra.
<b>Trifásica</b>	Tres corrientes de electricidad rotadas a través de un campo magnético y distribuidas en tres cables.
<b>Listadas por UL</b>	Listada por Underwriters Laboratory, un laboratorio independiente que prueba los equipos para determinar si cumplen con ciertos estándares de seguridad cuando se emplean apropiadamente.



## Respuestas del Repaso 1

1. C, A
2. Transformador
3. Falso
4. Reductor
5. Permite que equipos industriales pesados operen de manera regular y eficiente. Puede ser transmitido sobre largas distancias con tamaños de conductores menores.

## Respuestas del Repaso 2

1. Falso
2. 5 kV
3. Ninguna
4.
  - a. Transformador
  - b. Interruptor Removible
  - c. Fusible
  - d. Contacto Normalmente Cerrado
  - e. Control de Motor de Baja Tensión (Arrancador de Combinación)
  - f. Interruptor Desconectador

## Respuestas del Repaso 3

1. Aislamiento de Conductor (Cable)
2.
  - a. Sobrecarga
  - b. Corto circuito
  - c. Falla de conexión a Tierra
3. Falla de conexión a Tierra
4. National Electric Code — un grupo de estándares para instalaciones eléctricas aplicables en todos los Estados Unidos de América y publicado por la National Fire Protection Association. El NEC funciona con requisitos de UL y habitualmente debe ser cumplido forzosamente.
5. Dos de los siguientes:  
Peligro  
Precaución  
Aviso