

# Capítulo E

## Distribución en instalaciones de BT

### Índice

<b>1</b>	<b>Esquemas de distribución de BT</b>	<b>E2</b>
	1.1 Principios	E2
	1.2 Disponibilidad de energía eléctrica	E9
	1.3 Calidad de la energía eléctrica	E10
	1.4 Seguridad de las instalaciones de servicios de emergencia y fuentes de alimentación auxiliares	E13
<b>2</b>	<b>Esquemas de conexión a tierra</b>	<b>E17</b>
	2.1 Conexiones a tierra	E17
	2.2 Definición de los esquemas de conexión a tierra normalizados	E18
	2.3 Características de los esquemas TT, TN e IT	E21
	2.4 Criterios de selección de esquemas TT, TN e IT	E23
	2.5 Elección del método de conexión a tierra - implementación	E25
	2.6 Instalación y mediciones de las tomas de tierra	E26
<b>3</b>	<b>El sistema de instalación</b>	<b>E30</b>
	3.1 Cuadros de distribución	E30
	3.2 Cables y canalizaciones	E33
<b>4</b>	<b>Influencias externas (IEC 60364-5-51)</b>	<b>E40</b>
	4.1 Definición y normas de referencia	E40
	4.2 Clasificación	E40
	4.3 Lista de influencias externas	E40
	4.4 Protección proporcionada para equipos cerrados: códigos IP e IK	E43

E1

# 1 Esquemas de distribución de BT

## 1.1 Principios

### Principales esquemas de distribución de baja tensión

En una instalación típica de baja tensión los circuitos de distribución se originan en un cuadro general de baja tensión desde el que los conductores alimentan cargas a través de cuadros de distribución secundaria y/o cuadros terminal.

#### Niveles de distribución de baja tensión

En las instalaciones medianas y grandes se utilizan por lo general tres niveles de distribución para suministrar alimentación de baja tensión a todas las cargas:

- Distribución desde el cuadro general de baja tensión (CGBT).

En este nivel, la alimentación de uno o más transformadores de media/baja tensión conectados a la red de media tensión de la compañía eléctrica se distribuye a:

- Diferentes áreas de la instalación: talleres de una fábrica, zonas de producción homogéneas de instalaciones industriales, plantas de edificios de oficinas, etc.
- Cargas centralizadas de gran potencia como compresores de aire y unidades de refrigeración por agua en procesos industriales o sistemas de aire acondicionado y ascensores de edificios de oficinas.

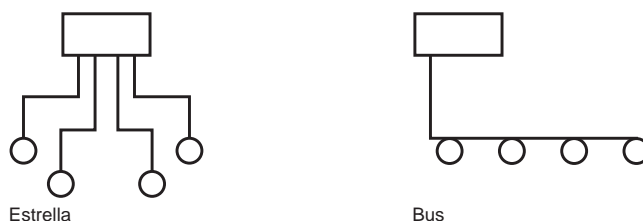
- Distribución secundaria utilizada para distribuir la electricidad en cada zona.

- Distribución terminal, utilizada para suministrar las diversas cargas.

Topologías básicas (véase la **Figura E1**).

Todos los esquemas de distribución son combinaciones de dos topologías básicas:

- Topología de estrella: distribución radial (o centralizada).
- Topología de bus: distribución mediante canalizaciones eléctricas (también se denominan sistemas de canalización eléctrica).



**Fig. E1:** Las dos topologías básicas de los esquemas de distribución.

### Selección de un esquema de distribución

El esquema de distribución de baja tensión se selecciona de acuerdo con una serie de criterios que incluyen:

- Requisitos de disponibilidad de energía.
- Tamaño de la instalación (superficie y alimentación total que debe distribuirse).
- Disposición de las cargas (equipos y densidad de la alimentación).
- Requisitos de flexibilidad de la instalación.
- Requisitos de disponibilidad de energía.

La creación de circuitos independientes para diferentes partes de una instalación permite:

- Limitar las consecuencias de un defecto en el circuito en cuestión.
- Simplificar la localización de defectos.
- Llevar a cabo trabajo de mantenimiento o extensiones de los circuitos sin interrumpir el suministro de alimentación a toda la instalación.

Por lo general se necesitan los siguientes grupos de circuitos:

- Circuitos de iluminación (en los que se produce la mayoría de los defectos de aislamiento).
- Circuitos de tomas de corriente.
- Circuitos de calefacción, ventilación y aire acondicionado.
- Circuitos para la fuerza motriz.
- Circuitos de suministro eléctrico para servicios auxiliares (indicación y control).
- Circuitos para sistemas de seguridad (iluminación de emergencia, sistemas de protección contra incendios y circuitos de fuentes de alimentación sin interrupción (UPS) para sistemas informáticos, etc.), cuya instalación está sujeta normalmente a normativas y códigos profesionales estrictos.

- Tamaño de la instalación:

□ Los emplazamientos pequeños se suministran directamente desde la red de baja tensión de la instalación, y el tamaño y los requisitos de alimentación de la instalación eléctrica no justifican el uso de un sistema de distribución de 3 niveles (véase la **Figura E2** en la página opuesta). La distribución eléctrica en instalaciones pequeñas (tiendas, hogares, oficinas pequeñas, etc.) a menudo sólo implica uno o dos niveles.

# 1 Esquemas de distribución de BT

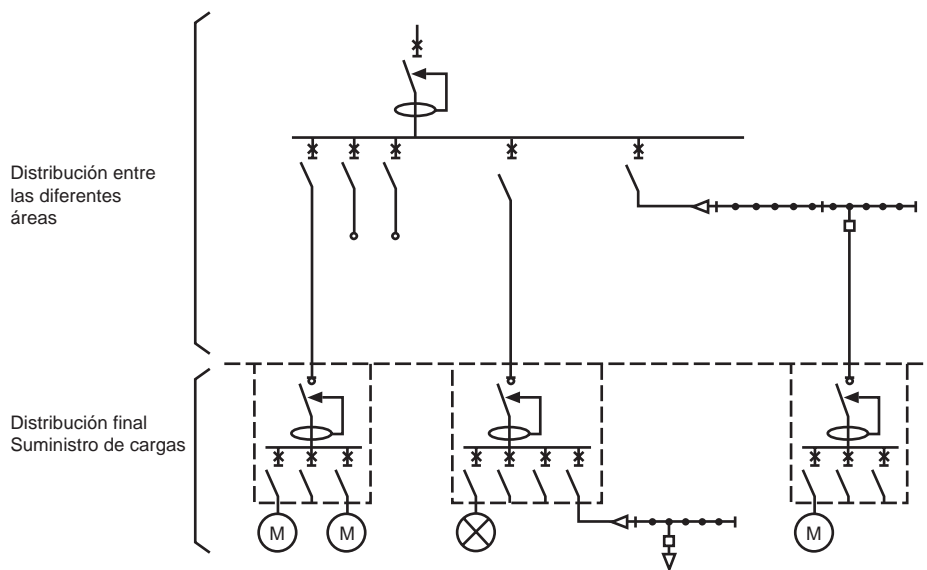


Fig. E2: Instalaciones pequeñas.

- Los emplazamientos medianos (p. ej., fábricas y edificios de oficinas) se conectan por lo general a la red de MT de la compañía (véase la **Figura E3**). Uno o más transformadores y sus CGBT suministran electricidad a toda la instalación.
- Los grandes emplazamientos industriales o infraestructuras (p. ej., aeropuertos) se conectan por lo general a la red MT de la compañía. Un esquema de distribución MT suministra alimentación a los centros de transformación de MT/BT ubicados en puntos diferentes de la instalación, como se muestra en la **Figura E4** de la página siguiente.

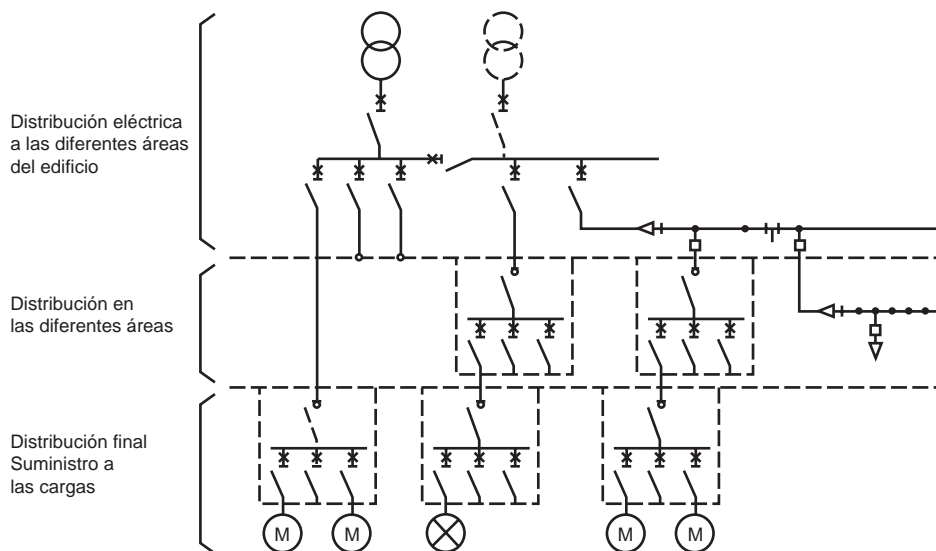


Fig. E3: Instalaciones medianas.

# 1 Esquemas de distribución de BT

E4

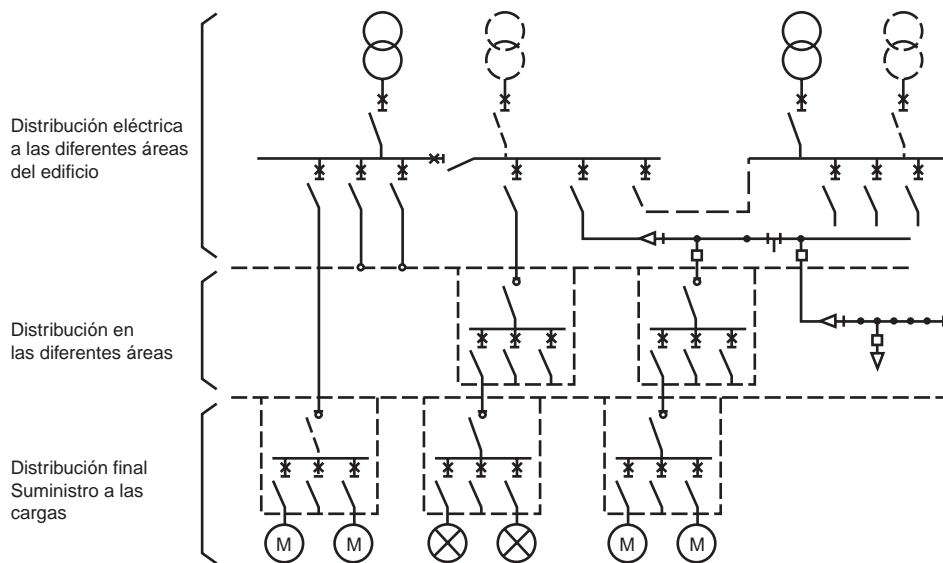


Fig. E4: Grandes emplazamientos industriales o infraestructuras.

■ Disposición de las cargas en el emplazamiento.

Deben tenerse en cuenta dos tipos de cargas, en función de su disposición en el emplazamiento:

- Cargas concentradas, que corresponden por lo general a instalaciones de edificios utilizadas para todo el emplazamiento y que requieren gran potencia (p. ej., unidades centralizadas de aire acondicionado, ascensores, unidades de refrigeración de supermercados y compresores de aire en aplicaciones industriales).
- Cargas distribuidas que pueden gestionarse en grupos correspondientes a una zona homogénea (planta, taller de fábrica, cadena de producción) y se caracterizan por dos parámetros: densidad de alimentación (en VA/m<sup>2</sup>) y densidad de equipos (en número de dispositivos por cada 10 o 100 m<sup>2</sup>) (véase la Figura E5).

	Baja densidad de alimentación < 100 VA/m <sup>2</sup>	Alta densidad de alimentación > 100 VA/m <sup>2</sup>
Baja densidad de equipos		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Centros de maquinaria</li> <li>■ Sistemas de aire acondicionado en techos de fábricas o supermercados</li> </ul>
Alta densidad de equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Iluminación</li> <li>■ Sistemas informáticos de oficinas: ordenadores, impresoras de inyección de tinta</li> <li>■ Estaciones de trabajo manuales, p. ej., en la industria textil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Talleres mecánicos, imprentas</li> </ul>

Fig. E5: Ejemplo de cargas concentradas y distribuidas.

■ Requisitos de flexibilidad de la instalación.

La flexibilidad de la instalación es un requisito cada vez más importante, especialmente en instalaciones comerciales e industriales. Esta necesidad afecta principalmente a las cargas distribuidas y está presente en cada nivel de distribución:

- Nivel de cuadro de distribución general de baja tensión: flexibilidad de diseño, que permite distribuir la alimentación eléctrica a diferentes áreas de la instalación sin un conocimiento detallado de las necesidades al nivel de distribución secundaria. Ejemplo típico: en los edificios de oficinas se utilizan bajantes para distribuir la electricidad a todas las plantas. Su tamaño depende de los requisitos de alimentación medios de toda la instalación y permiten atender posteriormente los requisitos de alimentación sumamente heterogéneos de cada planta, aunque no se conozcan con exactitud durante la fase de diseño.
- Nivel de distribución secundaria: flexibilidad de instalación y funcionamiento.
- Nivel de distribución terminal: flexibilidad de utilización.

- Ubicación del centro de transformación y el cuadro de distribución general de baja tensión.

El punto de partida del diseño de una instalación eléctrica, y la ubicación física de los cuadros de distribución secundaria y terminal, es un plano del edificio en cuestión en el que se indique la ubicación de las cargas junto con sus requisitos de alimentación. Por razones tanto técnicas como económicas, el CT de media/baja tensión, las alimentaciones auxiliares y el cuadro de distribución general de baja tensión deberían situarse lo más cerca posible del centro eléctrico de la zona de cargas. En una gran instalación industrial es posible ubicar de la misma manera una serie de centros de transformación de media/baja tensión y CGBT, es decir, en función del centro eléctrico de la zona de cargas.

Sin embargo, deben considerarse otros muchos factores, concretamente el acuerdo de la compañía eléctrica en cuanto a la ubicación del centro de transformación de media/baja tensión y sus obras de ingeniería relacionadas.

Pueden utilizarse canalizaciones, denominadas asimismo sistemas de canalización eléctrica prefabricada, para garantizar un alto grado de flexibilidad de cara a las futuras extensiones o modificaciones del sistema de distribución eléctrica. Para asegurar que la mayor flexibilidad de cara a las futuras modificaciones no afecte negativamente a la facilidad de uso, podrá ser necesario instalar dispositivos de protección lo más cerca posible de las cargas.

### Ejemplos de esquemas de distribución

- Distribución radial arborescente.

Este esquema de distribución es el más utilizado y por lo general sigue disposiciones similares a las mostradas a continuación:

- Ventajas:

- En caso de producirse un defecto sólo se desactiva un circuito.
- Los defectos se localizan con facilidad.
- El mantenimiento o las extensiones de los circuitos se pueden llevar a cabo mientras el resto de la instalación sigue prestando servicio. Los tamaños de los conductores se pueden reducir para adaptarlos a los menores niveles de corriente hacia los circuitos secundarios finales.

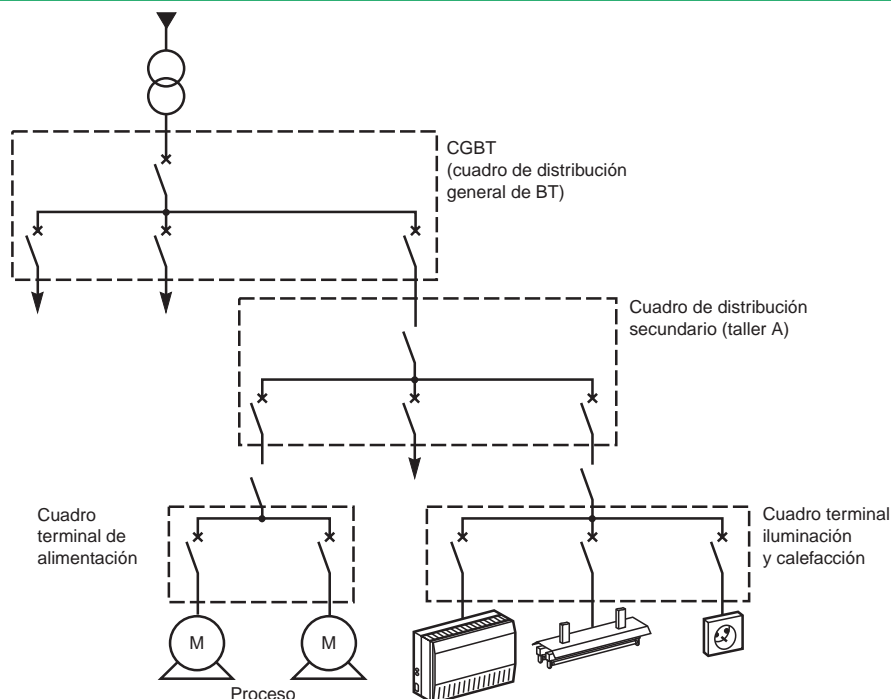
- Inconvenientes:

- Un defecto que ocurra en uno de los conductores procedentes del cuadro de distribución general de BT cortará el suministro a todos los circuitos de los cuadros de distribución secundaria y de distribución terminal relacionados situados aguas abajo.

- Cableado convencional (véase la **Figura E6**).

El cableado convencional resulta adecuado para edificios destinados a un uso específico en los que el sistema de distribución eléctrica es relativamente estable, como hogares, hoteles, actividades agrícolas, escuelas, etc.

Ventajas específicas: paso prácticamente sin restricciones para conductos, cajas de cables, canalizaciones, etc.

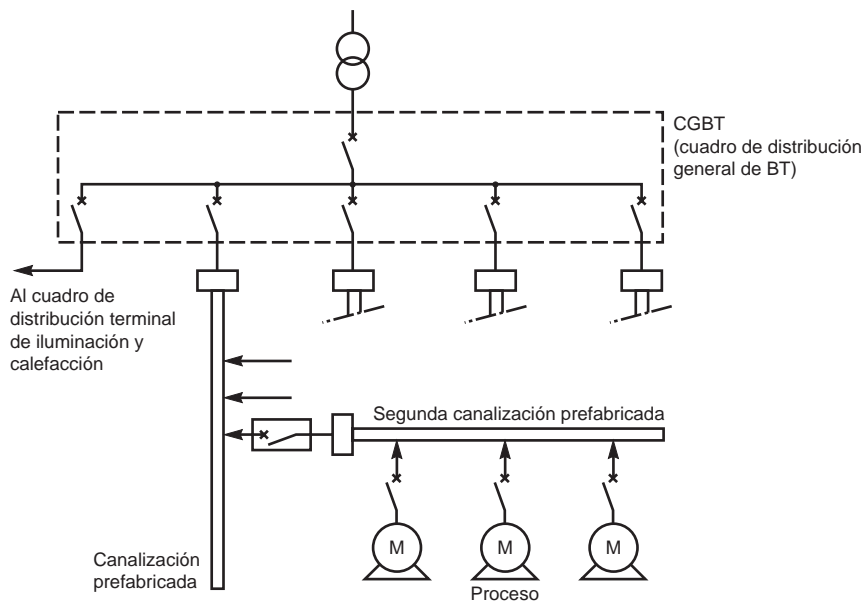


**Fig. E6:** Distribución radial ramificada mediante cableado convencional a 3 niveles.

# 1 Esquemas de distribución de BT

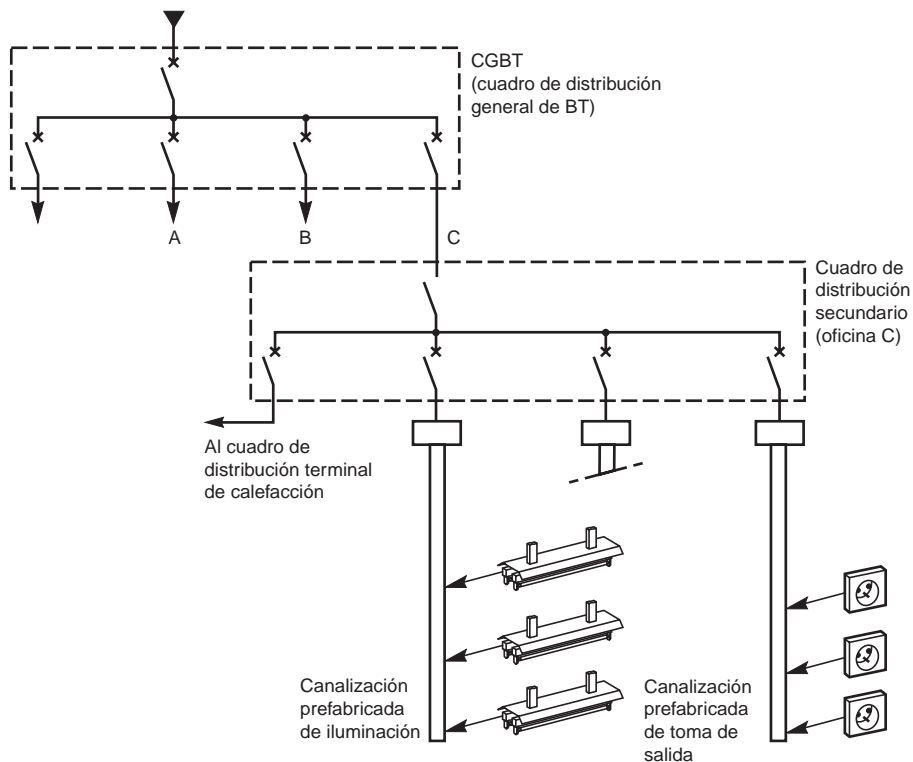
□ Canalización prefabricada para distribución secundaria (véase la **Figura E7**).  
 Las canalizaciones son una solución excelente para instalaciones en los sectores industrial y comercial que estarán sometidas a cambios en el futuro.  
 Ventajas específicas: instalación flexible y sencilla en grandes zonas diáfanas.

E6



**Fig. E7:** Distribución radial arborescente mediante canalización prefabricada a nivel de distribución secundaria.

□ Canalización prefabricada para distribución terminal (véase la **Figura E8**).  
 Para oficinas, laboratorios y todas las instalaciones modulares sometidas a cambios frecuentes.  
 Ventajas específicas: una solución flexible, atractiva y fácil de instalar para la distribución terminal en ubicaciones en las que las divisiones pueden cambiar de acuerdo con las necesidades de los clientes.



**Fig. E8:** Distribución radial arborescente mediante canalización prefabricada para la distribución terminal a sistemas de iluminación y tomas de corriente.

# 1 Esquemas de distribución de BT

## ■ Distribución radial pura (llamada de peine).

Este esquema (véase la **Figura E9**) se utiliza para fines de control centralizado, gestión, mantenimiento y supervisión de una instalación o un proceso dedicado a una aplicación concreta:

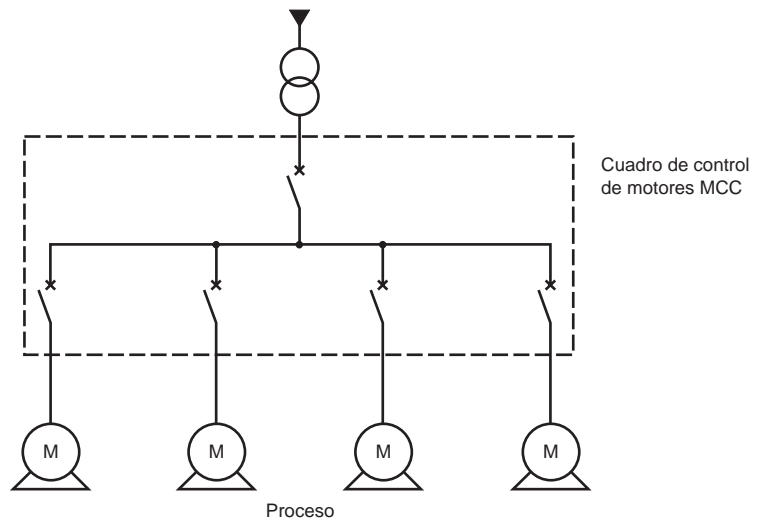
### □ Ventajas:

– Si se produce un defecto (excepto a nivel de barra), sólo se interrumpirá un circuito.

### □ Inconvenientes:

– Exceso de cobre debido al número y la longitud de los circuitos.

– Elevadas prestaciones mecánicas y eléctricas de los dispositivos de protección (proximidad de la fuente, que depende de la corriente de cortocircuito en el punto considerado).



**Fig. E9:** Distribución radial pura.

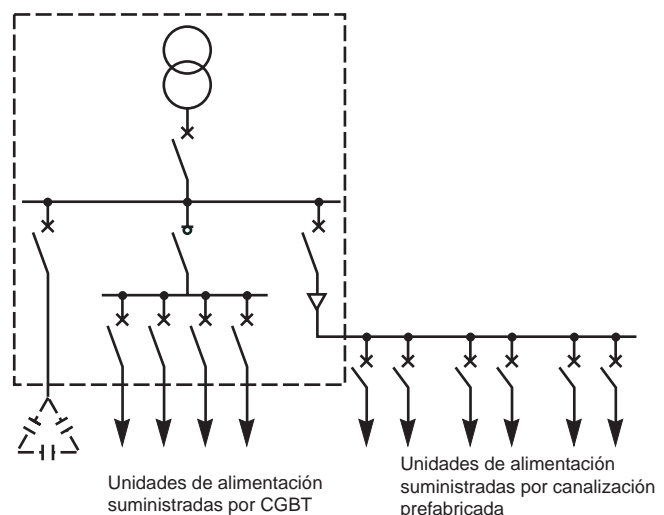
## ■ Distribución mixta desde los CGBT y canalizaciones eléctricas de gran potencia.

### Principio.

Se pueden utilizar unas canalizaciones eléctricas de gran potencia conectadas al CGBT para suministrar a los alimentadores en otros lugares de la instalación. Estos alimentadores suministran a los cuadros de distribución secundaria y/o a las canalizaciones eléctricas de distribución secundaria. Para requisitos de gran potencia, los transformadores y CGBT también pueden estar repartidos por la instalación. En este caso se pueden utilizar canalizaciones eléctricas para interconectar los diferentes CGBT.

A continuación se muestran algunos ejemplos (véase la **Figura E10** a continuación y la **Figura E11** de la página siguiente):

### □ CGBT único.



**Fig. E10:** Ejemplo con un solo CGBT.

# 1 Esquemas de distribución de BT

□ Transformadores de media/baja tensión y CGBT repartidos por la instalación.

E8

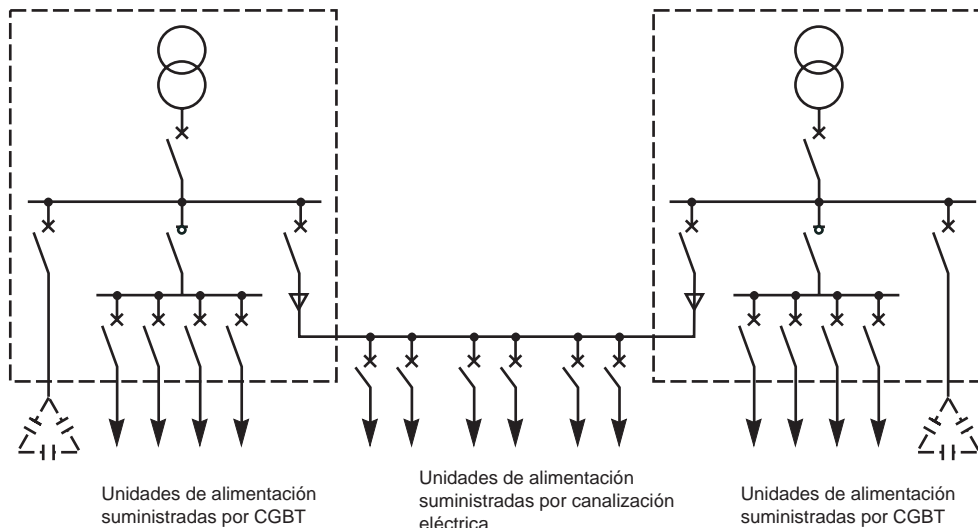


Fig. E11: Ejemplo con 2 subestaciones.

□ Ventajas:

- Mayor flexibilidad de diseño, independencia de diseño y de instalación a nivel de cuadro de distribución general de baja tensión con respecto al nivel de distribución secundaria, mayor disponibilidad de energía en la instalación.
- Las fuentes en paralelo garantizan la disponibilidad de la alimentación eléctrica si se produce un defecto en una de ellas. También permiten tener en cuenta la falta de uniformidad en la distribución de la potencia de las cargas en la instalación.

### Cambio de sistemas de neutro

En las grandes instalaciones de baja tensión normalmente se utilizan dos niveles de tensión:

- 380, 400 o 415 V (o en casos excepcionales 480 V), principalmente para motores (aplicaciones de procesos).
- 220, 230 o 240 V (o en casos excepcionales 277 V) para circuitos de iluminación y de tomas de corriente.

Cuando el neutro no está distribuido, se instalan transformadores de media/baja tensión allí donde se necesite un neutro. Estos transformadores proporcionan un aislamiento galvánico de los circuitos y hacen posible cambiar el sistema de neutro y mejorar las características de aislamiento principales (véase la **Figura E12**).

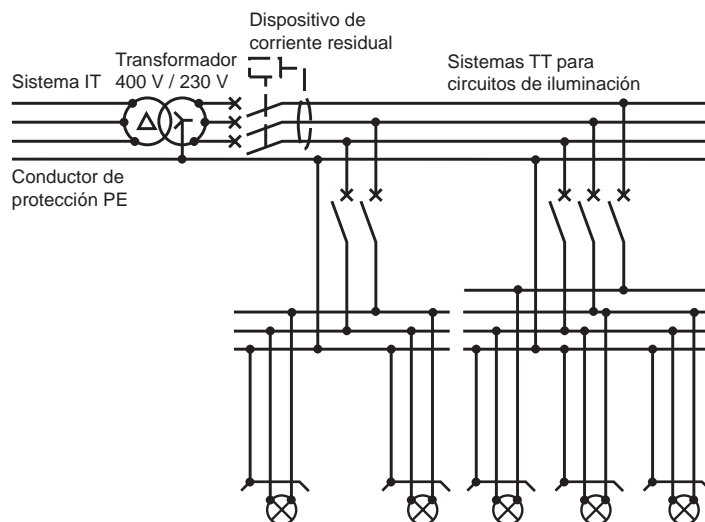


Fig. E12: Uso de un transformador monofásico o trifásico para cambiar de un esquema IT a uno TT.

## 1.2 Disponibilidad de energía eléctrica

La alta disponibilidad de la alimentación eléctrica se consigue mediante:

- La división adecuada de la instalación.
- El uso de equipos auxiliares.
- La subdivisión y duplicación de los circuitos importantes.
- El tipo de la aparamenta a tierra (IT, por ejemplo).
- Esquemas de protección selectivos.

### División de las instalaciones

Para los requisitos de gran potencia se pueden utilizar varios transformadores para separar cargas sensibles o generadoras de perturbaciones, por ejemplo:

- Sistemas informáticos, que son sensibles a la oscilación de la tensión (caídas y picos) y a la distorsión de las formas de onda (armónicos).
- Circuitos que generan armónicos, como lámparas de descarga, convertidores eléctricos de diversos tipos (rectificadores controlados mediante tiristores, inversores, controladores de la velocidad de motores, etc.).
- Circuitos que generan variaciones de tensión excesivas, como motores grandes, hornos de arco, etc.
- Circuitos sometidos a variaciones de la resistencia de aislamiento.

### Equipos auxiliares

Entre los ejemplos cabe citar el suministro duplicado desde CT de MT/BT, unidades generadoras de emergencia, estaciones de alimentación privadas, UPS y unidades de iluminación de emergencia independientes.

### Subdivisión de los circuitos

Los circuitos se pueden subdividir de acuerdo con las normativas, normas y necesidades de explotación aplicables. De esta manera, un defecto que afecte a un circuito no esencial no interrumpirá el suministro de alimentación a un circuito esencial (véanse las Figuras E13 y E14).

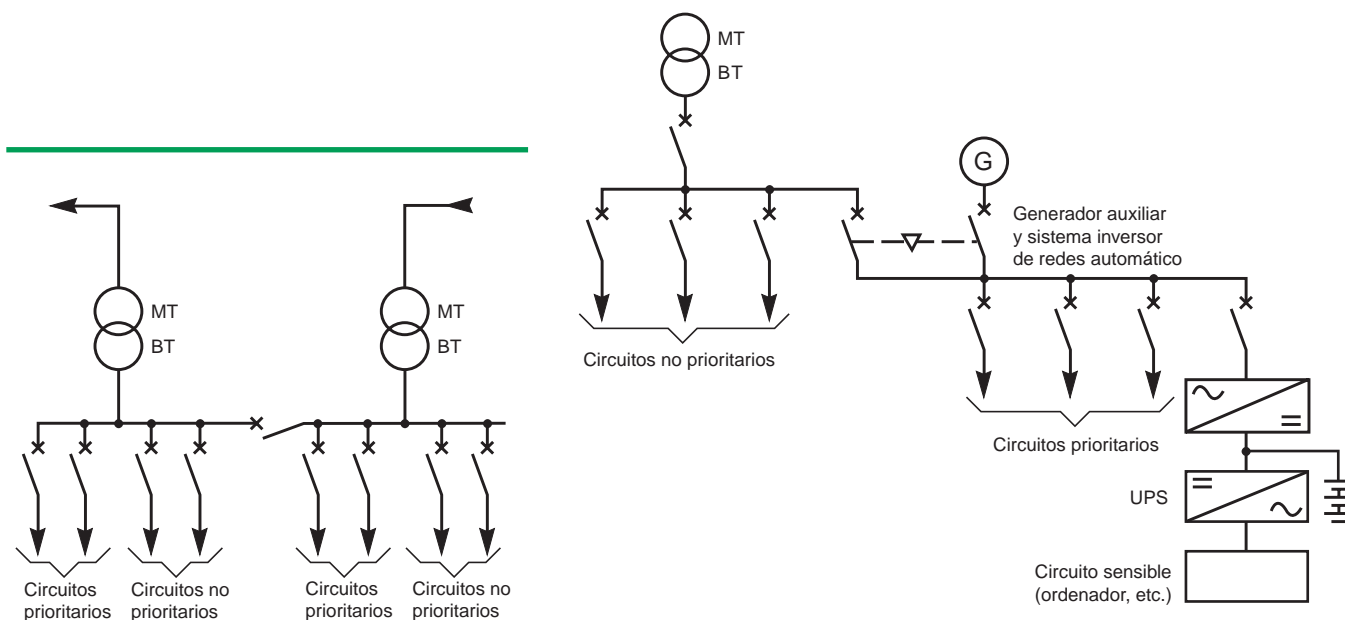


Fig. E14: Ejemplo de una fuente de alimentación auxiliar de BT.

Fig. E13: Los circuitos prioritarios y los no prioritarios están separados y existen fuentes auxiliares automáticas para los circuitos prioritarios.

E10

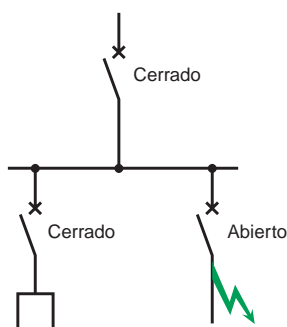


Fig. E15: El principio de la selectividad.

### Elección de la aparamenta a tierra

Cuando las consideraciones relativas a la continuidad de suministro son primordiales, p. ej. en la fabricación por procesos continuos, en quirófanos de hospitales, etc., por lo general se adopta el esquema de conexión a tierra IT. Este esquema permite que continúe el funcionamiento normal (y seguro) del sistema en caso de producirse un defecto inicial de conexión a tierra (con mucho, el tipo más habitual de defecto de aislamiento). Más adelante, en un momento oportuno, podrá realizarse una parada para localizar y reparar el defecto (por ejemplo, al final de un proceso de fabricación). Sin embargo, un segundo defecto de conexión a tierra (si ocurre en una fase diferente o en un conductor neutro) constituirá un defecto de cortocircuito, que provocará que los relés de protección contra sobrecargas disparen el circuito o los circuitos. Véase el subapartado 2.3 del capítulo E para obtener información sobre la elección de un sistema de la aparamenta a tierra.

**Nota:** este sistema se puede especificar para instalaciones de gran seguridad.

### Selectividad (véase la Figura E15)

El objetivo principal de cualquier esquema de protección automática contra defectos de aislamiento, sobrecargas, etc., es disparar el interruptor automático o fundir el fusible o los fusibles que controlan el circuito defectuoso únicamente, sin que se vean afectados los demás interruptores automáticos y fusibles.

En instalaciones radiales arborescentes, esto significa disparar el interruptor automático o los fusibles aguas arriba más próximos, con lo que todas las cargas situadas aguas abajo se ven privadas inevitablemente del suministro.

La corriente de cortocircuito (o sobrecarga) pasará por lo general a través de uno o más interruptores automáticos o fusibles situados aguas arriba del interruptor automático (o los fusibles) que controlan el cable defectuoso.

Por "selectividad" se entiende que ninguno de los dispositivos de protección aguas arriba a través de los cuales pasa la corriente de defecto (o sobrecarga) funcionará antes de que entre en acción el dispositivo de protección que controla el circuito defectuoso. Por lo general, la selectividad se consigue incrementando el tiempo de funcionamiento de los dispositivos de protección a medida que su ubicación en una red se acerca a la fuente de alimentación. Así, si el dispositivo de protección más próximo al defecto no entra en funcionamiento, el siguiente dispositivo situado aguas arriba entrará en funcionamiento algo más tarde.

## 1.3 Calidad de la energía eléctrica

Las redes de suministro eléctrico públicas y privadas están sometidas a diversas perturbaciones cuyo nivel y frecuencia deben controlarse y mantenerse dentro de límites aceptables. Entre las más graves cabe mencionar las siguientes:

- Curvas de tensión o picos y caídas repentinos.
- Sobretensiones.
- Armónicos, especialmente los impares (3.º, 5.º, etc.).
- Fenómenos de alta frecuencia.

Para asegurar el suministro de aplicaciones que son especialmente sensibles a estas perturbaciones (p. ej. los ordenadores), se puede instalar un circuito de distribución de alimentación de alta calidad en el esquema de distribución de baja tensión normal.

### Caídas de tensión de corta duración

#### Tipos de caídas de tensión

Según la duración de la condición de mínima tensión, una caída puede originarse debido a una de las siguientes causas:

- Menos de 0,1 segundos: defectos de cortocircuito que ocurren en cualquier punto de las redes de baja tensión locales y se eliminan por medio de dispositivos de protección (interruptores automáticos, fusibles, etc.). Este tipo de caída es el más habitual en los sistemas "estándar", a diferencia de las redes situadas cerca de instalaciones de industria pesada, donde son frecuentes grandes perturbaciones.
- Entre 0,1 y 0,5 segundos: la mayoría de los defectos que se producen en los sistemas de media tensión corresponden a esta categoría.
- Más de 0,5 segundos: en las redes rurales, donde son habituales los interruptores de reenganche automático, podrán experimentarse varias caídas sucesivas hasta que se elimine el defecto. Otra razón por la que las caídas de tensión pueden tener una duración superior a 0,5 segundos es el arranque de motores eléctricos locales (por ejemplo, los ascensores o las sirenas de las alarmas de incendios de las estaciones centrales producen caídas cíclicas en la red de distribución vecina).

Los efectos no deseados de las caídas de tensión se contrarrestan de diversas maneras, por ejemplo, mediante la instalación de UPS o generadores.

## Algunas consecuencias y soluciones

Entre las numerosas consecuencias no deseadas de las caídas de tensión pueden citarse las siguientes:

- En función de la gravedad de la caída y del tipo de cargas en una determinada instalación, existe el riesgo de que se produzca un aumento considerable de la intensidad cuando se restablezca la tensión normal, con el consiguiente disparo de los interruptores automáticos principales. Una solución posible sería un esquema con deslastrado automático y reconexión escalonada de los aparatos que requieran elevadas corrientes de arranque, p. ej. lámparas incandescentes frías y cargas de calentamiento resistivas.
- En aplicaciones completamente informatizadas, como tratamiento de textos, tecnología de la información, control de máquinas-herramientas, procesos, etc., las caídas de tensión resultan inaceptables, puesto que puede perderse la información o destruirse un programa, con consecuencias catastróficas. Se puede tolerar un cierto grado de variación de la tensión y con este fin se incorporan circuitos estabilizadores de la tensión, pero la solución universal para instalaciones importantes es el uso de sistemas de alimentación sin interrupción (UPS) basados en acumuladores de carga lenta e inversores y asociados con generadores diesel controlados automáticamente.
- En el caso de un motor eléctrico, la deceleración durante una caída de tensión (par  $V^2$ ) provocará que su fuerza electromotriz probablemente se encuentre desfasada cuando se restablezca la tensión. Esto constituye (más o menos, en función del grado de diferencia de fase) una condición de cortocircuito, con el consiguiente flujo elevado de corriente. En algunos casos pueden producirse pares transitorios excesivos, con el riesgo de que se dañen los ejes, acoplamientos, etc. Una solución habitual consiste en instalar motores de gran inercia y elevado par máximo siempre que lo permita la carga accionada.
- Algunos tipos de lámparas de descarga (especialmente las lámparas de vapor de mercurio) utilizadas en el alumbrado público se apagan por debajo de un determinado nivel de tensión y requieren varios minutos (para enfriarse) antes de volver a encenderse. La solución consiste en utilizar otros tipos de lámparas o mezclar lámparas que no se apaguen, en un número suficiente para mantener un nivel de iluminación seguro. Véase el capítulo N (UPS).

## Sobretensiones

Se pueden evitar los efectos dañinos de las sobretensiones.

- En el caso de sobretensiones a la frecuencia del sistema de alimentación:
- Asegurando que los equipos en cuestión cuenten con una capacidad adecuada de resistencia a sobretensiones.
- Mediante el uso de dispositivos limitadores de tensión cuando resulte necesario, en un esquema de aislamiento coordinado adecuadamente. Estos dispositivos siempre son necesarios en las apartamentos a tierra IT.
- Para sobretensiones transitorias (por lo general de tipo impulso), mediante:
- Una coordinación eficaz del esquema de aislamiento.
- Pararrayos.

En el capítulo J se describen los tipos de sobretensiones, así como sus consecuencias y las posibles soluciones.

## Tensiones y corrientes armónicas

### Fuentes y tipos de armónicos

Todas las cargas no lineales consumen corrientes no sinusoidales. Las principales fuentes de armónicos son:

- Dispositivos electrónicos de alimentación (convertidores estáticos, fuentes de alimentación, atenuadores, etc.).
- Máquinas y dispositivos electromagnéticos, como: bobinas saturadas, transformadores (corrientes de magnetización), motores y generadores, etc.
- Lámparas de descarga y resistencias.
- Hornos de arco que generan un espectro continuo de perturbaciones. Si el arco se suministra a través de rectificadores estáticos controlados por tiristor (hornos de arco de CC), las perturbaciones tienen una amplitud media más baja, pero los rectificadores producen armónicos.

### Consecuencias

Las consecuencias principales de los armónicos son:

- La necesidad de sobredimensionar determinados componentes de la red y de la instalación:
- Conductores en tensión.
- Conductores neutros (de un sistema trifásico de 4 hilos), especialmente para circuitos de iluminación de descarga o fluorescente y cargas de ordenadores.
- Alternadores (p. ej. en generadores diesel).
- Baterías de condensadores.
- Sobrecalentamiento local de circuitos magnéticos de motores.
- Posibilidad de resonancia entre las capacidades e inductancias de la red (ferroresonancia) o entre bancos de condensadores y la impedancia fuente del sistema (principalmente inductiva).

*Las corrientes armónicas ejercen un efecto negativo sobre la instalación eléctrica y los equipos conectados.*

# 1 Esquemas de distribución de BT

E12

Los efectos no deseados de las perturbaciones de alta frecuencia se pueden eliminar mediante:

- La selección de equipos adecuados.
- Estudios específicos.

## Soluciones

Por lo general, una instalación no puede tolerar un porcentaje significativo de armónicos: normalmente se utiliza un valor máximo del 5%<sup>(1)</sup> para los armónicos de tensión y del 10%<sup>(1)</sup> para los armónicos de corriente.

Los armónicos se pueden atenuar mediante:

- La instalación de transformadores de baja tensión/baja tensión triángulo/estrella en zigzag para aislar el tercer armónico y sus múltiplos impares.
- La instalación de filtros.

## Fenómenos de alta frecuencia

Este problema se refiere a las sobretensiones y todos los fenómenos electromagnéticos conducidos o radiados. Determinados dispositivos o toda una instalación eléctrica pueden ser sensibles a tales perturbaciones o provocarlos, por ejemplo, en forma de:

- Descargas electrostáticas.
- Radiación, por ejemplo, interferencias causadas por transmisores de radio, walkie-talkies, etc.
- Perturbaciones transmitidas por la conducción en los conductores de una instalación.

Por ejemplo: la apertura de bobinas de contactores o bobinas de disparo de interruptores automáticos.

La directiva europea 89/336/CEE relativa a la compatibilidad electromagnética impone niveles máximos de emisiones y mínimos de inmunidad para las instalaciones eléctricas y sus componentes.

En la práctica, los defectos causados por fenómenos de alta frecuencia se pueden evitar mediante la instalación de dispositivos que sean compatibles entre sí y con su entorno, por ejemplo, en hospitales, salas de conciertos e instalaciones industriales en las que existan corrientes bajas y altas.

Para aplicaciones especiales siempre se debería consultar a un especialista.

Para aplicaciones más habituales, o cuando no exista información precisa, siempre que sea posible deberían utilizarse equipos que cumplan los requisitos indicados en la **Figura E16**.

Perturbación	Referencia	Nivel	
		Mínimo	Recomendado
Descargas electrostáticas	IEC 61000-4-2	Nivel 3	Nivel 4
Campos electromagnéticos de radiofrecuencia	IEC 61000-4-3	Nivel 2	Nivel 3
Transitorios eléctricos rápidos (rebote de contactos)	IEC 61000-4-4	Nivel 2	Nivel 4
Sobretensiones	IEC 61000-4-5	Nivel 2	Nivel 4
Sobretensiones transitorias	IEC 60060-2		
	En el origen de la instalación	690 V 400 V	10 kV 7,5 kV
	Otros casos	690 V 400 V	7,5 kV 5 kV
Ondas de corriente (rayos, cierre de interruptor)	IEC 61643-1	8/20 $\mu$ s	80 A 200 A

Fig. E16: Niveles de compatibilidad de los equipos.

Para asegurar el suministro de aplicaciones que son especialmente sensibles a las perturbaciones de la alimentación eléctrica (p. ej. los ordenadores), se puede instalar un circuito de distribución de alimentación de alta calidad en el esquema de distribución de baja tensión normal.

## Energía de alta calidad

Se puede instalar un circuito de distribución de alta calidad dedicado en el esquema de distribución de baja tensión normal.

El objetivo es alimentar a los equipos sensibles (ordenadores, cajas registradoras, microprocesadores, etc.) desde una fuente que esté exenta de las perturbaciones descritas anteriormente, a un coste razonable.

El diagrama de la **Figura E17** de la página opuesta representa un esquema de este tipo al nivel del cuadro de distribución general de baja tensión.

El suministro de energía de alta calidad se consigue por medio de UPS y sus acumuladores y rectificadores-cargadores asociados, que en condiciones normales reciben su suministro de una salida del cuadro de distribución general de baja tensión.

La continuidad de suministro se asegura mediante un generador diesel y un sistema de conmutación automático de fuente, de tal modo que una fuente de alimentación sin interrupción se pueda mantener indefinidamente (siempre que haya disponible personal para llenar el depósito de combustible) o durante varias horas en el caso de un centro de transformación sin supervisión.

Una serie de sencillas precauciones técnicas hacen posible conseguir niveles de disponibilidad anuales muy altos (véase el manual técnico n.º 148 de Schneider Electric: "Distribución de alimentación eléctrica de alta disponibilidad" y el apartado relativo a UPS en el capítulo N de esta guía).

(1) Valor de THD (distorsión total de armónicos) de la tensión y la corriente respectivamente.

*El uso de instalaciones de seguridad y de emergencia es una obligación legal.*

*Las fuentes de alimentación auxiliares de reserva son una necesidad económica en numerosas circunstancias en las que la pérdida del suministro tendría consecuencias trascendentales.*

## 1.4 Seguridad de las instalaciones de servicios de emergencia y fuentes de alimentación auxiliares

### Instalaciones de seguridad

Las instalaciones de seguridad y de servicios de emergencia se rigen por normativas que regulan, por ejemplo:

- Locales de pública concurrencia.
- Edificios de gran altura (rascacielos).
- Instalaciones en las que trabajan muchas personas (oficinas, tiendas, fábricas, etc.).

Estas instalaciones deben contar con un medio que garantice la evacuación segura del personal, incluido lo siguiente:

- Iluminación de seguridad.
- Alarmas y sistemas de aviso.
- Sistemas automáticos de detección de incendios.
- Sistemas de extinción de incendios.
- Sistemas de evacuación en caso de detección de humo.
- Compresores de aire para el sistema de extinción de incendios a presión.
- Bombas de agua para llenar el sistema de extinción de incendios.

Además de las normas generales indicadas anteriormente, existen determinados proyectos para los que las normativas en materia de seguridad se refieren a un proceso concreto (p. ej., plantas petroquímicas, fábricas de cemento, etc.) o a servicios específicos (p. ej., iluminación de túneles, iluminación de pistas de aterrizaje de aeropuertos, etc.).

### Fuentes de alimentación auxiliares de reserva

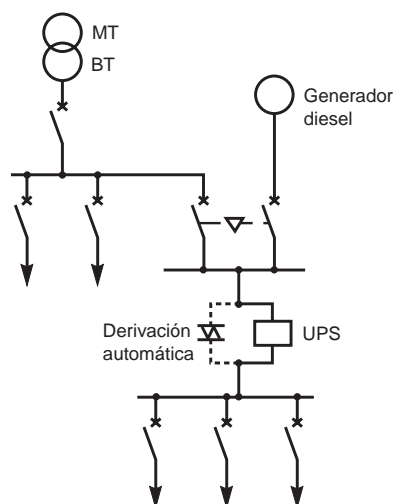
Entre las numerosas aplicaciones en las que no se puede tolerar una interrupción del suministro eléctrico cabe citar las siguientes (véase la **Figura E18**):

- Instalaciones de tecnología de la información (protección de datos de compañías de seguros, entidades financieras, profesiones, administraciones públicas, etc.).
- Procesos industriales (continuidad de material utilizado en procesos continuos, bombas de agua de alimentación de calderas en centrales de generación, producción de papel, plantas desalinizadoras, etc.).
- Sector de producción de alimentos (plantas de refrigeración, criaderos, etc.).
- Telecomunicaciones.
- Investigación científica.
- Quirófanos.
- Expedición de billetes, reservas de vuelos, cajas registradoras, etc.
- Instalaciones militares.

Debe indicarse que cuando existen varias fuentes auxiliares para servicios de emergencia, se pueden utilizar asimismo como fuentes de alimentación de reserva, siempre y cuando una cualquiera de ellas esté disponible y sea capaz de poner en marcha y suministrar alimentación a todos los circuitos de seguridad y de emergencia, y el defecto de una de ellas no afecte al funcionamiento normal de las otras.

### Elección y características de las fuentes de alimentación de reserva

Aparte de los cortes perceptibles (aunque muy breves) del suministro eléctrico, las interrupciones imperceptibles de varios milisegundos de duración son suficientes para interferir con el funcionamiento de determinados equipos. Como se indicó anteriormente, los sistemas UPS son esenciales en estos casos y se utilizan junto con la fuente de alimentación de reserva para garantizar la máxima seguridad.



**Fig. E17:** Ejemplo de una instalación de alimentación de alta calidad.



**Fig. E18:** Ejemplos de fuentes de alimentación de reserva: acumulador central (izquierda) y generador diesel (derecha).

# 1 Esquemas de distribución de BT

E14

### Especificaciones principales

Por motivos económicos, las siguientes especificaciones son a menudo obligatorias:

- La interrupción del suministro no se tolera:
- En esquemas de tecnología de la información (TI).
- En operaciones de procesos continuos, excepto para cargas de gran inercia que pueden tolerar una interrupción del orden de 1 segundo de duración.
- Período para la conservación de los datos en sistemas de TI: 10 minutos.
- La autonomía, que a menudo se expresa como un tiempo de reserva, es deseable en las instalaciones de fuentes de alimentación de reserva; es una función de los aspectos económicos relacionados con el funcionamiento y va más allá del requisito mínimo para la seguridad del personal.

### Especificaciones relacionadas con las instalaciones de seguridad (véase la **Figura E19**)

Las normativas nacionales que regulan las instalaciones de seguridad contienen una serie de condiciones que deben cumplirse en relación con las fuentes de alimentación eléctrica:

- Duración de una interrupción: según el caso y el país, por lo general se imponen las siguientes opciones:
- Sin interrupción.
- Una interrupción de menos de 1 segundo.
- Una interrupción de menos de 15 segundos.
- Autonomía que se exige a la fuente de alimentación de reserva: por lo general, corresponde al tiempo necesario para realizar todas las operaciones que rigen la seguridad de la vida humana, como por ejemplo el tiempo necesario para evacuar un edificio público (1 hora como mínimo). En grandes bloques de apartamentos, la autonomía de la fuente debe ser de 36 horas como mínimo.

Aplicaciones		Automatismos, Informática Telecomunicaciones	Proceso secuencial (interrumpible)	Proceso continuo
Aplicaciones tipo		– Banco de datos – Control de procesos	– Procesos térmicos de transformación de materiales	– Control y supervisión de parámetros de procesos
Ejemplo de instalaciones		– Servicios de TI – Banca, seguros – Administración – Sistema de gestión de procesos de producción	– Fabricación de mecánica ligera – Cadenas de montaje y embalajes	– Centrales nucleares – Industria química – Procesos biológicos – Instalaciones térmicas – Mecanización pesada (gran inercia)
Condiciones				
Tiempo de corte admisible	Nulo	■		■
	≤ 1 s			■
	≤ 15 s		■ (1)	
	≤ 15 min		■ (1)	
Autonomía mínima o deseada	1 min	■ (2)		
	20 min		■	■
	1 h	■	■	■
Permanente en función de la economía				
Soluciones				
Técnicas utilizadas		Onduladores con o sin grupo de arranque automático en el relevo	Grupo a tiempo cero o a arranque de relevo eventual de un ondulator	Grupo permanente

(1) En función de las consideraciones económicas.  
 (2) Límite de tiempo para el almacenamiento de los datos.



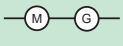


**Fig. E19:** En esta tabla se muestran los diferentes tipos de fuentes de alimentación de reserva según las necesidades de la aplicación y los tiempos aceptables de interrupción del suministro.

### Elección y características de las diferentes fuentes

Las diversas soluciones posibles se caracterizan por su disponibilidad (recogida inmediata o retardada de la carga) y por su autonomía (capacidad para suministrar la carga durante un determinado período de tiempo sin intervención humana, p. ej., llenado de depósitos de combustible). También es necesario tener en cuenta:

- Las limitaciones impuestas por la instalación: concretamente para ubicaciones especializadas, y de acuerdo con las fuentes utilizadas.
- Equipos complementarios.
- Limitaciones operativas, p. ej., de acuerdo con las instrucciones de manejo del fabricante o las normativas locales, etc.
- Necesidades de mantenimiento rutinario, que podrían imponer restricciones poco deseables durante los períodos asignados para tales trabajos.

Un examen general de las numerosas posibilidades y limitaciones relacionadas se traduce a menudo en una solución óptima basada en un esquema de UPS asociado a un generador diesel auxiliar. Las baterías proporcionan un suministro ininterrumpido de alimentación durante el arranque y la recogida de la carga del generador auxiliar (véase la **Figura E20**).

Fuente de alimentación de reserva y/o de emergencia					
	Batería	UPS	Diesel de arranque en frío	Recuperación de la carga <sup>(1)</sup>	Generadores en funcionamiento continuo
<b>Tiempo necesario para suministrar la carga</b>					
Cero (sin interrupción)	■	■			■
1 segundo				■	
De 1 a 10 minutos <sup>(5)</sup>			■		
<b>Tiempo total de inversión de fuentes</b>					
Cero	■	■			■
Relacionado con el esquema de cambio automático adoptado para cada fuente					
<b>Limitaciones de instalación</b>					
	Ubicación especial (tipo de batería) Red especial de CC	Ninguna. A menos que las baterías sean abiertas	Ubicación especial (vibraciones, ruido, acceso necesario para tareas de mantenimiento, protección contra incendios) Depósitos de combustible		
<b>Equipos adicionales (aparte de los dispositivos de protección y de inversión)</b>					
	Cargador Regulador, indicaciones	Ninguno. A menos que se necesiten baterías adicionales	Arrancador, por baterías o aire comprimido	Volante y embrague de inercia	Equipos de sincronización automática
<b>Modo de funcionamiento y limitaciones</b>					
	Red especial Pérdidas del sistema Comprobaciones frecuentes	Automático	Manual o automático Arranques periódicos	Automático Carga máxima fija	Personal de explotación permanente
<b>Otros parámetros</b>					
Mantenimiento	Paros periódicos para realizar comprobaciones y trabajos de mantenimiento	Ninguno. A menos que las baterías sean abiertas	Comprobaciones periódicas, pero desgaste mínimo y muy poca necesidad de mantenimiento	Sólo limitaciones mecánicas menores, excepto el embrague y el eje de acoplamiento	Comprobaciones periódicas, pero desgaste mínimo y muy poca necesidad de mantenimiento
Duración estimada <sup>(3)</sup>	De 4 a 5 años <sup>(2)</sup>	De 4 a 5 años (para baterías selladas)	De 1.000 a 10.000 horas o de 5 a 10 años	De 5 a 10 años	10.000 horas (o 1 año)
Redundancia necesaria <sup>(4)</sup>	× 2 si la instalación es permanente	Normalmente 2 por 1 y 3 por 2	Baterías × 2	× 2 si la seguridad es importante	× 2 si la instalación es permanente
Factores relacionados con la fiabilidad <sup>(4)</sup>	La comprobación constante es importante (numerosos errores humanos)	Chequeos integrados	Mecánica y de baterías de arranque	Mecánicos, especialmente el conjunto del embrague y el eje de acoplamiento	Sistema mecánico y de sincronización

(1) Un motor generador de funcionamiento continuo y equipado con un volante de inercia.

Si se pierde el suministro normal, la recuperación de la carga se lleva a cabo por lo general en menos de 1 segundo.

(2) Mayor duración si la batería es abierta.

(3) Antes de necesitar una revisión general.

(4) El estudio de las necesidades de seguridad permite definir un esquema óptimo.

(5) Según esté precalentado o no.

**Fig. E20:** Características de las diferentes fuentes.

*La combinación de un sistema UPS y un generador local es la solución óptima para garantizar una larga autonomía.*

## Generadores locales

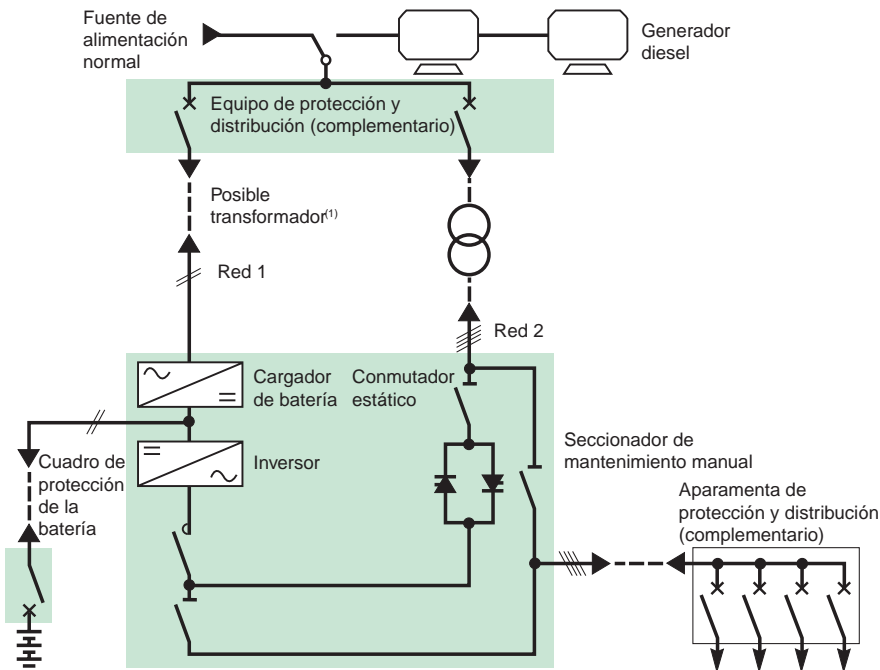
En determinadas instalaciones se necesita una fuente de alimentación que sea independiente del servicio público normal. En estos casos se utiliza un generador local (normalmente impulsado por un motor diesel) asociado con un sistema UPS. En esta situación, el tiempo de reserva de las baterías del sistema UPS debe ser suficiente para cubrir el tiempo necesario para arrancar el motor diesel y conectar el generador a la carga.

El tiempo necesario para realizar el cambio de una fuente a la otra dependerá de las características de la instalación concreta, como la secuencia de arranque del motor, el posible deslastrado de cargas no esenciales, etc.

La conexión se suele llevar a cabo en el cuadro de distribución general de baja tensión por medio de un sistema de cambio automático de fuente como el mostrado en la **Figura E21** de la página siguiente.

# 1 Esquemas de distribución de BT

E16



(1) Necesario en algunos casos, p. ej.: para la correspondencia de tensiones.

**Fig. E21:** Ejemplo de una combinación de UPS/generador con un sistema de cambio automático.

Durante el funcionamiento del sistema UPS en condiciones normales, la alimentación de CA fluye a la sección del rectificador y una parte muy pequeña de la alimentación de CC en la salida del rectificador se conserva para mantener la batería completamente cargada. El resto de la alimentación de CC se convierte en alimentación de CA limpia para la carga.

Si se produce un cambio del suministro normal al suministro del generador de alimentación de reserva, es importante evitar los pares transitorios dañinos del eje y los acoplamientos del generador, especialmente si la carga que debe recibir el suministro del generador es grande en comparación con sus especificaciones. Estos pares ocurren con cargas aplicadas repentinamente y se deben al par transitorio oscilante del eje y al par de carga fijo que aumenta y se reduce a la frecuencia natural de las oscilaciones del eje. Para evitar este fenómeno, el rectificador se controla electrónicamente para que pase inicialmente una corriente baja que después se incrementa gradualmente hasta que el generador aplica toda la carga. Esta operación tiene una duración de entre 10 y 15 segundos.

El cierre del sistema UPS también se lleva a cabo gradualmente mediante controles similares de los circuitos del rectificador.

La aplicación gradual de la carga también evita la posibilidad de que se produzcan grandes corrientes transitorias y fluctuaciones de la frecuencia; estas últimas se deben a la inercia del sistema regulador de la velocidad del motor principal.

El rectificador del sistema de conversión crea corrientes armónicas. Por lo general, esto significa que debe reducirse la potencia del generador de alimentación de reserva (es decir, podrá ser necesario instalar un generador sobredimensionado). Esta cuestión debe tratarse con el fabricante del sistema UPS.

En el ejemplo mostrado en la **Figura E21**, la salida del sistema UPS está sincronizada con el suministro de entrada que llega al rectificador, de tal modo que, si se produce una sobrecarga o un defecto en el inversor del sistema UPS, el cierre instantáneo del conmutador estático mantendrá el suministro.

En un edificio, la conexión de todos sus elementos metálicos y de todas las partes conductoras accesibles de los equipos eléctricos a una toma de tierra impide la aparición de tensiones peligrosamente altas entre dos elementos metálicos cualesquiera accesibles simultáneamente.

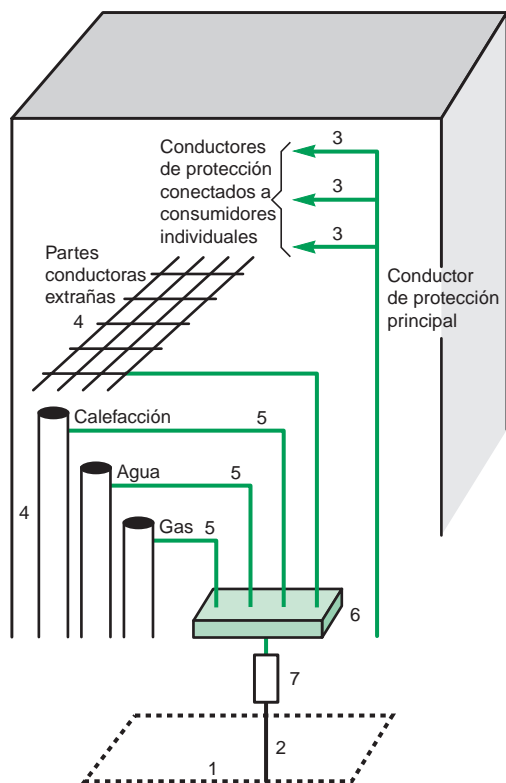


Fig. E22: Ejemplo de un bloque de pisos en el que el terminal principal de conexión a tierra (6) proporciona la conexión equipotencial principal; la conexión removible (7) permite comprobar la resistencia de la toma de tierra.

## 2.1 Conexiones a tierra

### Definiciones

Las normas nacionales e internacionales (IEC 60364) definen claramente los diversos elementos de las conexiones a tierra. En el sector y en las diversas publicaciones se emplean habitualmente los siguientes términos. Los números que aparecen entre paréntesis se refieren a la **Figura E22**:

- Toma de tierra (1): un conductor o un grupo de conductores que se encuentran en estrecho contacto con tierra y proporcionan una conexión a tierra (véanse los detalles en el subapartado 2.6 del capítulo E).
- Tierra: masa conductora de tierra, cuyo potencial eléctrico en cada punto se toma por convenio igual a cero.
- Electrodo de tierra eléctricamente independientes: electrodos de tierra separados entre sí una distancia tal, que la corriente máxima probable que puede fluir a través de uno de ellos no afecta significativamente al potencial de los demás.
- Resistencia de la toma de tierra: la resistencia de contacto de una toma de tierra con la tierra.
- Conductor de tierra (2): un conductor de protección que conecta el terminal principal de conexión a tierra (6) de una instalación a una toma de tierra (1) o a otro medio de conexión a tierra (p. ej., esquemas TN).
- Masa, parte conductora accesible: parte conductora de los equipos que se puede tocar y que no se encuentra en tensión, pero que puede estarlo en condiciones de defecto.
- Conductor de protección (3): conductor obligatorio para determinadas medidas de protección contra los choques eléctricos y destinado a conectar eléctricamente algunas de las partes que se indican a continuación:
  - Masas.
  - Conductores.
  - El terminal principal de conexión a tierra.
  - Electrodo de tierra.
  - El punto conectado a tierra de la fuente o de un conductor neutro artificial.
- Parte conductora extraña: una parte conductora que puede introducir un potencial, por lo general un potencial de tierra, y que no forma parte de la instalación eléctrica (4). Por ejemplo:
  - Suelos o paredes no aislados, estructuras metálicas de edificios.
  - Conductos y tuberías de metal (que no forman parte de la instalación eléctrica) utilizados para la canalización de agua, gas, calefacción, aire comprimido, etc., y los materiales metálicos asociados a los mismos.
- Conductor de conexión (5): un conductor de protección que proporciona una conexión equipotencial.
- Terminal principal de conexión a tierra (6): el terminal o la barra que se utiliza para conectar al medio de conexión a tierra la conexión de los conductores de protección, incluidos los conductores de conexión equipotencial, y los conductores de conexión a tierra funcional, si los hubiera.

### Conexiones

#### El sistema principal de conexión equipotencial

La conexión se lleva a cabo mediante conductores de protección y el objetivo consiste en asegurar que, en caso de que un conductor extraño entrante (como una tubería de gas, etc.) desarrolle un potencial debido a un defecto externo al edificio, no pueda ocurrir una diferencia de potencial entre las partes conductoras extrañas en la instalación.

La conexión se debe realizar lo más cerca posible de los puntos de entrada al edificio y conectarse al terminal principal de conexión a tierra (6).

Sin embargo, las conexiones a tierra de las cubiertas metálicas de los cables de comunicaciones requieren la autorización de los propietarios de tales cables.

#### Conexiones equipotenciales suplementarias

Estas conexiones tienen como finalidad conectar todas las partes conductoras accesibles y todas las partes conductoras extrañas que sean accesibles simultáneamente, cuando no se cumplen las condiciones de protección adecuadas, es decir, cuando los conductores de conexión originales presentan una resistencia inaceptablemente alta.

#### Conexión de las partes conductoras accesibles a los electrodos de tierra

La conexión se lleva a cabo por medio de conductores de protección con el fin de proporcionar una ruta de baja resistencia para las corrientes de fuga que fluyen a tierra.

**Componentes** (véase la Fig. E23)

La conexión adecuada de todos los elementos metálicos accesibles y todas las masas de los electrodomésticos y equipos eléctricos es esencial para aportar una protección eficaz contra las descargas eléctricas.

Componentes que deben considerarse: como partes conductoras accesibles	como partes conductoras extrañas
<b>Cables aéreos:</b> ■ Conductos. ■ Cable forrado de plomo y aislado con papel impregnado, blindado o sin blindar. ■ Cable forrado de metal y aislado con sustancia mineral (pirotenax, etc.). <b>La aparamenta:</b> ■ Soportes de aparamenta extraíbles. <b>Dispositivos:</b> ■ Partes metálicas accesibles de dispositivos con aislamiento de clase 1. <b>Elementos no eléctricos:</b> ■ Accesorios metálicos asociados a los cables aéreos (cajas de cables, escaleras de cables, etc.). ■ Objetos metálicos: <input type="checkbox"/> Próximos a conductores aéreos o a barras de bus. <input type="checkbox"/> En contacto con equipos eléctricos.	<b>Elementos utilizados en la construcción de edificios:</b> ■ Metal u hormigón armado: <input type="checkbox"/> Estructura de acero. <input type="checkbox"/> Barras de refuerzo. <input type="checkbox"/> Paneles prefabricados de hormigón armado. ■ Acabados superficiales: <input type="checkbox"/> Suelos y paredes de hormigón armado sin tratamiento superficial adicional. <input type="checkbox"/> Superficies alicatadas. ■ Revestimientos metálicos: <input type="checkbox"/> Revestimientos de muros metálicos. <b>Elementos no eléctricos de los servicios del edificio:</b> ■ Tuberías, conductos, canalizaciones metálicas para gas, agua, sistemas de calefacción, etc. ■ Componentes metálicos relacionados (hornos, depósitos, cisternas, radiadores). ■ Accesorios metálicos en servicios, baños, aseos, etc. ■ Papeles metalizados.
Componentes que no deben considerarse: como partes conductoras accesibles	como partes conductoras extrañas
<b>Diversos canales de servicio, conductos, etc.:</b> ■ Conductos fabricados de material aislante. ■ Molduras de madera o de otro material aislante. ■ Conductores y cables sin revestimientos metálicos. <b>La aparamenta:</b> ■ Envolturas fabricadas de material aislante. <b>Dispositivos:</b> ■ Todos los dispositivos con aislamiento de clase II independientemente del tipo de envolvente exterior.	■ Suelos de madera. ■ Suelos cubiertos de caucho o de linóleo. ■ Tabiques de yeso. ■ Muros de ladrillo. ■ Alfombras y moquetas.

Fig. E23: Lista de partes conductoras accesibles y partes conductoras extrañas.

## 2.2 Definición de los esquemas de conexión a tierra normalizados

La elección de estos métodos determina las medidas necesarias para aportar protección contra riesgos de contactos indirectos.

El esquema de conexión a tierra debe cumplir los criterios de tres opciones, originalmente independientes, elegidas por el proyectista de un esquema de distribución eléctrica o una instalación:

- El tipo de conexión del sistema eléctrico (por lo general, del conductor neutro) y las partes accesibles que llegan a los electrodos de tierra.
- Un conductor de protección independiente o un conductor de protección y un conductor neutro como un único conductor.
- El uso de una protección contra defectos a tierra de la aparamenta con protección contra sobretensiones, que elimine únicamente corrientes de defecto relativamente elevadas, o el uso de relés adicionales capaces de detectar y eliminar a tierra pequeñas corrientes de defecto de aislamiento.

En la práctica, estas opciones están agrupadas y normalizadas de la forma descrita a continuación.

Cada una de estas opciones ofrece sistemas normalizados de conexión a tierra que presentan tres ventajas e inconvenientes:

- La conexión de las partes conductoras accesibles de los equipos y del conductor neutro al conductor PE da como resultado una equipotencialidad y sobretensiones más bajas, pero incrementa las corrientes de defecto a tierra.
- Un conductor de protección independiente resulta costoso, aunque su sección transversal sea pequeña, pero es mucho menos probable que se vea contaminado por caídas de tensión, armónicos, etc., que un conductor neutro. También se evitan las corrientes de fuga en las partes conductoras extrañas.
- Los relés de protección contra corriente diferencial o los dispositivos de supervisión del aislamiento son mucho más sensibles y su instalación permite en muchos casos eliminar los defectos antes de que se produzcan daños graves (motores, incendios, electrocución).

La protección que ofrecen también es independiente respecto de los cambios realizados en una instalación existente.

Los diferentes esquemas de conexión a tierra descritos caracterizan el método de conexión a tierra de la instalación aguas abajo del devanado secundario del transformador de alta tensión/baja tensión y el medio utilizado para conectar a tierra las partes conductoras accesibles de la instalación de baja tensión a la que suministra alimentación.

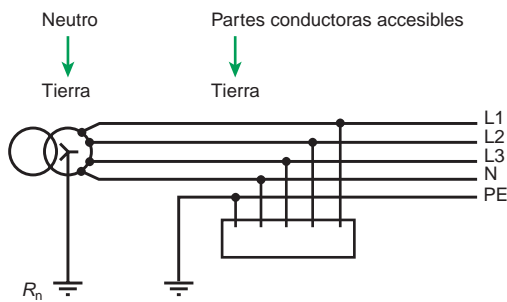


Fig. E24: Esquema TT.

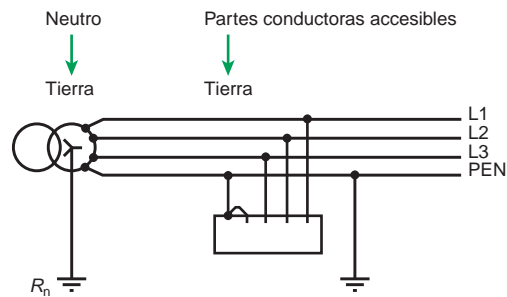


Fig. E25: Esquema TN-C.

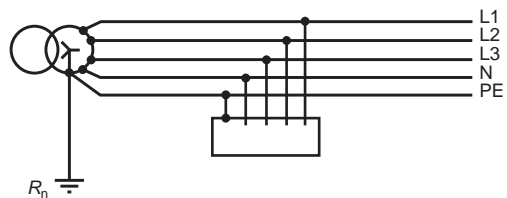


Fig. E26: Esquema TN-S.

### Esquema TT (conductor neutro conectado a tierra)

(véase la [Figura E24](#))

Un punto de la fuente de alimentación se conecta directamente a tierra. Todas las partes conductoras accesibles y extrañas se conectan a un toma de tierra independiente de la instalación. Este electrodo puede o no ser eléctricamente independiente del electrodo de la fuente. Ambas zonas de influencia pueden solaparse sin que se vea afectado el funcionamiento de los dispositivos de protección.

### Esquemas TN (partes conductoras accesibles conectadas al conductor neutro)

La fuente se conecta a tierra de la misma manera que con el esquema TT descrito anteriormente. En la instalación, todas las partes conductoras accesibles y extrañas se conectan al conductor neutro. A continuación se muestran las diversas versiones de esquemas TN.

#### Esquema TN-C (véase la [Figura E25](#))

El conductor neutro también se utiliza como un conductor de protección y se denomina conductor PEN (neutro y puesta a tierra de protección). Este sistema no está permitido para conductores de menos de 10 mm<sup>2</sup> ni para equipos portátiles. El esquema TN-C requiere un entorno equipotencial eficaz en la instalación, con electrodos de tierra dispersos y separados a intervalos que sean lo más regulares posible, puesto que el conductor PEN es el conductor neutro y también conduce corrientes con desequilibrios de fases, así como corrientes armónicas de tercer orden (y sus múltiplos).

Por tanto, el conductor PEN debe conectarse a una serie de electrodos de tierra en la instalación.

Puesto que el conductor neutro también es el conductor de protección, cualquier corte en el conductor representa un riesgo para las personas y los bienes.

#### Esquema TN-S (véase la [Figura E26](#))

El esquema TN-S (5 hilos) es obligatorio para los equipos portátiles con circuitos con secciones transversales inferiores a 10 mm<sup>2</sup>.

El conductor de protección y el conductor neutro son independientes. En los sistemas de cables subterráneos en los que existen cables forrados de plomo, el conductor de protección es por lo general el revestimiento de plomo. El uso de conductores PE y N independientes (5 hilos) es obligatorio para los equipos portátiles con circuitos con secciones transversales inferiores a 10 mm<sup>2</sup>.

#### Esquema TN-C-S (véase la [Figura E27](#) a continuación y la [Figura E28](#) en la página siguiente).

Los esquemas TN-C y TN-S se pueden utilizar en la misma instalación. En el esquema TN-C-S, el esquema TN-C (4 hilos) nunca se debe utilizar aguas abajo del esquema TN-S (5 hilos), puesto que cualquier interrupción accidental en el conductor neutro en la parte aguas arriba provocaría una interrupción en el conductor de protección en la parte aguas abajo y, por tanto, presentaría un peligro.

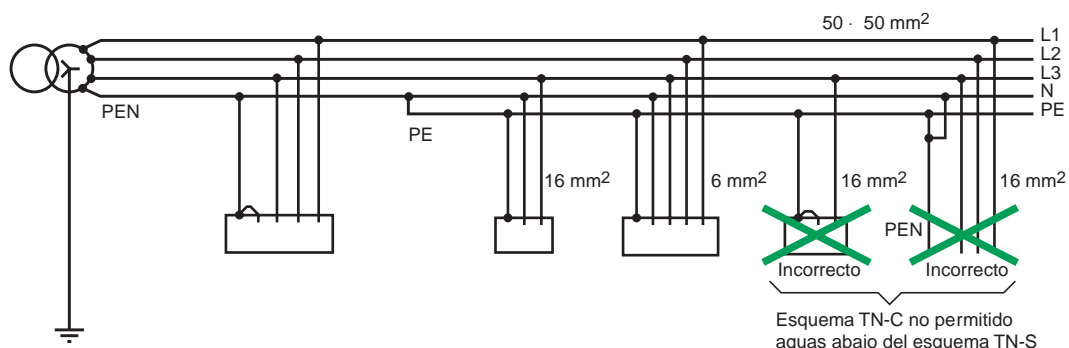


Fig. E27: Esquema TN-C-S.

**Precaución:** en el esquema TN-C, la función de “conductor de protección” tiene prioridad sobre la “función neutro”. Concretamente, siempre se debe conectar un conductor PEN al terminal de tierra de una carga, y se utiliza un puente para conectar este terminal al terminal neutro.

E20

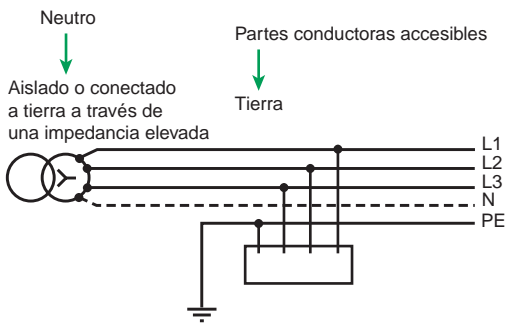


Fig. E29: Esquema IT (neutro aislado).

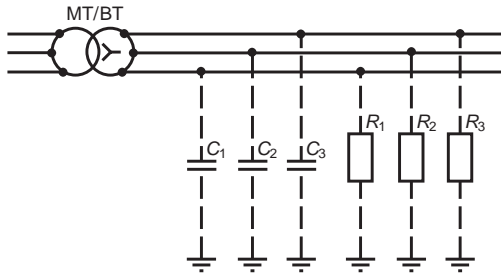


Fig. E30: Esquema IT (neutro aislado).

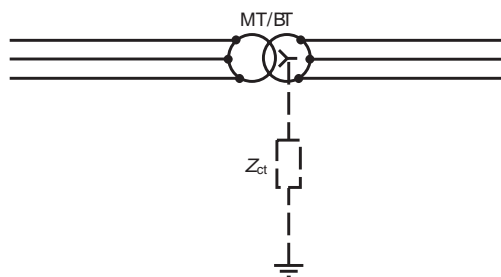


Fig. E31: Impedancia equivalente a las impedancias de fuga en un esquema IT.

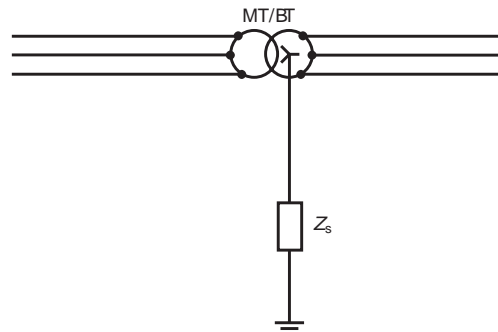


Fig. E32: Esquema IT (neutro impedante: conectado a tierra a través de una impedancia elevada).

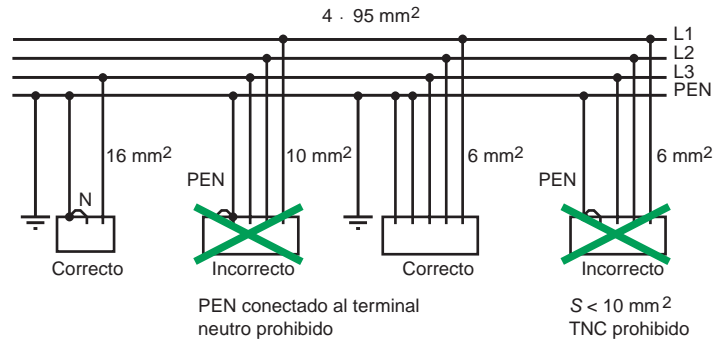


Fig. E28: Conexión del conductor PEN en el esquema TN-C.

## Esquema IT (neutro aislado o neutro impedante)

### Esquema IT (neutro aislado)

No se realiza ninguna conexión entre el punto neutro de la fuente de alimentación y tierra (véase la **Figura E29**).

Las partes conductoras accesibles y extrañas de la instalación se conectan a una toma de tierra.

En la práctica, todos los circuitos tienen una impedancia de fuga a tierra, puesto que ningún aislamiento es perfecto. En paralelo con esta ruta de fuga resistiva (distribuida) se encuentra la ruta de la corriente capacitiva distribuida, y juntas constituyen la impedancia de fuga normal a tierra (véase la **Figura E30**).

### Ejemplo (véase la **Figura E31**)

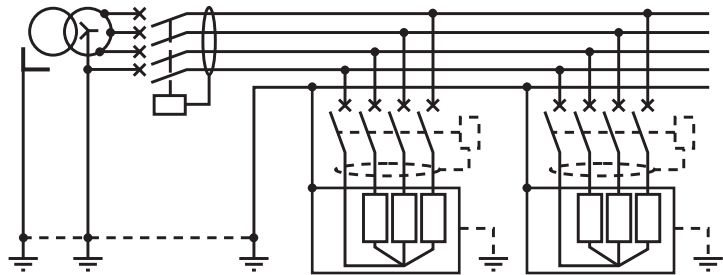
En un esquema de baja tensión trifásico de 3 hilos, 1 km de cable presentará una impedancia de fuga debida a  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  y a  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  equivalente a una impedancia a tierra del neutro  $Z_{ct}$  de entre 3.000 y 4.000  $\Omega$ , sin contar las capacidades de filtrado de los dispositivos electrónicos.

### Esquema IT (neutro con conexión a tierra de impedancia)

Una impedancia  $Z_s$  (de entre 1.000 y 2.000  $\Omega$ ) se conecta de forma permanente entre el punto neutro del devanado de baja tensión del transformador y tierra (véase la **Figura E32**). Todas las partes conductoras accesibles y extrañas se conectan a una toma de tierra. Lo que se pretende con esta forma de conectar la fuente de alimentación a tierra es fijar el potencial de una red pequeña con respecto a tierra ( $Z_s$  es pequeña en comparación con la impedancia de fuga) y reducir el nivel de sobretensiones, como las que se transmiten desde los devanados de alta tensión, las cargas estáticas, etc., con respecto a tierra. Sin embargo, tiene el efecto de aumentar ligeramente el nivel de corriente para el primer defecto.

**El esquema TT:**

- **Técnica para la protección de personas:** las partes conductoras accesibles se conectan a tierra y se utilizan dispositivos de corriente diferencial residual (DDR).
- **Técnica de funcionamiento:** interrupción en caso de primer defecto de aislamiento.

**2.3 Características de los esquemas TT, TN e IT****Esquema TT** (véase la **Figura E33**)**Fig. E33:** Esquema TT.

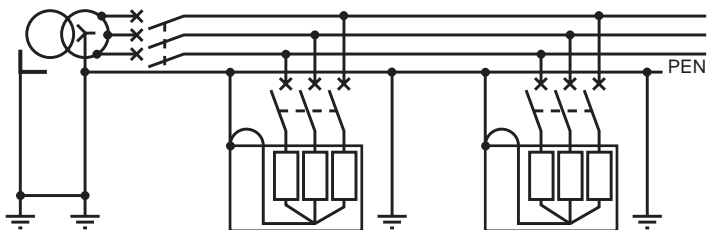
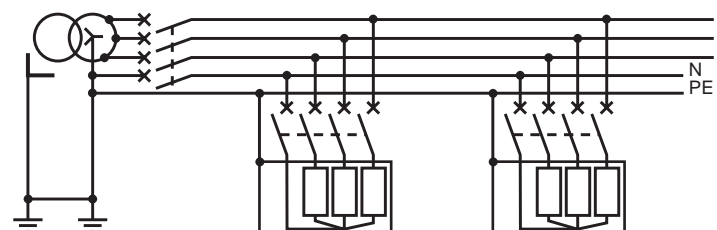
**Nota:** Si las partes conductoras accesibles están conectadas a tierra en una serie de puntos, deberá instalarse un DDR para cada conjunto de circuitos conectado a una determinada toma de tierra.

Características principales:

- La solución más sencilla de diseñar y de instalar. Se utiliza en instalaciones suministradas directamente por la red pública de distribución de baja tensión.
- No requiere una supervisión continua durante el funcionamiento (puede ser necesaria una comprobación periódica de los DDR).
- La protección se garantiza por medio de dispositivos especiales, los dispositivos de corriente diferencial (DDR), que también evitan el riesgo de incendio cuando están regulados a  $\leq 500$  mA.
- Cada defecto de aislamiento provoca una interrupción del suministro eléctrico; sin embargo, el corte se limita al circuito defectuoso mediante la instalación de DDR en serie (DDR selectivos) o en paralelo (selección de circuito).
- Las cargas o partes de la instalación que, durante el funcionamiento normal, provocan corrientes de fuga elevadas requieren medidas especiales para evitar los disparos intempestivos, por ejemplo, instalando un transformador de separación para las cargas o utilizando DDR específicos (véase el subapartado 5.1 del capítulo F).

**El esquema TN:**

- **Técnica para la protección de personas:**
  - Es obligatorio interconectar y conectar a tierra las partes conductoras accesibles y el conductor neutro.
  - Interrupción en caso de primer defecto, utilizando protección contra sobretensiones (interruptor automático o fusibles).
- **Técnica de funcionamiento:** interrupción en caso de primer defecto de aislamiento.

**Esquema TN** (véanse las **Figuras E34 y E35**)**Fig. E34:** Esquema TT.**Fig. E35:** Esquema TN-S.

**Esquema IT:**■ **Técnica de protección:**

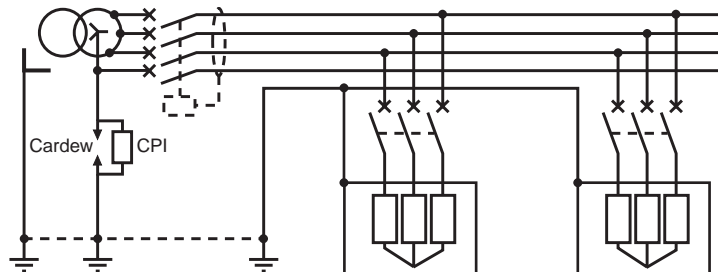
- Interconexión y conexión a tierra de las partes conductoras accesibles.
- Indicación de primer defecto mediante un controlador permanente de aislamiento (CPI).
- Interrupción en caso de segundo defecto, utilizando protección contra sobretensiones (interruptores automáticos o fusibles).

■ **Técnica de funcionamiento:**

- Supervisión del primer defecto de aislamiento.
- Es obligatorio localizar y subsanar el defecto.
- Interrupción en caso de dos defectos de aislamiento simultáneos.

**Características principales**

- En términos generales, el esquema TN:
  - Requiere la instalación de electrodos de tierra a intervalos regulares en toda la instalación.
  - Requiere que la comprobación inicial del disparo eficaz al producirse el primer defecto de aislamiento se lleve a cabo mediante cálculos durante la fase de diseño, seguidos de mediciones obligatorias para confirmar el disparo durante la puesta en marcha.
  - Requiere que un instalador cualificado diseñe y lleve a cabo cualquier modificación o ampliación.
  - Puede causar, en caso de defectos de aislamiento, daños más graves a los devanados de las máquinas giratorias.
  - Puede representar, en instalaciones que presentan un riesgo de incendio, un peligro mayor debido a las corrientes de defecto más altas.
- Además, el esquema TN-C:
  - A primera vista puede parecer más económico (eliminación de un polo de dispositivo y un conductor).
  - Requiere el uso de conductores fijos y rígidos.
  - Está prohibido en determinados casos:
    - Instalaciones que presentan un riesgo de incendio.
    - Para equipos informáticos (presencia de corrientes armónicas en el conductor neutro).
- Además, el esquema TN-S:
  - Puede utilizarse incluso con conductores flexibles y conductos pequeños.
  - Debido a la separación entre el neutro y el conductor de protección, proporciona un PE limpio (para sistemas informáticos e instalaciones que presentan riesgos especiales).

**Esquema IT** (véase la **Figura E36**)**Características principales****Fig. E36:** Esquema IT.

- Esta solución ofrece la mejor continuidad de servicio durante el funcionamiento.
- La indicación del primer defecto de aislamiento, seguida de su localización y eliminación obligatorias, asegura la prevención sistemática de los cortes del suministro.
- Se utiliza por lo general en instalaciones suministradas por un transformador privado de media tensión/baja tensión o de baja tensión/baja tensión.
- Requiere personal de mantenimiento para su supervisión y explotación.
- Requiere un alto nivel de aislamiento de la red (supone la división de la red si es muy extensa y el uso de transformadores de separación de circuitos para alimentar a las cargas con corrientes de fuga elevadas).
- La comprobación del disparo eficaz al producirse dos defectos simultáneos debe llevarse a cabo mediante cálculos realizados en la fase de diseño, seguidos de mediciones obligatorias durante la puesta en marcha para cada grupo de partes conductoras accesibles interconectadas.
- La protección del conductor neutro se debe garantizar de la manera descrita en el subapartado 7.2 del capítulo G.

La selección no depende de criterios de seguridad.

Los tres esquemas son equivalentes en cuanto a la protección de las personas si se siguen al pie de la letra todas las normas de instalación y funcionamiento.

Los criterios para la selección del mejor esquema dependen de los requisitos normativos, la continuidad necesaria de servicio, las condiciones de funcionamiento y los tipos de redes y de cargas.

## 2.4 Criterios de selección de esquemas TT, TN e IT

Por lo que respecta a la protección de las personas, los tres esquemas de conexión a tierra del esquema (ECT) son equivalentes si se siguen correctamente todas las normas de instalación y de funcionamiento. Por tanto, la selección no depende de criterios de seguridad.

Para determinar el mejor esquema deben considerarse todos los requisitos en cuanto a normativas, continuidad de servicio, condiciones de funcionamiento y tipos de redes y de cargas (véase la **Figura E37**).

La selección viene determinada por los siguientes factores:

- Sobre todo, las normativas, que en algunos casos exigen determinados tipos de ECT.

- En segundo lugar, la decisión del propietario, es decir, si el suministro se realiza a través de un transformador privado de media tensión/baja tensión (conexión de media tensión) o si el propietario dispone de una fuente de energía privada (o un transformador con devanado independiente).

Si el propietario dispone de una opción, la decisión en relación con el ECT se tomará tras consultar con el proyectista de la red (oficina de diseño, contratista, etc.).

En las conversaciones deben abordarse las siguientes cuestiones:

- En primer lugar, las necesidades de explotación (el nivel necesario de continuidad de servicio) y las condiciones de funcionamiento (mantenimiento garantizado por personal eléctrico, personal propio o contratado, etc.).

- En segundo lugar, las características específicas de la red y de las cargas (véase la **Figura E38** de la página siguiente).

	TT	TN-S	TN-C	IT1	IT2	Comentarios
<b>Características eléctricas</b>						
Corriente de defecto	-	--	--	+	--	Sólo el esquema IT ofrece corrientes de primer defecto prácticamente insignificantes
Tensión de defecto	-	-	-	+	-	En el esquema IT, la tensión de contacto es muy baja para el primer defecto, pero es considerable para el segundo
Tensión de contacto	+/- -	-	-	+	-	En el esquema TT, la tensión de contacto es muy baja si el sistema es equipotencial; de lo contrario es alta
<b>Protección</b>						
Protección de las personas contra contactos indirectos	+	+	+	+	+	Todos los ECT (esquemas de conexión a tierra del sistema) son equivalentes, si se siguen las normas
Protección de las personas con generadores de emergencia	+	-	-	+	-	Los sistemas protegidos mediante DDR no son sensibles a un cambio de la impedancia interna de la fuente
Protección contra incendios (con un DDR)	+	+	No permitido	+	+	Todos los ECT en los que se pueden utilizar DDR son equivalentes. El esquema TN-C está prohibido en instalaciones en las que existe un riesgo de incendio
<b>Sobretensiones</b>						
Sobretensión continua	+	+	+	-	+	Una sobretensión de fase a tierra es continua en el esquema IT si se produce un primer defecto de aislamiento
Sobretensión transitoria	+	-	-	+	-	Los sist. con corrientes de defecto altas pueden causar sobreten. transitorias
Sobretensión en caso de avería del transformador (principal/secundario)	-	+	+	+	+	En el esquema TT existe un desequilibrio de tensión entre las diferentes tomas de tierra. Los otros esquemas están interconectados a una misma toma de tierra
<b>Compatibilidad electromagnética</b>						
Inmunidad a caídas de rayos cercanas	-	+	+	+	+	En el esquema TT pueden existir desequilibrios de tensión entre las tomas de tierra. En el esquema TT existe un bucle de corriente significativo entre las dos tomas de tierra independientes
Inmunidad a caídas de rayos en líneas de alta tensión	-	-	-	-	-	Todos los ECT son equivalentes cuando una línea de alta tensión recibe una caída de rayo directa
Emisión continua de un campo electromagnético	+	+	-	+	+	La conexión del PEN a las estructuras metálicas del edificio contribuye a la generación continua de campos electromagnéticos
Falta de equipotencialidad de PE a los transitorios	+	-	-	+	-	El PE deja de ser equipotencial si existe una corriente de defecto alta
<b>Continuidad de servicio</b>						
Interrupción en caso de primer defecto	-	-	-	+	+	Sólo el esquema IT evita el disparo en caso de un primer defecto de aislamiento
Caída de tensión durante un defecto de aislamiento	+	-	-	+	-	Los esquemas TN-S, TN-C e IT (2.º defecto) generan corrientes de defecto altas que pueden provocar caídas de tensión de fase
<b>Instalación</b>						
Dispositivos especiales	-	+	+	-	-	El esquema TT requiere el uso de DDR. El esquema IT requiere el uso de CPI.
Número de electrodos de tierra	-	+	+	-/+	-/+	El esquema TT requiere dos electrodos de tierra diferentes. El esquema IT ofrece la opción de uno o dos electrodos de tierra
Número de cables	-	-	+	-	-	Sólo el esquema TN-C ofrece, en determinados casos, una reducción del número de cables
<b>Mantenimiento</b>						
Coste de las reparaciones	-	--	--	-	--	El coste de las reparaciones depende de los daños causados por la amplitud de las corrientes de defecto
Daños a la instalación	+	-	-	++	-	Los esquemas que generan corrientes de defecto altas exigen que se compruebe la instalación antes de subsanar el defecto

Fig. E37: Comparación de los esquemas de conexión a tierra (ECT).

Tipo de red	Recomendado	Posible	No recomendado
Red muy extensa con electrodos de tierra de alta calidad para las partes conductoras accesibles ( $10 \Omega$ máx.)		TT, TN, IT <sup>(1)</sup> o mixta	
Red muy extensa con electrodos de tierra de baja calidad para las partes conductoras accesibles ( $> 30 \Omega$ )		TN	IT <sup>(1)</sup> TN-C
Zona con perturbaciones (tormentas) (p. ej., transmisor de televisión o radio)		TN	IT <sup>(2)</sup>
Red con corrientes de fuga altas ( $> 500$ mA)		TN <sup>(4)</sup>	IT <sup>(4)</sup> TT <sup>(3) (4)</sup>
Red con líneas aéreas al aire libre		TT <sup>(5)</sup>	TN <sup>(5) (6)</sup> IT <sup>(6)</sup>
Generador auxiliar de emergencia		IT	TT TN <sup>(7)</sup>
<b>Tipo de cargas</b>			
Cargas sensibles a corrientes de defecto elevadas (motores, etc.)		IT	TT TN <sup>(8)</sup>
Cargas con un nivel de aislamiento bajo (hornos eléctricos, soldadoras, elementos de caldeo, calentadores por inmersión, equipos en cocinas grandes)		TN <sup>(9)</sup>	TT <sup>(9)</sup> IT
Numerosas cargas monofásicas fase-neutro (móviles, semifijas, portátiles)		TT <sup>(10)</sup> TN-S	IT <sup>(10)</sup> TN-C <sup>(10)</sup>
Cargas que presentan riesgos considerables (montacargas, cintas transportadoras, etc.)		TN <sup>(11)</sup>	TT <sup>(11)</sup> IT <sup>(11)</sup>
Numerosos elementos auxiliares (máquinas-herramienta)		TN-S	TN-C IT <sup>(12 bis)</sup> TT <sup>(12)</sup>
<b>Varios</b>			
Suministro a través de un transformador de energía conectado en estrella-estrella <sup>(13)</sup>		TT	IT sin neutro IT <sup>(13)</sup> con neutro
Instalaciones que presentan un riesgo de incendio		IT <sup>(15)</sup>	TN-S <sup>(15)</sup> TT <sup>(15)</sup> TN-C <sup>(14)</sup>
Aumento del nivel de alimentación de conexión al servicio público de suministro de BT, que requiere un CT privado		TT <sup>(16)</sup>	
Instalación sometida a modificaciones frecuentes		TT <sup>(17)</sup>	TN <sup>(18)</sup> IT <sup>(18)</sup>
Instalación en la que la continuidad de los circuitos de tierra es inestable (lugares de trabajo, instalaciones antiguas)		TT <sup>(19)</sup>	TN-S TN-C IT <sup>(19)</sup>
Equipos electrónicos (ordenadores, autómatas)		TN-S	TT TN-C
Red de control y supervisión de maquinaria, sensores de autómatas y accionadores		IT <sup>(20)</sup>	TN-S, TT

(1) Si la normativa no exige la elección de un ECT, se selecciona de acuerdo con el nivel de las características de funcionamiento (continuidad de servicio obligatoria por razones de seguridad o deseable para aumentar la productividad, etc.). Independientemente del ECT seleccionado, la probabilidad de que se produzca un defecto de aislamiento aumenta con la longitud de la red. Puede resultar conveniente dividir la red, lo cual facilita la localización de defectos y hace posible implementar el esquema recomendado anteriormente para cada tipo de aplicación.

(2) El riesgo de arco en el limitador de sobretensiones convierte el conductor neutro aislado en un conductor neutro conectado a tierra. Estos riesgos son elevados en zonas donde son frecuentes las tormentas o en instalaciones suministradas por líneas aéreas. Si se selecciona el esquema IT para asegurar un nivel de continuidad de servicio más alto, el proyectista del sistema deberá calcular con precisión las condiciones de disparo en caso de producirse un segundo defecto.

(3) Riesgo de disparo intempestivo del DDR.

(4) Independientemente del ECT elegido, la solución idónea consiste en aislar la sección sometida a perturbaciones si se puede identificar fácilmente.

(5) Riesgos de defectos de fase a tierra que afectan a la equipotencialidad.

(6) El aislamiento es inestable debido a la humedad y al polvo conductor.

(7) No se recomienda utilizar el esquema TN debido al riesgo de que se produzcan daños en el generador en caso de defecto interno.

Además, si los equipos de seguridad reciben su suministro de generadores, el sistema no se debe disparar en caso de un primer defecto.

(8) La corriente de fase a tierra puede ser varias veces mayor que  $I_n$ , con el riesgo de dañar o acelerar el envejecimiento de los devanados del motor, o de destruir los circuitos magnéticos.

(9) Para combinar la continuidad de servicio y la seguridad es necesario, y muy recomendable, independientemente del ECT seleccionado, separar estas cargas del resto de la instalación (transformadores con conexión neutra local).

(10) Si la calidad de los equipos de carga no es una prioridad del diseño, existe el riesgo de que la resistencia de aislamiento descienda rápidamente. El esquema TT con DDR ofrece la mejor manera de evitar problemas.

(11) La movilidad de este tipo de carga provoca defectos frecuentes (contacto deslizante para la conexión de las partes conductoras accesibles) que deben contrarrestarse. Independientemente del ECT seleccionado, se recomienda suministrar estos circuitos mediante transformadores con una conexión neutra local.

(12) Requiere el uso de transformadores con un esquema TN local para evitar riesgos de funcionamiento y disparos intempestivos en caso de producirse un primer defecto (TT) o un doble defecto (IT).

(12 bis) Con un corte doble en el circuito de control.

(13) Limitación excesiva de la corriente de fase a neutro debido al valor elevado de la impedancia de fase cero (al menos 4 a 5 veces la impedancia directa). Este sistema se debe sustituir por una disposición de estrella-triángulo.

(14) El esquema TN es peligroso debido a las corrientes de defecto elevadas. El esquema TN-C está prohibido.

(15) Independientemente del esquema, el DDR debe ajustarse a  $\Delta I_n \leq 500$  mA.

(16) Una instalación suministrada con energía de baja tensión debe utilizar el esquema TT. El mantenimiento de este ECT requiere un mínimo de modificaciones en la red existente (no es necesario tender cables ni es preciso modificar dispositivos de protección).

(17) Posible sin personal de mantenimiento altamente cualificado.

(18) Este tipo de instalación requiere una atención especial para mantener la seguridad. Debido a la ausencia de medidas preventivas en el esquema TN, se necesita personal altamente cualificado para garantizar la seguridad con el paso del tiempo.

(19) Los riesgos de roturas en los conductores (suministro, protección) pueden provocar la pérdida de equipotencialidad de las partes conductoras accesibles. Se recomienda, y a menudo es obligatorio, el uso de un esquema TT o un esquema TN-S con varios DDR de 30 mA. El esquema IT se puede utilizar en casos muy específicos.

(20) Esta solución evita los disparos intempestivos en caso de fugas a tierra inesperadas.

Fig. E38: Influencia de las redes y las cargas en la selección de los esquemas de conexión a tierra.

## 2.5 Elección del método de conexión a tierra - implementación

Después de consultar las normativas oportunas, podrán utilizarse las Figuras E37 y E38 como ayuda para decidir las divisiones y el posible aislamiento galvánico de las secciones adecuadas de una instalación propuesta.

### División de la fuente

Esta técnica utiliza varios transformadores, en lugar de una unidad de intensidades superiores. Así, una carga que sea una fuente de perturbaciones en la red (motores grandes, hornos, etc.) podrá recibir el suministro de su propio transformador. Se mejora así tanto la calidad como la continuidad de suministro a toda la instalación.

Se reduce el coste de la aparatada (el nivel de la corriente de cortocircuito es más bajo).

La rentabilidad del uso de transformadores independientes debe determinarse en cada caso.

### Islas en la red

La creación de "islas" separadas galvánicamente por medio de transformadores de baja tensión/baja tensión permite optimizar la selección de métodos de conexión a tierra para atender necesidades específicas (véanse las Figuras E39 y E40).

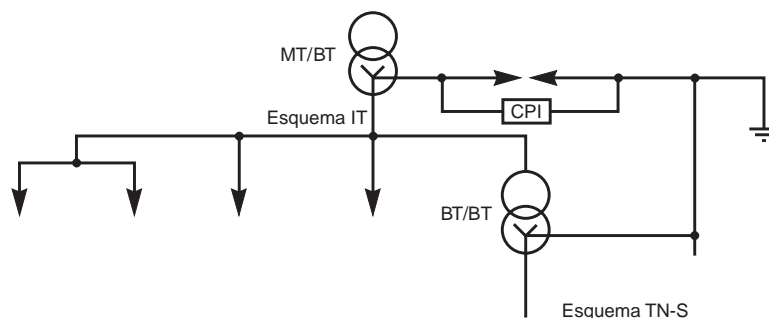


Fig. E39: Isla TN-S en un esquema IT.

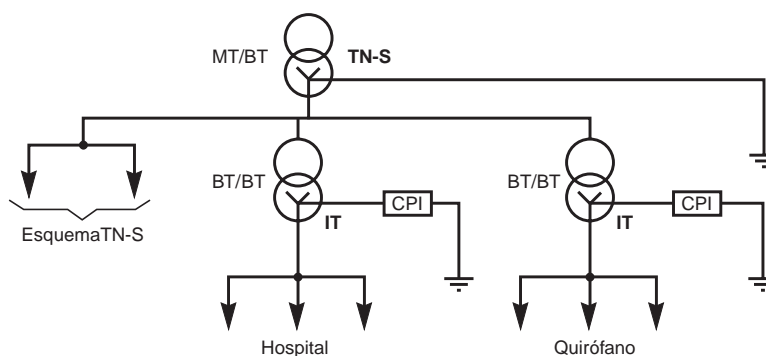


Fig. E40: Islas IT en un esquema TN-S.

### Conclusión

La optimización del rendimiento de la instalación en su conjunto determina la elección del esquema de conexión a tierra.

Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Las inversiones iniciales.
- Los futuros gastos operativos, difíciles de evaluar, que pueden surgir debido a una fiabilidad insuficiente, la calidad de los equipos, la seguridad, la continuidad de servicio, etc.

Una estructura ideal incluiría fuentes de alimentación normales, fuentes de alimentación de reserva locales (véase el subapartado 1.4 del capítulo E) y los esquemas de conexión a tierra adecuados.

E26

Una manera muy eficaz de obtener una conexión de tierra de baja resistencia consiste en enterrar un conductor en forma de bucle cerrado en la tierra en el fondo de la excavación de los cimientos del edificio. La resistencia  $R$  de este tipo de electrodo (en suelos homogéneos) se expresa (aproximadamente) en ohmios

mediante:  $R = \frac{2 \rho}{L}$  donde

$L$  = longitud del conductor enterrado en metros.

$\rho$  = resistividad de la tierra en ohmios-metros.

Para  $n$  barras:  $R = \frac{1 \rho}{nL}$

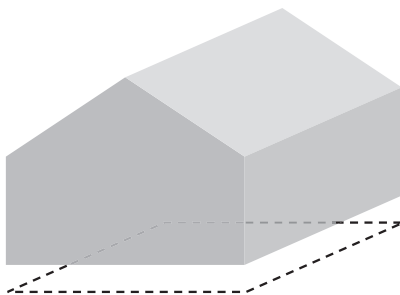


Fig. E41: Conductor enterrado debajo del nivel de los cimientos, es decir, no en hormigón.

## 2.6 Instalación y mediciones de los electrodos de tierra

La calidad de una toma de tierra (con una resistencia lo más baja posible) depende fundamentalmente de dos factores:

- Método de instalación.
- Tipo de suelo.

### Métodos de instalación

Se tratarán tres métodos de instalación habituales:

#### Anillo enterrado (véase la Figura E41)

Esta solución es muy recomendable, especialmente en el caso de un edificio nuevo. El electrodo se debe enterrar alrededor del perímetro de la excavación practicada para los cimientos. Es importante que el conductor pelado se encuentre en estrecho contacto con la tierra (y no colocado en la gravilla ni en áridos gruesos, que a menudo forman una base para el hormigón). Para las conexiones de la instalación deben disponerse al menos cuatro conductores (bien separados) desde el electrodo, colocados verticalmente, y, siempre que sea posible, las barras de refuerzo que puedan introducirse en el hormigón deberían conectarse al electrodo. El conductor que forma la toma de tierra, especialmente cuando se coloca en una excavación practicada para los cimientos, debe encontrarse en la tierra, al menos 50 cm por debajo de la base de los áridos gruesos utilizados como base de la cimentación de hormigón. Ni el electrodo ni los conductores verticales que ascienden hasta la planta baja deben estar en contacto con el hormigón de la cimentación.

En edificios existentes, el conductor del electrodo debe enterrarse alrededor del muro exterior de la instalación a una profundidad mínima de 1 metro. Por regla general, todas las conexiones verticales desde un electrodo hasta un nivel situado sobre la tierra deben estar aisladas para el nivel de baja tensión nominal (de 600 a 1.000 V).

Los conductores pueden ser de:

- Cobre: cable pelado ( $\geq 25 \text{ mm}^2$ ) o pletinas múltiples ( $\geq 25 \text{ mm}^2$  y  $\geq 2 \text{ mm}$  de grosor).
- Aluminio con revestimiento de plomo: cable ( $\geq 35 \text{ mm}^2$ ).
- Cable de acero galvanizado: cable pelado ( $\geq 95 \text{ mm}^2$ ) o pletinas múltiples ( $\geq 100 \text{ mm}^2$  y  $\geq 3 \text{ mm}$  de grosor).

La resistencia  $R$  aproximada del electrodo en ohmios es:

$$R = \frac{2 \rho}{L}$$

donde

$L$  = longitud del conductor en metros.

$\rho$  = resistividad de la tierra en ohmios-metros (véase el subapartado "Influencia del tipo de tierra" en la página siguiente).

#### Barras de conexión a tierra (véase la Figura E42)

En los edificios existentes a menudo se utilizan barras de conexión a tierra clavadas verticalmente, mejorando los electrodos de tierra existentes.

Las barras pueden ser de:

- Cobre o (más habitualmente) acero chapado de cobre. Estas últimas suelen tener una longitud de 1 o 2 metros y disponen de extremos roscados y tomas para alcanzar profundidades considerables, si es necesario (por ejemplo, la capa freática en zonas con alta resistividad de la tierra).
- Tubo de acero galvanizado (véase la nota (1) de la página siguiente) con un diámetro de  $\geq 25 \text{ mm}$  o una barra con un diámetro de  $\geq 15 \text{ mm}$  y una longitud de  $\geq 2$  metros en cada caso.

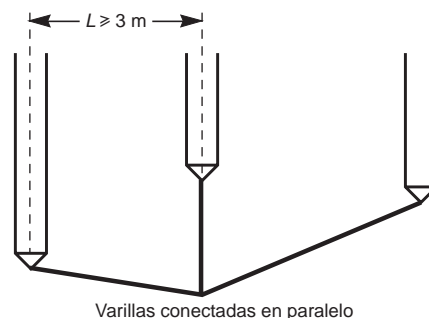


Fig. E42: Barras de conexión a tierra.

A menudo es necesario utilizar más de una barra, en cuyo caso la separación entre las barras debe ser entre 2 y 3 veces mayor que la profundidad a la que se claven. La resistencia total (en tierras homogéneas) será entonces igual a la resistencia de una barra, dividida por el número de barras en cuestión. La resistencia aproximada  $R$  obtenida en ohmios: si las barras están separadas una distancia  $> 4 L$ :

$$R = \frac{1 \rho}{n L}$$

donde

$L$  = la longitud de la barra en metros.

$\rho$  = resistividad de la tierra en ohmios-metros (véase el subapartado "Influencia del tipo de tierra" a continuación).

$n$  = el número de barras.

**Placas verticales** (véase la **Figura E43**)

A menudo se utilizan como electrodos de tierra placas rectangulares, cuyos lados deben medir  $\geq 0,5$  metros, y que se entierran en un plano vertical de tal modo que el centro de la placa quede al menos 1 metro por debajo de la superficie de la tierra. Las placas pueden ser de:

- Cobre con un grosor de 2 mm.
- Acero galvanizado<sup>(1)</sup> con un grosor de 3 mm.

La resistencia  $R$  en ohmios se obtiene (aproximadamente) mediante la fórmula:

$$R = \frac{0,8 \rho}{L}$$

$L$  = el perímetro de la placa en metros.

$\rho$  = resistividad de la tierra en ohmios-metros (véase el subapartado "Influencia del tipo de tierra" a continuación).

### Influencia del tipo de tierra

Tipo de tierra	Valor medio de la resistividad en $\Omega m$
Tierra pantanosa, ciénagas	1 - 30
Aluvión	20 - 100
Humus, tierra vegetal	10 - 150
Turba	5 - 100
Arcilla blanda	50
Marga y arcilla compactada	100 - 200
Marga jurásica	30 - 40
Arena arcillosa	50 - 500
Arena silíceas	200 - 300
Terrenos con piedras	1.500 - 3.000
Subsuelo con piedras cubierto de hierba	300 - 500
Tierra cretácea	100 - 300
Suelo calizo	1.000 - 5.000
Suelo calizo fisurado	500 - 1.000
Esquisto	50 - 300
Micaesquisto	800
Granito y arenisca	1.500 - 10.000
Granito y arenisca modificados	100 - 600

Fig. E44: Resistividad ( $\Omega m$ ) de diferentes tipos de suelos.

Tipo de tierra	Valor medio de la resistividad en $\Omega m$
Suelo fértil, relleno húmedo compactado	50
Suelo árido, gravilla, relleno irregular no compactado	500
Suelo con piedras, sin vegetación, arena seca, rocas fisuradas	3.000

Fig. E45: Valores de resistividad media ( $\Omega m$ ) aproximados para cada tipo de suelo.

Para un electrodo de placa vertical:  $R = \frac{0,8 \rho}{L}$

Las mediciones de los electrodos de tierra en suelos similares resultan útiles para determinar el valor de resistividad que se debe aplicar para el diseño de un sistema de electrodos de tierra.

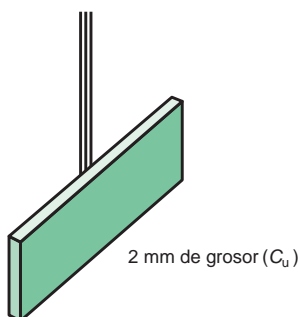


Fig. E43: Placa vertical.

(1) Si se utilizan materiales conductores galvanizados para los electrodos de tierra, podrá ser necesario usar ánodos de desgaste de protección catódica para evitar la corrosión rápida de los electrodos en terrenos agresivos. Hay disponibles ánodos de magnesio preparados especialmente (en un saco poroso lleno de "tierra" adecuada) para la conexión directa a los electrodos. En estos casos será necesario consultar a un especialista.

### Medición y constancia de la resistencia entre un electrodo de tierra y el suelo

#### La resistencia de la superficie de contacto entre el electrodo y el suelo rara vez es constante

Entre los principales factores que afectan a esta resistencia cabe citar los siguientes:

- Humedad del suelo.

Los cambios estacionales del contenido de humedad del suelo pueden ser significativos a profundidades de hasta 2 metros.

A una profundidad de 1 metro, la resistividad, y por tanto la resistencia, pueden variar una relación de 1 a 3 entre un invierno lluvioso y un verano seco en regiones templadas.

- Heladas.

La tierra helada puede aumentar la resistividad del suelo varias magnitudes. En este caso se recomienda instalar electrodos a gran profundidad, especialmente en climas fríos.

- Envejecimiento.

Los materiales utilizados en la fabricación de los electrodos normalmente se deterioran en cierta medida debido a diversos motivos, como por ejemplo:

- Reacciones químicas (en suelos ácidos o alcalinos).

- Reacciones galvánicas: debido a corrientes de fuga de CC en la tierra causadas, por ejemplo, por ferrocarriles eléctricos, etc., o debido a materiales distintos utilizados para formar acumuladores primarios. Diferentes suelos que actúen en secciones del mismo conductor también pueden formar áreas catódicas y anódicas, con la consiguiente pérdida de metal superficial en estas últimas áreas.

Lamentablemente, las condiciones más favorables para que la resistencia tierra-electrodo sea baja, son aquellas en las que fluyen con mayor facilidad las corrientes galvánicas.

- Oxidación.

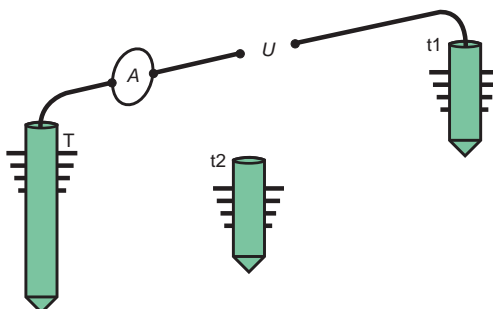
Las juntas y conexiones soldadas son los puntos más sensibles a la oxidación. Una medida preventiva empleada habitualmente consiste en limpiar a fondo una junta o conexión recién soldada y envolverla con una cinta engrasada adecuada.

#### Medición de la resistencia tierra-electrodo

Siempre debe haber una o más conexiones removibles para aislar una toma de tierra con el fin de poder comprobarlo.

Siempre debe haber conexiones removibles que permitan aislar la toma de tierra de la instalación, para poder llevar a cabo pruebas periódicas de la resistencia de conexión a tierra. Para realizar estas pruebas se necesitan dos electrodos auxiliares, formado cada uno por una barra clavada verticalmente.

- Método del amperímetro (véase la [Figura E46](#)).



**Fig. E46:** Medición de la resistencia a tierra de la toma de tierra de una instalación mediante un amperímetro.

$$A = R_T + R_{t1} = \frac{U_{Tt1}}{i_1}$$

$$B = R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{t1t2}}{i_2}$$

$$C = R_{t2} + R_T = \frac{U_{t2T}}{i_3}$$

Cuando la tensión de la fuente  $U$  es constante (ajustada al mismo valor para cada prueba):

$$R_T = \frac{U}{2} \left( \frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_3} - \frac{1}{i_2} \right)$$

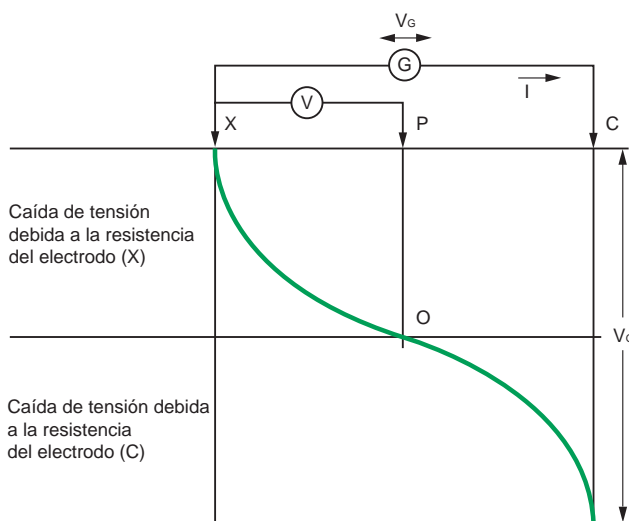
Con el fin de evitar errores debidos a corrientes de fuga de tierra (corrientes galvánicas de CC o de fuga procedentes de las redes eléctricas y de comunicaciones, etc.), la corriente de prueba debe ser de CA, pero a una frecuencia distinta de la del sistema de alimentación o cualquiera de sus armónicos. Los instrumentos que utilizan generadores accionados a mano para realizar estas mediciones normalmente producen una tensión de CA a una frecuencia de entre 85 y 135 Hz.

Las distancias entre los electrodos no son decisivas y pueden partir en diferentes direcciones desde el electrodo sometido a prueba, según las condiciones de la instalación. Normalmente se realiza una serie de pruebas con separaciones y direcciones diferentes para verificar los resultados de las pruebas.

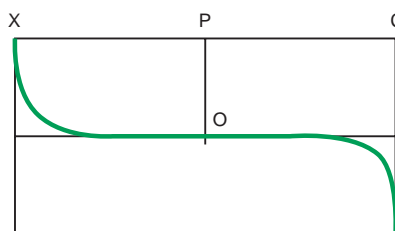
■ Uso de un ohmímetro de lectura directa para medir la resistencia de la conexión a tierra.

Estos instrumentos utilizan un generador de CA accionado a mano o de tipo electrónico, junto con dos electrodos auxiliares cuya separación debe ser tal, que la zona de influencia del electrodo sometido a prueba no quede solapada con la del electrodo de prueba (C). El electrodo de prueba (C) más alejado del electrodo (X) sometido a prueba pasa una corriente a través de tierra y del electrodo sometido a prueba, mientras que el segundo electrodo de prueba (P) recoge una tensión. Esta tensión, que se mide entre (X) y (P), se debe a la corriente de prueba y es una medida de la resistencia de contacto (del electrodo sometido a prueba) con tierra. Resulta evidente que la distancia entre (X) y (P) se debe elegir cuidadosamente para obtener resultados exactos. Sin embargo, si se incrementa la distancia entre (X) y (C), las zonas de resistencia de los electrodos (X) y (C) se alejan entre sí y la curva de potencial (tensión) se hace casi horizontal aproximadamente en el punto (O).

Por tanto, en pruebas prácticas se incrementa la distancia entre (X) y (C) hasta que las lecturas tomadas con el electrodo (P) en tres puntos diferentes, por ejemplo, en (P) y a 5 metros aproximadamente a cada lado de (P), presenten valores similares. La distancia entre (X) y (P) es por lo general 0,68 de la distancia entre (X) y (C).



a) Para el principio de medición se suponen condiciones de tierra homogéneas. Donde las zonas de influencia de los electrodos C y X se superponen, la ubicación del electrodo de prueba P resulta difícil de determinar para obtener unos resultados satisfactorios.



b) Se muestra el efecto en el gradiente de potencial cuando (X) y (C) están muy separados. La ubicación del electrodo de prueba P no resulta esencial y puede determinarse fácilmente.

Fig. E46b: Medición de la resistencia a tierra del electrodo (X) a través de un ohmímetro de prueba de electrodo de tierra.

Los cuadros de distribución, incluido el cuadro general de baja tensión (CGBT), son cruciales para garantizar la fiabilidad de una instalación eléctrica. Deben cumplir normas bien definidas que rigen el diseño y la construcción de la aparmanta de baja tensión.

E30

Los requisitos de carga determinan el tipo de cuadro de distribución que se debe instalar.

### 3.1 Cuadros de distribución

Un cuadro de distribución es el punto en el que una fuente de alimentación entrante se divide en circuitos independientes, cada uno de los cuales se controla y se protege mediante los fusibles o interruptores del cuadro. Un cuadro de distribución se divide en una serie de unidades funcionales, cada una de las cuales incluye todos los elementos eléctricos y mecánicos que contribuyen a la realización de una determinada función. Es un eslabón fundamental de la cadena de la fiabilidad. Por consiguiente, el tipo de cuadro de distribución debe estar perfectamente adaptado a su aplicación. Su diseño y construcción deben cumplir las normas y directivas aplicables.

La envolvente del cuadro de distribución aporta una doble protección:

- Protección de los interruptores, instrumentos de medida, relés, fusibles, etc., contra impactos mecánicos, vibraciones y otras influencias externas que puedan interferir con la integridad operativa (EMI, polvo, humedad, animales e insectos, etc.).
- La protección de las personas contra la posibilidad de descargas eléctricas directas e indirectas (véase el índice de grados de protección IP e IK en el subapartado 4.3 de este capítulo E).

#### Tipos de cuadros de distribución

Los cuadros de distribución pueden variar según el tipo de aplicación y el principio de diseño adoptado (especialmente en cuanto a la disposición de las barras).

#### Cuadros de distribución de acuerdo con aplicaciones específicas

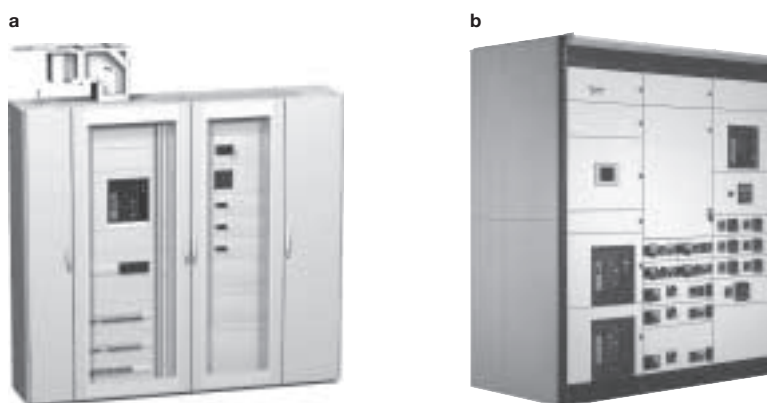
Los tipos principales de cuadros de distribución son:

- El cuadro de distribución general de baja tensión, o CGBT (véase la **Figura E47a**).
- Centros de control de motores, o MCC (véase la **Figura E47b**).
- Cuadros de distribución secundaria (véase la **Figura E48**).
- Cuadros de distribución terminal (véase la **Figura E49**).

Los cuadros de distribución para aplicaciones específicas (p. ej., calefacción, ascensores, procesos industriales) se pueden ubicar:

- Al lado del cuadro de distribución general de baja tensión.
- Cerca de la aplicación en cuestión.

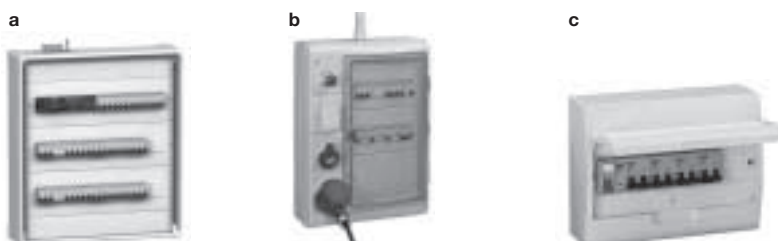
Los cuadros de distribución secundaria y terminal se suelen distribuir por toda la instalación.



**Fig. E47:** [a] Un cuadro de distribución general de baja tensión, o CGBT (Prisma Plus P) con circuitos entrantes en forma de canalizaciones eléctricas. [b] Un centro de control de motores de baja tensión, o MCC (Okken).



**Fig. E48:** Un cuadro de distribución secundario (Prisma Plus G).



**Fig. E49:** Cuadros de distribución terminal [a] Prisma Plus Pack; [b] Kaedra; [c] mini Pragma.

Debe hacerse una distinción entre:

■ Cuadros de distribución tradicionales en los que los interruptores, fusibles, etc., están fijados a un chasis en la parte posterior de una envolvente.

■ Cuadros de distribución funcionales para aplicaciones específicas, basados en un diseño modular y estandarizado.

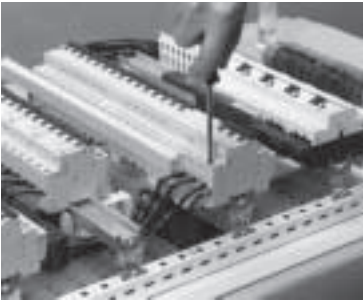


Fig. E50: Montaje de un cuadro de distribución terminal con unidades funcionales fijas (Prisma Plus G).



Fig. E51: Cuadro de distribución con unidades funcionales desconectables.



Fig. E52: Cuadro de distribución con unidades funcionales extraíbles en cajones.

## Dos tecnologías de cuadros de distribución

### Cuadros de distribución tradicionales

Los interruptores, fusibles, etc., normalmente se instalan en un chasis situado en la parte posterior de la envolvente. Los dispositivos indicadores y de control (equipos de medida, lámparas, pulsadores, etc.) están montados en la parte frontal del cuadro.

Es necesario estudiar cuidadosamente la ubicación de los componentes en la envolvente y tener en cuenta las dimensiones de cada elemento, las conexiones que llegarán al mismo y las separaciones necesarias para garantizar un funcionamiento seguro y sin problemas.

### Cuadros de distribución funcionales

Estos cuadros de distribución, que por lo general se utilizan para aplicaciones específicas y están formados por módulos funcionales que incluye la aparatenta junto con accesorios estandarizados para el montaje y las conexiones, garantizan un alto nivel de fiabilidad y gran capacidad para realizar cambios futuros y de última hora.

■ Numerosas ventajas.

El uso de cuadros de distribución funcionales se ha extendido a todos los niveles de la distribución eléctrica de baja tensión, desde el cuadro de distribución general de baja tensión (CGBT) hasta los cuadros de distribución terminal, debido a las numerosas ventajas que ofrecen:

- Modularidad del sistema, que permite integrar numerosas funciones en un mismo cuadro de distribución, incluida la protección, el control, la gestión técnica y la supervisión de instalaciones eléctricas. El diseño modular también facilita el mantenimiento, manejo y actualización del cuadro de distribución.
- El diseño del cuadro de distribución se lleva a cabo con rapidez, ya que simplemente es necesario añadir módulos funcionales.
- Los componentes prefabricados se pueden montar con mayor rapidez.
- Por último, estos cuadros de distribución se someten a pruebas de homologación que aseguran un alto grado de fiabilidad.

Las nuevas gamas Prisma Plus G y P de cuadros de distribución funcionales de Schneider Electric satisfacen necesidades de hasta 3.200 A y ofrecen:

- Flexibilidad y facilidad a la hora de crear cuadros de distribución.
- Certificación de un cuadro de distribución que cumple la norma IEC 60439, y la garantía de un mantenimiento en condiciones seguras.
- Ahorro de tiempo en todas las fases, desde el diseño hasta la instalación, durante el funcionamiento y a la hora de realizar modificaciones o actualizaciones.
- Fácil adaptación, por ejemplo, a los métodos de trabajo y las normas específicas de diferentes países.

En las Figuras E47a, E48 y E49 se muestran ejemplos de cuadros de distribución funcionales que abarcan todas las intensidades eléctricas, y en la Figura E47b se muestra un cuadro de distribución funcional industrial de alta potencia.

■ Principales tipos de unidades funcionales.

En los cuadros de distribución funcionales se utilizan tres tecnologías básicas:

□ Unidades funcionales fijas (véase la Figura E50).

Estas unidades no se pueden aislar del suministro eléctrico, por lo que las tareas de mantenimiento, modificaciones, etc., exigen la desconexión de todo el cuadro de distribución. Sin embargo, se pueden utilizar dispositivos conectables o extraíbles para reducir al mínimo el tiempo de cierre y aumentar la disponibilidad del resto de la instalación.

□ Unidades funcionales desconectables (véase la Figura E51).

Cada unidad funcional se monta en una placa de montaje removible y dispone de un medio de aislamiento en el lado aguas arriba (barras) y medios de desconexión en el lado aguas abajo (circuito saliente). Por tanto, es posible retirar la unidad completa para realizar tareas de mantenimiento, sin necesidad de realizar una desconexión general.

□ Unidades funcionales extraíbles de tipo cajón (véase la Figura E52).

La aparatenta y los accesorios asociados necesarios para realizar una función completa se montan en un chasis extraíble horizontalmente de tipo cajón. La función es por lo general compleja y a menudo está relacionada con el control de motores. El aislamiento es posible tanto aguas arriba como aguas abajo mediante la retirada completa del cajón, lo cual permite la sustitución rápida de una unidad defectuosa sin necesidad de desconectar el resto del cuadro de distribución.

El cumplimiento de las normas aplicables es fundamental para garantizar un grado de fiabilidad adecuado.

E32

Tres elementos de la norma IEC 60439-1 contribuyen significativamente a asegurar la fiabilidad:

- Definición clara de las unidades funcionales.
- Formatos de separación entre las unidades funcionales adyacentes de acuerdo con las necesidades del usuario.
- Pruebas rutinarias y de homologación claramente definidas.

## Normas

### Diferentes normas

Determinados tipos de cuadros de distribución (concretamente los cuadros de distribución funcionales) deben cumplir normas específicas de acuerdo con la aplicación o el entorno en cuestión.

La norma internacional de referencia es IEC 60439-1, que distingue entre los conjuntos de serie y conjuntos derivados de serie.

### Norma IEC 60439-1

#### ■ Categorías de montajes.

La norma IEC 60439-1 distingue entre dos categorías de montajes:

- Conjuntos de la apartamentada y aparatos de control de baja tensión de serie, que no difieren significativamente de un tipo o sistema establecido para el que se haya garantizado la conformidad por medio de las pruebas de homologación definidas en la norma.
- Conjuntos de la apartamentada y aparatos de control de baja tensión derivados de serie que pueden contener disposiciones no homologadas, siempre y cuando estas últimas estén basadas en disposiciones homologadas.

Cuando su instalación la lleva a cabo personal cualificado de acuerdo con prácticas profesionales aceptadas y con las instrucciones del fabricante, ofrecen el mismo nivel de seguridad y calidad.

#### ■ Unidades funcionales.

La misma norma define las unidades funcionales:

- Parte de un montaje que incluye todos los elementos eléctricos y mecánicos que contribuyen a la realización de la misma función.
- El cuadro de distribución incluye una unidad funcional entrante y una o más unidades funcionales para los circuitos salientes, en función de las necesidades operativas de la instalación.

Además, las tecnologías de cuadros de distribución emplean unidades funcionales que pueden ser fijas, desconectables o extraíbles (véase el subapartado 3.1 de este capítulo E).

#### ■ Formas (véase la **Figura E53**).

La separación de las unidades funcionales en el montaje se lleva a cabo mediante formas que se especifican para diferentes tipos de funcionamiento.

Las diferentes formas están numeradas del 1 al 4, con variaciones designadas como "a" o "b". Cada incremento (de 1 a 4) es acumulativo, es decir, con un número más alto incluye las características de una forma con números más bajos. La norma distingue los siguientes formas:

- Forma 1: sin compartimentación.
- Forma 2: separación de las barras de las unidades funcionales.
- Forma 3: separación de las barras de las unidades funcionales y separación de todas las unidades funcionales entre sí, excepto de sus bornes de salida.
- Forma 4: igual que el formato 3, pero incluida la separación de los bornes de salida de todas las unidades funcionales entre sí.

El fabricante y el usuario deben decidir la forma que ha de implementarse.

La gama de unidades funcionales Prima Plus ofrece soluciones para las formas 1, 2b, 3b, 4a y 4b.

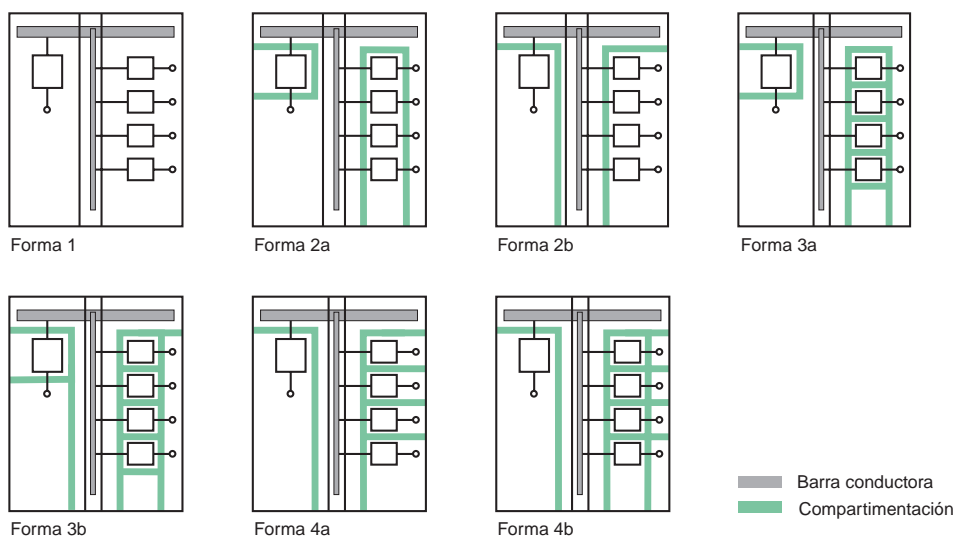


Fig. E53: Representación de las diferentes formas de cuadros de distribución funcionales de baja tensión.

La accesibilidad total de la información eléctrica y los cuadros de distribución inteligentes son ahora una realidad.

#### ■ Ensayos tipo y verificaciones.

Garantizan que cada cuadro de distribución cumpla la norma. La disponibilidad de documentos de prueba certificados por organizaciones independientes es una garantía para los usuarios.

### Supervisión y control remotos de la instalación eléctrica

La supervisión y el control remotos ya no están limitados a las grandes instalaciones. Estas funciones se utilizan cada vez más y ofrecen un ahorro considerable de costes. Las principales ventajas potenciales son:

- Reducción de las facturas de electricidad.
- Reducción de los costes estructurales necesarios para mantener la instalación en buen estado.
- Mayor rentabilidad de la inversión, especialmente en relación con la optimización del ciclo de vida de la instalación.
- Mayor nivel de satisfacción de los usuarios de la energía (en un edificio o en industrias de transformación) debido a la mayor disponibilidad y/o calidad.

Las posibilidades enumeradas anteriormente son una verdadera opción, dada la actual liberalización del sector de la energía eléctrica.

Modbus se utiliza cada vez más como el protocolo abierto para la comunicación dentro del cuadro de distribución y entre el cuadro de distribución y las aplicaciones de supervisión y control de la alimentación eléctrica de los clientes. Modbus existe en dos formatos, par trenzado (RS 485) y Ethernet-TCP/IP (IEEE 802.3).

En el sitio [www.modbus.org](http://www.modbus.org) se presentan todas las intensidades del bus y se actualiza constantemente la lista de productos y empresas que utilizan esta norma industrial abierta.

El uso de tecnologías de web ha contribuido en gran medida a su adopción generalizada al reducir drásticamente el coste del acceso a estas funciones mediante el uso de una interfaz que es ahora universal (páginas web) y un grado de apertura y de capacidad de actualización que simplemente no existían hace unos años.

## 3.2 Cables y canalizaciones

### Distribución mediante canalizaciones y cables aislados

#### Definiciones

- Conductor.



Un conductor consta de un único núcleo metálico con o sin una funda aislante.

- Cable.



Un cable consta de una serie de conductores separados eléctricamente, pero unidos mecánicamente, protegidos por lo general por una funda flexible.

- Canalización.



El término canalización se refiere a los conductores y/o cables junto con los medios de soporte y protección, por ejemplo: bandejas de cables, canalizaciones, zanjas, etc.

#### Marcado de los conductores

La identificación de los conductores siempre debe cumplir las tres reglas siguientes:

- Regla 1.

El doble color verde y amarillo está reservado exclusivamente para los conductores de protección PE y PEN.

- Regla 2.

□ Si un circuito incluye un conductor neutro, deberá ser de color azul claro o estar marcado con un "1" para cables con más de cinco conductores.

□ Si un circuito no dispone de un conductor neutro, el conductor de color azul claro podrá utilizarse como un conductor de fase si forma parte de un cable con más de un conductor.

- Regla 3.

Los conductores de fase pueden ser de cualquier color excepto:

- Verde y amarillo.
- Verde.
- Amarillo.
- Azul claro (véase la norma 2).

Son posibles dos tipos de distribución:

- Mediante hilos y cables aislados.
- Mediante canalizaciones eléctricas.

E34

Los conductores de un cable se identifican por su color o mediante números (véase la **Figura E54**).

Número de conductores del circuito	Circuito	Canalizaciones									
		Conductores aislados					Cables rígidos o flexibles con varios conductores				
		F	F	F	N	PE	F	F	F	N	PE
1	Protección o tierra					V/A					
2	Monofásico entre fases	■	■				N	AC			
	Monofásico entre fase y neutro	■			AC		N			AC	
3	Monofásico entre fase y neutro + conductor de protección	■			V/A		N			V/A	
	Trifásico sin neutro	■	■	■			N	M	AC		
	2 fases + neutro	■	■		AC		N	M		AC	
4	2 fases + conductor de protección	■	■			V/A	N	AC			V/A
	Monofásico entre fase y neutro + conductor de protección	■			AC	V/A	N			AC	V/A
	Trifásico con neutro	■	■	■	AC		N	M	N	AC	
5	Trifásico con neutro + conductor de protección	■	■	■		V/A	N	M	AC		V/A
	2 fases + neutro + conductor de protección	■	■		AC	V/A	N	M		AC	V/A
	Trifásico con conductor PEN	■	■	■	V/A		N	M	AC	V/A	
> 5	Trifásico + neutro + conductor de protección	■	■	■	AC	V/A	N	M	N	AC	V/A

Conductor de protección: V/A - Otros conductores: N: con numeración. El número "1" está reservado para el conductor neutro, si existe.

V/A: verde y amarillo      N: negro      ■: como se indica en la regla 3 AC: azul claro      M: marrón

**Fig. E54:** Identificación de los conductores según el tipo de circuito.

**Nota:** si el circuito incluye un conductor de protección y si el cable disponible no cuenta con un conductor verde y amarillo, el conductor de protección podrá ser:

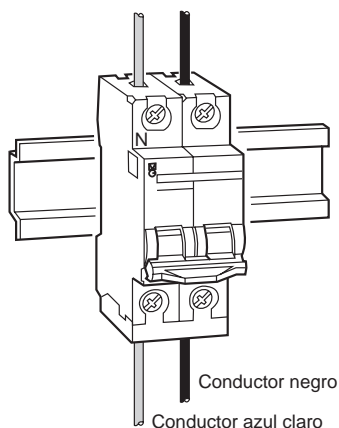
- Un conductor independiente verde y amarillo.
- El conductor azul si el circuito no dispone de un conductor neutro.
- Un conductor negro si el circuito dispone de un conductor neutro.

En los dos últimos casos, el conductor utilizado debe estar marcado con bandas verdes y amarillas o marcas en los extremos y en todas las partes visibles del conductor.

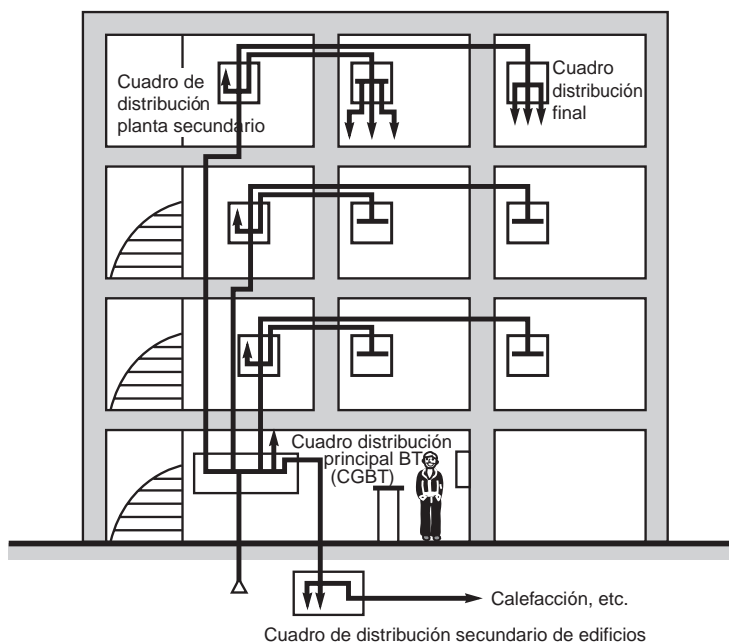
Los cables de alimentación de los equipos están marcados de manera similar a los cables de varios conductores (véase la **Figura E55**).

**Métodos de distribución e instalación** (véase la **Figura E56**)

La distribución tiene lugar a través de cables que llevan conductores individuales aislados o cables e incluyen un sistema de fijación y protección mecánica.



**Fig. E55:** Identificación de los conductores de un interruptor automático con una fase y un neutro.



**Fig. E56:** Distribución radial mediante cables en un hotel.

Las canalizaciones prefabricadas, que también se conocen como sistemas de canalización eléctrica, destacan por su facilidad de instalación, flexibilidad y número de puntos de conexión posibles.

### Canalización prefabricada

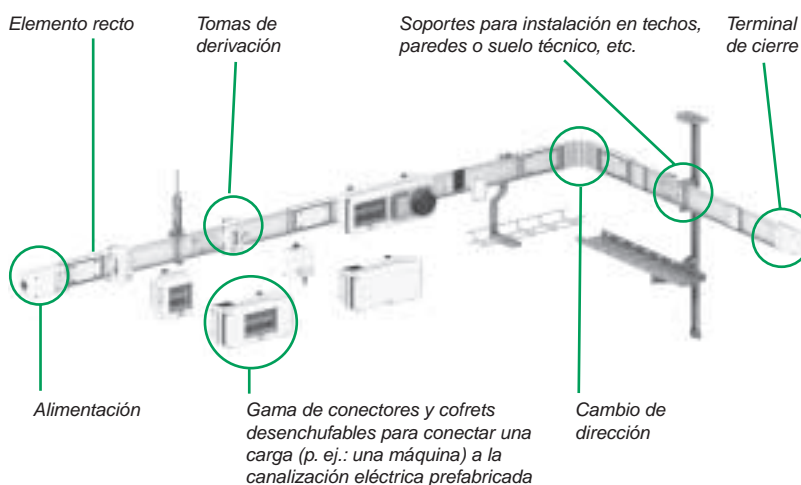
La canalización prefabricada está concebida para la distribución de potencia (de 40 a 5.000 A) e iluminación.

#### Componentes del sistema de canalización prefabricada

Un sistema de canalización prefabricada consta de un conjunto de conductores protegidos por una envoltente (ver la **Figura E57**).

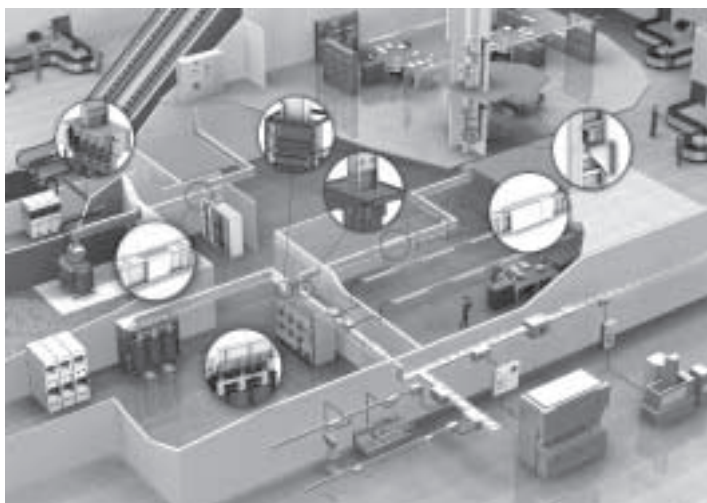
Usado para el transporte y distribución de energía eléctrica, los sistemas de canalización prefabricada tienen todos los elementos necesarios para el ensamblaje: conectores, elementos rectos, cambios de dirección, fijaciones para instalación, etc.

Las tomas de derivación se encuentran en intervalos regulares que hacen que la potencia esté disponible en todos los puntos de la instalación.



**Fig. E57:** Diseño de canalización eléctrica prefabricada para la distribución de corrientes de 20 a 5.000 A.

Debido a su gran diversidad, la canalización prefabricada puede distribuir alimentación eléctrica desde un transformador de media tensión/baja tensión directamente a las ubicaciones de carga individuales.



**Fig. E58:** Distribución radial mediante canalización prefabricada.

Existen fundamentalmente tres categorías de canalización prefabricada:

- Del transformador al CGBT.

La instalación de la canalización prefabricada se puede considerar permanente y es poco probable que se modifique. No existen puntos de acoplamiento.

Se utiliza frecuentemente para recorridos cortos y casi siempre para intensidades superiores a 1.600/2.000 A, es decir, cuando el uso de cables paralelos imposibilita la instalación. La canalización prefabricada también se utiliza entre el CGBT y los cuadros de distribución situados aguas abajo.

La canalización prefabricada de distribución general admite corrientes de funcionamiento comprendidas entre 1.000 y 5.000 A, y ofrece una resistencia a cortocircuitos de hasta 150 kA.

■ Canalización prefabricada de distribución secundaria con densidades de acoplamientos bajas o altas.

Aguas abajo de la canalización prefabricada de distribución general debe suministrarse alimentación a dos tipos de aplicaciones:

□ Instalaciones medianas (talleres industriales con prensas de inyección y maquinaria para metales, o grandes supermercados con cargas pesadas). Los niveles de cortocircuito y de corriente pueden ser bastante elevados (de 20 a 70 kA y de 100 a 1.000 A respectivamente).

□ Instalaciones pequeñas (talleres con máquinas-herramienta, fábricas textiles con maquinaria pequeña, supermercados con cargas pequeñas). Los niveles de cortocircuito y de corriente son más bajos (de 10 a 40 kA y de 40 a 400 A respectivamente).

■ La distribución secundaria por medio de canalización prefabricada satisface las necesidades de los usuarios en cuanto a:

□ Modificaciones y actualizaciones, dado el elevado número de puntos de acoplamiento.

□ Fiabilidad y continuidad del servicio, puesto que las unidades de acoplamiento se pueden conectar con total seguridad mientras están en tensión.

El concepto de distribución secundaria también es válido para la distribución vertical mediante remotes de 100 a 5.000 A en edificios altos.

■ Distribución de iluminación.

Los circuitos de iluminación se pueden distribuir por medio de canalización prefabricada, dependiendo de si los accesorios de iluminación están suspendidos o no de la canalización prefabricada.

□ Canalización prefabricada diseñada para la suspensión de accesorios de iluminación. Esta canalización prefabricada suministra alimentación y ofrece soporte para accesorios de iluminación (reflectores industriales, lámparas de descarga, etc.). Se utiliza en naves industriales, supermercados, grandes almacenes y almacenes. La canalización prefabricada es muy rígida y está diseñada para uno o dos circuitos de 25 o 40 A. Dispone de tomas de acoplamiento cada 1,5 m.

□ Canalización prefabricada que no está diseñada para la suspensión de accesorios de iluminación.

Esta canalización prefabricada, que es similar a los sistemas de cables prefabricados, se utiliza para suministrar alimentación a todo tipo de accesorios de iluminación fijados a la estructura del edificio. Se utiliza en edificios comerciales (oficinas, tiendas, restaurantes, hoteles, etc.), especialmente en falsos techos.

Esta canalización prefabricada es flexible y está diseñada para un circuito de 20 A. Dispone de tomas de acoplamiento cada 1,5 o 3 metros.

### Canalización prefabricada, una suma de ventajas

#### Una solución compacta

■ Gracias a su compacidad, ocupa muy poco espacio en el edificio:

□ En columna montante, se instala en el mínimo espacio.

□ En la distribución horizontal, se integra fácilmente en la estructura del edificio (falso techo, falso suelo, plantas técnicas...).

■ Los cambios de dirección se han pensado para optimizar el espacio ocupado, a diferencia de una instalación equivalente en cables que requiere grandes radios de curvatura.

■ Los cofrets de derivación, equipados con su protección, están repartidos a lo largo de la canalización para reducir la superficie hasta el suelo ocupada por los cuadros de distribución eléctrica.

#### Un sistema rápido y económico

■ El estudio es sencillo porque es independiente de la implantación detallada de cada receptor. La elección del material queda predeterminada y optimizada.

■ La instalación de la canalización emplea de 2 a 3 personas únicamente durante un tiempo de colocación equivalente al de los recorridos de cables. Por lo tanto, se ahorra el tiempo necesario para tender los cables.

■ La conexión al puesto de MT/BT se realiza a través de un dispositivo de unión rápida. Los cofrets de derivación se pueden preparar en taller para reducir el tiempo de presencia en la instalación. La conexión a la canalización se realiza en una sola operación mediante enganche.

- La colocación de los elementos de la canalización puede realizarse a medida que progresa la obra, optimizando así las intervenciones en la instalación y permitiendo prevenir con la suficiente antelación los problemas que pueden surgir.
- También es importante tener en cuenta que las canalizaciones eléctricas prefabricadas son soluciones probadas de fábrica, lo que permite reducir el tiempo de control de las conexiones (control visual de par de apriete).

### La seguridad controlada

- La resistencia a las corrientes de cortocircuito y los calentamientos de la canalización son conocidos e independientes de la instalación. La coordinación del sistema Schneider Electric se traduce en un dominio total de la red eléctrica.
- Las normas de instalación UTE C15-105 capítulo B.6.2 e IEC 60364 capítulo 5.523.6 estipulan que **superados los 4 cables en paralelo, es preferible utilizar canalizaciones prefabricadas**. En efecto, la colocación en paralelo de numerosos cables conlleva una distribución incorrecta de la corriente, lo que puede provocar calentamientos anómalos.
- La canalización y los cofrets de derivación se someten a estudio para garantizar la seguridad de los bienes y las personas:
  - Conexiones mediante enchufado realizadas por contacto en cobre plateado.
  - Conexiones con tuercas de par de apriete mediante tornillos divisibles.
  - Sistema de codificación que impide errores de montaje.
  - Estanqueidad contra las salpicaduras y el polvo con IP55.
  - Prueba de resistencia a **los aspersores** conforme a las especificaciones de Volkswagen.
  - Acceso a las partes en tensión protegido con IPxxD (hilo de 1 mm de diámetro). Su envolvente metálica y su elevado grado de protección protegen la canalización frente a cualquier agresión exterior (corrosión, roedores, etc.).

### Continuidad de explotación

En caso de intervención en la instalación eléctrica, la canalización proporciona la lectura inmediata del circuito eléctrico y permite intervenir en las zonas afectadas rápidamente.

La conexión y desconexión de los cofrets de derivación se realiza sin detener la explotación, con lo que se garantiza la continuidad de servicio sin problemas.

La calidad de los contactos eléctricos garantiza la continuidad de la explotación sin **mantenimiento alguno**.

### Ahorro de energía

La canalización prefabricada reduce las pérdidas en línea en un 40% y divide por tres el consumo de materias primas de cobre y aislante.

El coste de una instalación incluye la compra e instalación del material y el mantenimiento, pero también el consumo energético de la explotación (pérdidas de julios). Las secciones de nuestros productos se han dimensionado para reducir al mínimo el coste total de la instalación en tres años en el caso de una utilización media (índice de carga del 30%, 5 días de 7, 10 h de 24) (ver la **Figura E59**).

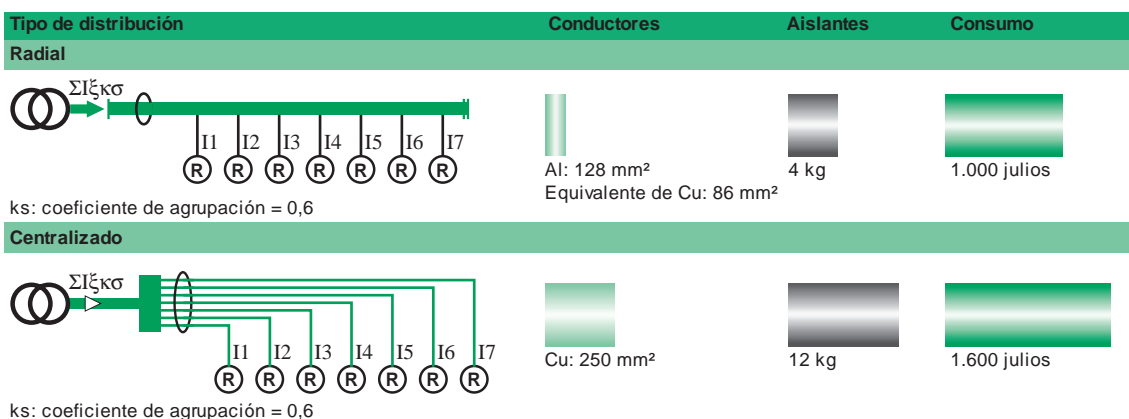


Fig. E59: Ejemplo: 30 m de Canalis KS de 250 A equipado con 10 alimentadores de cuatro polos de 25 A.

**La canalización prefabricada completamente reciclable**

- Las canalizaciones prefabricadas son reutilizables de forma natural. El principio de solución prefabricada y la vida útil hacen que se puedan desmontar, limpiar y reutilizar fácilmente.
- Al final de la vida útil, los componentes de la canalización prefabricada se pueden reciclar totalmente y sin peligro. A la inversa, la incineración de los productos de PVC obliga a neutralizar con cal el ácido clorhídrico producido y genera emisiones de dioxina (la sustancia más nociva para el hombre).



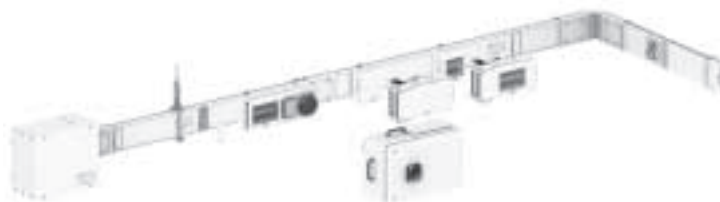
**Fig. E60:** Canalización eléctrica prefabricada flexible no portadora de luminarias: Canalis KDP (20 A).



**Fig. E61:** Canalización eléctrica prefabricada rígida portadora de luminarias: Canalis KBA o KBB (25 y 40 A).

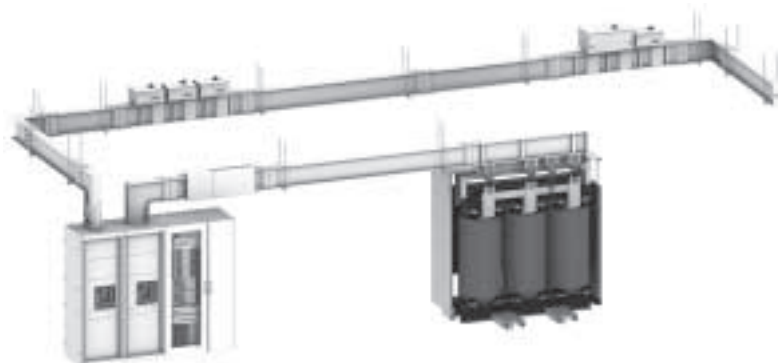


**Fig. E62:** Canalización prefabricada para distribución de baja potencia: Canalis KN (de 40 a 160 A).



**Fig. E63:** Canalización prefabricada para distribución de media potencia: Canalis KS (de 100 a 1.000 A).

E39



**Fig. E64:** Canalización prefabricada para distribución de fuerte potencia: Canalis KT (de 800 a 5.000 A).

## 4 Influencias externas (IEC 60364-5-51)

Las influencias externas deben tenerse en cuenta al elegir:

■ Las medidas adecuadas para garantizar la seguridad de las personas (en particular en ubicaciones especiales o instalaciones eléctricas).

■ Las características de los equipos eléctricos, como el grado de protección (IP), la resistencia mecánica (IK), etc.

E40

Si aparecen al mismo tiempo varias influencias externas, podrán tener efectos independientes o mutuos, y el grado de protección deberá elegirse en consecuencia.

### 4.1 Definición y normas de referencia

Cada instalación eléctrica ocupa un entorno que presenta un grado de riesgo variable.

- Para las personas.
- Para los equipos que componen la instalación.

Por consiguiente, las condiciones ambientales influyen en la definición y elección de los equipos adecuados para la instalación y en la elección de las medidas de protección destinadas a garantizar la seguridad de las personas.

Las condiciones ambientales se denominan colectivamente "influencias externas". Muchas normas nacionales relativas a las influencias externas incluyen un sistema de clasificación que está basado en el de la norma internacional IEC 60364-5-51 o se asemeja al mismo.

### 4.2 Clasificación

Cada condición de influencia externa se designa mediante un código formado por un grupo de dos letras mayúsculas y un número, como se muestra a continuación:

#### Primera letra (A, B o C)

La primera letra se refiere a la categoría general de la influencia externa:

- A = entorno.
- B = utilización.
- C = construcción de edificios.

#### Segunda letra

La segunda letra se refiere a la naturaleza de la influencia externa.

#### Número

El número se refiere a la clase dentro de cada influencia externa.

#### Letra adicional (opcional)

Sólo se utiliza si la protección eficaz de las personas es mayor que la indicada por la primera cifra del código IP.

Si sólo se debe especificar la protección de las personas, las dos cifras del código IP se sustituyen por dos "X".

Ejemplo: IPXXB.

#### Ejemplo

Por ejemplo, el código AC2 tiene el siguiente significado:

- A = entorno.
- AC = entorno-altitud.
- AC2 = entorno-altitud > 2.000 m.

### 4.3 Lista de influencias externas

La siguiente **Figura E65** se ha extraído de la norma IEC 60364-5-51, que debería consultarse en caso de que se necesiten más detalles.

Código	Influencias externas		Características que requieren los equipos
<b>A - Entorno</b>			
<b>AA</b>	<b>Temperatura ambiente (°C)</b>		
	Baja	Alta	
AA1	- 60 °C	+ 5 °C	Equipos diseñados especialmente o con precauciones adecuadas
AA2	- 40 °C	+ 5 °C	
AA3	- 25 °C	+ 5 °C	
AA4	- 5 °C	+ 40 °C	Normal (precauciones especiales en determinados casos)
AA5	+ 5 °C	+ 40 °C	Normal
AA6	+ 5 °C	+ 60 °C	
AA7	- 25 °C	+ 55 °C	Equipos diseñados especialmente o con precauciones adecuadas
AA8	- 50 °C	+ 40 °C	

Fig. E65: Lista de influencias externas (tomada del Apéndice A de la norma IEC 60364-5-51) (continúa en la página siguiente).

# 4 Influencias externas (IEC 60364-5-51)

Código	Influencias externas						Características que requieren los equipos
<b>A - Entorno</b>							
AB	<b>Humedad atmosférica</b>						
	Temperatura del aire, °C		Humedad relativa, %		Humedad absoluta g/m <sup>3</sup>		
	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	
AB1	- 60 °C	+ 5 °C	3	100	0,003	7	Se necesitan precauciones particulares
AB2	- 40 °C	+ 5 °C	10	100	0,1	7	
AB3	- 25 °C	+ 5 °C	10	100	0,5	7	
AB4	- 5 °C	+ 40 °C	5	95	1	29	Normal
AB5	+ 5 °C	+ 40 °C	5	85	1	25	Normal
AB6	+ 5 °C	+ 60 °C	10	100	1	35	Se necesitan precauciones particulares
AB7	- 25 °C	+ 55 °C	10	100	0,5	29	
AB8	- 50 °C	+ 40 °C	15	100	0,04	36	
<b>AC - Altitud</b>							
AC1	≤ 2.000 m						Normal
AC2	> 2.000 m						Puede ser necesario tomar precauciones (factores de reducción)
<b>AD - Presencia de agua</b>							
AD1	Insignificante		Ubicaciones al aire libre o no protegidas contra la intemperie				IPX0
AD2	Gotas de caída libre						IPX1 o IPX2
AD3	Rociadas						IPX3
AD4	Salpicaduras						IPX4
AD5	Chorros		Ubicaciones en las que se utilizan habitualmente mangueras de agua				IPX5
AD6	Olas		Ubicaciones a la orilla del mar (muelles, playas, embarcaderos, etc.)				IPX6
AD7	Inmersión		Agua 150 mm por encima del punto más alto y equipos a no más de 1 m por debajo de la superficie				IPX7
AD8	Sumersión		Equipos totalmente cubiertos de forma permanente				IPX8
<b>AE - Presencia de cuerpos extraños sólidos</b>							
			Dimensión más pequeña	Ejemplo			
AE1	Insignificante						IP0X
AE2	Objetos pequeños		2,5 mm	Herramientas			IP3X
AE3	Objetos muy pequeños		1 mm	Hilo			IP4X
AE4	Cantidad pequeña de polvo						IP5X si la penetración del polvo no afecta adversamente al funcionamiento
AE5	Cantidad moderada de polvo						IP6X si no debe penetrar el polvo
AE6	Gran cantidad de polvo						IP6X
<b>AF - Presencia de sustancias corrosivas o contaminantes</b>							
AF1	Insignificante						Normal
AF2	Atmosférica						Según la naturaleza de la sustancia
AF3	Intermitente, accidental						Protección contra la corrosión
AF4	Continua						Equipos especialmente diseñados
<b>AG - Efecto de impactos mecánicos</b>							
AG1	Gravedad baja						Normal
AG2	Gravedad media						Estándar según proceda, o material reforzado
AG3	Gravedad alta						Protección reforzada
<b>AH - Vibraciones</b>							
AH1	Gravedad baja		Entorno doméstico o similar				Normal
AH2	Gravedad media		Condiciones industriales habituales				Equipos diseñados especialmente o precauciones particulares
AH3	Gravedad alta		Condiciones industriales severas				
<b>AJ - Otros esfuerzos mecánicos</b>							
<b>AK - Presencia de vegetación o moho</b>							
AH1	Sin peligro						Normal
AH2	Peligro						
<b>AL - Presencia de fauna</b>							
AH1	Sin peligro						Normal
AH2	Peligro						
<b>AM - Influencias electromagnéticas, electrostáticas o ionizantes / Fenómenos electromagnéticos de baja frecuencia / Armónicos</b>							
AM1	Armónicos, interarmónicos						Consultar las normas IEC oportunas
AM2	Señales sobre el secundario						
AM3	Variaciones de la amplitud de la tensión						
AM4	Desequilibrio de tensión						
AM5	Variaciones de la frecuencia de red						
AM6	Tensiones de baja frecuencia inducidas						
AM7	Corriente continua en redes de CA						
AM8	Campos magnéticos radiantes						
AM9	Campo eléctrico						
AM21	Tensiones o corrientes oscilantes inducidas						

Fig. E65: Lista de influencias externas (tomada del Apéndice A de la norma IEC 60364-5-51) (continúa en la página siguiente).

# 4 Influencias externas (IEC 60364-5-51)

E42

Código	Influencias externas	Características que requieren los equipos
<b>A - Entorno</b>		
AM22	Transitorios unidireccionales conducidos con una escala de tiempos de nanosegundos	Consultar las normas IEC oportunas
AM23	Transitorios unidireccionales conducidos con una escala de tiempos de milisegundos a segundos	
AM24	Transitorios oscilantes conducidos	
AM25	Fenómenos de alta frecuencia radiados	
AM31	Descargas electrostáticas	
AM41	Ionización	
<b>AN</b>	<b>Radiación solar</b>	
AN1	Baja	Normal
AN2	Media	
AN3	Alta	
<b>AP</b>	<b>Efectos sísmicos</b>	
AP1	Insignificante	Normal
AP2	Gravedad baja	
AP3	Gravedad media	
AP4	Gravedad alta	
<b>AQ</b>	<b>Rayos</b>	
AQ1	Insignificante	Normal
AQ2	Exposición indirecta	
AQ3	Exposición directa	
<b>AR</b>	<b>Movimiento del aire</b>	
AQ1	Bajo	Normal
AQ2	Medio	
AQ3	Alto	
<b>AS</b>	<b>Viento</b>	
AQ1	Bajo	Normal
AQ2	Medio	
AQ3	Alto	
<b>B - Utilización</b>		
<b>BA</b>	<b>Competencia de las personas</b>	
BA1	Corriente	Normal
BA2	Niños	
BA3	Discapacitados	
BA4	Instruidos	
BA5	Cualificados	
<b>BB</b>	<b>Resistencia eléctrica del cuerpo humano</b>	
<b>BC</b>	<b>Contacto de personas con el potencial de tierra</b>	
BC1	Ninguno	Clase de equipos según IEC 61140
BC2	Bajo	
BC3	Frecuente	
BC4	Continuo	
<b>BD</b>	<b>Condiciones de evacuación en caso de emergencia</b>	
BD1	Baja densidad/fácil evacuación	Normal
BD2	Baja densidad/difícil evacuación	
BD3	Alta densidad/fácil evacuación	
BD4	Alta densidad/difícil evacuación	
<b>BE</b>	<b>Naturaleza de materiales procesados o almacenados</b>	
BE1	Sin riesgos significativos	Normal
BE2	Riesgos de incendio	
BE3	Riesgos de explosión	
BE4	Riesgos de contaminación	
<b>C - Construcción del edificio</b>		
<b>CA</b>	<b>Materiales de construcción</b>	
CA1	Incombustibles	Normal
CA2	Combustibles	
<b>CB</b>	<b>Diseño del edificio</b>	
CB1	Riesgos insignificantes	Normal
CB2	Propagación del fuego	
CB3	Movimiento	
CB4	Flexible o inestable	

Fig. E65: Lista de influencias externas (tomada del Apéndice A de la norma IEC 60364-5-51).

# 4 Influencias externas (IEC 60364-5-51)

## 4.4 Protección proporcionada para equipos cerrados: códigos IP e IK

### Definición del código IP (véase la Figura E66)

El grado de protección que proporciona una envolvente viene indicado por el código IP, recomendado en IEC 60529.

Se proporciona protección contra las siguientes influencias externas:

- Penetración de cuerpos sólidos.
- Protección de las personas contra el acceso a las partes en tensión.
- Protección contra la entrada de polvo.
- Protección contra la entrada de líquidos.

**Nota:** el código IP es aplicable a equipos eléctricos con tensiones de hasta 72,5 kV inclusive.

### Elementos del código IP y su significado

En la tabla siguiente se ofrece una breve descripción de los elementos del código IP (véase la Figura E67).

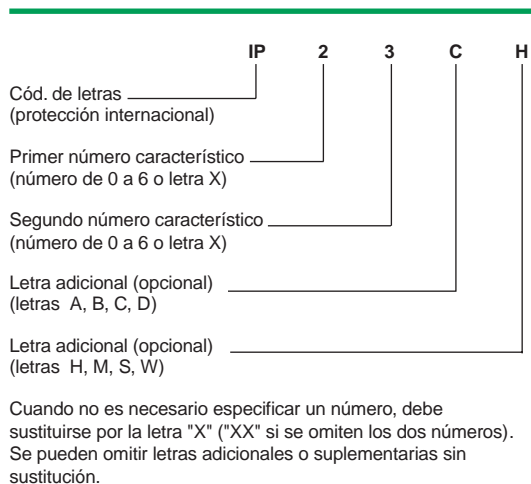


Fig. E66: Organización de los códigos IP.

Elemento	Número o letra	Significado de la protección del equipo	Significado de la protección de personas
Cód. de letras	IP		
Primera cifra característica	0 1 2 3 4 5 6	<b>Contra la entrada de cuerpos sólidos extraños</b> (sin protección) ≥ 50 mm de diámetro ≥ 12,5 mm de diámetro ≥ 2,5 mm de diámetro ≥ 1,0 mm de diámetro Protección contra el polvo Estanco al polvo	<b>Contra la entrada a las partes peligrosas con</b> (sin protección) Dorso de la mano Dedos Herramientas Cables Cables Cables
Segunda cifra característica	0 1 2 3 4 5 6 7 8	<b>Contra la entrada de agua con efectos nocivos</b> (sin protección) Flujo vertical Flujo (15° inclinado) Pulverización Salpicado Chorro Chorro potente Inmersión temporal Inmersión continuada	
Letra adicional (opcional)	A B C D		<b>Contra la entrada a las partes peligrosas con</b> Dorso de la mano Dedos Herramientas 2,5 mm Ø Hilos
Letra adicional (opcional)	H M S W	<b>Información adicional específica de:</b> Aparato de alta tensión Movimiento durante ensayo de agua Fijo durante ensayo de agua Condiciones ambientales	

Fig. E67: Elementos del código IP.

## 4 Influencias externas (IEC 60364-5-51)

E44

### Definición del código IK

La norma IEC 62262 define un código IK que caracteriza la capacidad de los equipos para resistir impactos mecánicos en todos sus lados (véase la **Figura E68**).

Código IK	Energía del impacto (en julios)	Código AG
00	0	
01	≤ 0,14	
02	≤ 0,20	AG1
03	≤ 0,35	
04	≤ 0,50	
05	≤ 0,70	
06	≤ 1	
07	≤ 2	AG2
08	≤ 5	AG3
09	≤ 10	
10	≤ 20	AG4

Fig. E68: Elementos del código IK.

### Especificaciones de los códigos IP e IK para cuadros de distribución

Los grados de protección IP e IK de una envolvente deben especificarse en función de las diferentes influencias externas definidas por la norma IEC 60364-5-51, concretamente:

- Presencia de cuerpos sólidos (código AE).
- Presencia de agua (código AD).
- Impactos mecánicos (sin código).
- Competencia de las personas (código BA).
- ...

Los cuadros de distribución Prisma Plus están diseñados para instalarse en el interior.

A menos que las reglas, normas y normativas de un país específico estipulen lo contrario, Schneider Electric recomienda utilizar los siguientes valores IP e IK (véanse las **Figuras E69** y **E70**).

#### Recomendaciones para IP

##### Códigos IP según las condiciones

Normal sin riesgo de caída vertical de agua	Salas técnicas	30
Normal con riesgo de caída vertical de agua	Pasillos y vestíbulos	31
Muy grave con riesgo de salpicaduras de agua desde todas las direcciones	Talleres	54/55

Fig. E69: Recomendaciones para IP.

#### Recomendaciones para IK

##### Códigos IK según las condiciones

Sin riesgo de un impacto de consideración	Salas técnicas	07
Riesgo significativo de un impacto de consideración que podría causar daños a los dispositivos	Pasillos y vestíbulos	08 (envolvente con puerta)
Riesgo máximo de impacto que podría causar daños a la envolvente	Talleres	10

Fig. E70: Recomendaciones para IK.