

Capítulo F

Protección contra descargas eléctricas

Índice

1	General	F2
	1.1 Descargas eléctricas	F2
	1.2 Protección frente a las descargas eléctricas	F3
	1.3 Contactos directos e indirectos	F3
2	Protección contra los contactos directos	F4
	2.1 Medidas de protección contra los contactos directos	F4
	2.2 Medidas de protección adicional contra los contactos directos	F5
3	Protección contra los contactos indirectos	F6
	3.1 Medidas de protección mediante desconexión automática de la alimentación	F6
	3.2 Desconexión automática para el esquema TT	F7
	3.3 Desconexión automática en el esquema TN	F8
	3.4 Desconexión automática por segundo defecto en un esquema IT	F10
	3.5 Medidas de protección contra los contactos directos o indirectos sin desconexión automática de la alimentación	F13
4	Protección de materiales debido a defectos de aislamiento	F17
	4.1 Medidas de protección contra el riesgo de incendios con DDR	F17
	4.2 Protección de defectos a tierra (GFP)	F17
5	Implementación del esquema TT	F19
	5.1 Medidas de protección	F19
	5.2 Tipos de DDR	F20
	5.3 Coordinación de dispositivos de protección de corriente diferencial residual	F22
6	Implementación del esquema TN	F25
	6.1 Condiciones preliminares	F25
	6.2 Protección contra los contactos indirectos	F25
	6.3 DDR de alta sensibilidad	F29
	6.4 Protección en ubicaciones con alto riesgo de incendios	F30
	6.5 Impedancia de bucle de corriente de defecto especialmente alta	F30
7	Implementación del esquema IT	F31
	7.1 Condiciones preliminares	F31
	7.2 Protección contra los contactos indirectos	F32
	7.3 DDR de alta sensibilidad	F36
	7.4 En áreas de alto riesgo de incendios	F37
	7.5 Impedancia de bucle de corriente de defecto especialmente elevada	F37
8	Dispositivos de corriente diferencial residual (DDR)	F38
	8.1 Descripción	F38
	8.2 Recomendaciones para la implementación de DDR	F38

F1

Cuando una corriente que supera los 30 mA atraviesa una parte del cuerpo humano, la persona en cuestión se encuentra en grave peligro si la corriente no se interrumpe en muy corto tiempo.

La protección de las personas contra las descargas eléctricas en las instalaciones de BT debe establecerse de conformidad con las normas nacionales adecuadas, códigos de buenas prácticas, guías y circulares oficiales, etc.

Las normas IEC relevantes son las siguientes: IEC 60364, serie IEC 60479, IEC 61008, IEC 61009 y IEC 60947-2.

1.1 Descargas eléctricas

Una descarga eléctrica es el efecto fisiopatológico de una corriente eléctrica que atraviesa el cuerpo humano.

Su paso afecta básicamente a las funciones musculares, circulatorias y respiratorias y en ocasiones puede tener como resultado quemaduras graves. El grado de peligro para la víctima está en función de la magnitud de la corriente, las partes del cuerpo por las que pasa la corriente y la duración del flujo de la misma.

En la publicación de la IEC 60479-1 de 1994 se definen cuatro zonas de magnitud de corriente/tiempo-duración, para cada una de las cuales se describen los efectos fisiopatológicos (ver **Figura F1**). Cualquier persona que entre en contacto con metal en tensión corre el riesgo de sufrir una descarga eléctrica.

En la curva C₁ se muestra que cuando una corriente superior a 30 mA atraviesa un cuerpo humano desde una mano hasta la otra, la persona en cuestión puede morir, a menos que se interrumpa la corriente en un tiempo relativamente corto.

El punto de 500 ms/100 mA próximo a la curva C₁ corresponde a una probabilidad de fibrilación cardíaca del orden del 0,14%.

La protección de las personas contra las descargas eléctricas en las instalaciones de BT debe establecerse de conformidad con las normas nacionales adecuadas, códigos de buenas prácticas, guías y circulares oficiales, etc. Las normas IEC relevantes son las siguientes: serie IEC 60364, serie IEC 60479, IEC 60755, serie IEC 61008, serie IEC 61009 y IEC 60947-2.

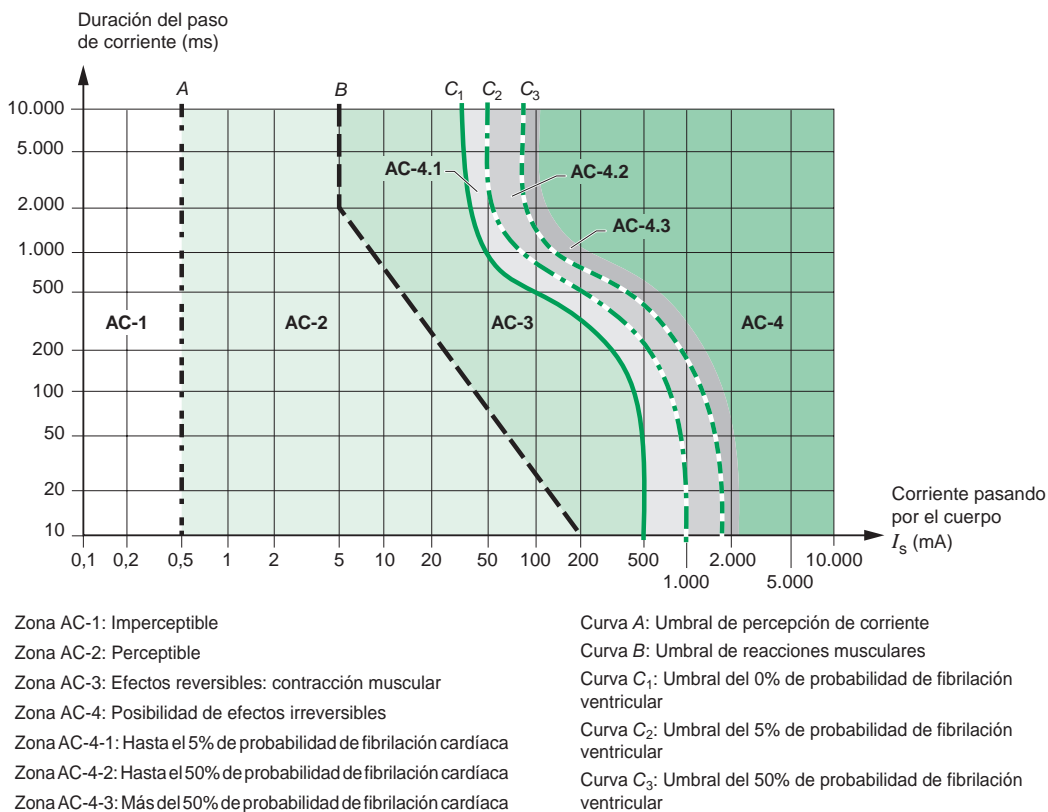


Fig. F1: Zonas tiempo/corriente de efectos de la corriente alterna en el cuerpo humano cuando pasa de una mano a otra.

1.2 Protección frente a las descargas eléctricas

La regla fundamental para la protección contra las descargas eléctricas figura en el documento IEC 61140, que abarca tanto las instalaciones como los equipos eléctricos.

No debe ser posible acceder a las partes activas peligrosas y las partes conductoras a las que se pueda acceder no deben ser activas peligrosas.

Este requisito debe aplicarse:

- En condiciones normales.
- En condición de un solo defecto.

La protección en condiciones normales corresponde a la protección contra los contactos directos (protección básica) y la protección en condición de un solo defecto corresponde a la protección contra los contactos indirectos (protección contra los defectos).

Las disposiciones de protección mejoradas ofrecen protección en ambas condiciones.

F3

A menudo son necesarias dos medidas de protección contra el riesgo de contactos directos, ya que, en la práctica, es posible que la primera medida no sea infalible.

Las leyes y normativas distinguen dos tipos de contactos peligrosos:

- Contacto directo.
- Contacto indirecto.

Y las correspondientes medidas de protección.

1.3 Contactos directos e indirectos

Contactos directos

Un contacto directo se produce cuando una persona toca un conductor activo en circunstancias normales (ver **Figura F2**).

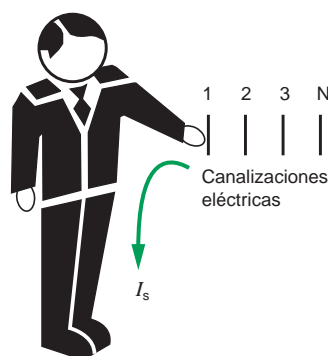
La norma IEC 61140 ha cambiado la expresión "protección contra los contactos directos" por la de "protección básica". El nombre anterior se mantiene al menos con fines informativos.

Contactos indirectos

Un contacto indirecto se refiere a una persona que toca una parte conductora expuesta que normalmente no está activa, pero que pasa a estarlo accidentalmente (debido a un defecto de aislamiento o por cualquier otra causa).

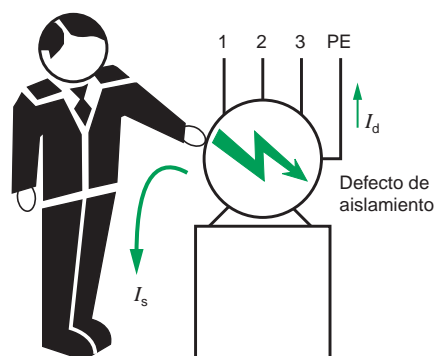
La corriente de defecto eleva la parte conductora expuesta a una tensión que puede resultar peligrosa y originar una corriente de contacto a través de una persona que toca esta parte conductora expuesta (ver **Figura F3**).

La norma IEC 61140 ha cambiado la expresión "protección contra los contactos indirectos" por la de "protección contra los defectos". El nombre anterior se mantiene al menos con fines informativos.



I_s : Corriente de contacto

Fig. F2: Contactos directos.



I_d : Corriente de defecto de aislamiento

Fig F3: Contactos indirectos.

2 Protección contra los contactos directos

Normalmente se utilizan dos medidas complementarias como protección contra los peligros ocasionados por los contactos directos:

- La prevención física del contacto con las partes activas mediante barreras, aislamiento, imposibilidad de acceso, etc.
- La protección adicional en caso de que se produzca un contacto directo, debido al defecto de las medidas anteriores. Esta protección se basa en un dispositivo que funciona con corriente residual, una alta sensibilidad ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$) y un tiempo de funcionamiento reducido. Estos dispositivos son altamente eficaces en la mayoría de los casos de contactos directos.

2.1 Medidas de protección contra los contactos directos

Protección por aislamiento de las partes activas

Esta protección consiste en un aislamiento que cumple las normas correspondientes (ver **Figura F4**). Las pinturas, las lacas y los barnices no ofrecen una protección adecuada.

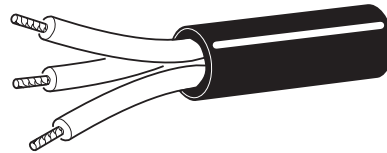


Fig. F4: Protección inherente contra los contactos directos mediante aislamiento de un cable trifásico con protección externa.

Protección por medio de barreras o envolventes

Esta medida se utiliza cada vez más, puesto que numerosos componentes y materiales están instalados en armarios, ensamblajes, paneles de control y cuadros de distribución (ver **Figura F5**).

Para considerarse que ofrece una protección eficaz contra el riesgo de contactos directos, estos equipos deben poseer un grado de protección superior o igual a IP2X o IPXXB (ver capítulo E subapartado 4.4).

Además, la apertura de una envolvente (puerta, panel frontal, cajón, etc.) sólo puede ser extraíble o estar abierta o retirada:

- Por medio de una llave o herramienta prevista para tal efecto.
- Tras el aislamiento completo de las partes activas de la envolvente.
- Mediante la interposición de otra barrera únicamente extraíble utilizando una llave o herramienta. La envolvente de metal y toda la pantalla extraíble de metal deben unirse al conductor de conexión a tierra de protección de la instalación.

Medidas de protección parciales

Protección por medio de obstáculos o puesta fuera del alcance por alejamiento.

Esta protección está reservada únicamente a las ubicaciones a las que sólo tiene acceso el personal cualificado. La instalación de esta medida de protección se detalla en la IEC 60364-4-41.

Medidas de protección particulares

Protección mediante la utilización de muy baja tensión de seguridad (MBTS) o bien limitando la energía de descarga.

Estas medidas se utilizan únicamente en los circuitos de baja potencia y en circunstancias especiales, tal y como se describe en el subapartado 3.5.

F4

La IEC y las normas nacionales distinguen normalmente dos protecciones:

- Completa (aislamiento, envolventes).
- Parcial o particular.



Fig. F5: Ejemplo de aislamiento con envolvente.

Una medida adicional de protección contra el riesgo de contactos directos es la utilización de un dispositivo a corriente diferencial residual que funcione a 30 mA o menos y que se conoce como DDR de alta sensibilidad diferencial.



Fig. F6: DDR de alta sensibilidad.

2.2 Medidas de protección adicional contra los contactos directos

Todas las medidas de protección anteriores son preventivas, pero la experiencia ha demostrado que por diversos motivos no se pueden considerar como infalibles. Entre estos motivos se pueden citar:

- Falta de mantenimiento adecuado.
- Imprudencia, falta de atención.
- Desgaste y rotura normales (o anómalos) del aislamiento, por ejemplo, flexión y abrasión de los cables de conexión.
- Contacto accidental.
- Inmersión en agua, etc. Situación en la que el aislamiento ya no resulta eficaz.

Con el fin de proteger a los usuarios en estas circunstancias, los dispositivos de disparo rápido y alta sensibilidad basados en la detección de corrientes residuales a tierra (que pueden atravesar o no a un ser humano o animal) se utilizan para desconectar automáticamente la fuente de alimentación y con la rapidez suficiente como para evitar lesiones o incluso la muerte por electrocución de un ser humano (ver **Figura F6**).

Estos dispositivos funcionan según el principio de la medición de corriente diferencial, en la que cualquier diferencia entre la corriente que entra en un circuito y la que sale (en un sistema alimentado desde una fuente conectada a tierra) fluye a tierra, bien a través de un aislamiento de defectos, bien a través del contacto de una parte conectada a tierra, como una persona, con un conductor activo.

Los dispositivos a corriente diferencial residual normalizados, denominados DDR, suficientemente sensibles para la protección contra los contactos directos, están calibrados a 30 mA de la corriente diferencial.

Esta protección adicional es necesaria en determinados países para los circuitos que suministran tomas de corriente de hasta 32 A, e incluso superiores, si la ubicación es húmeda y/o provisional (como instalaciones de trabajo, por ejemplo).

En el capítulo P, apartado 3, se indican varias ubicaciones comunes en las que los DDR de alta sensibilidad son obligatorios (en algunos países), pero en cualquier caso, están altamente recomendados como protección eficaz contra el riesgo de contactos tanto directos como indirectos.

3 Protección contra los contactos indirectos

Las medidas de protección son las siguientes:

- Desconexión automática de la alimentación (en el 1.º o 2.º defecto en función de la conexión a tierra del sistema).

- Medidas especiales según las circunstancias.

Las partes conductoras activas utilizadas en el proceso de fabricación de un equipo eléctrico se separan de las partes activas del equipo mediante el “aislamiento básico”.

El defecto de aislamiento básico afecta a las partes activas.

El hecho de tocar una parte normalmente desactivada de un equipo eléctrico que ha pasado a estar activa debido al defecto de su aislamiento se conoce como contacto indirecto.

Se adoptan varias medidas para la protección contra este riesgo, a saber:

- Desconexión automática de la fuente de alimentación del equipo eléctrico conectado.

- Disposiciones especiales, como por ejemplo:

- Utilización de materiales de aislamiento de clase II o nivel equivalente de aislamiento.

- Ubicación no conductora, fuera del alcance por alejamiento o interposición de barreras.

- Conexión equipotencial.

- Separación eléctrica por medio de transformadores de aislamiento.

F6

La protección contra los contactos indirectos mediante la desconexión automática de la alimentación se puede conseguir si las partes conductoras activas del equipo se conectan a tierra correctamente.

3.1 Medidas de protección mediante desconexión automática de la alimentación

Principio

Esta medida de protección depende de dos requisitos fundamentales:

- La conexión a tierra de todas las partes activas de los equipos eléctricos de la instalación y la composición de una red de conexión equipotencial.

- Desconexión automática de la alimentación de la sección de la instalación afectada, de tal forma que los requisitos de tensión de contacto/seguridad temporal se cumplan para cualquier nivel de tensión de contacto $U_c^{(1)}$ (ver **Figura F7**).

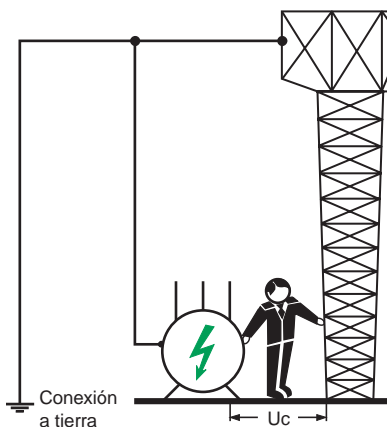


Fig. F7: Ilustración de la tensión de contacto peligrosa U_c .

Cuanto mayor es el valor de U_c , mayor es la rapidez de la desconexión de la alimentación necesaria para ofrecer la protección (ver **Figura F8**). El mayor valor de U_c que se puede tolerar indefinidamente sin peligro para las personas es de 50 V CA.

Recapitulación de los límites de tiempo teóricos de desconexión

U_o (V)	$50 < U_o \leq 120$	$120 < U_o \leq 230$	$230 < U_o \leq 400$	$U_o > 400$
Esquema TN o IT	0,8	0,4	0,2	0,1
TT	0,3	0,2	0,07	0,04

Fig. F8: Duración segura máxima de los valores soportados de tensión de contacto CA.

(1) La tensión de contacto U_c es la que existe (como resultado de un defecto de aislamiento) entre una parte conductora expuesta y cualquier elemento conductor dentro de alcance que tenga un potencial diferente (generalmente la tierra).

La desconexión automática del esquema TT se consigue por medio de un DDR con una sensibilidad de

$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_A} \text{ donde } R_A \text{ representa la resistencia}$$

de puesta a tierra de las masas de la instalación.

3.2 Desconexión automática para el esquema TT

Principio

En este esquema, todas las partes conductoras activas y todas las partes conductoras extrañas de la instalación deben estar conectadas a una toma de tierra común. El neutro del transformador de alimentación está conectado directamente a tierra, y las partes metálicas de los receptores están unidas a otra toma de tierra. La resistencia de la derivación a tierra (fuga) consiste por lo tanto principalmente en dos tomas a tierra (esto es, la tierra de la instalación y la de la fuente) en serie, de forma que la magnitud de la corriente de defecto a tierra es por lo general demasiado pequeña como para que funcionen los fusibles o relés de sobreintensidad y resulta esencial la utilización de un dispositivo que funcione con corriente residual.

Este principio de protección también es válido si sólo se utiliza una toma de tierra común, concretamente en el caso de un centro de transformación de tipo consumidor en el área de la instalación, donde la limitación de espacio puede obligar a adoptar una conexión a tierra del esquema TN, pero donde todas las demás condiciones que necesita el esquema TN no se pueden cumplir.

La protección por desconexión automática de la alimentación utilizada en el

esquema TT se realiza mediante DDR de sensibilidad: $I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_A}$

donde

R_A es la resistencia de puesta a tierra de las masas de la instalación.

$I_{\Delta n}$ es la corriente de funcionamiento residual nominal del DDR.

Para los suministros temporales (provisionales de obra...) e instalaciones agrícolas e hortícolas, el valor de 50 V se sustituye por el de 25 V.

Ejemplo (ver Figura F9)

- La resistencia de la toma de tierra del neutro del centro de transformación R_n es de 10 Ω.
- La resistencia de la toma de tierra de la instalación R_A es de 20 Ω.
- La corriente de fuga a tierra $I_d = 7,7$ A.
- La tensión de defecto $U_t = I_d \times R_A = 154$ V y es por lo tanto peligrosa, pero $I_{\Delta n} = 50/20 = 2,5$ A, de forma que un DDR estándar de 300 mA funcionará en unos 30 ms (ver Figura F10) sin temporización intencional y eliminará el defecto cuando aparezca un exceso de tensión de defecto en una parte accesible.

$U_o^{(1)}$ (V)	T (s)
$50 < U_o \leq 120$	0,3
$120 < U_o \leq 230$	0,2
$230 < U_o \leq 400$	0,07
$U_o > 400$	0,04

(1) U_o es la tensión nominal fase-tierra.

Fig. F10: Tiempo de corte máximo de los dispositivos de protección CA que no superen 32 A.

Tiempo de desconexión máximo especificado

Los tiempos de disparo de los DDR suelen ser inferiores a los exigidos en la mayoría de las normas nacionales; esta función facilita su utilización y permite adoptar una protección selectiva eficaz.

En la IEC 60364-4-41 se especifica el tiempo de funcionamiento máximo de los dispositivos de protección utilizados en esquemas TT para la protección contra los contactos indirectos:

- Para todos los circuitos finales con una corriente nominal que no supere los 32 A, el tiempo de corte máximo no debe superar los valores indicados en la Figura F10.
- Para todos los demás circuitos, el tiempo de desconexión máximo se fija en 1 s. Este límite permite la selectividad entre los DDR cuando están instalados en circuitos de distribución.

El tipo G (general) y el tipo S (selectivo) de la IEC 61008 tienen un tiempo de disparo y unas características de corriente como se indican en la Figura F11 de la siguiente página. Estas características permiten un determinado grado de disparo selectivo entre las distintas combinaciones de especificaciones y tipos, tal y como se describe más adelante en el subapartado 4.3. Los DDR de tipo industrial según la IEC 60947-2 ofrecen más posibilidades de selectividad debido a su flexibilidad en la temporización.

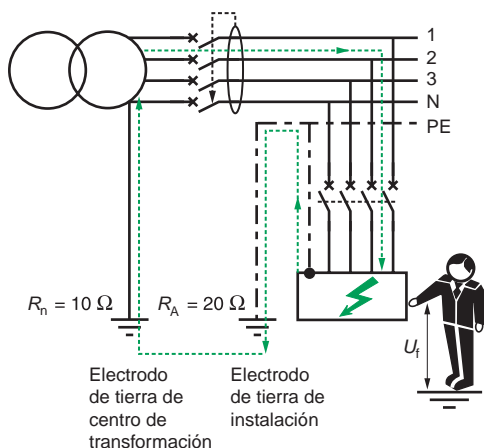


Fig. F9: Desconexión automática en el esquema TT.

F8

La desconexión automática de los esquemas TN se consigue mediante un dispositivo de protección contra las sobrecorrientes o con dispositivos de corriente residual.

$\times I_{\Delta n}$		1	2	5	> 5
Doméstico	Instantáneo	0,3	0,15	0,04	0,04
	Tipo S	0,5	0,2	0,15	0,15
Industrial	Instantáneo	0,3	0,15	0,04	0,04
	Temporización (0,06)	0,5	0,2	0,15	0,15
	Temporización (otros)	Según el fabricante			

Fig. F11: Tiempo de funcionamiento máximo de los DDR.

3.3 Desconexión automática en el esquema TN

Principio

En este esquema el neutro del transformador está conectado a tierra y las masas metálicas de los receptores están conectados al neutro.

Tal y como se indica en el capítulo E subpartado 2.2, la forma en que se realiza esta conexión directa depende de si se utiliza el método TN-C, TN-S, o TN-C-S para aplicar el principio TN. En la **Figura F12** se muestra el método TN-C, en el que el conductor neutro actúa tanto como tierra protectora como conductor neutro (PEN). En todos los esquemas TN, cualquier defecto de aislamiento a tierra tendrá como resultado un cortocircuito de fase a neutro. Los elevados niveles de la corriente de defecto permiten utilizar protección contra las sobrecorrientes pero pueden dar lugar a tensiones de contacto que superan el 50% de la tensión simple en la posición del defecto durante el tiempo de desconexión.

En la práctica, para la red de distribución general, las tomas de tierra están normalmente instaladas a intervalos regulares a lo largo del conductor de protección (PE o PEN) de la red, mientras que a menudo es necesario que el consumidor instale una toma de tierra en la entrada de servicio.

En instalaciones grandes, las tomas de tierra adicionales distribuidas por la instalación se proporcionan a menudo para reducir lo máximo posible la tensión de contacto. En los bloques de apartamentos de gran altura, todas las partes conductoras extrañas están conectadas al conductor de protección en cada nivel. A modo de garantizar una protección adecuada, la corriente de defecto a tierra

$$I_d = \frac{U_o}{Z_s} \text{ o } 0,8 \frac{U_o}{Z_c} \geq I_a \text{ donde}$$

- U_o = tensión nominal simple.
- Z_s = impedancia de fuga de corriente de defecto a tierra, equivalente a la suma de las impedancias del transformador, los conductores de fase activos en la posición de defecto y los conductores de protección desde la posición de defecto de nuevo a la fuente.
- Z_c = impedancia de fuga del circuito de defecto (ver el subpartado 6.2 "Método convencional").

Nota: La ruta a través de cada toma a tierra hacia la fuente tendrá por lo general valores de impedancia mucho mayores que los enumerados arriba y no será necesario tenerlos en cuenta.

- I_d = corriente de defecto.
- I_a = corriente equivalente al valor necesario para utilizar el dispositivo de protección en el tiempo especificado.

Ejemplo (ver **Figura F12**)

La tensión de defecto $U_i = \frac{230}{2} = 115 \text{ V}$ y es peligrosa.

La impedancia del bucle de defecto $Z_s = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{DE} + Z_{EN} + Z_{NA}$.

Si Z_{BC} y Z_{DE} son predominantes:

$$Z_s = 2\rho \frac{L}{S} = 64,3 \text{ m}\Omega, \text{ de forma que}$$

$$I_d = \frac{230}{64,3} = 3,576 \text{ A } (\approx 22 I_n \text{ basado en un interruptor automático NS 160}).$$

El ajuste de la unidad de disparo magnético "instantáneo" del interruptor automático es muchas veces inferior a este valor de cortocircuito, de forma que queda garantizado el funcionamiento positivo en el menor tiempo posible.

Nota: Algunas autoridades basan estos cálculos en la suposición de que una caída de tensión del 20% se produce en la parte del bucle de impedancia BANE.

Este método recomendado se explica en el capítulo F, subpartado 6.2: "Método convencional" y en el ejemplo se ofrece una corriente estimada de defecto de

$$\frac{230 \times 0,8 \times 10^3}{64,3} = 2,816 \text{ A } (\approx 18 I_n).$$

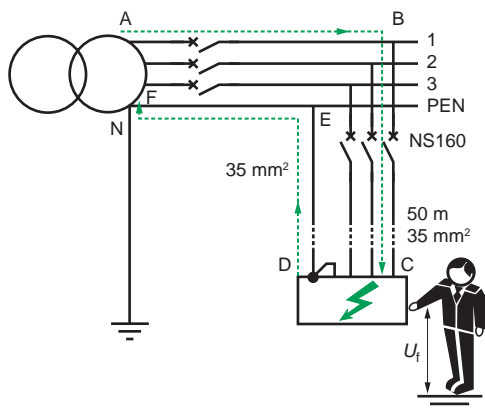


Fig. F12: Desconexión automática en el esquema TN.

Tiempo de desconexión máximo especificado

En la IEC 60364-4-41 se especifica el tiempo de funcionamiento máximo de los dispositivos de protección utilizados en el esquema TN para la protección contra los contactos indirectos:

- Para todos los circuitos finales con una corriente nominal que no supere los 32 A, el tiempo de desconexión máximo no debe superar los valores indicados en la **Figura F13**.
- Para todos los demás circuitos, el tiempo de desconexión máximo se fija en 5 s. Este límite permite la selectividad entre los dispositivos de protección instalados en circuitos de distribución.

Nota: La utilización de DDR puede resultar necesaria en esquemas TN conectados a tierra. La utilización de DDR en esquemas TN-C-S implica que el conductor de protección y el conductor neutro deben evidentemente estar separados aguas arriba del DDR. Esta separación se realiza comúnmente en la entrada de servicio.

$U_o^{(1)}$ (V)	T (s)
$50 < U_o \leq 120$	0,8
$120 < U_o \leq 230$	0,4
$230 < U_o \leq 400$	0,2
$U_o > 400$	0,1

(1) U_o es la tensión nominal fase-tierra.

Fig. F13: Tiempo de corte máximo de los dispositivos de protección CA que no superen 32 A.

Si la protección debe proporcionarse a través de un interruptor automático, es suficiente con comprobar que la corriente de defecto supera siempre el nivel de ajuste de la corriente de la unidad de disparo de temporización o instantáneo (I_m).

I_a se puede determinar a partir de la curva de rendimiento del fusible. En cualquier caso, la protección no se puede conseguir si la impedancia del bucle Z_s o Z_c supera un valor determinado.

Protección mediante interruptor automático (ver Figura F14)

La unidad de disparo instantáneo de un interruptor automático elimina un cortocircuito a tierra en menos de 0,1 segundos.

Por lo tanto, la desconexión automática dentro del tiempo máximo permitido siempre queda garantizada, puesto que todos los tipos de unidades de disparo, magnéticos o electrónicos, instantáneos o ligeramente retardados, son adecuados: $I_a = I_m$. La tolerancia máxima autorizada por la norma correspondiente, sin embargo, siempre se debe tener en cuenta. Es suficiente, por lo tanto, que la corriente de defecto

$\frac{U_o}{Z_s}$ o $0,8 \frac{U_o}{Z_c}$ determinada mediante cálculo (o estimada en la instalación) sea

superior a la corriente de ajuste de disparo instantáneo o al umbral de disparo de corta duración para asegurarse de que el disparo se produce en el límite de tiempo permitido.

Protección mediante fusibles (ver Figura F15)

El valor de la corriente que garantiza el correcto funcionamiento de un fusible se puede asegurar a partir de un gráfico de rendimiento de corriente/tiempo para el fusible en cuestión.

La corriente defecto $\frac{U_o}{Z_s}$ o $0,8 \frac{U_o}{Z_c}$ determinada arriba debe superar ampliamente la necesaria para asegurar el funcionamiento positivo del fusible. Por lo tanto, la condición que debe observarse $I_a < \frac{U_o}{Z_s}$ o $0,8 \frac{U_o}{Z_c}$ indicada en la **Figura F15**.

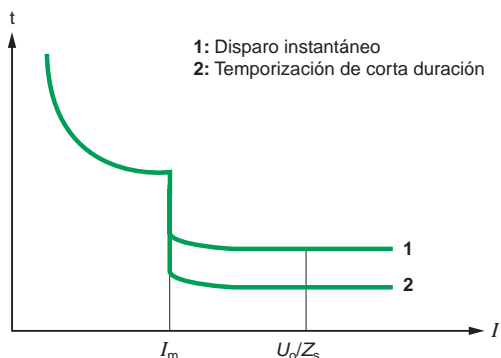


Fig. F14: Desconexión por interr. autom. para un esquema TN.

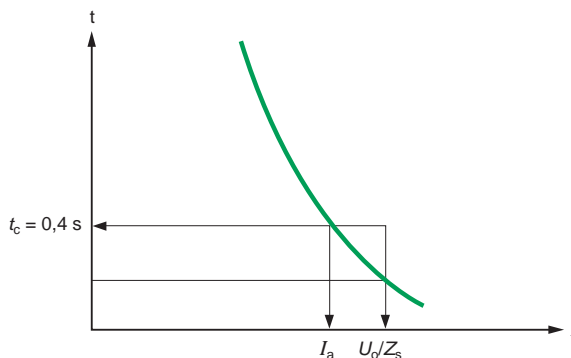


Fig. F15: Desconexión por fusibles para un esquema TN.

F10

Ejemplo: La tensión nominal simple de la red es de 230 V y el tiempo de desconexión máximo mostrado en el gráfico de la **Figura F15** es de 0,4 s. El valor correspondiente de I_a se puede leer en el gráfico. Utilizando la tensión (230 V) y la corriente I_a , se puede calcular la impedancia de bucle completa del circuito a partir de $Z_s = \frac{230}{I_a}$ o $Z_c = 0,8 \frac{230}{I_a}$. Este valor de impedancia nunca se debe superar y debe ser preferiblemente inferior para garantizar un funcionamiento satisfactorio de los fusibles.

Protección por medio de dispositivos de corriente residual para circuitos TN-S

Los dispositivos de corriente residual se deben utilizar cuando:

- La impedancia de bucle no se puede determinar de forma precisa (longitudes difíciles de calcular, presencia de cuerpos metálicos próximos al cableado).
- La corriente de defecto sea tan baja que no se pueda cumplir el tiempo de desconexión utilizando dispositivos de protección contra las sobrecorrientes.

El motivo es que el nivel de la corriente de defecto siempre es superior que su corriente de disparo nominal, que es de unos amperios.

En la práctica, se suelen instalar en la distribución de BT y, en numerosos países, la desconexión automática de los circuitos finales se puede conseguir con los dispositivos de corriente residual.

3.4 Desconexión automática por segundo defecto en un esquema IT

En este tipo de sistema:

- La instalación está aislada de la tierra o el punto neutro de su fuente de alimentación está conectado a tierra a través de una impedancia elevada.
- Todas las partes conductoras extrañas y activas están conectadas a tierra a través de una toma de tierra de la instalación.

Primer defecto

Cuando se produce un verdadero defecto a tierra, lo que se conoce como "primer defecto", la corriente de defecto es muy baja, de forma que la regla $I_d \times R_A \leq 50$ V (ver subapartado 3.2) se cumple y no se pueden producir tensiones de defecto peligrosas.

En la práctica, la corriente I_d es baja, una condición que no es peligrosa para las personas ni perjudicial para la instalación.

No obstante, en este esquema:

- Debe preverse una supervisión permanente del aislamiento a tierra, junto con una señal de alarma (sonido o luces intermitentes, etc.) que funcionen en caso de que se produzca un primer defecto a tierra (ver la **Figura F16**).
- La localización y reparación rápidas del primer defecto son obligatorias si se desean conseguir todas las ventajas del esquema IT. La continuidad del servicio es la mayor ventaja que ofrece el sistema.

En una red formada por 1 km de conductores nuevos, la impedancia de fuga (capacitiva) a tierra ZF es del orden de 3.500 Ω por fase. En funcionamiento normal, la corriente capacitiva⁽¹⁾ a tierra es por lo tanto:

$$\frac{U_o}{Z_f} = \frac{230}{3.500} = 66 \text{ mA por fase.}$$

Durante un defecto de fase a tierra, tal y como se muestra en la **Figura F17** de la página contigua, la corriente que atraviesa la resistencia del electrodo R_{rA} es la suma vectorial de las corrientes capacitivas en las dos fases correctas. Debido al defecto, las tensiones de las fases correctas aumentan a $\sqrt{3}$ la tensión de fase normal, de forma que las corrientes capacitivas aumentan de la misma cantidad. Estas corrientes se desplazan entre sí de 60°, de forma que cuando se suman vectorialmente, esto equivale a $3 \times 66 \text{ mA} = 198 \text{ mA}$, en el ejemplo.

La tensión de defecto U_f es por lo tanto igual a $198 \times 5 \times 10^{-3} = 0,99 \text{ V}$, lo que naturalmente es perjudicial.

La corriente del cortocircuito a tierra se obtiene por la suma vectorial de la corriente de resistencia-neutro I_{d1} (= 153 mA) y la corriente capacitiva I_{d2} (198 mA).

Puesto que las partes conductoras activas de la instalación están directamente a tierra, la impedancia neutra Z_{ct} no afecta prácticamente a la generación de las tensiones de contacto a tierra.

En los esquemas IT, el primer defecto a tierra no debe causar ninguna desconexión.



Fig. F16: Dispositivo de supervisión de aislamiento fases a tierra obligatorio en esquemas IT.

(1) La corriente de fuga a tierra resistiva a través del aislamiento se considera irrelevante en el ejemplo.

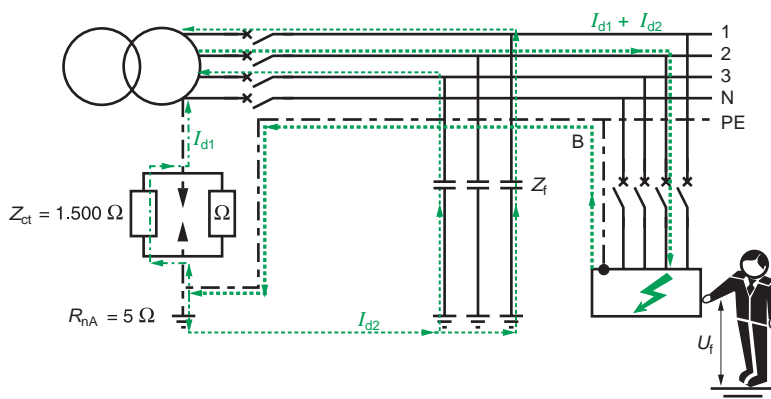


Fig. F17: Recorrido de la corriente del primer defecto en un esquema IT.

Segundo defecto

Cuando aparece el segundo defecto en una fase diferente o en un conductor neutro, la desconexión rápida es obligatoria. La eliminación del defecto se realiza de forma diferente en cada uno de los casos siguientes:

1.º caso

■ Hace referencia a una instalación en la que todas las partes conductoras activas están conectadas a un conductor PE común, tal y como se muestra en la **Figura F18**. En este caso, no se incluyen tomas de tierra en el recorrido de la corriente de defecto, de forma que se garantiza un alto nivel de corriente de defecto y se utilizan dispositivos de protección convencionales contra las sobrecorrientes, es decir, interruptores automáticos y fusibles.

El primer defecto se puede producir al final de un circuito en una parte remota de la instalación, mientras que el segundo puede estar perfectamente ubicado en el extremo opuesto de la instalación.

Por este motivo, es normal multiplicar por dos la impedancia de bucle de un circuito al calcular el nivel de ajuste de defecto anticipado para este dispositivo de protección contra las sobrecorrientes.

■ Cuando el sistema incluye un conductor neutro además de los conductores trifásicos, las corrientes de defecto de cortocircuito más bajas se generan si uno de los dos defectos es del conductor neutro a tierra (los cuatro conductores están aislados de la tierra en un esquema IT). Por lo tanto, en las instalaciones IT de cuatro cables, la tensión simple debe usarse para calcular los niveles de protección

de cortocircuitos $0,8 \frac{U_o}{2 Z_c} \geq I_a$ (1) donde

U_o = tensión simple.

Z_c = impedancia del bucle de corriente de defecto del circuito (ver subapartado 3.3).

I_a = nivel de corriente para ajuste del disparo.

■ Si no se distribuye ningún conductor neutro, la tensión que se debe utilizar para

calcular la corriente de defecto es el valor compuesto $0,8 \frac{\sqrt{3} U_o}{2 Z_c} \geq I_a$ (1).

Tiempos de disparo máximos

Los tiempos de desconexión para el esquema IT dependen de la forma en que están interconectadas las diferentes tomas de tierra de la instalación y el centro de transformación:

■ Para los circuitos finales que suministran a los equipos eléctricos corriente nominal que no supera los 32 A y que tienen las partes conductoras activas conectadas a la toma de tierra del centro de transformación, el disparo máximo se indica en la tabla de la **Figura F8**. Para los demás circuitos del mismo grupo de partes conductoras activas interconectadas, el tiempo de desconexión máximo es de 5 s. Esto se debe al hecho de que cualquier situación de doble defecto en este grupo provocará una corriente de cortocircuito como en el esquema TN.

■ Para los circuitos finales que suministran a los equipos eléctricos corriente nominal que no supera los 32 A y que tienen las partes conductoras activas conectadas a una toma de tierra independiente separada de la toma de tierra del centro de transformación, el disparo máximo se indica en la tabla de la **Figura F11**. Para los demás circuitos del mismo grupo de partes conductoras activas no interconectadas, el tiempo de desconexión máximo es de 1 s. Esto se debe al hecho de que toda situación de doble defecto derivada de un defecto de aislamiento de este grupo y otro defecto de aislamiento de otro grupo generará una corriente de defecto limitada por las diferentes resistencias de tomas de tierra como en el esquema TN.

La existencia simultánea de dos defectos a tierra (si no son ambos en la misma fase) es peligrosa y su eliminación es rápida mediante fusibles o automáticos.

El disparo de interruptor automático depende del tipo de esquema de conexión a tierra y de si se usan o no tomas de conexión a tierra separadas en la instalación en cuestión.

(1) Según el "método convencional" descrito en el primer ejemplo del subapartado 3.3.

3 Protección contra los contactos indirectos

Ejemplo (ver la Figura F18)

Los niveles de corriente y las medidas de protección dependen de los aparatos y los fusibles en cuestión.

F12

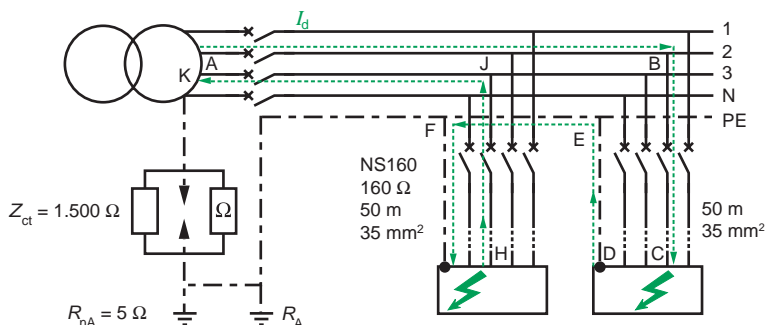


Fig. F18: Disparo del interruptor automático por situación de doble defecto cuando las partes conductoras activas están conectadas a un conductor de protección común.

■ Interruptor automático.

En el ejemplo mostrado en la **Figura F18**, deben decidirse los ajustes de la unidad de disparo de sobreintensidad instantáneo y de corta duración. Los tiempos recomendados arriba se pueden cumplir sin problemas.

Ejemplo: en el ejemplo mostrado en la **Figura F18**, selección e instalación de la protección de cortocircuito proporcionada por el interruptor automático NS 160 apropiado para eliminar un cortocircuito compuesto producido en los extremos de carga de los circuitos en cuestión.

Resumen: en un esquema IT se considera que los dos circuitos involucrados en un cortocircuito compuesto tienen la misma longitud y la misma sección de conductores; los conductores PE tienen la misma sección que los conductores de fase. En tal caso, la impedancia del bucle de circuito cuando se utiliza el "método convencional" (subapartado 6.2) será el doble de la calculada para uno de los circuitos del ejemplo TN, que se muestra en el capítulo F, subapartado 3.3.

Resistencia del bucle de circuito 1 $FGHJ = 2 R_{JH} = 2\rho \frac{L}{a}$ en $m\Omega$ donde:

ρ = resistencia en $m\Omega$ de varilla de cobre de 1 metro de longitud y sección de 1 mm^2 .

L = longitud del circuito en metros.

a = sección del conductor en mm^2 .

$FGHJ = 2 \times 22,5 \times 50/35 = 64,3 \text{ m}\Omega$

y la resistencia de bucle B, C, D, E, F, G, H, J será $2 \times 64,3 = 129 \text{ m}\Omega$.

La corriente de defecto será por lo tanto $0,8 \times \sqrt{3} \times 230 \times 103/129 = 2.470 \text{ A}$.

■ Fusibles.

La corriente I_a para la que debe garantizarse el funcionamiento de los fusibles en un tiempo especificado de acuerdo con lo anterior se puede obtener a partir de las curvas de funcionamiento de los fusibles, como se describe en la **Figura F15**.

La corriente indicada debe ser significativamente inferior a las corrientes de defecto calculadas para el circuito en cuestión.

2.º caso

■ Hace referencia a las partes conductoras activas que están conectadas a tierra de forma individual (cada parte tiene su propia toma de tierra) o en grupos separados (una toma para cada grupo).

Si todas las partes conductoras activas no están conectadas a un sistema de electrodos común, es posible que el segundo defecto a tierra se produzca en un grupo diferente o en un aparato individual conectado a tierra por separado. Se necesita una protección adicional a la descrita anteriormente para el caso 1 y consiste en un DDR colocado en el interruptor automático que controla cada grupo y cada aparato conectado a tierra individualmente.

3 Protección contra los contactos indirectos

La razón de este requisito es que los electrodos del grupo separado están conectados a través de la tierra de forma que la corriente de cortocircuito compuesta se limita generalmente cuando atraviesa la conexión de tierra, mediante las resistencias de contacto de toma de tierra, con lo que la protección mediante dispositivos de sobrecorriente no es fiable. Por consiguiente, son necesarios los DDR más sensibles, pero la corriente de funcionamiento de los DDR debe evidentemente superar la que se produce para un primer defecto (ver **Figura F19**).

Capacidad de fuga (μF)	Corriente de primer defecto (A)
1	0,07
5	0,36
30	2,17

Nota: 1 μF es la capacidad de fuga típica de 1 km para cables de 4 fases.

Fig. F19: Correspondencia entre la capacidad de fuga a tierra y la corriente de primer defecto.

Para un segundo defecto que se produce en un grupo con un sistema de toma de tierra común, la protección contra las sobrecorrientes funciona como se describe anteriormente para el caso 1.

Nota 1: Consulte también el capítulo G, subapartado 7.2: "Protección del conductor neutro".

Nota 2: En las instalaciones trifásicas de 4 cables, la protección contra la sobrecorriente en el conductor neutro se consigue mejor en ocasiones utilizando un transformador de corriente de tipo anillo en el conductor neutro de un solo núcleo (ver la **Figura F20**).

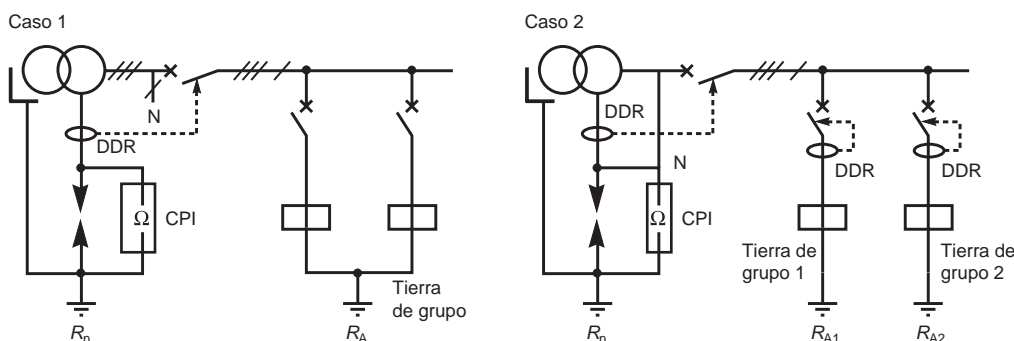


Fig. F20: Aplicación de DDR cuando las partes conductoras activas están conectadas a tierra individualmente o por grupos en un esquema IT.

3.5 Medidas de protección contra los contactos directos o indirectos sin desconexión automática de la alimentación

Utilización de MBTS (muy baja tensión de seguridad)

La muy baja tensión de seguridad MBTS se utiliza en situaciones en las que el funcionamiento del equipo eléctrico presenta un grave riesgo (piscinas, parques de atracciones, etc.). Esta medida depende del suministro de alimentación de muy baja tensión a partir de los devanados secundarios de los transformadores de aislamiento diseñados de conformidad con las normas nacionales o internacionales (IEC 60742). El nivel de resistencia de impulso del aislamiento entre los devanados principal y secundario es muy alto, por lo que a veces se incorpora una pantalla de metal conectada a tierra entre los devanados. La tensión secundaria nunca supera los 50 V rms.

Se deben cumplir tres condiciones de explotación para ofrecer una protección adecuada contra los contactos indirectos:

- No se debe conectar a tierra ningún conductor activo con MBTS.
- Las partes conductoras activas de los equipos alimentados con MBTS no deben conectarse a tierra, a otras partes conductoras activas ni a partes conductoras extrañas.
- Todas las partes activas de los circuitos MBTS y de otros circuitos de mayor tensión deben estar separados por una distancia al menos igual a la existente entre los devanados principal y secundario de un transformador de aislamiento de seguridad.

La tensión muy baja se utiliza cuando los riesgos son muy elevados: piscinas, lámparas de bolsillo, aparatos portátiles para uso en exterior, etc.

Estas medidas requieren que:

- Los circuitos MBTS utilicen conductos exclusivamente habilitados para ellos, a menos que los cables que están aislados para la tensión más alta de los demás circuitos se utilicen para los circuitos MBTS.
- Las tomas de corriente del sistema MBTS no tengan un contacto de pin de tierra. Los enchufes y tomas de circuito MBTS deben ser especiales, de forma que no se pueda realizar una conexión imprevista a un nivel de tensión diferente.

Nota: En condiciones normales, cuando la tensión MBTS es inferior a 25 V, no es necesario proporcionar protección contra el riesgo de contactos directos. Los requisitos especiales se indican en el capítulo P, apartado 3: "Ubicaciones especiales".

Utilización de la protección mediante muy baja tensión

(ver la [Figura F21](#))

Este sistema es para uso general cuando se necesita baja tensión o se prefiere por motivos de seguridad, siempre y cuando no sea en las ubicaciones de alto riesgo indicadas arriba. El diseño es similar al del sistema MBTS, pero el circuito secundario está conectado a tierra en un punto.

En la IEC 60364-4-41 se define de forma precisa el significado de la protección mediante muy baja tensión de referencia. La protección contra los contactos directos es por lo general necesaria, excepto cuando el equipo se encuentra en la zona de conexión equipotencial, la tensión nominal no supera 25 V rms, el equipo se utiliza únicamente en ubicaciones normalmente secas y no es probable el contacto de gran área con el cuerpo humano. En todos los demás casos, 6 V rms es la tensión máxima permitida, en la que no se ofrece ninguna protección contra los contactos directos.

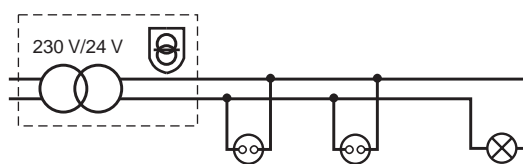


Fig. F21: Fuentes de alimentación de baja tensión a partir de un transformador de aislamiento de seguridad.

Sistema muy baja tensión funcional

Cuando por motivos funcionales se utilice una tensión igual o inferior a 50 V pero no se cumplan todos los requisitos de MBTS o de la protección mediante muy baja tensión, se deben adoptar las medidas adecuadas descritas en la IEC 60364-4-41 para garantizar la protección contra los contactos tanto directos como indirectos, de acuerdo con la ubicación y utilización de estos circuitos.

Nota: Se pueden dar estas condiciones cuando, por ejemplo, el circuito incluye equipos (como transformadores, relés, interruptores de control remoto, contactores...) insuficientemente aislados con respecto a los circuitos de tensiones superiores.

Separación eléctrica de los circuitos (ver la [Figura F22](#))

El principio de la separación eléctrica de los circuitos (generalmente circuitos de una sola fase) con fines de seguridad se basa en el siguiente razonamiento:

Los dos conductores del devanado secundario de una fase no conectado a tierra de un transformador de separación están aislados de la tierra.

Si se realiza un contacto directo con un conductor, sólo una pequeña corriente fluye por la persona que realiza el contacto, a través de la tierra y hasta el otro conductor, por la capacidad inherente de dicho conductor respecto a la tierra. Puesto que la capacidad del conductor a tierra es muy pequeña, la corriente está normalmente por debajo del nivel de percepción. A medida que aumenta la longitud del cable del circuito, la corriente de contacto directo aumenta progresivamente hasta un punto en el que se produce una descarga eléctrica peligrosa.

Incluso si una longitud corta de cable evita cualquier peligro de la corriente capacitiva, un valor bajo de la resistencia de aislamiento con respecto a la tierra puede resultar peligrosa, puesto que el recorrido de la corriente es a través de la persona que realiza el contacto, por la tierra y hasta el otro conductor a través de la resistencia de aislamiento baja de conductor a tierra.

Por todos estos motivos, las longitudes relativamente cortas de cables correctamente aislados son fundamentales en los sistemas de separación.

Los transformadores están especialmente diseñados para este propósito, con un alto grado de aislamiento entre los devanados principal y secundario o con la protección equivalente, como la de una pantalla de metal conectada a tierra entre los devanados. La instalación del transformador se realiza según las normas de aislamiento de clase II.

La separación eléctrica de los circuitos es adecuada para longitudes de cable relativamente cortas y altos niveles de resistencia de aislamiento. Se utiliza preferiblemente para aparatos individuales.

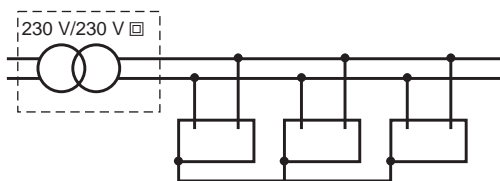


Fig. F22: Alimentación de seguridad de un transformador de separación de clase II.

Símbolo:



Tal y como se indica anteriormente, una explotación correcta del principio requiere lo siguiente:

- Ningún conductor ni parte conductora expuesta del circuito secundario deben estar conectados a tierra.
- La longitud del cableado secundario debe limitarse para evitar elevados valores de capacidad⁽¹⁾.
- Se debe mantener un alto valor de resistencia de aislamiento para el cableado y los aparatos.

Estas condiciones limitan por lo general la aplicación de esta medida de seguridad para un aparato individual.

En caso de que varios aparatos se alimenten desde un transformador separador, será necesario cumplir los siguientes requisitos:

- Las partes conductoras activas de todos los aparatos deben estar conectadas juntas mediante un conductor de protección aislado, pero no conectadas a tierra.
- Las tomas de corriente deben estar provistas de una conexión de pin a tierra. La conexión de pin a tierra se utiliza en este caso únicamente para garantizar la interconexión de todas las partes conductoras activas.

En caso de producirse un segundo defecto, la protección contra las sobrecargas debe ofrecer la desconexión automática en las mismas condiciones que las necesarias para un esquema IT de conexión a tierra del sistema de alimentación.

Equipos de clase II

Estos aparatos también se conocen como que tienen “doble aislamiento”, puesto que en los aparatos de clase II se añade un aislamiento adicional al aislamiento básico (ver la **Figura F23**). Ninguna parte conductora de un aparato de clase II debe estar conectada a un conductor de protección:

- La mayoría de los equipos portátiles o semifijos, algunas lámparas y algunos tipos de transformadores están diseñados para tener un doble aislamiento. Es importante prestar especial atención al utilizar los equipos de clase II y comprobar regularmente y a menudo que se conserva el estándar de la clase II (sin envoltorio exterior rota, etc.). Los dispositivos electrónicos, los radios y los televisores tienen unos niveles de seguridad equivalentes a la clase II, pero no son formalmente aparatos de clase II.
- Aislamiento adicional en una instalación eléctrica: IEC 60364-4-41 (subsección 413-2) y algunas normas nacionales como la UNE 20460-4-41 (España) describen de forma más detallada las medidas necesarias para lograr el aislamiento adicional durante las tareas de instalación.

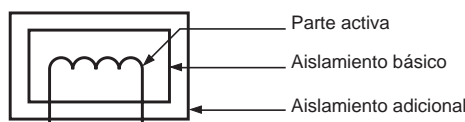


Fig. F23: Principio del nivel de aislamiento de clase II.

Un ejemplo muy sencillo es el tendido de un cable en un conducto de PVC. También se describen métodos para los cuadros de distribución.

- Para los cuadros de distribución y equipos similares, la IEC 60439-1 describe una serie de requisitos que se conocen como “aislamiento total”, equivalente a la clase II.
- Numerosas normas nacionales consideran algunos cables como equivalentes a la clase II.

Colocación fuera de alcance o interposición de obstáculos

Con estos medios, la probabilidad de tocar una parte conductora expuesta activa mientras se toca al mismo tiempo una parte conductora extraña al potencial de tierra es extremadamente baja (ver la **Figura F24** en la siguiente página). En la práctica, esta medida sólo se puede aplicar en lugares secos y se implementa de conformidad con las siguientes condiciones:

- El suelo y la pared de la cámara no deben ser conductores, es decir, la resistencia a la tierra en cualquier punto debe ser:
 - > 50 kΩ (tensión de la instalación ≤ 500 V).
 - > 100 kΩ (500 V < tensión de la instalación ≤ 1.000 V).

La resistencia se mide por medio de instrumentos de tipo “MEGGER” (grupos de funcionamiento manual o modelos electrónicos de funcionamiento con batería) entre una toma situada en el suelo o contra la pared y la tierra (es decir, el conductor de tierra de protección más próximo). La presión del área de contacto del electrodo debe naturalmente ser la misma para todas las pruebas.

Los diferentes proveedores de instrumentos ofrecen electrodos específicos para sus propios productos, por lo que debe prestarse especial atención para asegurarse de que los electrodos utilizados son los suministrados con el instrumento.

En principio, la seguridad ofrecida colocando fuera de alcance partes conductoras accesibles simultáneamente o interponiendo obstáculos requiere también un suelo no conductor, por lo que no es un principio de fácil aplicación.

(1) En la IEC 60364-4-41 se recomienda que el producto de la tensión nominal del circuito en voltios y la longitud en metros del sistema de cableado no supere 100.000 y que la longitud del sistema de cableado no supere 500 m.

3 Protección contra los contactos indirectos

- La colocación de equipos y obstáculos debe ser tal que no sea posible el contacto simultáneo con dos partes conductoras activas o con una parte conductora expuesta y una parte conductora extraña por parte de un individuo.
- No se debe introducir ningún conductor de protección expuesto en la cámara en cuestión.
- Las entradas a la cámara deben disponerse de tal forma que las personas que entren no corran riesgos, p. ej., una persona que se encuentre sobre suelo conductor fuera de la cámara no debe poder alcanzar a tocar a través de la puerta una parte conductora expuesta, como un interruptor de iluminación montado en una caja conductora de hierro fundido de tipo industrial, por ejemplo.

F16

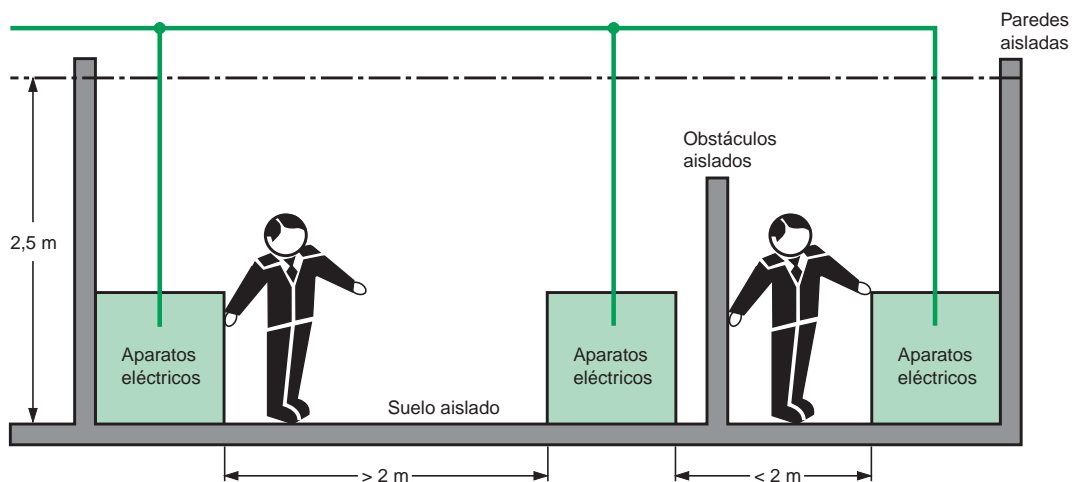


Fig. F24: Protección mediante disposición fuera de alcance e interposición de obstáculos no conductores.

Las cámaras equipotenciales sin tierra están asociadas a instalaciones especiales (laboratorios, etc.) y generan ciertas dificultades de instalación prácticas.

Cámaras equipotenciales sin tierra

En este esquema, todas las partes conductoras activas, incluido el suelo⁽¹⁾, están conectadas mediante conductores suficientemente grandes, de forma que no existe diferencia significativa de potencial entre dos puntos. Un defecto de aislamiento entre un conductor activo y la envolvente de metal tendrá como resultado la elevación de toda la "jaula" a la tensión fase-tierra, pero no se produce corriente de defecto. En estas condiciones, una persona que entre en la cámara correría riesgo (puesto que pisaría un suelo activo).

Deben adoptarse medidas de precaución adecuadas para proteger al personal de este peligro (p. ej., suelo no conductor en las entradas, etc.). También son necesarios dispositivos de protección para detectar los defectos de aislamiento a falta de corriente de defecto significativa.

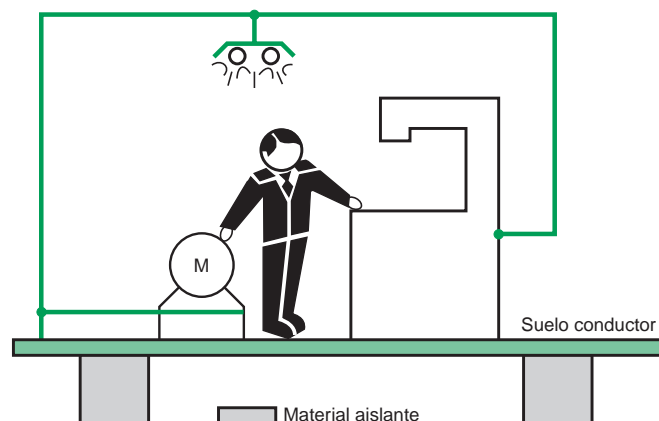


Fig. F25: Conexión equipotencial de todas las partes conductoras activas accesibles simultáneamente.

(1) Las partes conductoras que entran o salen del espacio equipotencial (como tuberías de agua, etc.) deben introducirse en material aislante adecuado y excluirse de la red equipotencial, ya que es probable que estas partes estén conectadas a conductores de protección (conectados a tierra) en otro lugar de la instalación.

4 Protección de materiales debido a defectos de aislamiento

Las normas consideran elevados los daños (principalmente el fuego) de bienes debidos al aislamiento. Por lo tanto, en las ubicaciones con alto riesgo de incendio, deben utilizarse dispositivos de corriente residual de 300 mA. Para las demás ubicaciones, algunas normas se basan en la técnica denominada "protección de defectos a tierra" (GFP).

Los DDR son dispositivos muy eficaces para ofrecer protección contra el riesgo de defectos de aislamiento, ya que pueden detectar corrientes de fuga (ej. 300 mA) que son demasiado bajas para las demás protecciones pero suficientes para provocar un incendio.

4.1 Medidas de protección contra el riesgo de incendios con DDR

Los DDR son dispositivos muy eficaces a la hora de ofrecer protección contra el riesgo de incendios debidos a defectos de aislamiento. Este tipo de corriente de defecto es en realidad demasiado baja para que la detecten otros mecanismos de protección (sobrecorrientes, tiempo inverso).

Para los esquemas TT, IT y TN-S en los que pueden aparecer corrientes de fuga, la utilización de DDR de sensibilidad de 300 mA ofrece una buena protección contra el riesgo producido por este tipo de defecto.

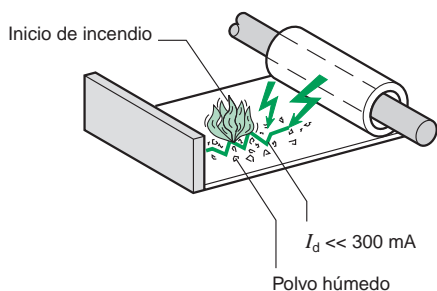
Una investigación ha demostrado que el coste de los incendios en los edificios industriales y terciarios puede ser enorme.

El análisis del fenómeno indica que el riesgo de incendio debido a la electricidad está relacionado con el sobrecalentamiento debido a una mala coordinación entre la corriente nominal máxima del cable (o conductor aislado) y el ajuste de la protección contra la sobrecorriente.

El sobrecalentamiento también puede deberse a la modificación del método inicial de la instalación (incorporación de cables en el mismo soporte).

Este sobrecalentamiento puede ser el origen del arco eléctrico en entornos húmedos. Estos arcos eléctricos evolucionan cuando la impedancia de bucle de la corriente de defecto es superior a $0,6 \Omega$ y existen únicamente cuando se produce un defecto de aislamiento. Algunas pruebas han demostrado que una corriente de defecto de 300 mA puede inducir un verdadero riesgo de incendio (ver la **Figura F26**).

F17



Algunas pruebas han demostrado que una corriente de fuga muy baja (unos pocos mA) puede evolucionar y, a partir de 300 mA, provocar fuego en entornos húmedos y con polvo.

Fig. F26: Origen de incendios en los edificios.

4.2 Protección de defectos a tierra (GFP)

Diferentes tipos de protección de defectos a tierra

(ver la **Figura F27**)

Existen tres tipos de GFP en función del dispositivo de medición instalado:

- "Detección residual", DR.

La corriente de "defecto de aislamiento" se calcula utilizando la suma vectorial de corrientes de los secundarios de transformadores de corriente. El transformador de corriente en el conductor neutro se encuentra a menudo fuera del interruptor automático.

- "Retorno de fuente", RF.

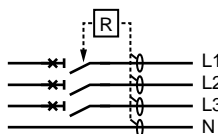
La "corriente de defecto de aislamiento" se mide en el enlace neutro-tierra del transformador de BT. El transformador de corriente se encuentra fuera del interruptor automático.

"Sistema RF".

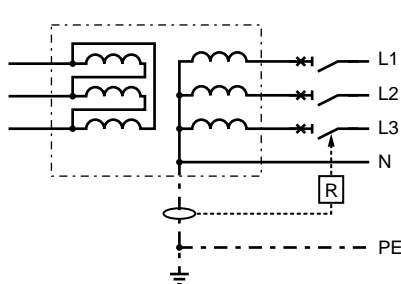
- "Secuencia cero", SC.

El "defecto de aislamiento" se mide directamente en el primario del transformador de corriente utilizando la suma de las corrientes de los conductores activos. Este tipo de GFP sólo se utiliza con valores de corriente de defecto bajos.

Sistema DR



Sistema RF



Sistema SC

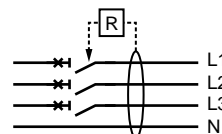


Fig. 27: Diferentes tipos de protecciones de defectos a tierra.

4 Protección de materiales debido a defectos de aislamiento

Colocación de los dispositivos GFP en la instalación

Tipo / nivel de instalación	Distribución principal	Distribuc. secundaria	Comentarios
Retorno de fuente (RF)	<input type="checkbox"/>		Utilizado
Detección residual (DR)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Utilizado a menudo
Secuencia cero (SC)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Poco utilizado

Posible.

Recomendado o necesario.

5.1 Medidas de protección

Protección contra los contactos indirectos

Caso general

La protección contra los contactos indirectos se realiza mediante los DDR, cuya

sensibilidad $I_{\Delta n}$ cumple la condición $I_{\Delta n} \leq \frac{50 \text{ V}}{R_A}$ (1)

La elección de la sensibilidad del dispositivo de corriente residual está en función de la resistencia R_A de la toma de tierra para la instalación y se muestra en la **Figura F28**.

$I_{\Delta n}$	Resistencia máxima de la toma de tierra	
	(50 V)	(25 V)
3 A	16 Ω	8 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
300 mA	166 Ω	83 Ω
30 mA	1.666 Ω	833 Ω

Fig. F28: Límite superior de la resistencia de una toma de tierra de la instalación que no debe superarse, para niveles de sensibilidad determinados de DDR a límites de tensión UL de 50 y 25 V.

Caso de los circuitos de distribución (ver la **Figura F29**)

La IEC 60364-4-41 y varias normas nacionales reconocen un tiempo máximo de disparo de 1 segundo en los circuitos de distribución de la instalación (a diferencia de los circuitos finales). Esto permite alcanzar un grado de selectividad:

- En el nivel A: temporización de DDR, es decir, de tipo "S".
- En el nivel B: DDR instantáneo.

Caso en el que las partes conductoras expuestas de un aparato, o grupo de aparatos, están conectadas a una toma de tierra separada (ver la **Figura F30**).

Protección contra los contactos indirectos con un DDR en el interruptor automático que protege cada grupo o cada aparato de tierra separado.

En cada caso, la sensibilidad debe ser compatible con la resistencia de la toma de tierra en cuestión.

DDR de alta sensibilidad (ver la **Figura F31**)

La norma IEC 60364 recomienda firmemente la utilización de un DDR de elevada sensibilidad ($\leq 30 \text{ mA}$) en los siguientes casos:

- Circuitos con toma de corriente para corrientes nominales de $\leq 32 \text{ A}$ en cualquier ubicación.
- Circuitos con toma de corriente en ubicaciones húmedas para todas las especificaciones de corriente.
- Circuitos con tomas de corriente en instalaciones provisionales.
- Circuitos de suministro a lavanderías y piscinas.
- Circuitos de alimentación para provisionales de obra, caravanas, barcos de entretenimiento y ferias.

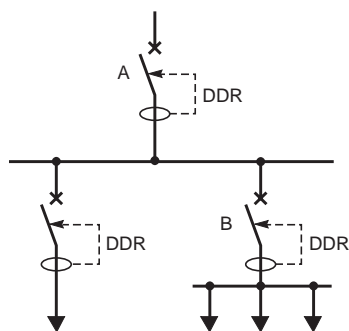


Fig. F29: Circuitos de distribución.

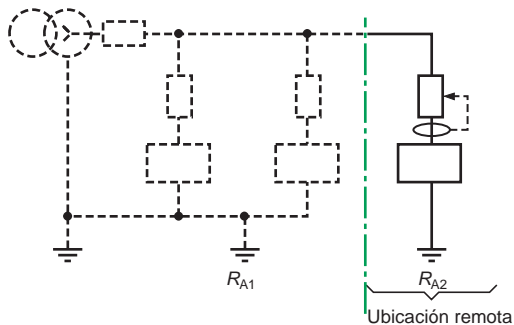


Fig. F30: Toma de tierra separada.

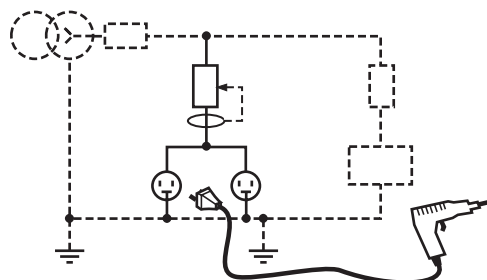


Fig. F31: Circuitos de alimentación de tomas de corriente.

(1) 25 V para instalaciones en instalaciones de trabajo, establecimientos agrícolas, etc.

Esta protección puede destinarse a circuitos individuales o a grupos de circuitos:

- Altamente recomendada para circuitos con tomas de corriente ≥ 20 A (obligatoria si van a alimentar equipos portátiles para uso en exteriores).
- En algunos países, este requisito es obligatorio para los circuitos de tomas de corriente ≤ 32 A. También se recomienda para limitar el número de tomas de corriente protegidas por un DDR (p. ej., 10 tomas para un DDR).

Áreas con riesgo de incendios (ver la Figura F32)

La protección con DDR en el interruptor automático que controla todo el suministro del área de riesgo es necesaria en algunas ubicaciones y obligatoria en numerosos países. La sensibilidad del DDR debe ser ≤ 500 mA.

Una sensibilidad preferente de 300 mA permite también ofrecer protección contra el riesgo de incendios.

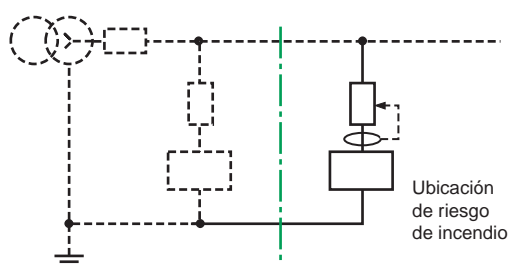


Fig. F32: Ubicación de riesgo de incendio.

Protección cuando las partes conductoras expuestas no están conectadas a tierra (ver la Figura F33)

(En el caso de una instalación existente en la que el entorno sea seco y no sea posible prever una conexión a tierra, o en caso de que se rompa un cable de tierra de protección.)

Los DDR de alta sensibilidad (≤ 30 mA) permiten contar tanto con la protección contra el riesgo de contactos indirectos como contra los contactos directos.

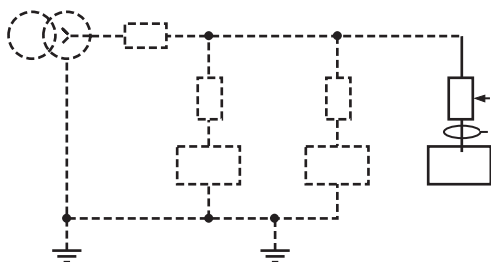


Fig. F33: Partes conductoras expuestas sin conectar a tierra (A).

5.2 Tipos de DDR

Los dispositivos de corriente residual (DDR) se incorporan normalmente o asocian a los siguientes componentes:

- Interruptores automáticos moldeados de tipo industrial (MCCB) según la norma IEC 60947-2 y sus anexos B y M.
- Interruptores automáticos miniatura de tipo industrial (MCB) según la norma IEC 60947-2 y sus anexos B y M.
- Interruptores automáticos domésticos y similares (MCB) según las normas IEC 60898, IEC 61008 e IEC 61009.
- Interruptor de carga residual según las normas nacionales particulares.
- Relés con transformadores de corriente de toroidal separado (tipo anillo), según la norma IEC 60947-2, anexo M.

Los interruptores automáticos industriales con un DDR integrado se tratan en la norma IEC 60947-2 y su anexo B.

Los DDR se utilizan obligatoriamente en el origen de las instalaciones de conexión a tierra TT, en las que su capacidad para diferenciar otros DDR permite el disparo selectivo, con lo que se garantiza la continuidad de servicio necesaria.

Interruptores automáticos de tipo industrial con módulo de DDR integrado o adaptado (ver la Figura F34)



Interruptor automático de tipo industrial Vigicompact



Interruptor automático industrial multi 9 de carril DIN con módulo Vigi DDR adaptable



F21

Fig. F34: CB de tipo industrial con módulo de DDR.

Los interruptores automáticos domésticos con un DDR integrado se tratan en las normas IEC 60898, IEC 61008 e IEC 61009.

Interruptores automáticos miniatura domésticos y similares con DDR (ver la Figura F35)

Están disponibles interruptores automáticos de corriente diferencial residual adaptable, incluidas unidades de montaje en perfil DIN (p. ej., Compact o multi 9) a los que pueden asociarse módulos de DDR auxiliares (p. ej., Vigi).

El conjunto ofrece una completa gama de funciones de protección (aislamiento y protección contra los cortocircuitos, las sobrecargas y los defectos de tierra).



Interruptor automático de control de potencia



Interruptor diferencial automático: iDPN Vigi para la protección de los circuitos de tomas de corriente terminales en aplicaciones domésticas y de terciario.

Fig. F35: Interruptores automáticos domésticos para la protección de circuitos y para el control de potencia.

Los interruptores de corte de carga de corriente residual se tratan en normas nacionales particulares.

Los DDR con transformadores de corriente toroidales separados se tratan en la norma IEC 60947-2, anexo M.

Interruptores automáticos de corriente diferencial residual y DDR con transformador de corriente toroidal separado (ver las Figuras F36 y F37 en la página siguiente)

Están disponibles interruptores automáticos de corriente residual adaptables, incluidas unidades de montaje en perfil DIN (p. ej., Compact o multi 9) a los que pueden asociarse módulos de DDR auxiliares (Vigi).

El conjunto ofrece una completa gama de funciones de protección (aislamiento y protección contra los cortocircuitos, las sobrecargas y los defectos de tierra).



Los interruptores automáticos de corriente residual se utilizan para la protección de fugas a tierra en los cuadros de distribución o de distribución secundaria.

Fig. F36: Interruptor automático con protección incorporada contra las fugas a tierra.



Se pueden utilizar DDR con TI toroidales separados junto con interruptores automáticos o contactores.

Fig. F37: DDR con transformadores de intensidad separados.

5.3 Coordinación de dispositivos de protección de corriente residual

La coordinación de disparo selectivo se consigue mediante temporización o subdivisión de circuitos, que protegen individualmente o por grupos, o bien combinando ambos métodos.

Esta selectividad evita el disparo de cualquier DDR que no sea el que se encuentre inmediatamente aguas arriba de la posición de defecto:

■ Con los dispositivos disponibles en la actualidad, la selectividad es posible en tres o cuatro niveles diferentes de distribución:

- En el cuadro de distribución general principal.
- En los cuadros de distribución generales locales.
- En los cuadros de distribución secundarios.
- En las tomas de corriente para la protección de aparatos individuales.

■ Por lo general, en los cuadros de distribución (y, en su caso, los cuadros de distribución secundarios) así como en la protección de aparatos individuales, los dispositivos para la desconexión automática en caso de que se produzca un contacto indirecto se instalan junto con una protección adicional contra el riesgo de contactos directos.

Selectividad entre DDR

La especificación general para conseguir la selectividad total entre dos DDR es la siguiente:

- Multiplicación por dos de la corriente de funcionamiento residual nominal.
- Temporización del DDR aguas arriba.

La selectividad se consigue utilizando los diferentes niveles de sensibilidad normalizados: 30 mA, 100 mA, 300 mA y 1 A así como los correspondientes tiempos de disparo, tal y como se muestra en la página siguiente en la **Figura F38**.

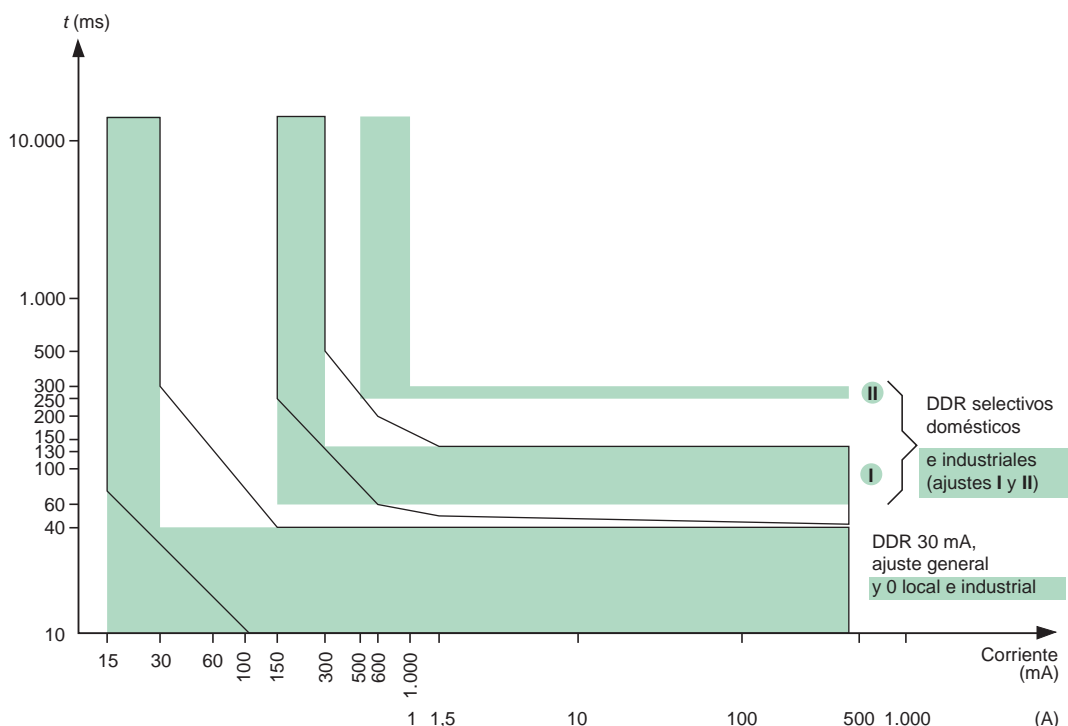


Fig. F38: Selectividad total en 2 niveles.

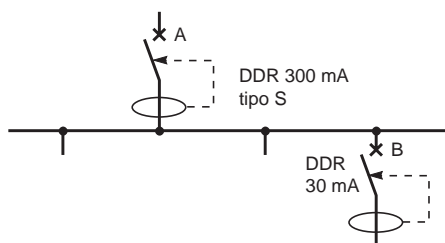


Fig. F39: Selectividad total en 2 niveles.

Selectividad en 2 niveles (ver la Figura 39)

Protección

- Nivel A: Ajuste de temporización de DDR 1 (para dispositivos industriales) tipo S (para dispositivos domésticos) para la protección contra los contactos indirectos.
- Nivel B: DDR instantáneo, con alta sensibilidad en los circuitos que alimentan las tomas de corriente o los aparatos de alto riesgo (lavadoras, etc., ver también el capítulo M, apartado 3).

Soluciones de Schneider Electric

- Nivel A: Interruptor automático Compact o multi 9 con módulo de DDR adaptable (Vigi NS160 o Vigi NC100), ajuste I o tipo S.
- Nivel B: Interruptor automático con módulo de DDR integrado (DPN Vigi) o adaptable (p. ej., Vigi C60 o Vigi NC100) o bien Vigicompact.

Nota: El ajuste del DDR aguas arriba debe cumplir las normas de selectividad y tener en cuenta todas las corrientes de fuga a tierra aguas abajo.

Selectividad en 3 niveles (ver la Figura 40)

Protección

- Nivel A: Temporización de DDR (ajuste III).
- Nivel B: Temporización de DDR (ajuste II).
- Nivel C: Temporización de DDR (ajuste I) o tipo S.
- Nivel D: DDR instantáneo.

Soluciones de Schneider Electric

- Nivel A: Interruptor automático asociado a un DDR y un transformador toroidal separado (Vigirex RH54A).
- Nivel B: Vigicompact o Vigirex.
- Nivel C: Vigirex, Vigicompact, Vigi NC100 o Vigi C60.
- Nivel D:
 - Vigicompact
 - o Vigirex
 - o multi 9 con módulo de DDR integrado o adaptable: Vigi C60 o DPN Vigi.

Nota: El ajuste del DDR aguas arriba debe cumplir las normas de selectividad y tener en cuenta todas las corrientes de fuga a tierra aguas abajo.

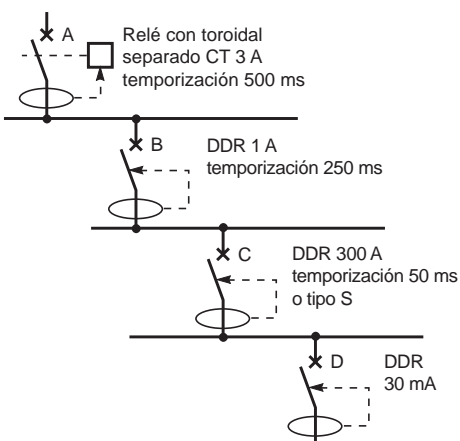


Fig. F40: Selectividad total en 3 o 4 niveles.

Protección selectiva en tres niveles (ver la Figura 41)

F24

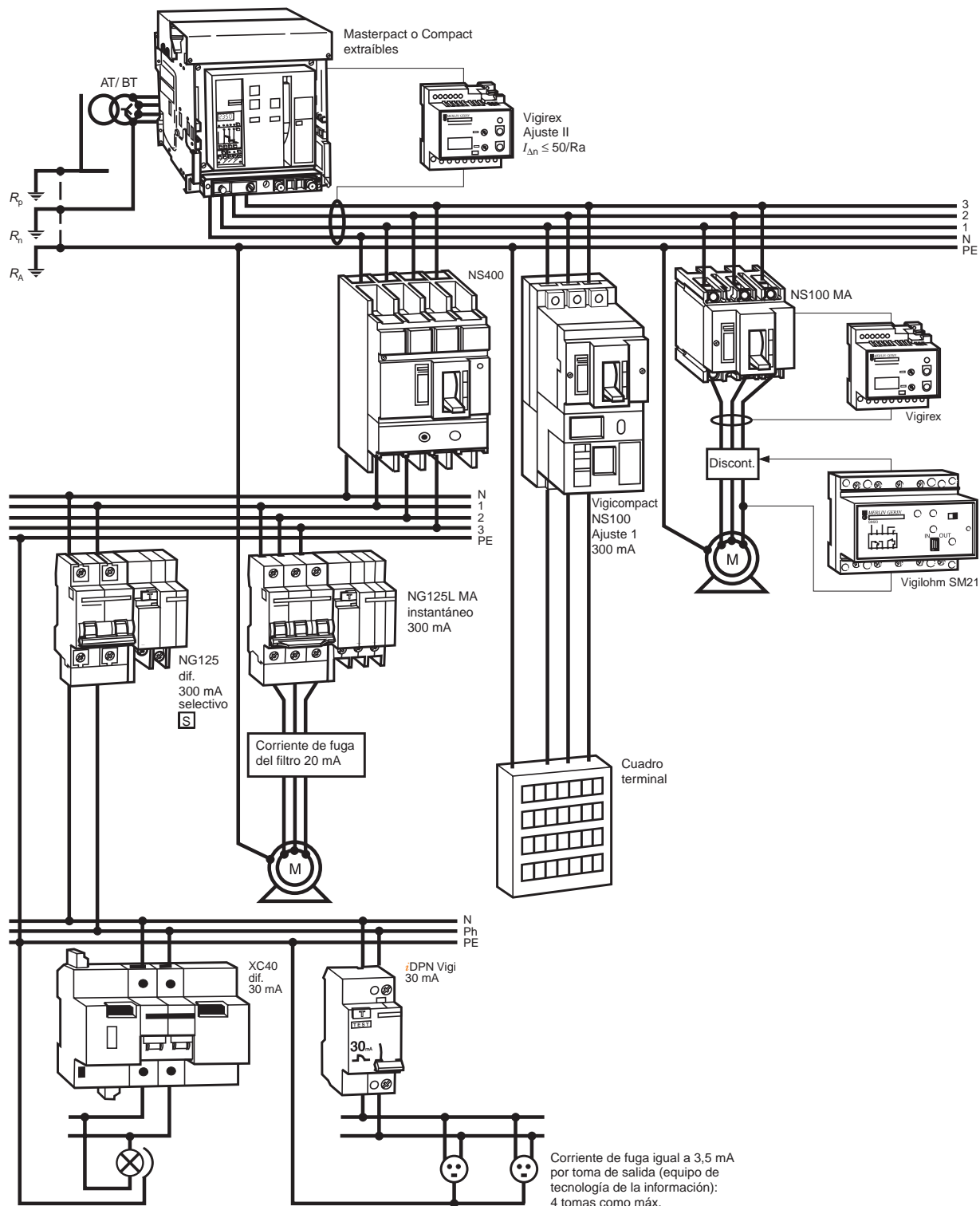


Fig. F41: Instalación típica de 3 niveles que muestra la protección de los circuitos de distribución en un esquema TT conectado a tierra. Se proporciona un motor con protección específica.

6 Implementación del esquema TN

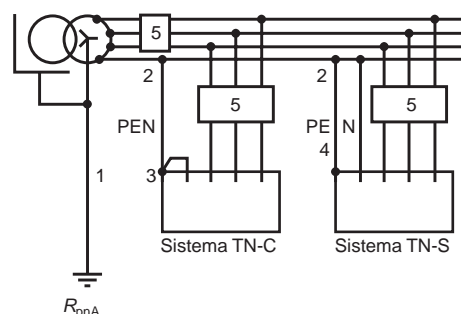
6.1 Condiciones preliminares

En la etapa de diseño, deben calcularse las longitudes máximas permitidas de cable aguas abajo de un interruptor automático de protección (o juego de fusibles), mientras que durante el trabajo de instalación deben cumplirse totalmente determinadas reglas.

Deben contemplarse ciertas condiciones, tal y como se enumera a continuación y se ilustra en **Figura F42**.

1. El conductor PE se debe conectar a tierra regularmente en la mayor medida posible.
2. El conductor PE no debe atravesar conductos ferromagnéticos, etc. ni montarse sobre acero, ya que los efectos inductivos o de proximidad pueden aumentar la impedancia efectiva del conductor.
3. En el caso de un conductor PEN (un conductor neutro que también se utiliza como conductor de protección), la conexión debe efectuarse directamente al terminal de tierra de un aparato (ver 3 en **Figura F42**) antes de efectuarse el bucle al terminal neutro del mismo aparato.
4. Cuando se utilice el conductor $\leq 6 \text{ mm}^2$ para cobre o de 10 mm^2 para aluminio, o bien cuando un cable sea extraíble, los conductores neutro y de protección deben estar separados (es decir, debe adoptarse un esquema TN-S en la instalación).
5. Los defectos de tierra se pueden eliminar con dispositivos de protección contra las sobrecorrientes, p. ej., fusibles e interruptores automáticos.

En la lista anterior se indican las condiciones que deben cumplirse a la hora de implementar un esquema TN para la protección contra los contactos indirectos.



Notas:

- El esquema TN exige que el neutro de BT del transformador de AT/BT y las partes conductoras expuestas y extrañas del centro de transformación y la instalación estén conectadas a un esquema común de conexión a tierra.
- Para un centro de transformación en el que la medición es de baja tensión, se precisa un medio de aislamiento en el origen de la instalación de BT, aislamiento que debe ser claramente visible.
- Un conductor PEN no debe interrumpirse nunca bajo ninguna circunstancia. El aparato de control y protección para las distintas disposiciones de TN será:
 - Tripolar cuando el circuito incluya un conductor PEN.
 - Preferiblemente de 4 polos (3 fases + neutro) cuando el circuito incluya un neutro con conductor PE separado.

Fig. F42: Implementación del esquema TN de conexión a tierra.

6.2 Protección contra los contactos indirectos

Métodos para determinar los niveles de la corriente de cortocircuito

En los esquemas TN conectados a tierra, un cortocircuito a tierra, en principio, siempre suministrará corriente suficiente para hacer funcionar un dispositivo de sobrecorriente.

Las impedancias de la fuente y la alimentación principal son muy inferiores a las de los circuitos de la instalación, por lo que cualquier restricción en la magnitud de las corrientes de defecto a tierra se deberá principalmente a los conductores de la instalación (los cables largos flexibles a los aparatos aumentan en gran medida la impedancia de "bucle de defecto", con la correspondiente reducción de la corriente de cortocircuito).

Las recomendaciones más recientes de la IEC para la protección contra los contactos indirectos en esquemas de conexión a tierra TN sólo relacionan los tiempos de disparo máximos permitidos con la tensión nominal del sistema (ver **Figura F12** del subapartado 3.3).

Normalmente se utilizan tres métodos de cálculo:

- El método de las impedancias, basado en la suma trigonométrica de las resistencias del sistema y las reactancias inductivas.
- El método de composición.
- El método convencional, basado en una caída de tensión asumida y la utilización de tablas preparadas.

El razonamiento de estas recomendaciones es que para los esquemas TN, la corriente que debe fluir para que aumente el potencial de una parte conductora expuesta a 50 V o más es tan elevada que pueden darse dos posibilidades:

- El recorrido del defecto salta solo, prácticamente de forma instantánea.
- El conductor se suelda a un defecto sólido y proporciona la corriente adecuada para hacer funcionar los dispositivos de sobreintensidad.

Para garantizar el funcionamiento correcto de los dispositivos de sobreintensidad en el último caso, debe determinarse una valoración bastante precisa de los niveles de corriente de defecto a tierra de cortocircuito en la etapa de diseño de un proyecto.

Un análisis riguroso requiere la utilización de técnicas de componentes de secuencia de fases aplicadas a cada circuito por turnos. El principio es muy directo, pero la cantidad de cálculos no es justificable, especialmente porque las impedancias de secuencia de fase cero son extremadamente difíciles de determinar con un grado razonable de precisión en una instalación típica de BT.

Son preferibles otros métodos más sencillos de precisión adecuada. Tres métodos prácticos son los siguientes:

- El “**método de las impedancias**”, basado en la suma de todas las impedancias (sólo secuencia de fase positiva) alrededor del bucle de defecto para cada circuito.
- El “**método de la composición**”, que es una estimación de la corriente de cortocircuito en el extremo remoto de un bucle, cuando se conoce el nivel de la corriente de cortocircuito en el extremo cercano del bucle.
- El “**método convencional**” de cálculo de los niveles mínimos de las corrientes de defecto a tierra, utilizando tablas de valores para obtener resultados rápidamente. Estos métodos sólo son fiables para el caso en el que los cables que forman el bucle de corriente de defecto de cortocircuito se encuentren cerca (entre sí) y no estén separados por materiales ferromagnéticos.

Método de impedancias

Este método suma las impedancias de secuencia positiva de cada elemento (cable, conductor PE, transformador, etc.) incluido en el circuito de bucle de defecto a tierra a partir del que se calcula la corriente de defecto a tierra del cortocircuito, utilizando la siguiente fórmula:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}}$$

donde

$(\sum R)^2$ = (suma de todas las resistencias del bucle)² en la etapa de diseño de un proyecto.

$(\sum X)^2$ = (suma de todas las reactancias inductivas del bucle)².

U = tensión nominal simple del sistema.

La aplicación del método no es siempre sencilla, ya que implica un conocimiento de todos los valores de los parámetros y las características de los elementos del bucle. En numerosos casos, una guía nacional puede ofrecer valores típicos con fines de estimación.

Método de la composición

Este método permite determinar la corriente de cortocircuito al final de un bucle a partir del valor conocido del cortocircuito en el extremo de envío, por medio de la siguiente fórmula aproximada:

$$I = I_{sc} \frac{U}{U + Z_s \cdot I_{sc}}$$

donde

I_{sc} = corriente de cortocircuito aguas arriba.

I = corriente de cortocircuito al final del bucle.

U = tensión de fase nominal del sistema.

Z_s = impedancia del bucle.

Nota: En este método, las impedancias individuales se suman aritméticamente⁽¹⁾ por oposición al procedimiento anterior del “método de las impedancias”.

Método convencional

Por lo general, se considera que este método es lo suficientemente preciso como para establecer el límite superior de las longitudes de los cables.

Principio

El principio se basa en el cálculo de la corriente de cortocircuito en la suposición de que la tensión en el origen del circuito en cuestión (es decir, en el punto en el que se encuentra el dispositivo de protección del circuito) permanece en el 80% como mínimo de la tensión nominal simple. El valor del 80% se utiliza, junto con la impedancia del bucle del circuito, para calcular la corriente de cortocircuito.

*Para los cálculos, la práctica actual es utilizar un software homologado por las autoridades nacionales y basado en el método de las impedancias, como **ECODIAL 3.37**. Las autoridades nacionales también publican por lo general guías, que incluyen valores típicos, longitud de conductores, etc.*

(1) Esto tiene como resultado un valor de corriente calculado inferior al que fluiría realmente. Si los ajustes de la sobreintensidad se basan en este valor calculado, el funcionamiento del relé o el fusible queda garantizado.

6 Implementación del esquema TN

La longitud máxima de cualquier circuito en una instalación TN conectada a tierra es la siguiente:

$$L_{\text{máx.}} = \frac{0,8 U_o S_{\text{ph}}}{\rho(1+m)I_a}$$

En las siguientes tablas se indica la longitud del circuito que no debe superarse para que las personas estén protegidas contra el riesgo de contactos indirectos mediante dispositivos de protección.

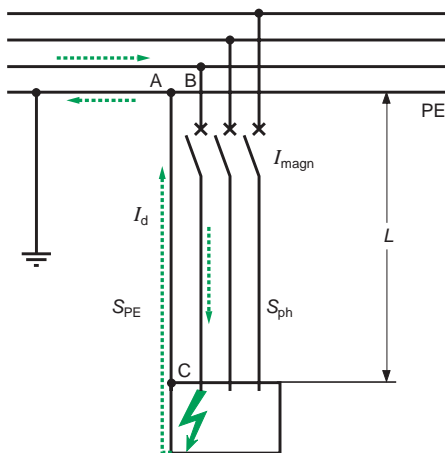


Fig. F43: Cálculo de la $L_{\text{máx.}}$ para un esquema TN conectado a tierra utilizando el método convencional.

Este coeficiente tiene en cuenta todas las caídas de tensión aguas arriba del punto en cuestión. En los cables de BT, cuando todos los conductores de un circuito trifásico de 4 cables están cerca (caso normal), la reactancia inductiva interna y entre los conductores es relativamente pequeña en comparación con la resistencia del cable. Se considera que esta aproximación es válida para los cables de tamaño hasta 120 mm². Superado este tamaño, el valor de la resistencia R aumenta de la siguiente forma:

Tamaño del núcleo (mm ²)	Valor de la resistencia
$S = 150 \text{ mm}^2$	$R+15\%$
$S = 185 \text{ mm}^2$	$R+20\%$
$S = 240 \text{ mm}^2$	$R+25\%$

(ver Figura F43).

La longitud máxima de un circuito en una instalación TN conectada a tierra se obtiene con la siguiente fórmula:

$$L_{\text{máx.}} = \frac{0,8 U_o S_{\text{ph}}}{\rho(1+m)I_a}$$

donde:

$L_{\text{máx.}}$ = longitud máxima en metros.

U_o = voltios de fase = 230 V para un sistema de 230/400 V.

ρ = resistividad a la temperatura normal de funcionamiento en ohmios-mm²/metro (= 22,5 10⁻³ para cobre; = 36 10⁻³ para aluminio).

I_a = ajuste de la corriente de disparo para el funcionamiento instantáneo de un interruptor automático, o bien

I_a = corriente que garantiza el funcionamiento del fusible de protección en cuestión en el tiempo especificado.

$$m = \frac{S_{\text{ph}}}{S_{\text{PE}}}$$

S_{ph} = área de sección de los conductores de fase del circuito en cuestión en mm².
 S_{PE} = área de sección del conductor de protección en cuestión en mm².

Tablas

Las siguientes tablas, aplicables a los esquemas TN, se han establecido de acuerdo con el "método convencional" descrito anteriormente.

Las tablas ofrecen unas longitudes de circuito máximas superadas las cuales la resistencia óhmica de los conductores limitará la magnitud de la corriente de cortocircuito a un nivel por debajo del necesario para disparar el interruptor automático (o fundir el fusible) que protege el circuito con la rapidez suficiente como para garantizar la seguridad contra los contactos indirectos.

Factor de corrección m

En la Figura F44 se indica el factor de corrección que se debe aplicar a los valores de las Figuras F45 a F48 de las páginas siguientes, en función de la relación $S_{\text{ph}}/S_{\text{PE}}$, del tipo de conexión y de los materiales del conductor.

Las tablas tienen en cuenta:

- El tipo de protección: interruptores automáticos o fusibles.
- Ajustes de la corriente de funcionamiento.
- Área de sección de los conductores de fase y los de protección.
- Tipo de conexión a tierra del sistema (ver la Figura F49 en la página F29).
- Tipo de interruptor automático (esto es, B, C o D).

Las tablas se pueden utilizar para sistemas de 230/400 V.

Se incluyen tablas equivalentes para la protección con interruptores automáticos Compact y multi 9 (Merlin Gerin) en los catálogos correspondientes.

Circuito	Material conductor	$m = S_{\text{ph}}/S_{\text{PE}}$ (o PEN)			
		$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$
3P + N o P + N	Cobre	1	0,67	0,50	0,40
	Aluminio	0,62	0,42	0,31	0,25

Fig. F44: Factor de corrección que se debe aplicar a las longitudes indicadas en las tablas de las Figuras F44 a F47 para los esquemas TN.

6 Implementación del esquema TN

Circuitos protegidos por interruptores automáticos de uso general (Figura F45)

F28

Área de sección nominal de los conductores	Corriente de disparo instantáneo o temporizado de corta duración I_m (amperios)																																
	mm ²	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1.000	1.120	1.250	1.600	2.000	2.500	3.200	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000	12.500			
1,5	100	79	63	50	40	31	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6	5	4	4														
2,5	167	133	104	83	67	52	42	33	26	21	17	15	13	12	10	10	8	7	7	5	4												
4	267	212	167	133	107	83	67	53	42	33	27	24	21	19	17	15	13	12	11	8	7	5	4										
6	400	317	250	200	160	125	100	80	63	50	40	36	32	29	25	23	20	18	16	13	10	8	6	5	4								
10		417	333	267	208	167	133	104	83	67	60	53	48	42	38	33	30	27	21	17	13	10	8	7	5	4							
16			427	333	267	213	167	133	107	95	85	76	67	61	53	48	43	33	27	21	17	13	11	8	7	5	4						
25				417	333	260	208	167	149	132	119	104	95	83	74	67	52	42	33	26	21	17	13	10	8	7	5	4					
35					467	365	292	233	208	185	167	146	133	117	104	93	73	58	47	36	29	23	19	15	12	9							
50						495	396	317	283	251	226	198	181	158	141	127	99	79	63	49	40	32	25	20	16	13							
70							417	370	333	292	267	233	208	187	146	117	93	73	58	47	37	29	23	19									
95								452	396	362	317	283	263	198	158	127	99	79	63	50	40	32	25	20	16	13							
120									457	400	357	320	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32											
150										435	388	348	272	217	174	136	109	87	69	54	43	35											
185											459	411	321	257	206	161	128	103	82	64	51	41											
240												400	320	256	200	160	128	102	80	64	51												

Fig. F45: Longitudes de circuito máximas (en metros) para tamaños diferentes de conductores de cobre y ajustes de corriente de disparo instantáneo para interruptores automáticos de uso general en esquemas TN de 230/240 V con $m = 1$.

Circuitos protegidos con interruptores automáticos Compact⁽¹⁾ o multi 9⁽¹⁾ para uso industrial o doméstico (Figuras F46 a F48)

S_{ph}	Corriente nominal (A)																
	mm ²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	1.200	600	400	300	200	120	75	60	48	37	30	24	19	15	12	10	
2,5		1.000	666	500	333	200	125	100	80	62	50	40	32	25	20	16	
4			1.066	800	533	320	200	160	128	100	80	64	51	40	32	26	
6				1.200	800	480	300	240	192	150	120	96	76	60	48	38	
10					800	500	400	320	250	200	160	127	100	80	64		
16						800	640	512	400	320	256	203	160	128	102		
25							800	625	500	400	317	250	200	160			
35								875	700	560	444	350	280	224			
50										760	603	475	380	304			

Fig. F46: Longitudes de circuito máximas (en metros) para diferentes tamaños de conductores de cobre y corrientes nominales para interruptores automáticos de tipo B⁽²⁾ en un esquema de 230/240 V monofásico o trifásico TN con $m = 1$.

S_{ph}	Corriente nominal (A)																
	mm ²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	600	300	200	150	100	60	37	30	24	18	15	12	9	7	6	5	
2,5		500	333	250	167	100	62	50	40	31	25	20	16	12	10	8	
4			533	400	267	160	100	80	64	50	40	32	25	20	16	13	
6				600	400	240	150	120	96	75	60	48	38	30	24	19	
10					667	400	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32	
16						640	400	320	256	200	160	128	101	80	64	51	
25							625	500	400	312	250	200	159	125	100	80	
35								875	700	560	437	350	280	222	175	140	112
50										760	594	475	380	301	237	190	152

Fig. F47: Longitudes de circuito máximas (en metros) para diferentes tamaños de conductores de cobre y corrientes nominales para interruptores automáticos de tipo C⁽²⁾ en un esquema de 230/240 V monofásico o trifásico TN con $m = 1$.

(1) Productos de Merlin Gerin.

(2) Para la definición de los interruptores automáticos de tipo B, consultar el capítulo H, subapartado 4.2.

S _{ph} mm ²	Corriente nominal (A)															
	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	429	214	143	107	71	43	27	21	17	13	11	9	7	5	4	3
2,5	714	357	238	179	119	71	45	36	29	22	18	14	11	9	7	6
4		571	381	286	190	114	71	80	46	36	29	23	18	14	11	9
6		857	571	429	286	171	107	120	69	54	43	34	27	21	17	14
10			952	714	476	286	179	200	114	89	71	57	45	36	29	23
16					762	457	286	320	183	143	114	91	73	57	46	37
25						714	446	500	286	223	179	143	113	89	71	57
35							625	700	400	313	250	200	159	125	80	100
50								848	543	424	339	271	215	170	136	109

Fig. F48: Longitudes de circuito máximas (en metros) para diferentes tamaños de conductores de cobre y corrientes nominales para interruptores automáticos de tipo D⁽¹⁾ en un esquema de 230/240 V monofásico o trifásico TN con m = 1.

Ejemplo

Un circuito está protegido con un interruptor automático de tipo B especificado a 63 A y se compone de un cable con núcleo de aluminio y conductores de fase de 50 mm² así como un conductor neutro (PEN) de 25 mm².

¿Cuál es la longitud máxima del circuito por debajo de la cual queda garantizada la protección de las personas contra los riesgos de contactos indirectos mediante un relé de disparo magnético instantáneo del interruptor automático?

En la **Figura F46** se indica, para 50 mm² y un interruptor automático de 63 A tipo B,

603 m, a lo que debe aplicarse un factor de 0,42 (**Figura F44** para $m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}} = 2$).

La longitud máxima del circuito será por lo tanto la siguiente:

$$603 \times 0,42 = 253 \text{ m.}$$

Caso particular en el que una o varias partes conductoras expuestas están conectadas a tierra mediante una toma de tierra separada

Debe proporcionarse protección contra los contactos indirectos con un DDR en el origen de cualquier circuito que alimente un aparato o grupo de aparatos cuyas partes conductoras expuestas estén conectadas a una toma de tierra independiente.

La sensibilidad del DDR debe adaptarse a la resistencia de la toma de tierra (R_{A2} en **Figura F49**). Consultar las especificaciones aplicables al esquema TT.

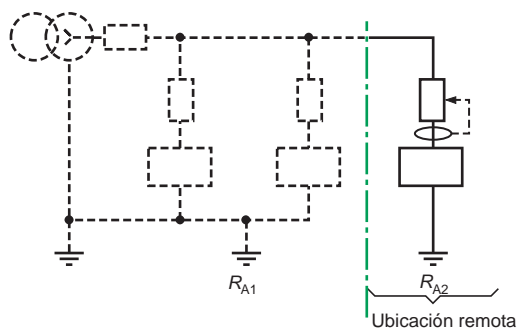


Fig. F49: Toma de tierra separada.

6.3 DDR de alta sensibilidad

La norma IEC 60364-4-471 recomienda firmemente la utilización de un DDR de alta sensibilidad (≤ 30 mA) en los siguientes casos (ver **Figura F50**):

- Circuitos con toma de corriente para corrientes nominales de ≤ 32 A en cualquier ubicación⁽²⁾.
- Circuitos con toma de corriente en ubicaciones húmedas para todas las especificaciones de corriente⁽²⁾.
- Circuitos con toma de corriente en instalaciones provisionales⁽²⁾.
- Circuitos de suministro a lavanderías y piscinas⁽²⁾.
- Circuitos de alimentación a lugares de trabajo, caravanas, barcos de entretenimiento y ferias⁽²⁾.

Esta protección puede destinarse a circuitos individuales o a grupos de circuitos:

- Altamente recomendada para circuitos de tomas de corriente ≥ 20 A (obligatoria si van a alimentar equipos portátiles para uso en exteriores).
- En algunos países este requisito es obligatorio para los circuitos de tomas de corriente de ≤ 32 A. También se recomienda para limitar el número de tomas de corriente protegidas por un DDR (p. ej., 10 tomas para un DDR).

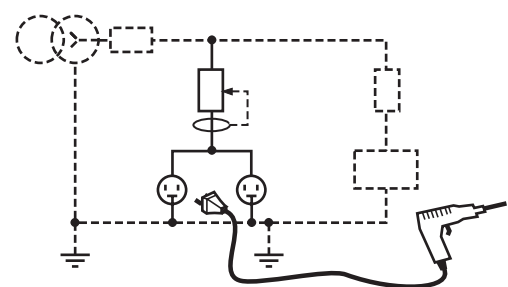


Fig. F50: Circuitos de alimentación de tomas de corriente.

(1) Para la definición de los interruptores automáticos de tipo B, consultar el capítulo H, subapartado 4.2.

(2) Estos casos se tratan en detalle en el capítulo P apartado 3.

F30

6.4 Protección en ubicaciones con alto riesgo de incendios

De conformidad con la IEC 60364-482-2.10 en ubicaciones en las que el riesgo de incendio es elevado, el esquema TN-C de conexión a tierra está normalmente prohibido y debe adoptarse la disposición TN-S. La protección mediante un DDR de sensibilidad ≤ 500 mA en el origen del circuito que alimenta la ubicación con riesgo de incendio es obligatoria en algunos países (ver **Figura F51**).

Una sensibilidad preferente de 300 mA permite también ofrecer protección contra el riesgo de incendios.

6.5 Impedancia de bucle de corriente de defecto especialmente alta

Cuando la corriente de defecto a tierra está limitada por una impedancia de bucle de defecto elevada, de forma que no se puede confiar en la protección contra las sobrecorrientes para disparar el circuito en el tiempo prescrito, deben considerarse las siguientes posibilidades:

Sugerencia 1 (ver **Figura F52**)

■ Instale un interruptor automático que tenga un nivel de disparo magnético instantáneo inferior, por ejemplo:

$$2 I_n \leq I_{rm} \leq 4 I_n$$

Esto permite la protección para las personas en los circuitos que son demasiado largos. Debe comprobarse, sin embargo, que las corrientes transitorias elevadas como las de arranque no provoquen disparos intempestivos.

- Soluciones de Schneider Electric:
 - Tipo G Compact ($2 I_n \leq I_{rm} \leq 4 I_n$).
 - Tipo interruptor automático B multi 9.

Sugerencia 2 (ver **Figura F53**)

■ Instale un DDR en el circuito. No es necesario que el dispositivo sea muy sensible (HS) (de varios amperios a unas decenas de amperios). Cuando se vean afectadas tomas de corriente, los circuitos particulares deben en cualquier caso estar protegidos por DDR de HS (≤ 30 mA); generalmente, un DDR para varias tomas de corriente de un circuito común.

- Soluciones de Schneider Electric:
 - DDR multi 9 NG 125: $I_{\Delta n} = 1$ o 3 A.
 - Vigicomact REH o REM: $I_{\Delta n} = 3$ a 30 A.
 - Tipo interruptor automático B multi 9.

Sugerencia 3

Aumente el tamaño de los conductores PE o PEN y/o los conductores de fase para reducir la impedancia de bucle.

Sugerencia 4

Añada conductores equipotenciales adicionales. Esto tendrá un efecto similar a la sugerencia 3, es decir, una reducción de la resistencia del bucle de defecto a tierra, al tiempo que se mejoran las medidas de protección contra las tensiones de contacto. La eficacia de esta mejora se puede comprobar mediante una prueba de resistencia entre cada parte conductora expuesta y el conductor de protección local principal.

Para las instalaciones TN-C, no está permitida la conexión mostrada en la **Figura F54**; debería adoptarse la sugerencia 3.

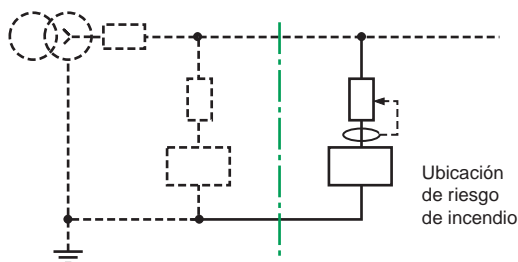


Fig. F51: Ubicación de riesgo de incendio.

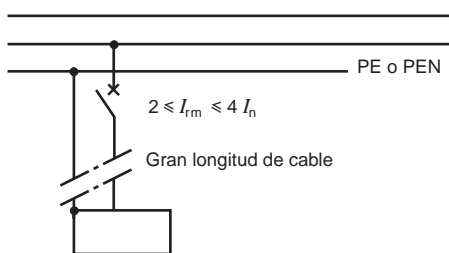


Fig. F52: Interruptores automáticos con disparo magnético instantáneo de ajuste bajo.

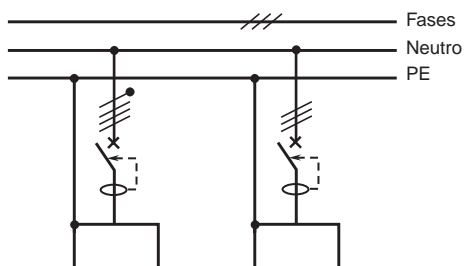


Fig. F53: Protección DDR en esquemas TN con alta impedancia de bucle de defecto a tierra.

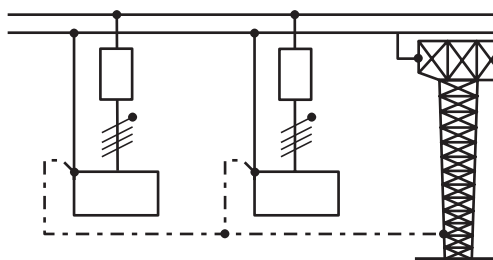


Fig. F54: Conexión equipotencial mejorada.

En las siguientes tablas se indica la longitud del circuito que no debe superarse para que las personas estén protegidas contra el riesgo de contactos indirectos mediante dispositivos de protección.

La función básica del esquema IT de conexión a tierra es que, en caso de que se produzca un defecto de cortocircuito a tierra, el sistema puede seguir funcionando sin interrupción. Se denomina "primer defecto".

En este sistema, todas las partes accesibles de una instalación están conectadas mediante conductores PE a la toma de tierra en la instalación, mientras que el punto neutro del transformador de alimentación:

- Está aislado de la tierra.
- O bien está conectado a tierra a través de una resistencia elevada (normalmente 1.000 ohmios o más) a 50 Hz.

Esto significa que la corriente de un defecto a tierra se medirá en miliamperios, que no causan graves daños en la posición del defecto ni generan tensiones de contacto peligrosas, tampoco presentan riesgo de incendio. Por lo tanto, el sistema puede funcionar normalmente hasta que sea conveniente aislar la sección defectuosa para tareas de reparación. Todo ello mejora la continuidad de servicio.

En la práctica, la conexión a tierra del sistema requiere determinadas medidas específicas para su utilización satisfactoria:

- Supervisión permanente del aislamiento con respecto a la tierra, que deben señalar (de forma audible o visual) la producción del primer defecto.
- Un dispositivo para limitar la tensión que el punto neutro del transformador de alimentación puede alcanzar respecto a la tierra.
- Una rutina de ubicación del "primer defecto" por un personal de mantenimiento eficaz. La ubicación del defecto se facilita en gran medida por los dispositivos automáticos que se encuentran disponibles actualmente.
- El disparo automático de alta velocidad de los interruptores automáticos adecuados debe tener lugar en caso de que se produzca un "segundo defecto" antes de que se repare el primero. El segundo defecto (por definición) es un defecto a tierra que afecta a un conductor activo diferente del primer defecto o un conductor neutro⁽¹⁾.

El segundo defecto tiene como resultado un cortocircuito a través de la tierra o de los conductores de conexión PE.

F31

7.1 Condiciones preliminares (ver las Figuras F55 y F56)

Funciones mínimas necesarias	Componentes y dispositivos	Ejemplos
Protección contra las sobretensiones a la frecuencia de potencia	(1) Limitador de tensión	Cardew C
Resistencia de conexión a tierra neutra (para la variación de conexión a tierra de impedancia)	(2) Resistencia	Impedancia Z_x
Monitor de defecto a tierra general con alarma para la primera condición de defecto	(3) Monitor de aislamiento permanente PIM con función de alarma	Vigilohm TR22A o XM 200
Eliminación del segundo defecto y protección del conductor neutro contra las sobretensiones	(4) Interruptores automáticos de 4 polos (si el neutro está distribuido) los 4 polos	Interruptor automático Compact o DDR-MS
Ubicación del primer defecto	(5) Con un dispositivo para la ubicación del defecto o mediante apertura sucesiva de los circuitos	Sistema Vigilohm

Fig. F55: Funciones esenciales en los ejemplos y esquemas IT con productos Merlin Gerin.

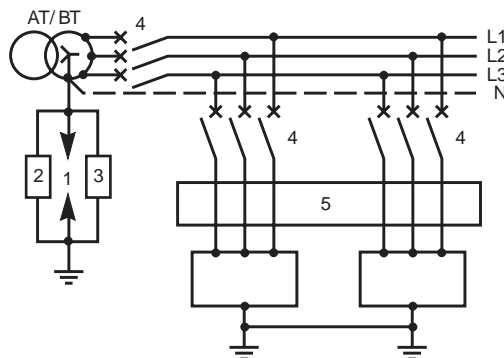


Fig. F56: Posiciones de las funciones esenciales en sistemas trifásicos conectados a tierra IT de 3 cables.

(1) En sistemas donde el neutro está distribuido, como se muestra en la Figura F60.

7.2 Protección contra los contactos indirectos

Los modernos sistemas de supervisión facilitan en gran medida la ubicación y reparación del primer defecto.

F32

Los sistemas de ubicación de defectos cumplen la norma IEC 61157-9 estándar.

Condición de primer defecto

La corriente de defecto que fluye en condición de primer defecto se mide en miliamperios.

La tensión de defecto con respecto a la tierra es el producto de esta corriente y la resistencia de la toma de tierra de la instalación y el conductor PE (desde el componente defectuoso hasta la toma). El valor de esta tensión no es nocivo y puede ser de varios voltios únicamente en el peor de los casos (la resistencia de 1.000Ω cambia a $230 \text{ mA}^{(1)}$ y con toma de tierra de la instalación de 50 ohmios proporcionaría $11,5 \text{ V}$, por ejemplo).

El dispositivo de supervisión de aislamiento permanente proporciona la alarma.

Principio de supervisión de defecto a tierra

Un generador de muy baja potencia de corriente de CA o CC (para reducir los efectos de la resistencia del cable a niveles insignificantes) aplica una tensión entre el punto neutro del transformador de alimentación y la tierra. Esta tensión hace que una pequeña corriente circule en función de la resistencia de aislamiento de la tierra de toda la instalación, además de cualquier aparato.

Los instrumentos de baja frecuencia se pueden utilizar en sistemas de CA que generan componentes de CC transitorios en condiciones de defecto. Algunas versiones pueden distinguir entre componentes resistivos y capacitivos de la corriente de fuga.

Los avances modernos permiten medir la evolución de corrientes de fuga, para que pueda lograrse la prevención de un primer defecto.

Ejemplos de equipos

- Ubicación de defectos manuales (ver la [Figura F57](#))

El generador puede ser fijo (ejemplo: XM200) o portátil (ejemplo: XGR que permite comprobar los circuitos muertos) y el receptor, junto con la pinza, son portátiles.

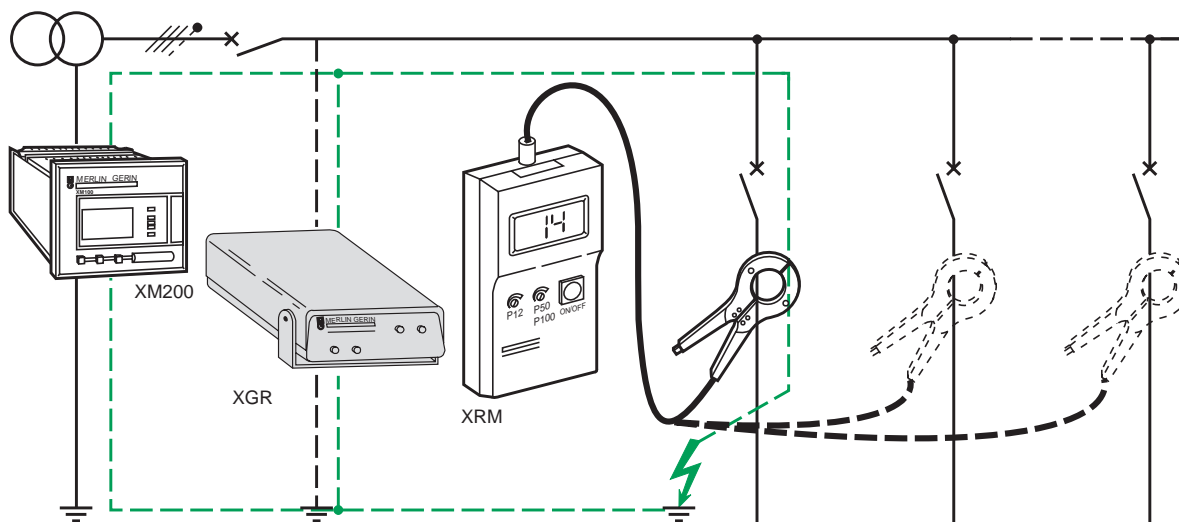


Fig. F57: Ubicación de defectos no automática.

- Ubicación automática de defectos fija (ver la [Figura F58](#) de la página siguiente).

El relé de supervisión XM200, junto con los detectores fijos X0301 o XD312 (cada uno conectado a un TI toroidal que abarca los conductores del circuito implicado) ofrecen un sistema de ubicación automática de defectos en una instalación en tensión.

Además, se indica el nivel de aislamiento de cada circuito controlado, y se comprueban dos niveles: el primer nivel advierte de una resistencia al aislamiento inusualmente baja para que puedan tomarse medidas preventivas, mientras que el segundo nivel indica una condición de defecto y activa una alarma.

(1) En red trifásica 230/400 V.

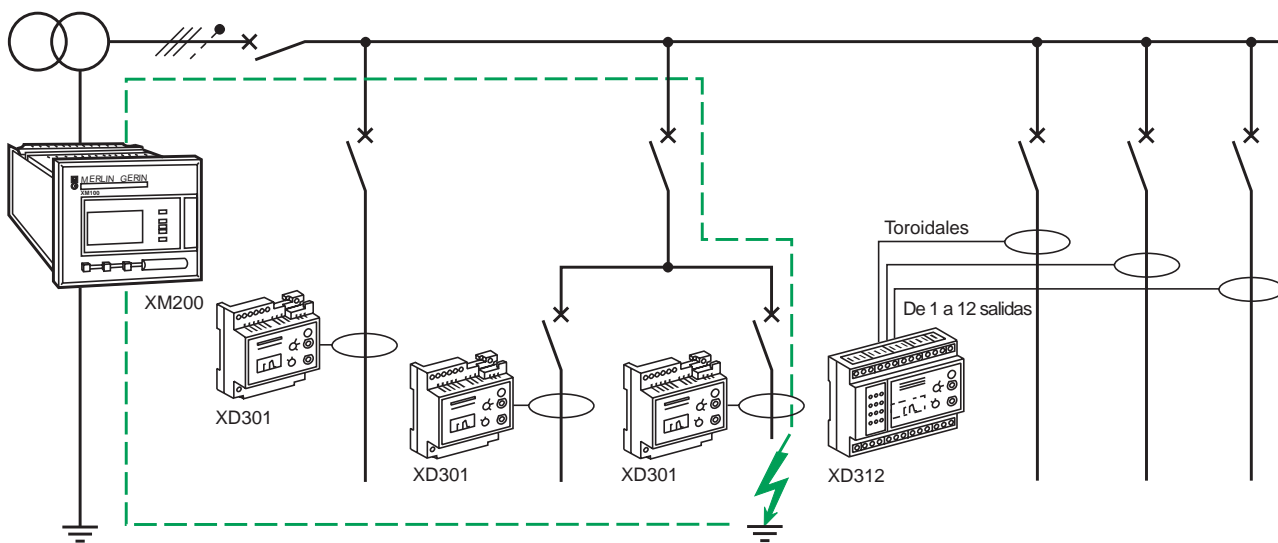


Fig. F58: Ubicación automática de defectos fija.

■ Registro, ubicación de defectos y supervisión automáticas (ver la **Figura F59**). El sistema Vigilohm también permite el acceso a la impresora y/o a un PC que ofrezca una revisión global del nivel de aislamiento de una instalación completa, y registra la evolución cronológica del nivel de aislamiento de cada circuito. El monitor central XM300C, junto con los detectores de localización XL308 y XL316, asociados con los TI toroidales de varios circuitos, como se muestra a continuación en la **Figura F59**, ofrecen el medio para esta explotación automática.

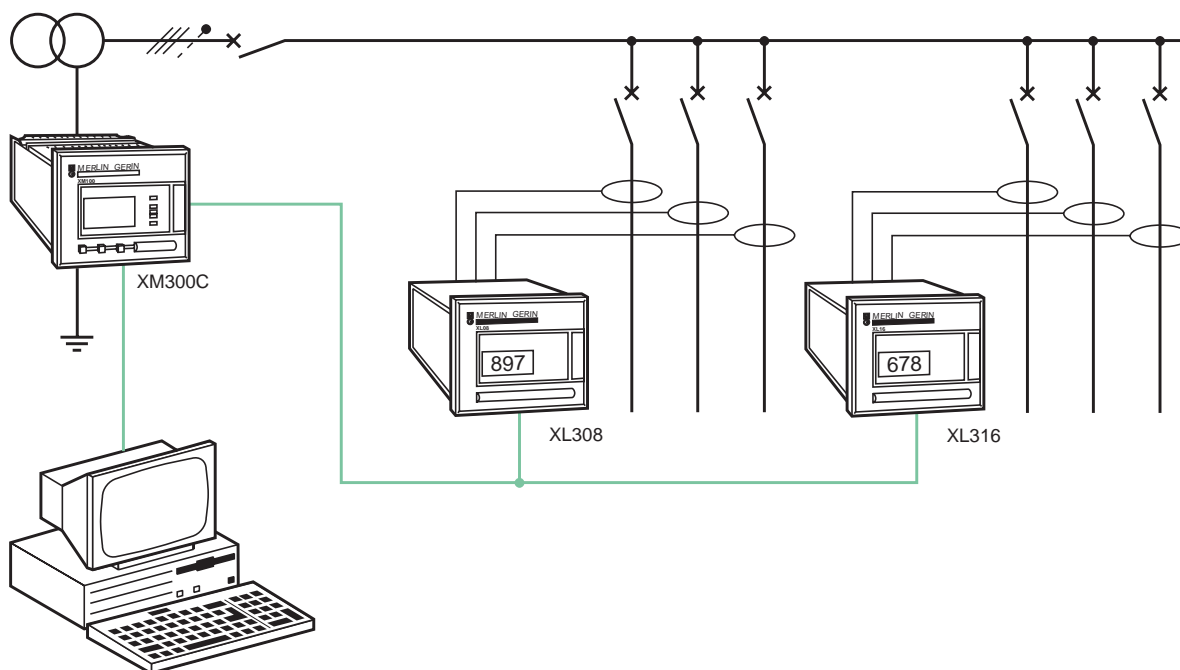


Fig. F59: Ubicación automática de defectos y registro de datos de aislamiento-resistencia.

Implantación de dispositivos de aislamiento-supervisión permanentes (CPI)■ **Conexión.**

El dispositivo CPI se conecta normalmente entre el punto neutro (o neutro artificial) del transformador de alimentación y su toma de tierra.

■ **Alimentación.**

La alimentación del dispositivo CPI deberá proceder de una fuente altamente fiable. En la práctica, ésta normalmente procede directamente de la instalación supervisada, a través de dispositivos de protección de corriente máxima con especificaciones de corriente de cortocircuito adecuadas.

■ **Ajustes de nivel.**

Algunas normas nacionales recomiendan un primer ajuste en un 20% por debajo del nivel de aislamiento de la nueva instalación. Este valor permite la detección de una reducción de la calidad de aislamiento, que requiera la aplicación de medidas de mantenimiento preventivo en una situación de defecto incipiente.

El nivel de detección de la alarma de defecto a tierra se ajustará a un nivel mucho más bajo.

Por ejemplo, los dos niveles pueden ser:

- Nuevo nivel de aislamiento de instalación: 100 k Ω .
- Corriente de fuga sin peligro: 500 mA (riesgo de incendio en > 500 mA).
- Niveles de indicación ajustados por el consumidor:
 - Umbral para mantenimiento preventivo: $0,8 \times 100 = 80$ k Ω .
 - Umbral para alarma de cortocircuito: 500 Ω .

Notas:

- Tras un largo período de desconexión, durante el cual la instalación permanece desactivada, la humedad puede reducir el nivel general de resistencia de aislamiento. Esta situación, que se debe principalmente a la corriente de fuga sobre la superficie húmeda del aislamiento correcto, no constituye una condición de defecto, y mejorará rápidamente a medida que el aumento de temperatura normal de los conductores portadores de corriente reduzca la humedad de la superficie.
- El dispositivo PIM (XM) puede medir los componentes resistivos y capacitivos de la corriente de fuga a tierra, por separado, derivando así la resistencia de aislamiento verdadera de la fuga de corriente permanente total.

El caso de un segundo defecto

Un segundo defecto a tierra en un esquema IT (a menos que suceda en el mismo conductor que el primer defecto) constituye un defecto de fase a fase o de fase a neutro, y tanto si ocurre en el mismo circuito que el primer defecto, o en un circuito diferente, los dispositivos protectores de máxima intensidad (fusibles o interruptores automáticos) actuarán normalmente para efectuar una eliminación automática de defectos.

La configuración de relés de disparo de sobreintensidad y las especificaciones de fusibles son los parámetros básicos que deciden la longitud práctica máxima del circuito que puede protegerse correctamente, como se trata en el subapartado 6.2.

Nota: En circunstancias normales, el recorrido de la corriente de defecto pasa por conductores PE comunes, conectando todas las partes conductoras activas de una instalación, y por tanto, la impedancia del bucle de defecto es lo suficientemente baja para garantizar un nivel adecuado de corriente de defecto.

Si las longitudes de circuito son inevitablemente largas y, especialmente, si los dispositivos de un circuito se conectan a tierra por separado (para que la corriente de defecto pase a través de dos tomas de tierra), puede que no sea posible el disparo fiable en sobreintensidad.

En este caso, se recomienda un DDR en cada circuito de la instalación.

Si un esquema IT tiene resistencia de conexión a tierra, no obstante, deberá tenerse cuidado para garantizar que el DDR no sea demasiado sensible, o un primer defecto puede causar un disparo no deseado. La activación de dispositivos de corriente residual que cumplan las normas IEC puede producirse en valores de $0,5 I_{\Delta n}$ a $I_{\Delta n}$, donde $I_{\Delta n}$ es el nivel de ajuste de corriente residual nominal.

Métodos para determinar los niveles de la corriente de cortocircuito

Deberá llevarse a cabo una evaluación de los niveles de corriente de cortocircuito en la fase de diseño de un proyecto.

No es necesario realizar un análisis riguroso, ya que las magnitudes de corriente sólo son importantes para los dispositivos protectores implicados (p. ej., los ángulos de fase no necesitan determinarse) por lo que normalmente se utilizan métodos simplificados aproximados por lo bajo. Tres métodos prácticos son los siguientes:

- El “**método de las impedancias**”, basado en la suma vectorial de todas las impedancias (secuencia de fase positiva) alrededor de un bucle de corriente de defecto.
- El **método de la composición**, que es una estimación aproximada de la corriente de cortocircuito en el extremo remoto de un bucle, cuando se conoce el nivel de la corriente de cortocircuito en el extremo cercano del bucle. La impedancias complejas se combinan aritméticamente en este método.

Normalmente se utilizan tres métodos de cálculo:

- *El método de las impedancias, basado en la suma trigonométrica de las resistencias del sistema y las reactancias inductivas.*
- *El método de la composición.*
- *El método convencional, basado en una caída de tensión asumida y la utilización de tablas preparadas.*

El software **ECODIAL** se basa en el "método de impedancia".

La longitud máxima de un circuito IT conectado a tierra es:

■ Para un esquema trifásico de tres cables

$$L_{\text{máx.}} = \frac{0,8 U_0 \sqrt{3} S_{\text{ph}}}{2 \rho I_a (1+m)}$$

■ Para un esquema trifásico de cuatro cables

$$L_{\text{máx.}} = \frac{0,8 U_0 S_1}{2 \rho I_a (1+m)}$$

■ El método convencional, en el que el valor mínimo de la tensión en el origen de un circuito defectuoso se considera el 80% de la tensión del circuito nominal, y se utilizan tablas basadas en esta consideración para ofrecer lecturas directas de las longitudes de circuito.

Estos métodos sólo son fiables para aquellos casos en los que los cables que forman el bucle de corriente de defecto se encuentren cerca (entre sí) y no estén separados por materiales ferromagnéticos.

Métodos de impedancias

Este método, como se describe en el subapartado 6.2, es idéntico para los esquemas IT y TN de conexión a tierra.

Métodos de composición

Este método, como se describe en el subapartado 6.2, es idéntico para los esquemas IT y TN de conexión a tierra.

Método convencional (ver la **Figura F60**)

El principio para un esquema IT es el mismo que el que se describe en el subapartado 6.2 para un esquema TN: el cálculo de las longitudes de circuito máximas que no debería superarse aguas abajo de un interruptor automático o fusibles, para garantizar la protección mediante dispositivos de máxima intensidad. Resulta claramente imposible comprobar las longitudes de circuito de cada combinación factible de dos defectos concurrentes.

Todos los casos están cubiertos, no obstante, si el ajuste de disparo de máxima intensidad se basa en la suposición de que un primer defecto se produce en el extremo remoto del circuito implicado, mientras que el segundo defecto se produce en el extremo remoto de un circuito idéntico, como ya se ha mencionado en el subapartado 3.4. En general, esto puede ocasionar que sólo se produzca un disparo (en el circuito con el nivel de disparo inferior), dejando el sistema, por tanto, en una situación de primer defecto, pero con un circuito defectuoso fuera de servicio.

■ En el caso de una instalación trifásica de tres cables, el segundo defecto sólo puede ocasionar un cortocircuito de fase/fase, de tal forma que la tensión que se utilizará en la fórmula para la máxima longitud de circuito es $\sqrt{3} U_0$.

La longitud máxima de circuitos se ofrece en:

$$L_{\text{máx.}} = \frac{0,8 U_0 \sqrt{3} S_{\text{ph}}}{2 \rho I_a (1+m)} \text{ metros}$$

■ En el caso de una instalación trifásica de 4 cables, el valor inferior de corriente de defecto se producirá si uno de los defectos se encuentra en un conductor neutro. En este caso, U_0 es el valor que se utilizará para calcular la longitud de cable máxima, y

$$L_{\text{máx.}} = \frac{0,8 U_0 S_1}{2 \rho I_a (1+m)} \text{ metros}$$

P. ej., sólo el 50% de la longitud permitida para un esquema TN⁽¹⁾.

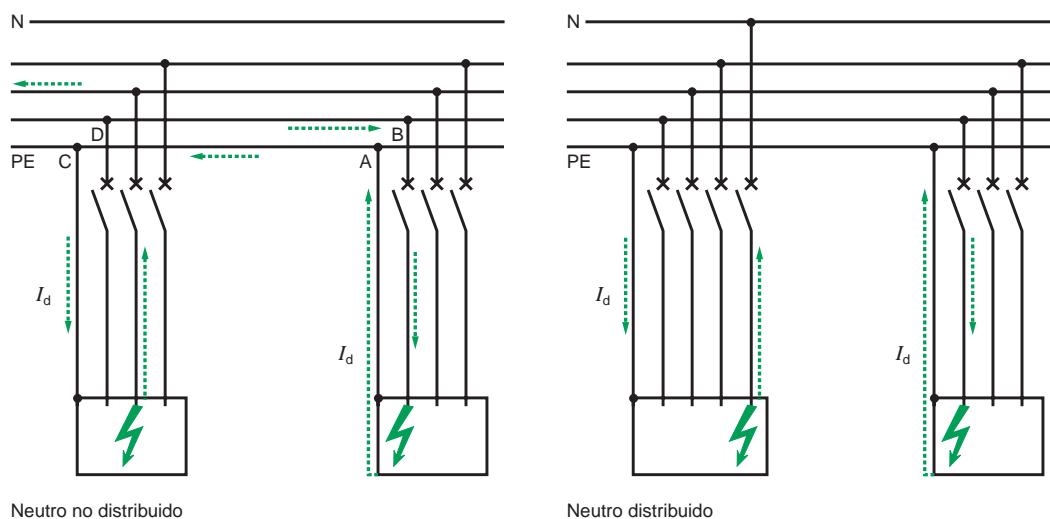


Fig. F60: Cálculo de $L_{\text{máx.}}$ de un esquema conectado a tierra de IT que muestra el recorrido de la corriente de defecto para una condición de doble defecto.

(1) Recapitulación: no existe límite de longitud para la protección de defecto a tierra en un esquema TT, ya que la protección la proporcionan DDRs de alta sensibilidad.

F36

En las siguientes tablas⁽¹⁾ se indica la longitud del circuito que no debe superarse para que las personas estén protegidas contra el riesgo de contactos indirectos mediante dispositivos de protección.

En las fórmulas anteriores:

$L_{m\acute{a}x.}$ = circuito de mayor longitud en metros.

U_o = tensión de fase a neutro (230 V en un esquema de 230/400 V).

ρ = resistividad a temperatura de funcionamiento normal ($22,5 \times 10^{-3}$ ohmios-mm²/m para cobre, 36×10^{-3} ohmios-mm²/m para aluminio).

I_a = nivel de ajuste de disparo de máxima intensidad en amperios, o I_a = corriente en amperios requerida para eliminar el fusible en el tiempo especificado

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$$

S_{PE} = sección del conductor PE en mm².

S_1 = neutro S si el circuito incluye un conductor neutro.

$S_1 = S_{ph}$ si el circuito no incluye un conductor neutro.

Tablas

Las siguientes tablas se han establecido de acuerdo con el "método convencional" descrito anteriormente.

Las tablas ofrecen unas longitudes de circuito máximas superadas las cuales la resistencia óhmica de los conductores limitará la magnitud de la corriente de cortocircuito a un nivel por debajo del necesario para disparar el interruptor automático (o fundir el fusible) que protege el circuito con la rapidez suficiente como para garantizar la seguridad contra los contactos indirectos. Las tablas tienen en cuenta:

- El tipo de protección: interruptores automáticos o fusibles, ajustes de la corriente de funcionamiento.
- Área de sección de los conductores de fase y los de protección.
- Tipo de esquema de conexión a tierra.
- Factor de corrección: la **Figura F61** indica el factor de corrección que se va a aplicar a las longitudes proporcionadas en las tablas de las **Figuras F44 a F47**, cuando se tiene en cuenta un esquema IT.

Circuito	Material conductor	$m = S_{ph}/S_{PE}$ (o PEN)			
		$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$
Trifásico	Cobre	0,86	0,57	0,43	0,34
	Aluminio	0,54	0,36	0,27	0,21
3 ph + N o 1 ph + N	Cobre	0,50	0,33	0,25	0,20
	Aluminio	0,31	0,21	0,16	0,12

Fig. F61: Factor de corrección que se debe aplicar a las longitudes indicadas en las tablas de las Figuras F45 a F48 para los esquemas TN.

Ejemplo

Una instalación trifásica de 3 cables de 230/400 V está conectada a tierra en IT. Uno de sus circuitos está protegido por un interruptor automático con la especificación de 63 A, y está constituido por un cable con núcleo de aluminio con conductores de fase de 50 mm². El conductor PE de 25 mm² también es de aluminio. ¿Cuál es la longitud máxima del circuito por debajo de la cual queda garantizada la protección de las personas contra los riesgos de contactos indirectos mediante un relé de disparo magnético instantáneo del interruptor automático? La **Figura F46** indica 603 metros, donde debe aplicarse un factor de corrección de 0,36 ($m = 2$ para un cable de aluminio). La longitud máxima es por tanto de 217 metros.

7.3 DDR de alta sensibilidad

La norma IEC 60364-4-471 recomienda firmemente la utilización de un DDR de elevada sensibilidad (≤ 30 mA) en los siguientes casos (ver la **Figura F62**):

- Circuitos con toma de corriente para corrientes nominales de ≤ 32 A en cualquier ubicación⁽²⁾.
- Circuitos con toma de corriente en ubicaciones húmedas para todas las especificaciones de corriente⁽²⁾.
- Circuitos con toma de corriente en instalaciones provisionales⁽²⁾.
- Circuitos de suministro a lavanderías y piscinas⁽²⁾.
- Circuitos de alimentación de conjuntos de obras, caravanas, barcos de entretenimiento y ferias⁽²⁾.

Esta protección puede destinarse a circuitos individuales o a grupos de circuitos:

- Altamente recomendada para circuitos de tomas de corriente ≥ 20 A (obligatoria si van a alimentar equipos portátiles para uso en exteriores).
- En algunos países, este requisito es obligatorio para los circuitos de tomas de corriente de ≤ 32 A. También se recomienda para limitar el número de tomas de corriente protegidas por un DDR (p. ej., 10 tomas para un DDR).

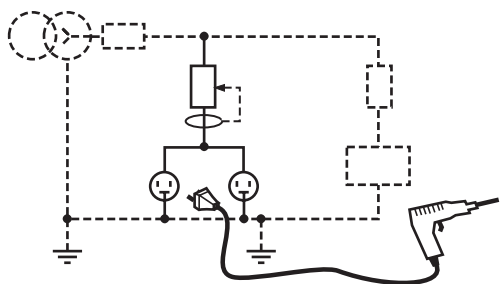


Fig. F62: Circuitos de alimentación de tomas de corriente.

(1) Las tablas son las que se muestran en el subapartado 6.2 (Figuras de F45 a F48). No obstante, la tabla de factores de corrección (Figura F61) que tiene en cuenta la relación S_{ph}/S_{PE} , y del tipo de circuito (trifásico, de tres hilos; trifásico, de cuatro hilos; monofásico, de 2 hilos) así como el material de los conductores, es específica del esquema IT y difiere de la del esquema TN.

(2) Estos casos se tratan con detalle.

7.4 En áreas de alto riesgo de incendios

La protección mediante un DDR de sensibilidad ≤ 500 mA en el origen del circuito que alimenta la ubicación con riesgo de incendio es obligatoria en algunos países (ver la **Figura F63**).

Una sensibilidad preferente de 300 mA permite también ofrecer protección contra el riesgo de incendios.

7.5 Impedancia de bucle de corriente de defecto especialmente elevada

Cuando la corriente de defecto a tierra está limitada por una impedancia de bucle de defecto elevada, de forma que no se puede confiar en la protección contra las sobrecorrientes para disparar el circuito en el tiempo prescrito, deben considerarse las siguientes posibilidades:

Sugerencia 1 (ver la **Figura F64**)

■ Instale un interruptor automático que tenga un elemento de disparo magnético instantáneo con un nivel de funcionamiento inferior al ajuste habitual, por ejemplo:

$$2 I_n \leq I_{rm} \leq 4 I_n$$

Esto permite la protección para las personas en los circuitos que son demasiado largos. Debe comprobarse, sin embargo, que las corrientes transitorias elevadas como las de arranque no provoquen disparos intempestivos.

■ Soluciones de Schneider Electric:

- Tipo G Compact ($2 I_n \leq I_{rm} \leq 4 I_n$).
- Tipo circuito B multi 9.

Sugerencia 2 (ver la **Figura F65**)

Instale un DDR en el circuito. No es necesario que el dispositivo sea muy sensible (HS) (de varios amperios a unas decenas de amperios). Cuando se vean afectadas tomas de corriente, los circuitos particulares deben en cualquier caso estar protegidos por DDR de HS (≤ 30 mA); generalmente, un DDR para varias tomas de corriente de un circuito común.

■ Soluciones de Schneider Electric:

- DDR multi 9 NG 125: $I_{\Delta n} = 1$ o 3 A.
- Vigicomact REH o REM: $I_{\Delta n} = 3$ a 30 A.

Sugerencia 3

Aumente el tamaño de los conductores PE o PEN y/o los conductores de fase para reducir la impedancia de bucle.

Sugerencia 4 (ver la **Figura F66**)

Añada conductores equipotenciales adicionales. Esto tendrá un efecto similar a la sugerencia 3, es decir, una reducción de la resistencia del bucle de defecto a tierra, al tiempo que se mejoran las medidas de protección contra las tensiones de contacto. La eficacia de esta mejora se puede comprobar mediante una prueba de resistencia entre cada parte conductora expuesta y el conductor de protección local principal.

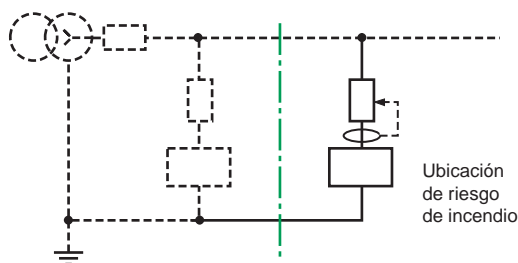


Fig. F63: Ubicación de riesgo de incendio.

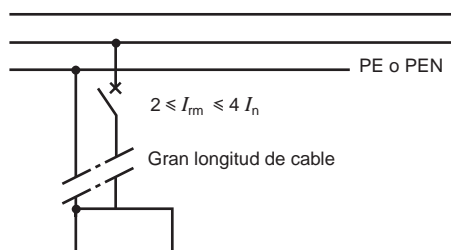


Fig. F64: Interruptor automático con disparo magnético instantáneo de ajuste bajo.

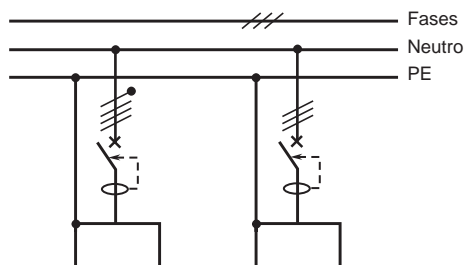


Fig. F65: Protección DDR.

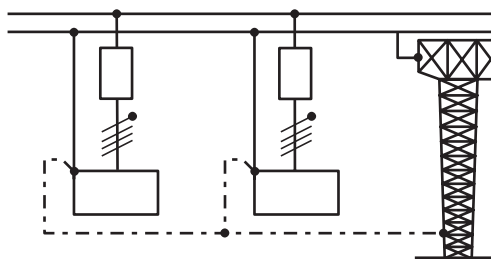


Fig. F66: Conexión equipotencial mejorada.

8 Dispositivos de corriente residual (DDR)

8.1 Descripción

Principio

Las características esenciales se muestran en forma de diagrama en la **Figura F67** de más abajo.

Un núcleo magnético incluye todos los conductores de corriente de un circuito eléctrico y el flujo magnético generado en el núcleo dependerá en todo momento de la suma aritmética de las corrientes, considerando que las corrientes que pasan en una dirección se consideran positivas (I_1), mientras que las que pasan en dirección contraria se considerarán negativas (I_2).

En un circuito en buen estado $I_1 + I_2 = 0$ y no habrá flujo en el núcleo magnético, y e.m.f. cero en su bobina.

Un id de corriente de defecto a tierra pasará a través del núcleo hasta el defecto, pero volverá a la fuente a través de la tierra o mediante conductores de producción en un esquema TN conectado a tierra.

El equilibrio de corrientes en los conductores que pasan a través del núcleo magnético ya no existe y la diferencia da lugar a un flujo magnético en el núcleo.

La diferencia de corriente se denomina corriente "residual" y el principio se conoce como principio de "corriente residual".

El flujo alterno resultante en el núcleo induce un e.m.f. en su bobina, de modo que una corriente I_3 fluye en la bobina de funcionamiento del dispositivo de disparo. Si la corriente residual supera el valor necesario para poner en marcha el dispositivo de disparo ya sea directamente o mediante un relé electrónico, el interruptor automático asociado se disparará.

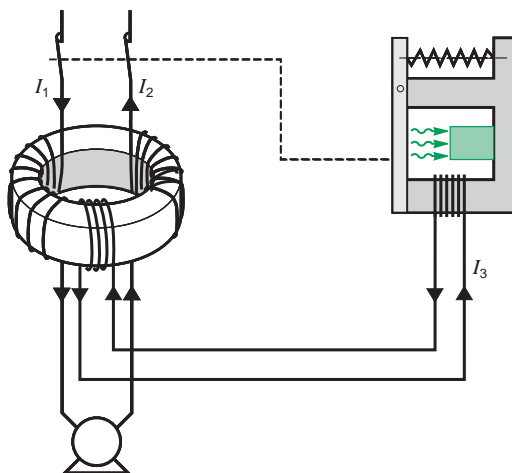


Fig. F67: Principio del funcionamiento DDR.

8.2 Recomendaciones para la implementación de DDR

Corrientes de fuga a tierra permanentes

Todas las instalaciones de BT tienen una corriente de fuga permanente a tierra que se debe a:

- Desequilibrio⁽¹⁾ de la capacidad intrínseca entre conductores en tensión y tierra para circuitos trifásicos.
- O capacidad entre conductores en tensión y tierra para circuitos monofásicos.

Cuanto mayor es la instalación mayor es su capacidad con el consiguiente aumento de la corriente de fuga.

La corriente capacitativa a tierra aumenta significativamente algunas veces mediante condensadores de filtro asociados con equipos eléctricos (automatización, informática y sistemas basados en ordenadores, etc.).

A falta de datos más precisos, la corriente de fuga permanente en una instalación dada puede calcularse a partir de los siguientes valores, medidos a 230 V 50 Hz:

- Circuito monofásico o trifásico: 1,5 mA/100 m.
- Suelo térmico: 1 mA/kW.
- Fax terminal: 1 mA.

Existen corrientes de fuga a tierra que no se deben a un defecto, así como sobretensiones transitorias, y cualquiera de las dos condiciones o ambas pueden provocar disparos no deseados por parte de los DDR. Se han desarrollado algunas técnicas para resolver estos problemas de funcionamiento.

(1) En los sistemas trifásicos, la corriente capacitiva a tierra sería cero si los conductores de las tres fases tuvieran una capacidad a tierra igual, una condición que no puede darse en las instalaciones reales.

8 Dispositivos de corriente residual (DDR)

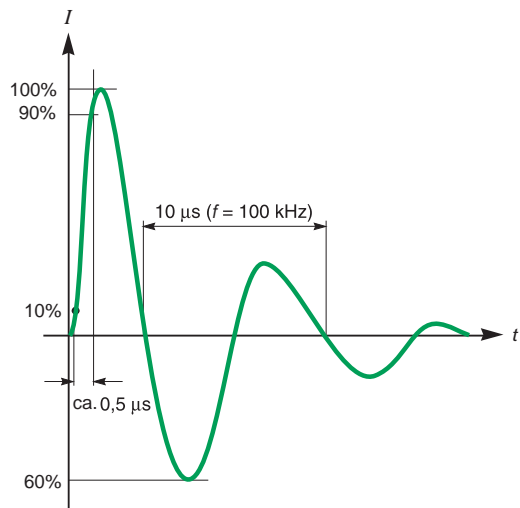


Fig. F68: Onda de corriente transitoria de 0,5 μs/100 kHz normalizada.

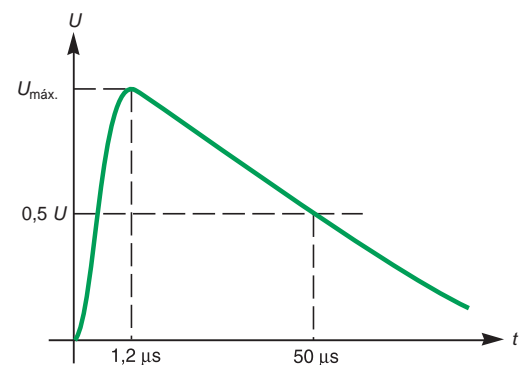


Fig. F69: Onda de tensión transitoria de 1,2/50 μs normalizada.

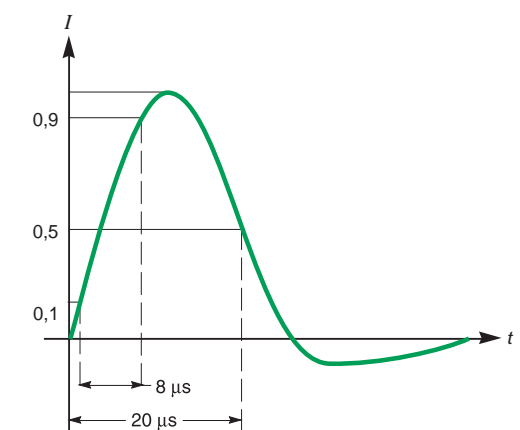


Fig. F70: Onda de impulso de corriente normalizada 8/20 μs.

- Estación de trabajo tecnológica: 2 mA.
- Terminal de tecnología de la información: 2 mA.
- Impresora: 1,5 mA.
- Fotocopiadora: 1,5 mA.

Puesto que los dispositivos DDR que cumplen con IEC y muchas otras normas nacionales pueden funcionar en el intervalo $0,5 I_{\Delta n} - I_{\Delta n}$ para una especificación nominal de $I_{\Delta n}$, la corriente de fuga aguas abajo de un DDR no debe superar los $0,5 I_{\Delta n}$.

La limitación de la corriente de fuga permanente a $0,25 I_{\Delta n}$ mediante la subdivisión de circuitos eliminará, en la práctica, cualquier disparo no deseado.

En casos muy concretos como, por ejemplo, la ampliación o renovación parcial de instalaciones con puesta a tierra IT, consultar a los fabricantes.

Corrientes de fuga transitorias

Puesta en tensión

La puesta en tensión inicial de las capacidades mencionadas anteriormente da lugar a corrientes transitorias de alta frecuencia de muy breve duración, similares a las que se muestran en la **Figura F68**. La aparición imprevista de un primer defecto en un sistema conectado a tierra de IT también causa corrientes de fuga a tierra transitorias debido al repentino incremento de los dos voltajes normales fase a fase por encima del nivel de conexión a tierra.

Sobretensiones en modo común

Las redes de energía eléctrica están sujetas a sobretensiones de orígenes diversos: atmosféricos o debido a cambios bruscos en las condiciones de funcionamiento del sistema (defectos, funcionamiento de fusibles, desconexiones, etc.). Estos cambios imprevistos a menudo provocan corrientes y tensiones transitorias importantes en los circuitos capacitivos e inductivos del sistema antes de que se alcance un nuevo estado estable. Los registros establecen que, en los sistemas BT, las sobretensiones permanecen normalmente por debajo de los 6 kV y se pueden representar adecuadamente mediante la onda de impulso convencional de 1,2/50 μs (ver **Figura F69**).

Estas sobretensiones dan lugar a corrientes transitorias representadas por una onda de impulso de corriente en la forma convencional de 8/20 μs, con un valor de pico de varias decenas de amperios (ver la **Figura F70**).

Las corrientes transitorias fluyen a tierra mediante las capacidades de los disipadores de sobretensión de la instalación o mediante un defecto de aislamiento.

Inmunidad a transitorios

Todos los DDR instalados deben disponer de un nivel mínimo de inmunidad ante los disparos no deseados en conformidad con los requisitos de la **Figura F71**. Los DDR de tipo "S" o niveles de ajuste de temporización I o II (ver **Figura F38**) cubren todas las corrientes de fuga transitorias, incluidas las de los disipadores de descargas de una duración inferior a los 40 ms.

Las corrientes y las sobretensiones transitorias (o impulso unidireccional) de alta frecuencia mencionadas anteriormente, junto con otras fuentes de alteraciones electromagnéticas (bobinas de contactor, relés, contactos secos), descargas electrostáticas y ondas electromagnéticas radiadas (radio, sistemas de encendido, etc.) forman parte del campo cada vez más importante de la EMC (compatibilidad electromagnética). Para más información, consultar las publicaciones técnicas números 120 y 149 de Schneider Electric.

Es fundamental que los dispositivos DDR sean inmunes a los posibles problemas de funcionamiento derivados de las perturbaciones electromagnéticas.

Perturbación	Tipo de test	Resistencia requerida
Sobretensión	Impulso de 1,2/50 μs	Valor de pico de 6 kV
Corriente transitoria	Impulso de 0,5 μs/100 kHz	Valor de pico de 200 A ⁽¹⁾
	Impulso de 8/20 μs	Valor de pico de 200 A Valor de pico de 60 A para DDR de 10 mA Valor de pico de 5 kA para tipos "S" o modelos de temporización (ver nota)
Desconexión	Ráfagas transitorias repetitivas IEC 60801-4	4 kV
Electricidad estática	Descargas electrostáticas IEC 60801-2	8 kV
Ondas radiadas	Campos electromagnéticos IEC 60801-3	3 V/m

(1) Para DDR con $I_{\Delta n} < 10$ mA no es preciso realizar este test (IEC 61008-1).

Nota: Los DDR con temporización suelen instalarse cerca de la posición de servicio de las instalaciones, donde las sobretensiones de origen externo son las más graves. La prueba de valor de pico de 5 kA refleja este requisito de alto rendimiento.

Fig. F71: Tests de nivel de resistencia de compatibilidad electromagnética para dispositivos DDR.

8 Dispositivos de corriente residual (DDR)

F40



Fig. F72: Símbolo normalizado utilizado en algunos países para indicar que el dispositivo está a prueba de un funcionamiento inadecuado debido a corrientes transitorias.

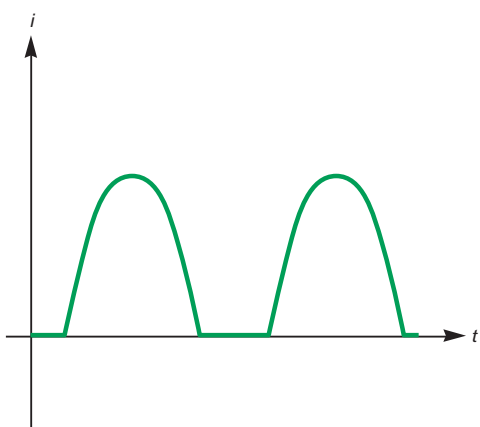
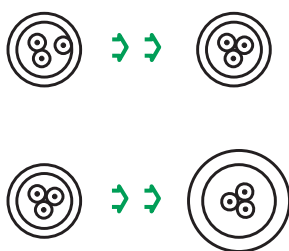


Fig. F73: Corriente continua.



L = dos veces el diámetro del núcleo de anillo magnético

Fig. F74: Tres medidas para reducir la relación $I_{\Delta N}/I_{ph}$ (máx.).

En la práctica, los niveles que se muestran en la **Figura F71** siguen las especificaciones de diseño y fabricación.

Los DDR de tipo “AS-i” (indicados por el símbolo de la **Figura F72**) impiden los disparos no deseados en caso de red contaminada, efectos de los rayos, corrientes de alta frecuencia, componentes de CC, transitorios, temperatura de funcionamiento baja (-25 °C).

Inmunidad a componentes de corriente continua (ver **Figura F73**)

La alimentación de CC auxiliar para el control y la indicación de equipos eléctricos y mecánicos es común, y determinados dispositivos incluyen rectificadores (diodos, triacs, tiristores).

En el caso de un defecto de tierra aguas abajo de un rectificador, la corriente de defecto puede incluir componentes de CC.

El riesgo depende del nivel de aislamiento de los circuitos de CC de un dispositivo y debe considerarse cada caso individualmente. Normalmente, los problemas de este tipo atañen a aplicaciones industriales.

La norma IEC clasifica los DDRs de acuerdo con su capacidad para funcionar correctamente en presencia de componentes de CC en la corriente residual:

- Clase AC: funciona sólo gracias a la corriente de CA.
- Clase A: funciona si la corriente residual está constituida por impulsos de una sola dirección.
- Clase B: funciona con CC pura.

Nota: Los de clase A están disponibles para necesidades específicas como una variación especial de dispositivos de clase AC.

Recomendaciones referentes a la instalación de DDRs con transformadores de corriente toroidales

El detector de corriente residual es un circuito magnético cerrado (normalmente circular) de una permeabilidad magnética muy elevada, en el que se enrolla una bobina de cable; el conjunto constituye un transformador de corriente toroidal (o de tipo anillo).

Debido a su elevada permeabilidad, cualquier pequeña desviación de la simetría perfecta de los conductores incluida en el núcleo, y la proximidad de material férreo (miembros del chasis, cofre de acero, etc.) pueden afectar al equilibrio de las fuerzas magnéticas de forma suficiente, en momentos de grandes corrientes de carga (corriente de arranque de motor, sobretensión de corriente de conexión de transformador, etc.) y causar el disparo no deseado del DDR.

A menos que se tomen medidas específicas, la relación de la corriente de funcionamiento $I_{\Delta N}$ para la corriente de fase máx. I_{ph} normalmente es inferior 1/1.000.

Este límite puede aumentar considerablemente (p. ej., la respuesta puede insensibilizarse) mediante la adopción de las medidas mostradas en la **Figura F74**, y resumidas en la **Figura F75**.

Medidas	Diámetro (mm)	Factor disminución de sensibilidad
Centralización cuidadosa de cables por núcleo anular		3
Sobredimensionamiento del núcleo anular	∅ 50 > ∅ 100	2
	∅ 80 > ∅ 200	2
	∅ 120 > ∅ 200	6
Uso de un manguito protector de acero o de hierro suave	∅ 50	4
	∅ 80	3
	∅ 120	3
	∅ 200	2

Estas medidas pueden combinarse. Preste atención al centralizar los cables en un núcleo anular de 200 mm de diámetro, donde un núcleo de 50 mm sería lo suficientemente largo, y con el uso de un manguito, la relación 1/1.000 podría convertirse en 1/30.000.

Fig. F75: Medios para reducir la relación $I_{\Delta N}/I_{ph}$ (máx.).

8 Dispositivos de corriente residual (DDR)

Elección de características de un interruptor automático de corriente residual (RCCB - IEC 61008)

Corriente nominal

La corriente nominal de un interruptor automático de corriente residual se elige de acuerdo con la corriente de carga sostenida máxima que llevará.

■ Si el interruptor automático de corriente residual se conecta en serie, y aguas abajo del interruptor automático, la corriente nominal de ambos sistemas será la misma, p. ej., $I_n \geq I_{n1}^{(1)}$ (ver **Figura F76a**).

■ Si el interruptor automático de corriente residual está ubicado aguas arriba de un grupo de circuitos, protegido por interruptores automáticos, como se muestra en la **Figura F76b**, la corriente nominal de interruptor automático de corriente residual se obtendrá mediante la fórmula:

$$I_n \geq k_U \times k_s (I_{n1} + I_{n2} + I_{n3} + I_{n4})$$

Requisitos de resistencia electrodinámica

La protección frente a cortocircuitos debe ofrecerse mediante un SCPD (dispositivo protector frente a cortocircuitos) aguas arriba, pero se considera que si el interruptor automático de corriente residual está ubicado en la misma caja de distribución (conforme a las normas apropiadas) como los interruptores automáticos aguas abajo (o fusibles), la protección frente a cortocircuitos que logran estos SCPDs (circuito saliente) constituye una alternativa adecuada. La coordinación entre el interruptor automático de corriente residual y los SCPDs resulta necesaria y los fabricantes ofrecen generalmente tablas en las que se asocian los interruptores automáticos de corriente residual y los interruptores automáticos o fusibles (ver **Figura F77**).

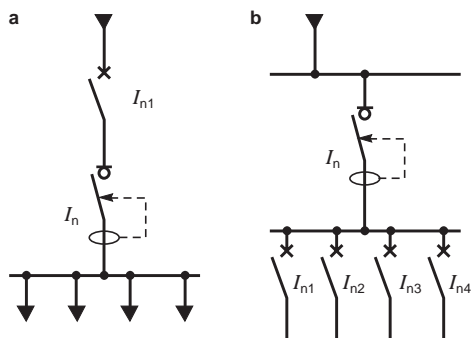


Fig. F76: Interr. autom. de corriente residual (RCCB).

Interr. autom. y asociación de interruptor automático de corriente residual - valor I_{sc} (rms) máx. en kA

Interr. autom. aguas arriba		DT40	DT40N	C60N	C60H	C60L	C120N	C120H	NG125N	NG125H	
Int. aut. de corr. res. aguas abajo	2 P	I 20 A	6,5	6,5	6,5	6,5	3	4,5	4,5	4,5	
	230 V	IN-A 40 A	6	10	20	30	30	10	10	15	15
		IN-A 63 A	6	10	20	30	30	10	10	15	15
		I 100 A						15	15	15	15
4 P	I 20 A	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	2	3	3	3	
	400 V	IN-A 40 A	6	10	10	15	15	7	7	15	15
		IN-A 63 A	6	10	10	15	15	7	7	15	15
		NG 125 NA						10	16	25	50

Fusibles y asociación de interruptor automático de corriente residual - valor I_{sc} (rms) máx. en kA

Fusible aguas arriba		20 A	63 A	100 A	125 A
Int. aut. de corr. resid. aguas abajo	2 P	I 20 A	8		
	230 V	IN-A 40 A		30	20
		IN-A 63 A		30	20
		I 100 A			6
4 P	I 20 A	8			
	400 V	IN-A 40 A		30	20
		IN-A 63 A		30	20
		NG 125 NA			

Fig. F77: Tabla de coordinación de fabricantes típica para interruptores automáticos de corriente residual, interruptores automáticos y fusibles (productos Merlin Gerin).

(1) Algunas normas nacionales incluyen una prueba de resistencia térmica con una corriente mayor que I_n para garantizar la correcta coordinación de la protección.

