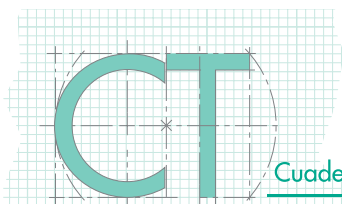


Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 3

Sistemas de distribución y protección contra contactos indirectos y defectos a tierra



Sistemas de distribución y protección contra contactos indirectos y defectos a tierra

Índice

1	Introducción	2	6.2.2	Bloques diferenciales para interruptores automáticos en caja moldeada Tmax	28
2	Definiciones principales	3	6.2.3	Relés electrónicos PR... de interruptores automáticos en caja moldeada y de bastidor abierto con protección diferencial integrada	29
3	Protección contra defecto a tierra		6.2.4	Relé diferencial con transformador externo	30
3.1	Aspectos generales	5	6.3	Solución con la función G	31
4	Clasificación de los sistemas de distribución eléctrica		6.4	¿Función de protección G o protección diferencial?	33
4.1	Sistema TT	6	6.4.1	Aplicaciones típicas de los interruptores diferenciales	33
4.2	Sistema TN	6	6.4.2	Aplicaciones típicas de los interruptores automáticos en caja moldeada y de bastidor abierto equipados con función G contra defecto a tierra	34
4.3	Sistema IT	7	6.5	Sistemas de protección avanzada contra defecto a tierra.....	34
4.4	Conclusiones	7	6.5.1	Aspectos generales	34
5	Protección contra contactos indirectos		6.5.2	Source Ground Return	35
5.1	Efectos de la corriente sobre el organismo	8	6.5.3	Protección de defecto a tierra restringida ...	35
5.2	Protección contra contactos indirectos por desconexión automática del circuito	10	7	Selectividad de las protecciones contra defecto a tierra	37
5.3	Protección contra contactos indirectos en sistemas TT	13	Anexo A:	Sistemas de distribución en corriente continua.....	39
5.4	Protección contra contactos indirectos en sistemas TN	16	Anexo B:	Protección contra contactos directos	40
5.5	Protección contra contactos indirectos en sistemas IT	20	Anexo C:	Protección contra contactos indirectos sin desconexión automática del circuito	42
6	Soluciones ABB para la protección contra defecto a tierra		Anexo D:	Protección combinada contra contactos directos e indirectos.....	44
6.1	Aspectos generales.....	22	Anexo E:	Consideraciones sobre el neutro y el conductor de protección	46
6.2	Dispositivos de protección diferencial ...	23	Glosario		51
6.2.1	Interruptores automáticos de carril DIN System pro M y System pro M compact con protección diferencial	23			

1 Introducción

1 Introducción

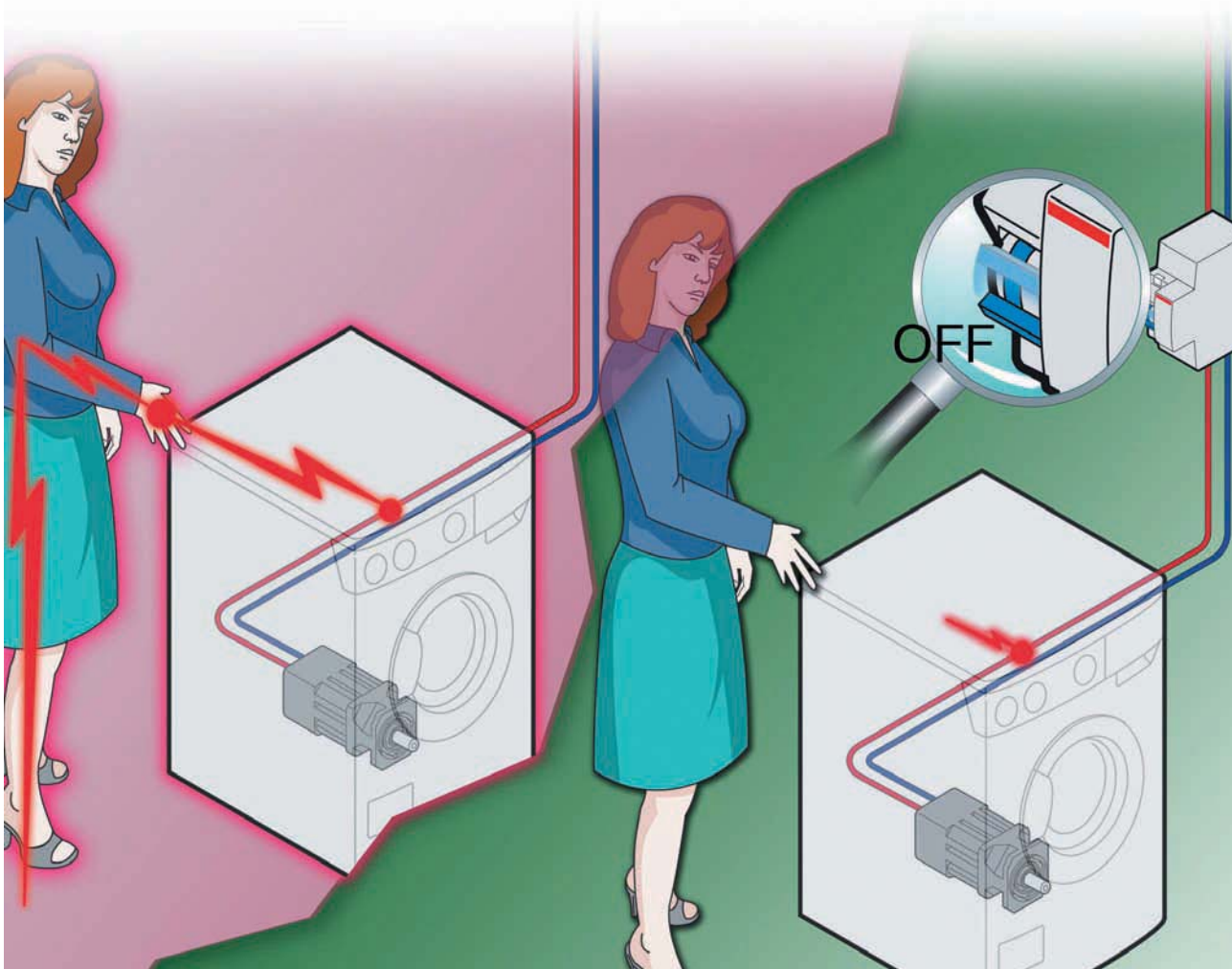
El defecto a tierra, provocado por una pérdida de aislamiento entre un conductor de baja tensión y una pieza conductora expuesta, representa un problema de diseño para la planta que podría provocar daños en las instalaciones eléctricas y, sobre todo, poner en peligro al personal; de hecho, dicho personal podría entrar en contacto con una pieza conductora expuesta que normalmente no está en tensión pero que, debido a la falta, podría presentar un potencial a tierra peligroso.

El objetivo de este documento técnico es ofrecer al lector la información necesaria relativa a los principales aspectos normativos acerca de la protección contra defectos a tierra y contactos indirectos, aclarar los problemas relevantes e ilustrar la solución propuesta por ABB.

Este documento se divide en tres partes principales:

- aspectos normativos (definiciones, clasificación de los sistemas de distribución, disposiciones sobre protección, etc.)
- soluciones ABB para la protección contra defecto a tierra y contactos indirectos
- discriminación de las protecciones contra defecto a tierra.

Además, para completar este documento, se facilitan algunos anexos que analizan exhaustivamente aspectos adicionales de la protección contra descargas eléctricas, en particular la protección contra contactos indirectos, la protección combinada contra contactos directos e indirectos, consideraciones sobre el conductor de protección y neutro, etc.

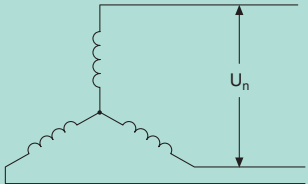
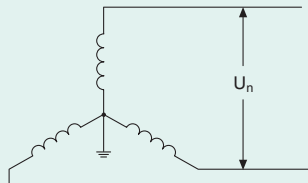
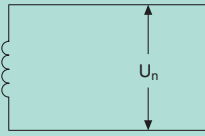
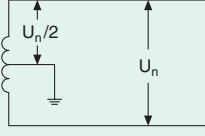


2 Definiciones principales

A continuación se describen las definiciones fundamentales para comprender mejor el contenido de este documento; estas definiciones proceden de la norma IEC 60050 - Vocabulario Electrotécnico Internacional:

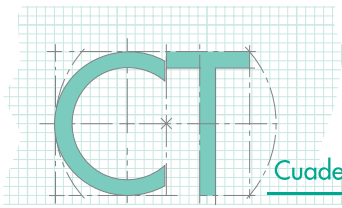
- **Tensión de contacto (efectiva):** tensión entre piezas conductoras al tocarlas una persona o un animal de forma simultánea.
- **Tensión de contacto supuesta:** tensión entre piezas conductoras accesibles de forma simultánea al no estar tocándolas una persona.
- **Tensión a tierra nominal de un sistema:**
 - la tensión nominal en sistemas trifásicos con neutro aislado o neutro puesto a tierra a través de una impedancia;
 - la tensión entre fase y neutro correspondiente a la tensión nominal en sistemas trifásicos con neutro conectado directamente a tierra;
 - la tensión nominal en sistemas monofásicos, o sistemas trifásicos, sin puntos conectados a tierra;
 - la mitad del valor de la tensión nominal en sistemas monofásicos, o sistemas trifásicos, con punto intermedio conectado a tierra.
- **Pieza en tensión:** conductor o pieza conductora destinada a excitarse en funcionamiento normal, incluyendo un conductor neutro, pero por convención no se trata de un PEN.
- **Pieza en tensión peligrosa:** una pieza en tensión que, en ciertas condiciones, puede provocar una descarga eléctrica peligrosa.
- **Pieza conductora expuesta:** una pieza conductora del equipo que puede tocarse y que normalmente no está en tensión, pero que puede estarlo cuando falla el aislamiento básico².
- **Contacto directo:** contacto eléctrico entre personas y piezas en tensión.
- **Contacto indirecto:** contacto eléctrico entre personas y piezas conductoras expuestas que han pasado a estar en tensión en condiciones de defecto.
- **Alcance de la mano:** zona de accesibilidad al contacto entre cualquier punto de una superficie en que las personas suelen situarse o moverse y los límites que pueden alcanzar con la mano, en cualquier dirección, sin ayuda.
- **Piezas accesibles simultáneamente:** conductores o piezas conductoras que puede tocar simultáneamente una persona.

Tabla 1

<p>sistemas trifásicos con neutro aislado o neutro conectado a tierra a través de una impedancia</p> $U_{ne} = U_n$	
<p>sistemas trifásicos con neutro conectado directamente a tierra</p> $U_{ne} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = U_0^{(1)}$	
<p>sistemas monofásicos, o sistemas CA sin puntos conectados a tierra</p> $U_{ne} = U_n$	
<p>sistemas monofásicos, o sistemas CA sin punto intermedio conectado a tierra</p> $U_{ne} = \frac{U_n}{2}$	

¹ U_0 indica la tensión entre fase y neutro

² Una pieza conductora que puede pasar a estar en tensión simplemente por estar en contacto con una pieza conductora expuesta no se considerará una pieza conductora expuesta.



- **Corriente de fuga a tierra:** corriente que, en ausencia de cualquier defecto, circula hacia tierra o la pieza conductora expuesta.
- **Corriente residual:** suma vectorial de las corrientes eléctricas de todos los conductores en tensión, en un punto determinado del circuito eléctrico.
- **Armario protector:** armario eléctrico que rodea los equipos para impedir el acceso, desde cualquier dirección, a piezas en tensión peligrosas.
- **Barrera protectora:** pieza que ofrece protección contra contacto directo desde cualquier dirección de acceso habitual.
- **Obstáculo protector:** pieza que impide el contacto directo no intencionado, pero que no impide el contacto directo por una acción deliberada.
- **Aislamiento básico:** aislamiento de piezas en tensión peligrosas que ofrece protección básica.
- **Aislamiento adicional:** aislamiento independiente aplicado además del básico para protección contra defectos.
- **Aislamiento doble:** aislamiento que comprende el aislamiento básico y el adicional.
- **Aislamiento reforzado:** aislamiento de piezas en tensión peligrosas que ofrece cierto grado de protección contra descargas eléctricas equivalente al aislamiento doble.
- **Suelos y paredes aislantes:** suelos y paredes de salas con una resistencia tan elevada que la corriente residual está limitada a valores que no son peligrosos.
- **Tierra de referencia:** parte de la Tierra que se considera conductora, cuyo potencial eléctrico se adopta como cero por convención.
- **Electrodo de tierra:** pieza conductora, que puede estar insertada en un medio conductor específico, como hormigón o coque, en contacto eléctrico con la Tierra.
- **Resistencia de conexión a tierra:** resistencia entre el colector principal de tierra (o nudo) y la Tierra.
- **Electrodo de tierra independiente:** electrodo de tierra ubicado a tal distancia de los demás electrodos de tierra que su potencial eléctrico no se ve afectado significativamente por corrientes eléctricas entre la Tierra y otros electrodos de tierra.
- **Conductor de protección (PE):** prescrito como medida de protección contra los contactos indirectos para la conexión de alguna de las siguientes partes:
 - piezas conductoras expuestas;
 - nudo de tierra principal;
 - electrodo de tierra;
 - puesta a tierra de la fuente o neutro artificial.
- **Conductor PEN:** conductor que combina las funciones de un conductor de protección y un conductor de neutro.¹
- **Disposición de conexión a tierra:** todas las conexiones y los dispositivos eléctricos que intervienen en un sistema, una instalación o equipo de conexión a tierra.
- **Corriente de defecto:** corriente que circula a través de un punto determinado de defecto debida a un defecto de aislamiento.
- **Defecto a tierra:** aparición de una ruta conductora accidental entre un conductor en tensión y la Tierra.
- **Persona capacitada:** persona con la educación y la experiencia que le permiten percibir los riesgos y evitar los peligros propios de la electricidad.
- **Persona instruida:** persona asesorada o supervisada adecuadamente por personal con conocimientos sobre electricidad que puede percibir los riesgos y evitar los peligros propios de la electricidad.
- **Persona formada:** persona con la educación y la experiencia relevantes (persona capacitada) o con la formación adecuada que le permiten percibir los riesgos y evitar los peligros propios de la electricidad, en relación con operaciones determinadas efectuadas en condiciones específicas (persona instruida). Por lo tanto, el término “formada” es un atributo relativo a:
 - el tipo de operación;
 - el tipo de instalación en la que, o cerca de la cual, deben efectuarse operaciones;
 - las condiciones ambientales y de contingencia, y la supervisión por parte de personal más cualificado.
- **Persona común:** persona no capacitada ni instruida.

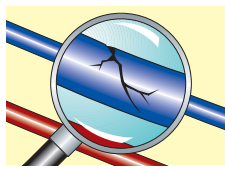
¹ El símbolo PEN se obtiene de la combinación del símbolo PE (de conductor de protección) con el símbolo N de conductor de neutro.

3 Protección contra defecto a tierra

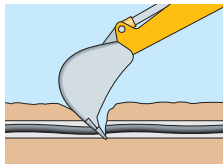
3.1 Aspectos generales

La pérdida de aislamiento entre conductores normalmente en tensión y piezas conductoras expuestas puede generar un defecto, lo que normalmente se denomina defecto a tierra.

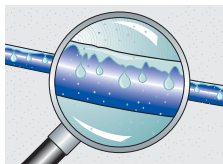
Las causas principales de la pérdida de aislamiento son:



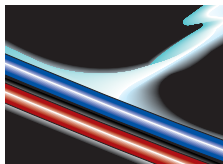
- deterioro temporal de las propiedades dieléctricas (grietas en las gomas aislantes, etc.);



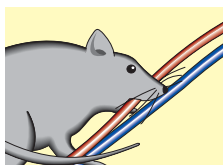
- rotura mecánica (p. ej. corte de un cable en el suelo por parte de una excavadora);



- entornos especialmente agresivos (presencia de polvo, humedad, contaminación, etc.);



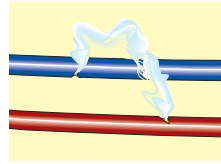
- sobretensiones de origen atmosférico o debidas a conmutaciones eléctricas;



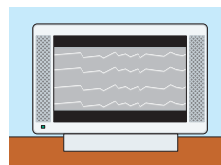
- acción de roedores.



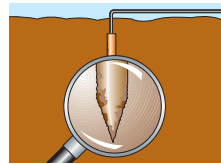
- excitación de piezas conductoras expuestas;



- arcos eléctricos localizados y sobrecalentamientos subsiguientes;



- perturbaciones en los sistemas de telecomunicaciones;



- fenómenos de erosión de los electrodos de tierra.

Los efectos principales de la corriente de defecto a tierra son los siguientes:

1. La corriente de defecto a tierra empieza como un arco localizado en el punto en que ha fallado el aislamiento; este arco se caracteriza por un nivel de corriente bastante moderado, del orden de decenas de miliamperios.
2. Posteriormente, el defecto evoluciona más o menos rápidamente para convertirse en un defecto entre tierra y fase verdadero. Si los dispositivos de protección no lo interrumpen rápidamente, este defecto puede acabar afectando a todas las fases, creando un cortocircuito trifásico con contacto a tierra.

Por lo tanto, la primera consecuencia de la corriente de defecto a tierra es el daño provocado a la planta, ya sea debido a las moderadas corrientes de arco iniciales que, debido a la dificultad de detección por parte de los relés de sobreintensidad, pueden continuar durante períodos elevados de tiempo e iniciar un incendio, o bien debido al cortocircuito que se desarrolla después de que se haya puesto en peligro la integridad de toda la planta.

Otra consecuencia importante de la corriente de defecto a tierra es el peligro para el personal provocado por el contacto indirecto, es decir, tras el contacto con piezas conductoras expuestas que se han excitado accidentalmente debido a un deterioro del aislamiento.

4 Clasificación de los sistemas de distribución eléctrica

El alcance del defecto a tierra y las consecuencias de tocar piezas conductoras expuestas en tensión están específicamente relacionados con el estado del neutro del sistema de alimentación y los tipos de conexión a tierra del sistema.

Por consiguiente, para seleccionar el dispositivo adecuado para la protección contra defectos a tierra, es necesario conocer el sistema de distribución de la instalación. La norma internacional IEC 60364-3 clasifica los sistemas eléctricos empleando una combinación de dos letras.

La primera letra indica la conexión del sistema de alimentación con la tierra¹:

- T = conexión directa a tierra de un punto, normalmente el neutro, en sistemas CA;
- I = todas las partes en tensión aisladas de tierra o un punto, normalmente el neutro, conectados a tierra a través de una impedancia.

La segunda letra indica la relación entre las piezas conductoras expuestas de la instalación y tierra:

- T = conexión eléctrica directa entre las piezas conductoras expuestas y tierra;
- N = conexión eléctrica directa entre las piezas conductoras expuestas y el punto conectado a tierra del sistema de alimentación.

Las letras posteriores, si las hubiere, indican la disposición de los conductores de protección y neutro:

- S = cable de protección y neutro realizados por conductores independientes
- C = cable de protección y neutro combinados en un único conductor (conductor PEN).

En relación con las definiciones anteriores, a continuación se describen los tipos principales de sistemas de alimentación.

¹ La conexión a tierra de un punto al nivel del transformador MT/BT es necesaria para evitar la transferencia de tensiones peligrosas al suelo, p. ej. tensiones debidas a un defecto entre bobinados de MT y BT. En sistemas IT, se recomienda encarecidamente el uso de transformadores específicamente contruidos para evitar la transferencia de tensiones peligrosas a personas y equipos.

4.1 Sistema TT

En sistemas TT, el neutro y las piezas conductoras expuestas están conectados a electrodos de tierra eléctrica independientes (Figura 1); por lo tanto, la corriente de defecto a tierra vuelve al nudo de alimentación a través del suelo (Figura 2).

Figura 1: Sistema TT

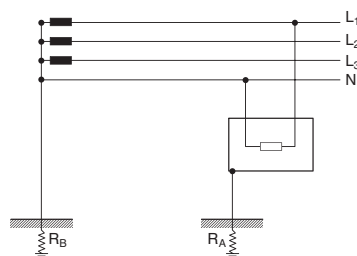
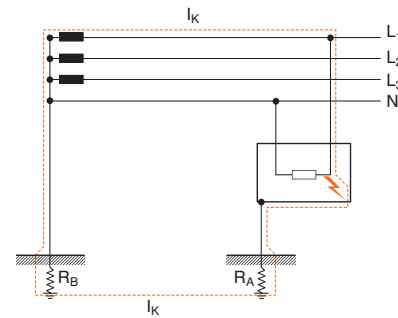


Figura 2: Defecto a tierra en un sistema TT



En este tipo de instalaciones eléctricas, el neutro suele estar distribuido y su función es hacer que la tensión de fase (p. ej. 230 V) esté disponible para la alimentación de las cargas monofásicas de instalaciones civiles.

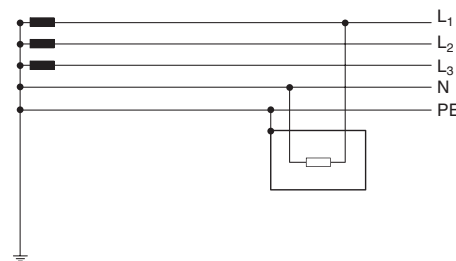
4.2 Sistema TN

En sistemas TN, el neutro está conectado a tierra directamente, mientras que las piezas conductoras expuestas están conectadas a la misma conexión a tierra del neutro.

Los sistemas eléctricos TN pueden dividirse en tres tipos dependiendo de si el neutro y los conductores de protección están separados o no:

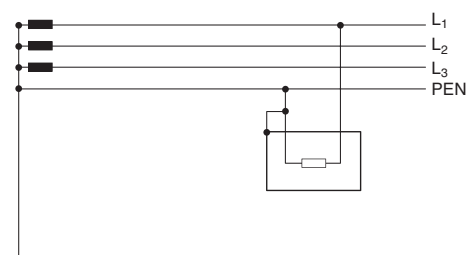
1. TN-S: el conductor neutro N y el conductor de protección PE están separados (Figura 3)

Figura 3: Sistema TN-S



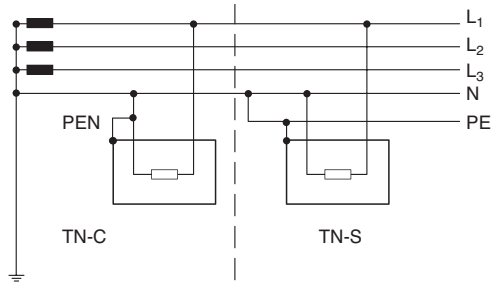
2. TN-C: el conductor de protección y neutro están combinados en un único conductor, llamado PEN (Figura 4)

Figura 4: Sistema TN-C



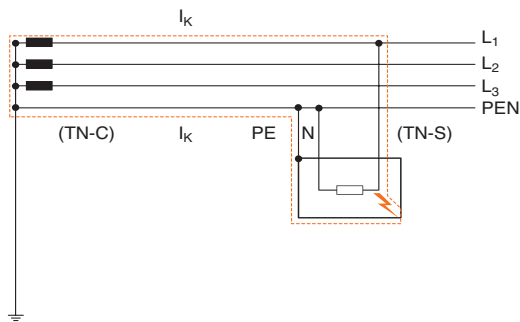
3. TN-C-S: el conductor de protección y el neutro están combinados parcialmente en un único conductor PEN y separados parcialmente PE + N (Figura 5).

Figura 5: Sistema TN-C-S



En sistemas TN, la corriente de defecto a tierra vuelve al nudo de alimentación a través de una conexión metálica directa (conductor PE o PEN) sin afectar prácticamente al electrodo de tierra (Figura 6).

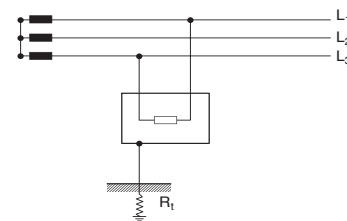
Figura 6: Defecto a tierra en un sistema TN



4.3 Sistema IT

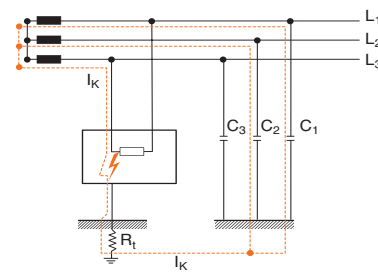
Los sistemas IT no tienen piezas activas conectadas a tierra directamente, pero pueden tener piezas en tensión conectadas a tierra a través de una impedancia de valor elevado (Figura 7). Todas las piezas conductoras expuestas, por separado o en grupo, están conectadas a un electrodo de tierra independiente.

Figura 7: Sistema IT



La corriente de defecto a tierra vuelve al nudo de alimentación a través de la conexión a tierra de las piezas conductoras expuestas y de las capacidades parásitas a tierra de los conductores de línea.

Figura 8: Defecto a tierra en un sistema TT



4.4 Conclusiones

Sistema de distribución	Aplicación principal	Valor típico de las corrientes de defecto	Observaciones
TT	instalaciones domésticas y similares; industrias pequeñas con fuente de alimentación BT	10P100 A	Los sistemas de distribución TT se utilizan cuando es imposible garantizar la distribución del conductor de protección (PE), y cuando es aconsejable dejar que el usuario se encargue de la protección contra contactos indirectos.
TN	industrias e instalaciones grandes con fuente de alimentación MT	valores similares a los del defecto monofásico	Los sistemas de distribución TN son los sistemas a través de los cuales la alimentación se distribuye a usuarios que tienen su propia subestación transformadora; en estos casos, el conductor de protección puede garantizarse fácilmente.
IT	industrias química y petroquímica, es decir, plantas para las cuales la continuidad del servicio es fundamental	$\mu\text{A} \div 2 \text{ A}$ en función del tamaño de la instalación; en caso de defecto a tierra doble, la corriente de defecto adopta valores típicos de los sistemas TT o TN en función de la conexión a tierra de las piezas conductoras expuestas	Este tipo de sistema resulta ser especialmente adecuado en los casos en los que debe garantizarse la continuidad del servicio, ya que la presencia de un primer defecto no provoca corrientes elevadas y/o corrientes peligrosas para las personas.

5 Protección contra contactos indirectos

5.1 Efectos de la corriente sobre el organismo

Los peligros físicos debidos al contacto con una pieza en tensión son provocados por el paso de corriente a través del organismo. Estos efectos son:

- **tetanización**: los músculos afectados por el paso de la corriente se contraen involuntariamente, y es difícil soltar las piezas conductoras que se han agarrado. Nota: normalmente, las corrientes muy elevadas no inducen tetanización porque, cuando el organismo entra en contacto con ellas, la contracción muscular es tan sostenida que los movimientos musculares involuntarios suelen alejar a la persona de la pieza conductora;
- **paro respiratorio**: si la corriente circula a través de los músculos que controlan el sistema respiratorio, la contracción involuntaria de estos músculos altera el proceso respiratorio normal, y es posible que la persona muera debido a asfixia o que sufra

las consecuencias de traumatismos provocados por la asfixia;

- **fibrilación ventricular**: el efecto más peligroso se debe a la superposición de las corrientes externas con las fisiológicas que, al generar contracciones descontroladas, provocan alteraciones del ciclo cardíaco. Esta anomalía puede convertirse en un fenómeno irreversible, porque persiste incluso cuando el estímulo ha cesado;
- **quemaduras**: se deben al calentamiento derivado, por efecto Joule, de la corriente que pasa por el organismo.

La norma IEC 60479-1 "Efectos de la corriente sobre seres humanos y ganado" es una guía relativa a los efectos de la corriente que circula por el organismo, que debe utilizarse para la definición de los requisitos de seguridad eléctrica. En un diagrama de tiempo-corriente, esta norma muestra cuatro zonas (Figura 1) con las que se han relacionado los efectos fisiológicos de la corriente alterna (15 – 100 Hz) que atraviesa el organismo. Estas zonas se detallan en la Tabla 1.

Figura 1: Zonas de tiempo-corriente de los efectos de la corriente alterna sobre el organismo

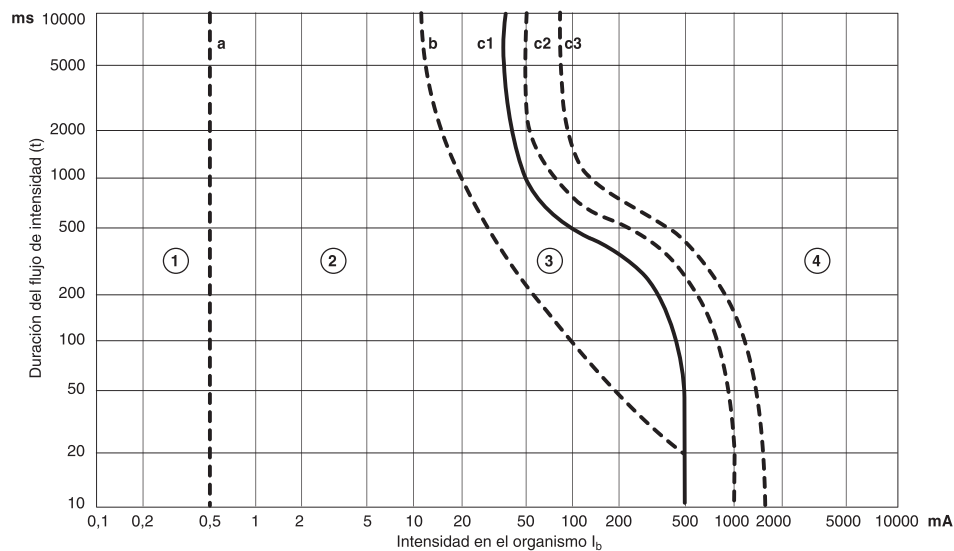


Tabla 1: Efectos de la corriente alterna sobre el organismo

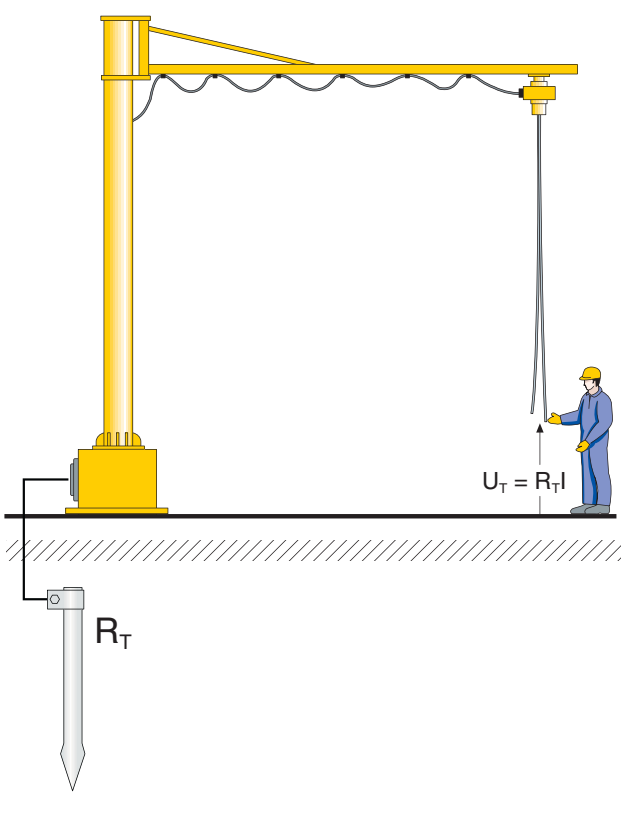
Zona	Efectos
1	normalmente ninguna reacción
2	normalmente ningún efecto fisiológico dañino
3	normalmente no cabe esperar daños orgánicos. Posibilidad de contracciones musculares parecidas a calambres y dificultad para respirar; alteraciones reversibles del ciclo cardíaco, incluyendo fibrilación ventricular y paro cardíaco transitorio sin fibrilación ventricular que aumenta con la magnitud de la corriente y el tiempo
4	además de los efectos de la zona 3, la probabilidad de fibrilación ventricular aumenta hasta aproximadamente el 5% (curva c2), el 50% (curva c3) y por encima del 50% más allá de la curva c3. Pueden producirse efectos fisiopatológicos como paro cardíaco, paro respiratorio y quemaduras graves al aumentar la corriente y el tiempo de exposición.

La norma IEC 60479-1 también muestra un diagrama análogo para la corriente continua.

Las curvas de la Figura 1 no pueden aplicarse fácilmente a la definición de límites de corriente máxima permisible para la seguridad de las personas. Por lo tanto, una vez se conoce la impedancia del cuerpo humano, es posible definir las curvas de seguridad para las tensiones permisibles aplicando la ley de Ohm.

La impedancia eléctrica del organismo que se ofrece al paso de la corriente que circula entre sus dos extremos es muy variable. La norma IEC 60479-1 proporciona distintos valores de la impedancia como una función de la tensión de contacto y del recorrido de la corriente.

Teniendo en cuenta los valores preventivos de la impedancia descritos en el diagrama de la norma, es posi-



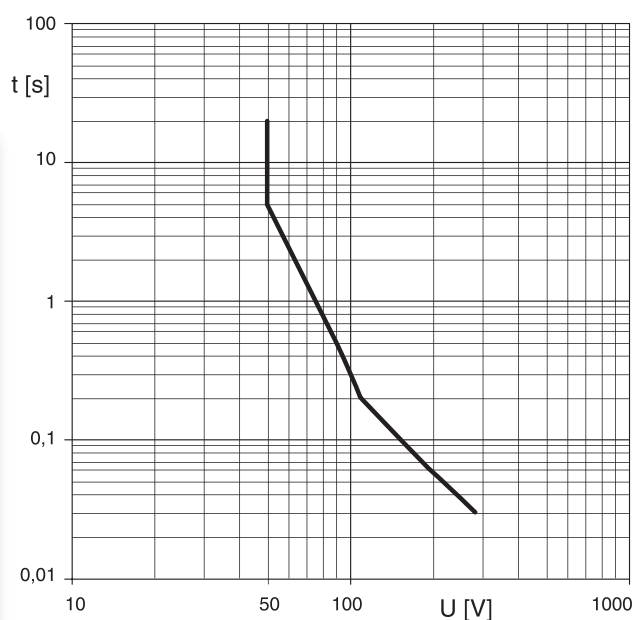
La tensión de contacto supuesta U_T es la tensión que está presente entre una pieza conductora expuesta y un punto de tierra lo suficientemente alejado.

ble obtener la curva de seguridad de tiempo-tensión. Esta curva proporciona algunas indicaciones respecto al tiempo durante el cual el organismo puede resistir la corriente de defecto, en función de la tensión de contacto supuesta U_T (Figura 2). La tensión de contacto supuesta

es la tensión que, debido a un defecto de aislamiento, está presente entre una pieza conductora y un punto de tierra lo suficientemente alejado, con potencial cero. Representa el valor máximo de tensión de contacto efectiva; por lo tanto, se tiene en cuenta la condición más desfavorable a garantía de la seguridad.

A partir de la curva de seguridad de la Figura 2, se deduce que, para todos los valores de tensión por debajo de 50 V, el tiempo de tolerancia es infinito; a 50 V el tiempo de tolerancia es de 5 s.

Figura 2: Curva de seguridad de tiempo-tensión



La curva mostrada en la figura hace referencia a una ubicación seca; en ambientes particulares, la resistencia de contacto del organismo hacia tierra se reduce y, por consiguiente, los valores de tensión tolerables durante un tiempo indefinido son inferiores a 25 V. Por lo tanto, si la protección contra contactos indirectos se obtiene a través de la desconexión automática del circuito, es necesario asegurarse de que este corte se lleva a cabo en cumplimiento de la curva de seguridad de tiempo-tensión en cualquier sistema de distribución. En la práctica, no es fácil evaluar por adelantado la tensión de contacto, ya que depende de la configuración de la planta; además, tras la creación de la planta, la evaluación de este tipo de tensión es bastante compleja. Por estos motivos, se han definido algunos métodos convencionales que permiten determinar los tiempos de disparo de los dispositivos de protección, no en función de la tensión de contacto efectiva, sino en función de la tensión nominal de la instalación para sistemas TN y de la tensión de contacto supuesta para sistemas TT.

5.2 Protección contra contactos indirectos por desconexión automática del circuito

La norma IEC 60364 dispone la desconexión automática de la alimentación para la protección contra contactos indirectos.

El dispositivo de protección desconectará automáticamente la alimentación para que, en caso de un defecto entre una pieza en tensión y una pieza conductora expuesta o un conductor de protección la tensión de contacto supuesta superior a 50 V CA (25 V en entornos especiales) no persista durante un tiempo suficiente para provocar un efecto fisiológico dañino en una persona en contacto con piezas conductoras accesibles simultáneamente.

Esta medida protectora requiere coordinación entre la conexión a tierra del sistema y las características de los dispositivos y conductores de protección.

Los dispositivos adecuados para la desconexión automática de la alimentación y capaces de detectar las corrientes de defecto a tierra son:

- interruptores automáticos con relé magnetotérmico;
- interruptores automáticos con relé electrónico basado en microprocesador;
- interruptores automáticos con relé electrónico basado en microprocesador con protección integrada contra defecto a tierra (función G);
- interruptores automáticos magnetotérmicos electrónicos con relés diferenciales integrados;
- interruptores diferenciales puros;
- relés diferenciales.

A continuación se facilita una descripción de estos dispositivos de protección.

Interruptores automáticos con relé magnetotérmico

Las protecciones garantizadas por los interruptores automáticos equipados con relé magnetotérmico son:

- protección contra sobrecargas;
- protección contra cortocircuitos;
- protección contra contactos indirectos.

La protección contra sobrecarga viene dada por el relé térmico con curva a tiempo inverso, es decir, cuanto mayor es la corriente de sobrecarga, más corto es el tiempo de disparo.

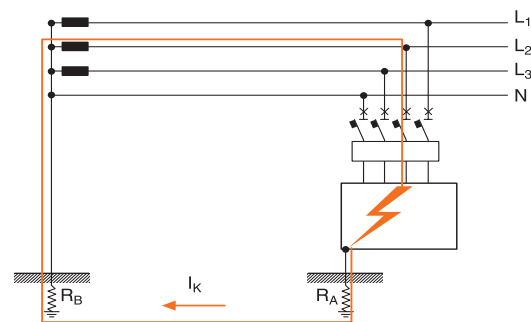
La protección contra cortocircuito viene dada por el relé magnético con una curva de disparo a tiempo independiente de la corriente de cortocircuito.

La protección contra contactos indirectos puede habilitarse a través del relé térmico y el relé magnético, ya que la corriente de defecto a tierra implica como mínimo una fase; si esta corriente es lo bastante elevada, puede

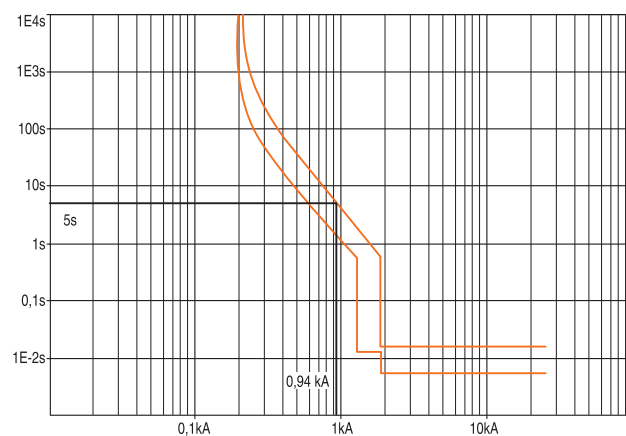
provocar el disparo del interruptor automático. Como se explica más adelante en este documento, es necesario que el dispositivo de protección esté coordinado con el sistema de distribución y la modalidad de conexión a tierra de las piezas conductoras expuestas, de modo que se garantice que no persistan las tensiones de contacto peligrosas en las piezas conductoras expuestas después del defecto.

La Figura 3 muestra un ejemplo del recorrido de la corriente de defecto a tierra en un sistema con el neutro y las piezas conductoras expuestas conectados a dos electrodos de tierra independientes (sistema TT), y la curva de disparo de un interruptor automático magnetotérmico de tipo Tmax T1B160 R125.

Figura 3
Recorrido de la corriente a tierra



Curva de disparo Tmax T1C160 In160



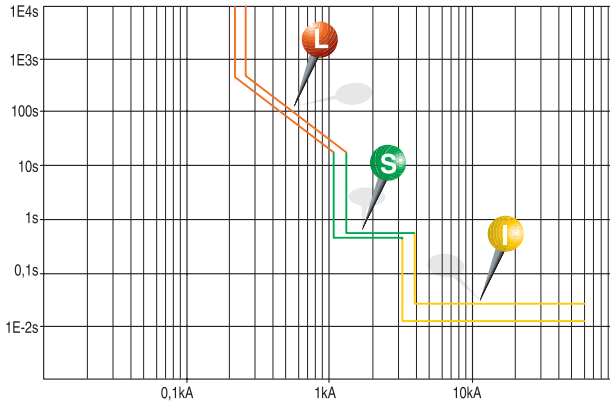
Como muestra el diagrama, al suponer una corriente de defecto a tierra de 940 A, el interruptor automático se desconectará en un máximo de 5 s (valor leído en la curva con la tolerancia mayor).

Interruptores automáticos con relé electrónico basado en microprocesador

Las protecciones proporcionadas por los interruptores automáticos equipados con relés electrónicos son completamente análogas a las proporcionadas por los interruptores automáticos con relé magnetotérmico. Las funciones de protección implementadas por el relé

electrónico basado en microprocesador permiten implementar la protección contra sobrecarga (protección L), cortocircuito (protección S e I) y contactos indirectos.

Figura 4

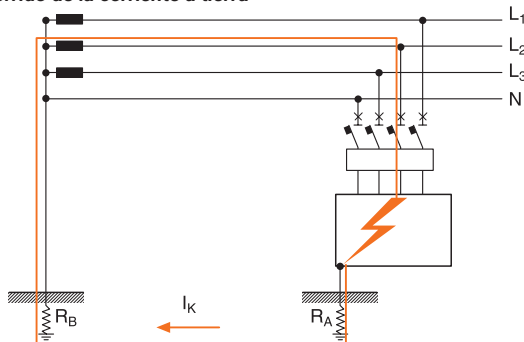


Los relés electrónicos permiten obtener un ajuste preciso tanto de los tiempos de disparo como de los umbrales de corriente, de modo que se satisfagan plenamente los requisitos de la instalación.

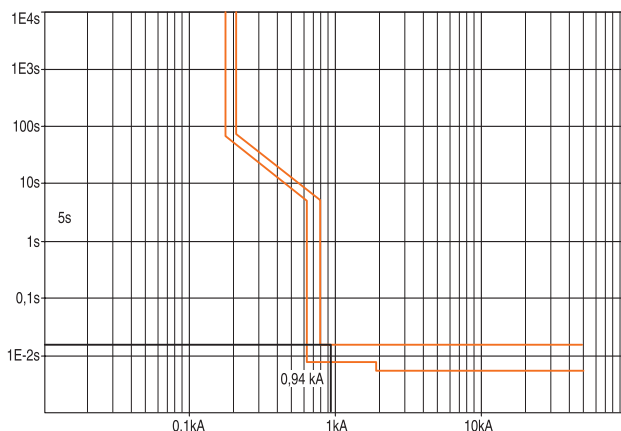
La Figura 5 muestra el mismo ejemplo que en el caso anterior, pero como dispositivo de protección se ha instalado un interruptor automático de tipo Tmax T2S160 PR221DS-LS/I In160 con relé electrónico.

Figura 5

Recorrido de la corriente a tierra



Curva de disparo T2S160 PR221DS-LS/I In160



La posibilidad de ajustar un umbral magnético bajo (a aprox. 750 A) permite conseguir un tiempo de disparo correspondiente al disparo magnético (algunas decenas de milisegundos), lo que es considerablemente más rápido que el tiempo que puede obtenerse en las mismas condiciones con un interruptor automático magnetotérmico del mismo tamaño.

Interruptores automáticos con relé electrónico basado en microprocesador con protección integrada contra defecto a tierra (función G)

La versión avanzada de los relés electrónicos basados en microprocesador ofrece, además de las funciones de protección contra sobrecarga (L) y cortocircuito (S e I), una función de protección dedicada - llamada función G - contra defecto a tierra.

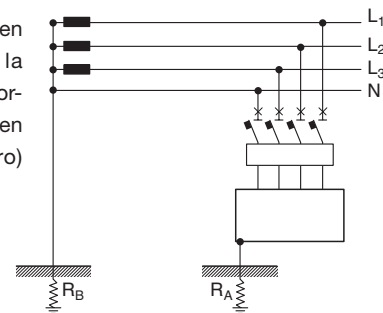
La función de protección G puede evaluar la suma vectorial de las corrientes que circulan por los conductores en tensión (las tres fases y el neutro). En un circuito en buenas condiciones, esta suma equivale a cero pero, en presencia de un defecto a tierra, una parte de la corriente de defecto volverá a la fuente de alimentación a través del conductor de protección y/o tierra sin afectar a los conductores en tensión.

Si la corriente es superior al valor de disparo ajustado para la función G, el interruptor automático se disparará en el tiempo de ajuste correspondiente. La Figura 6 muestra el principio de funcionamiento.

Figura 6: Principio de funcionamiento de la función G

En caso de un circuito en buenas condiciones, la suma vectorial de las corrientes en los circuitos en tensión (fases + neutro) es cero:

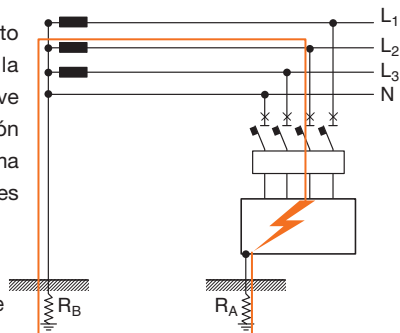
$$I_{0E} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N = 0$$



Si se produce un defecto a tierra, una parte de la corriente de defecto vuelve a la fuente de alimentación a través del suelo y la suma vectorial de las corrientes será distinta de cero:

$$I_{0E} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N \neq 0$$

$I_{0E} > I_{0E} B I_4$ umbral de disparo de la función G

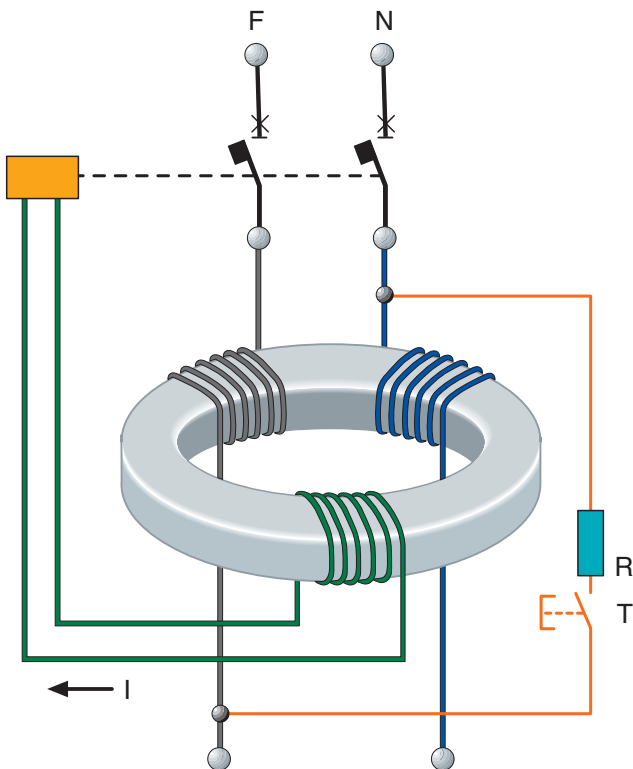


Interruptores automáticos electrónicos o magnetotérmicos con relé diferencial integrado

Los interruptores automáticos con relé diferencial integrado combinan el relé diferencial y el relé de protección contra sobrecargas en un único aparato, y disparan debido a corriente de fuga a tierra y también a sobrecarga/cortocircuito.

El principio de funcionamiento del relé diferencial consiste en detectar la corriente de defecto a tierra a través de un transformador toroidal que incluye todos los conductores en tensión y el neutro, si está distribuido.

Figura 7: Principio de funcionamiento del relé diferencial



En ausencia de un defecto a tierra, la suma vectorial de las corrientes I_{Δ} equivale a cero; en caso de un defecto a tierra, si el valor I_{Δ} excede la corriente nominal de disparo residual $I_{\Delta n}$, el circuito en la parte del secundario del toroide envía una señal de mando a una bobina de disparo dedicada, y provoca el disparo del interruptor automático.

Es posible efectuar una primera clasificación de los interruptores diferenciales de acuerdo a su sensibilidad a los tipos de corriente de defecto:

- tipo AC: el disparo se garantiza en caso de corrientes residuales alternas senoidales;

- tipo A: el disparo se garantiza en caso de corrientes residuales alternas senoidales y de corrientes residuales unidireccionales pulsantes;
- tipo B: el disparo se garantiza en caso de corrientes residuales continuas, aparte de corrientes residuales alternas senoidales, así como corrientes residuales unidireccionales pulsantes.

Tabla 2: Tipos de dispositivos de protección diferencial

	Forma de la corriente residual	Funcionamiento correcto de los dispositivos de protección diferencial Tipo		
		AC	A	B
CA senoidal	aplicada súbitamente	+	+	+
	incrementada lentamente			
CC pulsante	aplicada súbitamente con o sin $\uparrow 0,006 A$		+	+
	incrementada lentamente			
CC uniforme				+

En base a la posibilidad de retardar el disparo se define una clasificación adicional:

- tipo sin retardo
- tipo S con retardo.



Interruptores diferenciales puros

Los interruptores diferenciales puros sólo están equipados con un relé diferencial y, por lo tanto, únicamente garantizan la protección contra defecto a tierra. Deben acoplarse con fusibles o interruptores magnetotérmicos para la protección contra solicitaciones térmicas y dinámicas.

Su principio de funcionamiento es el mismo que se ha descrito anteriormente.

Relé diferenciales

Los relés diferenciales, llevan a cabo la función de detección de la corriente de defecto a tierra a través de un toroide independiente, que debe instalarse de forma externa en los conductores en tensión del circuito. Si la corriente residual excede el umbral definido, el relé activa un contacto que se utiliza para dar órdenes al mecanismo de disparo de un interruptor automático.

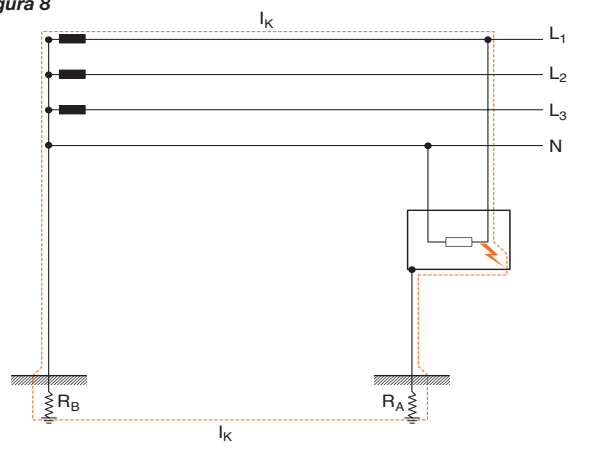
Se trata de dispositivos utilizados en plantas industriales, en que las condiciones de la instalación son especialmente restrictivas, como por ejemplo interruptores automáticos ya instalados o espacio limitado en la celda del interruptor automático.

Su principio de funcionamiento es el mismo que se ha descrito anteriormente.

5.3 Protección contra contactos indirectos en sistemas TT

Un defecto a tierra en un sistema TT afecta al circuito representado en la Figura 8.

Figura 8



La corriente de defecto circula a través del bobinado secundario del transformador, el conductor de fase, la resistencia de defecto, el conductor de protección y las resistencias del electrodo de tierra (R_A de la planta del usuario y R_B del neutro). En conformidad con la norma IEC 60364-4, los dispositivos de protección deben coor-

dinarse con el tipo de conexión a tierra para desconectar la alimentación rápidamente si la tensión de contacto alcanza valores dañinos para el organismo.

Suponiendo 50 V (25 V para ambientes particulares), el límite de la tensión de contacto en las piezas conductoras expuestas, deberá ser:

$$R_A \frac{50}{I_a} \quad \text{o} \quad R_A \frac{50}{I_{\text{on}}}$$

donde:

R_A es la resistencia del electrodo de tierra (en Ω)¹;

I_a es la corriente que provoca el funcionamiento automático del dispositivo de protección en 5 s, leída en la curva de disparo característica del dispositivo (en A); cuando el dispositivo de protección facilita protección contra sobrecorrientes, la norma CEI 64-8, párrafo 413.1.4.2 especifica que:

- # • si se trata de un dispositivo con curva de disparo a tiempo inverso, la corriente misma efectuará la desconexión en 5 s;
- si se trata de un dispositivo con curva de disparo instantánea, la corriente mínima provocará la apertura del interruptor automático;

I_{on} es la corriente nominal residual de funcionamiento del interruptor diferencial en 1 s (en A).

Por todo lo mencionado anteriormente, queda claro que el valor de resistencia R_A es considerablemente distinto al utilizar interruptores automáticos en lugar de dispositivos diferenciales, ya que el orden de magnitud de la corriente en el denominador de la relación anterior es distinto. El párrafo siguiente ilustra lo que ya se ha dicho, subrayando los distintos valores que puede adoptar R_A en relación con los dispositivos de protección utilizados.

La elección del dispositivo automático a efectos de protección contra defecto a tierra y contactos indirectos deberá efectuarse coordinando adecuadamente el tiempo de disparo con el valor R_A . En sistemas TT, pueden utilizarse los siguientes dispositivos para la protección contra contactos indirectos:

- interruptores automáticos con relés magnetotérmicos;
- interruptores automáticos con relés electrónicos;
- dispositivos de protección diferencial.

Protección contra contactos indirectos realizada por interruptores automáticos con relés magnetotérmicos.

El uso de un interruptor automático equipado con un relé magnetotérmico para la protección contra contactos indirectos en un sistema TT hace que sea bastante complicado cumplir con la resistencia R_A de la puesta a tierra.

¹ La resistencia del electrodo de tierra R_A está en serie respecto a la del conductor de protección, que es insignificante si se compara con la resistencia R_A ; por consiguiente, en la fórmula es posible tener en cuenta solamente la resistencia del electrodo de tierra de la planta del usuario.

En realidad, para estos interruptores automáticos, la corriente que provoca el disparo en 5 s o instantánea suele ser un múltiplo de la corriente nominal; por consiguiente, para verificar las disposiciones de la norma es necesario emplear electrodos de tierra con valores de resistencia por debajo de la unidad, que difícilmente son asequibles en la práctica.

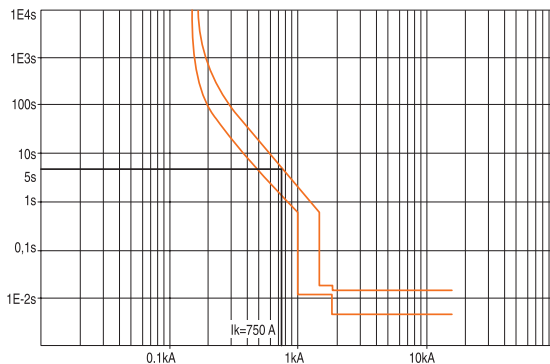
Como ejemplo, supongamos que se facilite protección empleando un interruptor automático de la serie ABB Tmax T1B160 In125.

Empezando en condiciones de frío, que constituyen el peor de los casos posibles para los relés térmicos, la curva de disparo muestra que la corriente a la que se desconecta el interruptor automático en 5 s es de unos 750 A (Figura 9). Así:

$$R_A \frac{50}{750} = 0.06 \Omega$$

Al fin de garantizar la protección necesaria, debería efectuarse una puesta a tierra con resistencia $R_A \leq 0,06 \Omega$, que es un valor difícil de obtener en la práctica.

Figura 9



Por otra parte, al utilizar el mismo aparato equipado con un relé diferencial de tipo ABB SACE RC221 con corriente residual $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$, debe obtenerse el siguiente valor de resistencia:

$$R_A \in \frac{50}{0.03} = 1666.6$$

Como se explicará más adelante, el uso de un dispositivo de protección diferencial permite efectuar una puesta a tierra con un valor de resistencia a tierra que puede obtenerse fácilmente, mientras que los interruptores automáticos se utilizarán siempre que existan valores bajos de resistencia a tierra R_A .

Protección contra contactos indirectos por interruptores automáticos con relés electrónicos

Para los relés electrónicos, pueden seguirse las indicaciones facilitadas para los casos anteriores, así como en lo referente a las funciones L (protección contra sobrecarga), S (protección contra cortocircuito selectivo) e I (protección contra cortocircuito con disparo instantáneo). Los relés electrónicos permiten efectuar un ajuste preciso, tanto en términos de tiempos como de umbrales de corriente, pero, como en el caso de los interruptores

automáticos con relés magnetotérmicos, sólo pueden utilizarse cuando es posible implementar una puesta a tierra con un valor de resistencia muy bajo, con frecuencia inferior a la unidad.

Debe prestarse una atención especial a la función de protección G (protección contra defecto a tierra con retardo regulable) disponible para los relés electrónicos más avanzados. Hay que recordar que esta protección puede evaluar la suma vectorial de las corrientes que circulan por los conductores en tensión (las tres fases y el neutro). En un circuito en buenas condiciones esta suma equivale a cero pero, en presencia de un defecto a tierra, una parte de la corriente de defecto volverá a la fuente de alimentación a través del conductor de protección y tierra, sin afectar a los conductores de fase. Si la corriente es superior al valor ajustado para la función G, el interruptor automático disparará en el tiempo ajustado en el relé electrónico.

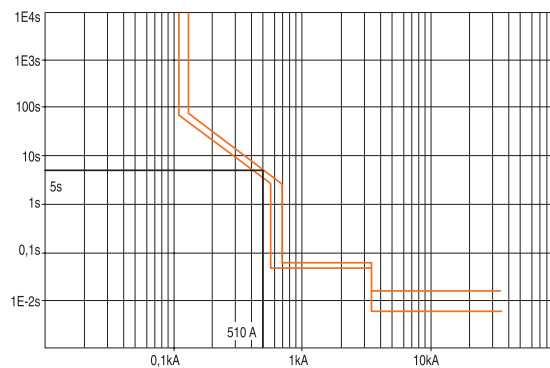
Al utilizar la función de protección G, la relación que debe cumplirse para implementar la protección contra defectos a tierra es:

$$R_A \in \frac{50}{I_4}$$

donde I_4 es el valor en amperios del umbral de disparo de la función de protección G. Puesto que este valor puede ajustarse entre 0,2 y 1 I_n (según el tipo de relé), es fácil comprender cómo, al utilizar la función G, se obtendrá un valor R_A mayor que en el caso del uso exclusivo de las funciones contra sobrecorrientes (L, S e I).

Por ejemplo, teniendo en cuenta la habilitación de la protección contra contacto indirecto G en el interruptor automático de tipo Tmax T4N250 In 100 A equipado con relé electrónico de tipo PR222DS/P LSIG (Figura 10), resulta que las protecciones de fase no pueden garantizar una coordinación adecuada con la puesta a tierra, ya que la corriente de disparo en 5 s con los ajustes de la Figura 9 es de 510 A, y esto significaría una resistencia de tierra R_A máxima de 0,1 Ω .

Figura 10

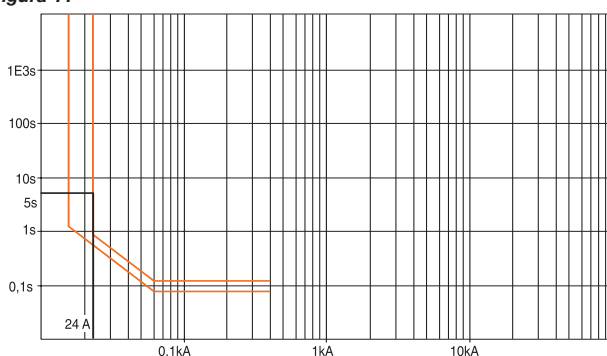


T4N 250 PR222DS/P-LSIG In100

L:		$I_1 = 1X I_n$	$t_1 = 3 \text{ s}$
S:	t=const	$I_2 = 6,4X I_n$	$t_2 = 0,05 \text{ s}$
I:	OFF		

Al utilizar la función de protección G ajustada en $0,2 \times I_n$, el umbral de corriente más allá del cual el interruptor automático se dispara en 5 s es de 24 A (valor que incluye la tolerancia mayor); así, es suficiente una resistencia máxima de tierra R_A equivalente a $2,1 \Omega$.

Figura 11



T4N 250 PR222DS/P-LSIG In100

G: $I^2t=const$ $I_d=0,2I_n$ $t_d=0,1 s$

En las aplicaciones para las cuales es imposible realizar una puesta a tierra con un valor R_A bajo, es necesario adoptar otras medidas para la protección contra contactos indirectos (véase el Anexo C); en estos casos la función G no garantiza la protección contra contactos indirectos, aunque garantiza una protección parcial contra defectos a tierra, con el fin de evitar arcos localizados que podrían provocar sobrecalentamiento y riesgos de incendio.

Protección contra contactos indirectos realizada por dispositivos de protección diferencial.

El principio de funcionamiento del dispositivo de protección diferencial consiste básicamente en detectar la corriente de defecto a tierra a través de un transformador toroidal que incluye todos los conductores de fase y el neutro, si está distribuido. En ausencia de un defecto a tierra, la suma vectorial de las corrientes I_Δ equivale a cero; en caso de un defecto a tierra, si el valor de I_Δ excede el umbral de disparo, llamado $I_{\Delta n}$, el circuito en el secundario del toroide envía una señal a un dispositivo de apertura dedicado y provoca el disparo del interruptor automático.

Además de la coordinación con la puesta a tierra, para seleccionar la corriente nominal de funcionamiento residual $I_{\Delta n}$, también debe tenerse en cuenta la corriente de fuga a tierra total de la instalación en condiciones normales de funcionamiento y, para evitar disparos no deseados, esta corriente no debe exceder $0,5 \times I_{\Delta n}$.

En cumplimiento con la relación para la protección contra contacto indirecto, el uso de interruptores diferenciales permite obtener un valor R_A considerablemente más elevado del obtenido utilizando interruptores automáticos.

La Tabla 3 muestra los valores máximos de la resistencia de tierra que pueden ser aceptables con corrientes residuales (I_{cn} en relación con la tensión de contacto máxima de 50 V).

I_{cn} [A]	R_A [K]
0.01	5000
0.03	1666
0.1	500
0.3	166
0.5	100
3	16
10	5
30	1.6

En una planta eléctrica con una puesta común a tierra y con cargas protegidas por dispositivos con distintas corrientes de disparo, debe tenerse en cuenta el peor caso posible en relación con el dispositivo con la mayor corriente de disparo para coordinar todas las cargas con la puesta a tierra. Esto significa que, en caso de derivaciones protegidas parcialmente a través de dispositivos contra sobrecarga y parcialmente a través de dispositivos de protección diferencial, dado que la resistencia R_A de la puesta a tierra se calculará a partir de la corriente del dispositivo contra sobrecarga que garantiza el disparo de mayor valor nominal entre los dos tipos de dispositivo, todas las ventajas derivadas del uso de relés de protección diferencial se anulan.

De lo anterior se desprende que, en un sistema TT, es aconsejable proteger todas las cargas a través de interruptores diferenciales combinados con la puesta a tierra, para gozar de la ventaja de una interrupción adecuada cuando se produzca el defecto y de una puesta a tierra fácil de implementar.

Conclusiones

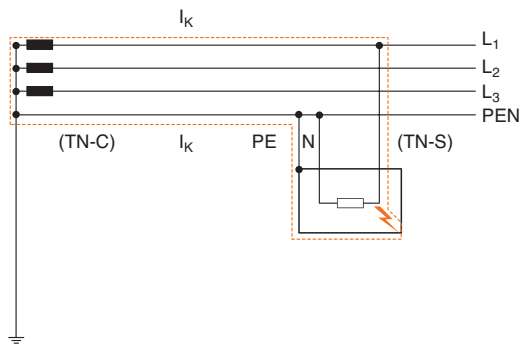
En resumen, en sistemas TT las normas permiten el uso de:

- μ interruptores automáticos especificando que:
 - en dispositivos con características de disparo a tiempo inverso, la corriente de disparo I_a debe ser la corriente que provoca el disparo en 5 s;
 - en dispositivos con características de disparo instantáneo la intensidad de disparo I_a debe ser la corriente mínima que provoca el disparo instantáneo;
- # μ dispositivos de protección diferencial, especificando que la corriente de disparo $I_{\Delta n}$ es la corriente nominal de funcionamiento residual del interruptor diferencial con un retardo máximo permisible de un segundo.

5.4 Protección contra contactos indirectos en sistemas TN

Un defecto a tierra en un sistema TN afecta al circuito representado en la Figura 12.

Figura 12



Como se muestra en la figura, el bucle de defecto no afecta a la puesta a tierra y, básicamente, se forma a través de la conexión en serie de los conductores de fase con el conductor de protección (PE o PEN).

Para proporcionar protección para sistemas TN con disparo automático del circuito, en conformidad con la norma IEC 60364-4, deberá cumplirse la condición siguiente:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a} \leq \frac{U_0}{I_{\Delta n}}$$

donde:

Z_s es la impedancia del bucle de defecto que comprende la fuente, el conductor en tensión hasta el punto del defecto y el conductor de protección entre el punto del defecto y la fuente (en ohmios);

U_0 es la tensión nominal eficaz CA a tierra (en voltios)

I_a es la corriente que provoca el funcionamiento automático del dispositivo de protección en el tiempo indicado en la Tabla 4 como una función de la tensión nominal U_0 o, para circuitos de distribución (y en otras condiciones indicadas en las normas), dentro de un tiempo convencional no superior a 5 s; si se facilita protección a través de un interruptor diferencial, I_a es la corriente nominal de funcionamiento residual $I_{\Delta n}$.

Tabla 4

U_0 [V]	Tiempo de disparo [s]
120	0.8
230	0.4
400	0.2
>400	0.1

En la práctica, la norma divide los circuitos en dos tipos:

- circuito terminal: se trata de un circuito que suele alimentar equipos;
- circuito de distribución: se trata de un circuito que alimenta un cuadro de distribución al que están conectados otros circuitos finales.

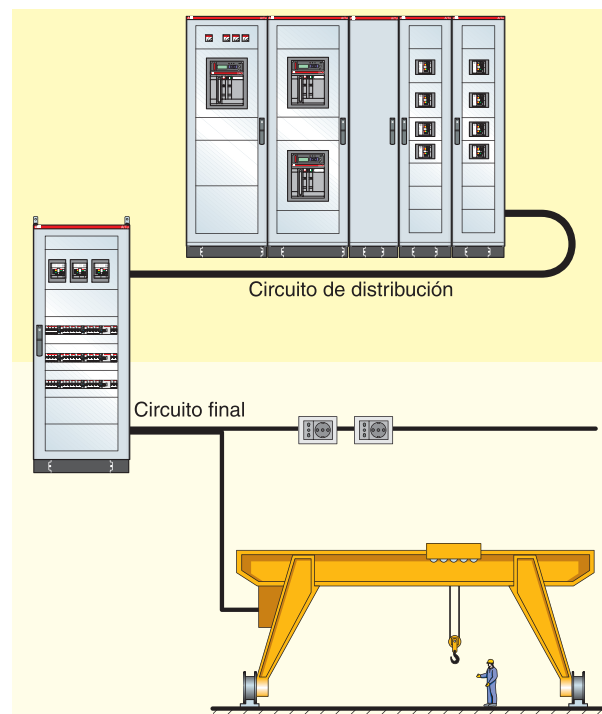
Así, los circuitos finales pueden alimentar distintas cargas, como:

- un equipo utilizado fijo (p. ej. un extractor),
- un equipo utilizado portátil o manual;
- un enchufe.

En la norma, la probabilidad de que se produzca un defecto a tierra en el circuito final que alimenta un equipo portátil o un enchufe se considera superior, ya que las tensiones mecánicas a las que se someten son mayores; de la misma manera, es más probable que una persona pueda entrar en contacto con la pieza conductora expuesta de un equipo portátil o manual que con la pieza conductora expuesta de un circuito de distribución (p. ej. el bastidor metálico de un cuadro de distribución). Éste es el motivo de las disposiciones de la norma: cuanto más alta es la tensión entre fase y tierra del sistema en circuitos finales, menor es el tiempo de disparo.

A partir de las consideraciones anteriores, la norma contempla lo siguiente:

- los tiempos de disparo de la Tabla 4 para circuitos finales que alimentan equipo manual o portátil y enchufes;
- tiempos de disparo no superiores a 5 s para circuitos finales que alimentan equipo eléctrico estacionario y para circuitos de distribución;



Como ya se ha indicado, la norma también admite tiempos de disparo no superiores a 5 s para circuitos finales que alimenten equipos estacionarios. No obstante, si en el mismo cuadro de distribución hay otros circuitos finales que alimentan enchufes o equipo portátil, es posible que, debido a un defecto del equipo estacionario, las piezas conductoras expuestas del equipo portátil o del equipo alimentado a través de enchufes pasen a estar en tensión.

Esta tensión se eliminaría en 5 s, mientras que la norma requeriría el disparo en 0,4 s (para U_0 equivalente a 230 V). Para mantener un tiempo de disparo de 5 s en circuitos finales que alimenten equipos estacionarios, en presencia de otros circuitos finales que alimenten equipos portátiles o enchufes, es necesario proporcionar conexión equipotencial entre el cuadro de distribución y las piezas conductoras externas; en la norma IEC 60364-4-41 413.1.3.5 se facilita información adicional.

La elección del dispositivo automático a efectos de protección contra defectos entre los conductores PE - fase y contra contactos indirectos deberá efectuarse coordinando adecuadamente los tiempos de disparo con la impedancia del bucle de defecto.

En sistemas TN, un defecto a tierra total en la parte de BT suele generar una corriente similar a la de un cortocircuito, y la corriente de defecto a tierra que circula a través del conductor (o conductores) de fase y el de protección no afecta en absoluto a la puesta a tierra.

La relación puede expresarse como:

$$I_a \in \frac{U_0}{Z_s} = I_{kLPE}$$

donde I_{kLPE} es la corriente de defecto entre los conductores PE - fase. Por lo tanto, es posible indicar que la protección contra contactos indirectos se verifica cuando la corriente de disparo I_a del dispositivo de protección (en 0,4 s, para $U_0=230$ V, o 5 s en condiciones particulares) es inferior a la corriente de defecto entre los conductores PE/de fase (I_{kLPE}) en la pieza conductora expuesta a proteger.

En sistemas TN, pueden utilizarse los siguientes dispositivos para la protección contra contactos indirectos:

- # • interruptores automáticos con relés magnetotérmicos;
- interruptores automáticos con relés electrónicos;
- dispositivos de protección diferencial (sólo TN-S).

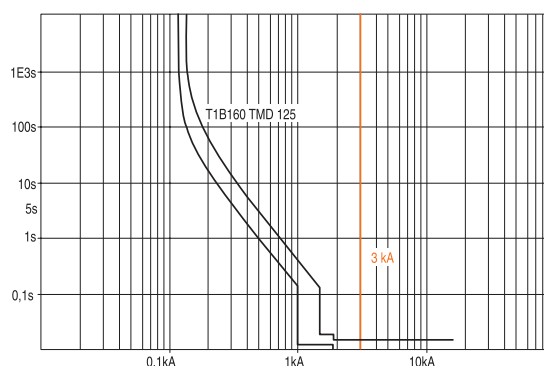
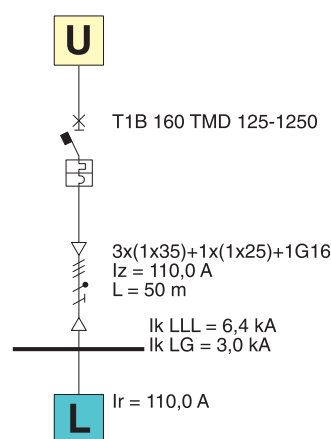
Protección contra contactos indirectos realizada por relés magnetotérmicos

Como se ha explicado anteriormente, en sistemas de distribución TN las corrientes de defecto a tierra resultan ser bastante elevadas debido al bajo valor de impedancia del bucle de defecto; por consiguiente, en la mayoría

de los casos, la protección contra contactos indirectos puede garantizarse a través de interruptores automáticos, siempre que la corriente que provoca el disparo en los tiempos especificados sea inferior a la corriente de defecto.

El siguiente ejemplo (Figura 13) tiene el objetivo de verificar la protección contra contactos indirectos en un circuito final que alimenta un equipo portátil en un sistema TN-S a 400 V. A tales efectos, bastará con verificar que la corriente de defecto de los conductores PE/de fase respecto a la pieza conductora expuesta en cuestión es superior a la corriente que provoca la disparo en 0,4 s.

Figura 13



En el ejemplo que nos ocupa, la corriente que provoca el funcionamiento del automático en un tiempo de disparo no superior a 0,4 s es inferior a la corriente de defecto de los conductores PE/de fase, que es de 3 kA.

Protección contra contactos indirectos realizada por relés electrónicos.

Para los relés electrónicos, pueden seguirse las mismas indicaciones que en el caso anterior para las funciones de protección L (contra sobrecarga), S (contra cortocircuito retardada) e I (contra cortocircuito instantánea). Por supuesto, los relés electrónicos permiten efectuar unos ajustes precisos tanto en términos de tiempos de disparo como de umbrales de corriente.

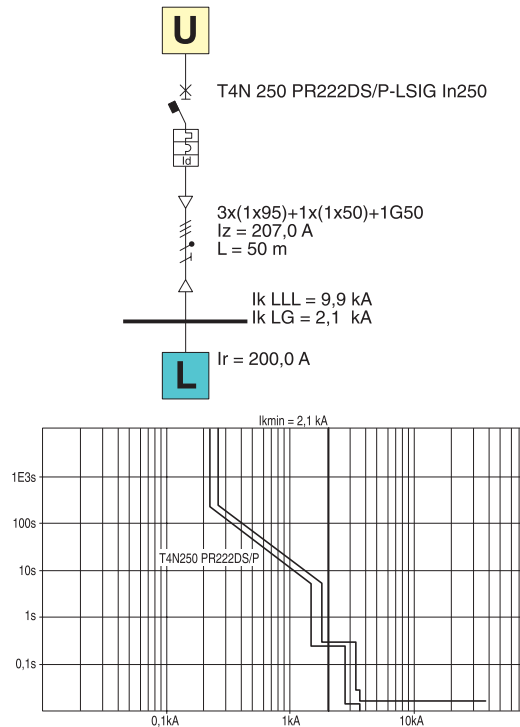
La función G contra defectos a tierra mejora las condicio-

nes de protección, ya que permite hacer frente a todas las situaciones en que la impedancia del bucle de defecto toma valores tan reducidos que las protecciones de fase no pueden disparar en los tiempos contemplados por la norma, o bien es necesario ajustar las funciones S e I a valores altos para la selectividad. Al utilizar la función G, la condición a cumplir para obtener protección contra contactos indirectos se convierte en:

$$Z_s \leq \frac{0,418 U_0}{I_{\Delta n}}$$

donde $I_{\Delta n}$ es el valor en amperios del ajuste de la función de protección contra defecto a tierra. Puesto que este valor puede ajustarse entre 0,2 y 1 In (según el tipo de relé), es fácil comprender cómo, al utilizar la función G, se puede proporcionar protección contra contactos indirectos para valores de impedancia del bucle de defecto mayores (p. ej. en caso de cables más largos). El ejemplo siguiente (Figura 14) muestra los ajustes posibles de un interruptor automático Tmax T4N250 In 250 A equipado con un relé electrónico de tipo PR222DS/P LSI.

Figura 14



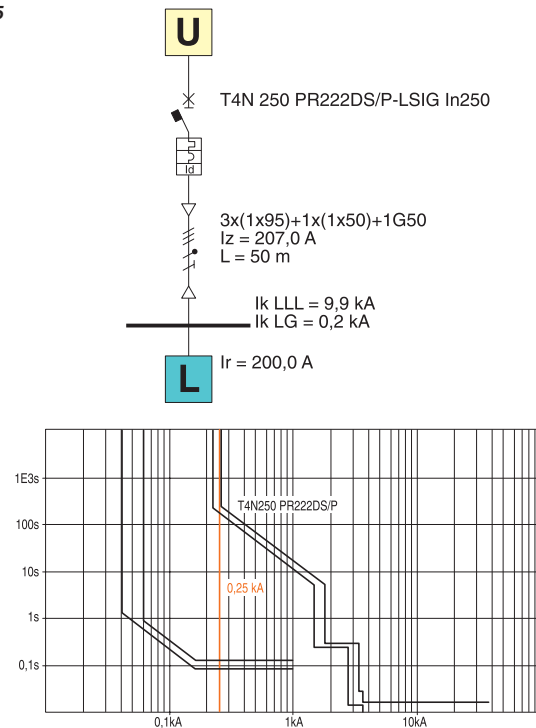
T4N 250 PR222DS/P-LSI In 250 A

L:	$I_1=0,8I_n$	$t_1=9\text{ s}$
S: t=const	$I_2=6,4I_n$	$t_2=0,25\text{ s}$
I:	$I_3=12I_n$	

En particular, el umbral I_2 de la función S se ha ajustado para eliminar el defecto en menos de 0,25 s. No obstante, este valor representa solamente uno de los posibles ajustes, puesto que la función I también podría utilizarse para la protección contra contactos indirectos.

Si, en la misma instalación, la corriente de defecto entre fase y PE hubiera sido muy baja, por ejemplo equivalente a 0,25 kA, habría sido imposible utilizar las protecciones de fase para la protección contra contactos indirectos, porque la corriente mínima de la función S que provoca el disparo en 0,4 s es $I_2=1,2 \times 250$ más la tolerancia, es decir, 330 A (valor inferior a la corriente $I_{k,PE}$). Además, unos ajustes demasiado reducidos para la protección contra defectos entre fase y PE podrían afectar a la selectividad de las protecciones contra sobrecarga y cortocircuito. Por lo tanto, en este caso la función G se utilizará con los ajustes mostrados en la Figura 14:

Figura 15



T4N 250 PR222DS/P-LSI In 250 A

L:	$I_1=0,8I_n$	$t_1=9\text{ s}$
S: t=const	$I_2=6,4I_n$	$t_2=0,25\text{ s}$
I:	$I_3=12I_n$	
G:	$I_4=0,2I_n$	$t_4=0,1\text{ s}$

En sistemas TN-S, la función G permite solucionar todas las situaciones en que las protecciones de fase no pueden aportar la protección necesaria.

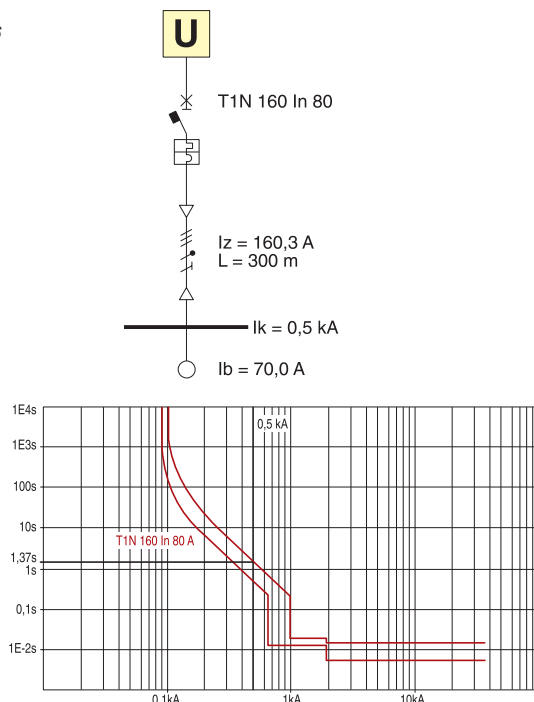
Hay que tener en cuenta que en sistemas TN-C es imposible utilizar la función G en una línea que alimenta una carga trifásica más neutro. De hecho, el relé basado en microprocesador no sería capaz de detectar la corriente de defecto a tierra, ya que, en tales condiciones, la suma de las corrientes en los conductores de fase y en el neutro sería siempre cero, porque la corriente de defecto pertenece al conductor neutro, que también

es el conductor de protección PEN (debe consultarse el párrafo siguiente para obtener una explicación más detallada).

Protección contra contactos indirectos realizada por dispositivos de protección diferencial.

El uso de interruptores diferenciales mejora todavía más las condiciones de protección, en particular cuando no hay un defecto total, o en caso de un defecto al final de una línea muy extensa en la cual una impedancia considerable limita la corriente de cortocircuito; ello puede persistir durante períodos lo bastante prolongados como para incrementar la temperatura y provocar incendios. Para explicar todo lo anterior, la Figura 16 muestra un ejemplo de un circuito final alimentado por un cable de 330 m de longitud y protegido por un interruptor automático magnetotérmico de tipo Tmax T1N160 In 80 A. Debido a la alta impedancia del cable, el valor de la corriente del defecto entre fase y PE equivale a 0,5 kA. Con este valor, el interruptor automático se desconecta en aproximadamente 1,4 s, lo que no cumple los tiempos de disparo requeridos por la norma. En este caso, el interruptor diferencial permite la detección de la corriente de defecto y el disparo en tiempos cortos, en cumplimiento de los requisitos de la norma.

Figura 16



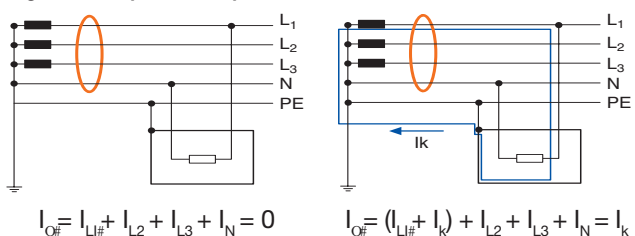
Además, los interruptores diferenciales no pueden utilizarse en sistemas TN-C, ya que las funciones de protección y el neutro los facilita un único conductor PEN que evita el funcionamiento de estos dispositivos.

Para comprender todo lo anterior, es necesario recordar el principio de funcionamiento de un interruptor diferencial, que detecta la corriente de defecto a tierra a través

de un transformador toroidal que incluye todos los conductores en tensión y el neutro, si está distribuido.

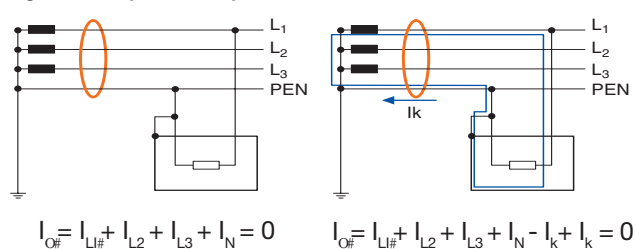
En un sistema TN-S, la corriente de defecto a tierra vuelve a través del conductor de protección PEN sin afectar al toroide (Figura 17); en este caso, la suma vectorial de las corrientes es distinta de cero y, si es superior al umbral ajustado, puede provocar el funcionamiento del dispositivo de protección diferencial.

Figura 17: Dispositivo de protección diferencial en sistemas TN-S



En un sistema TN-C, la corriente de defecto a tierra vuelve a través del conductor de protección PEN, con lo que vuelve a circular por el toroide¹ (Figura 18); en este caso, la suma vectorial de las corrientes sigue siendo cero, y por lo tanto el dispositivo de protección diferencial no podrá desconectarse.

Figura 18: Dispositivo de protección diferencial en sistemas TN-C



Por otra parte, en el mismo sistema, si el conductor neutro no atravesara el toroide, la presencia de una carga monofásica (carga desequilibrada) sería suficiente para provocar el disparo no deseado del dispositivo de protección diferencial, aunque el circuito no estuviera en condiciones de defecto.

Conclusiones

En resumen, en sistemas TN las normas permiten el uso de:

- interruptores automáticos, capaces de desconectar el circuito en tiempos dependientes de la tensión nominal o no superiores a 5 s en condiciones especificadas
- dispositivos de protección diferencial.

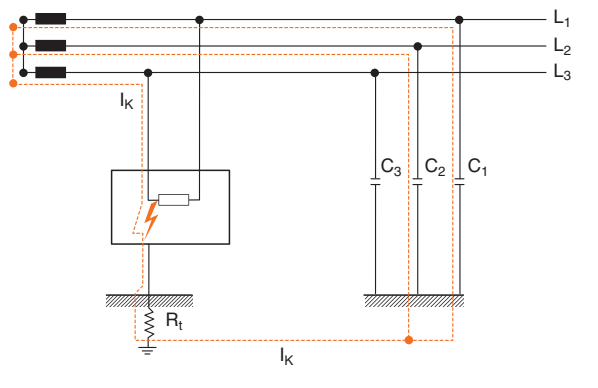
En sistemas TN-C, la desconexión del neutro y el uso de dispositivos de protección diferencial o de dispositivos con un principio de funcionamiento similar (función G contra defectos a tierra) no son posibles.

¹ De hecho, el toroide incluye todos los conductores en tensión (fase y neutro).

5.5 Protección contra contactos indirectos en sistemas IT

Como se muestra en la Figura 19, la corriente de defecto a tierra en un sistema IT circula por las capacitancias parásitas a tierra del conductor de línea hacia la fuente de alimentación. Por este motivo, el primer defecto a tierra se caracterizará por un valor tan bajo que evite el disparo de la protección; las tensiones de contacto derivadas serán muy bajas.

Figura 19



En conformidad con la norma IEC 60364-4, la desconexión automática del circuito en caso de un único defecto a tierra¹ no es necesaria, siempre que se cumpla la condición siguiente:

$$R_t \leq \frac{U_L}{I_d}$$

donde:

R_t es la resistencia, en Ω , del electrodo de tierra de las piezas conductoras expuestas;

I_d es la corriente de defecto, en A, entre un conductor de fase y una pieza conductora expuesta

U_L es de 50 V para instalaciones ordinarias (25 V para instalaciones específicas).

Si se cumple esta condición, después del primer defecto, la tensión de contacto en la pieza conductora expuesta es inferior a 50V y tolerable por el organismo durante un tiempo indefinido, como se muestra en la curva de seguridad (Figura 2).

En instalaciones con sistema IT, se facilitará un dispositivo de monitorización del aislamiento para indicar la presencia de una anomalía tras ocurrir un primer defecto. Un dispositivo de monitorización de aislamiento que cumple la norma IEC 61557-8 es un dispositivo que monitoriza constantemente el aislamiento de una instalación eléctrica. Tiene el objetivo de indicar cualquier reducción significativa del nivel de aislamiento de una instalación para determinar la causa de esta reducción antes de que

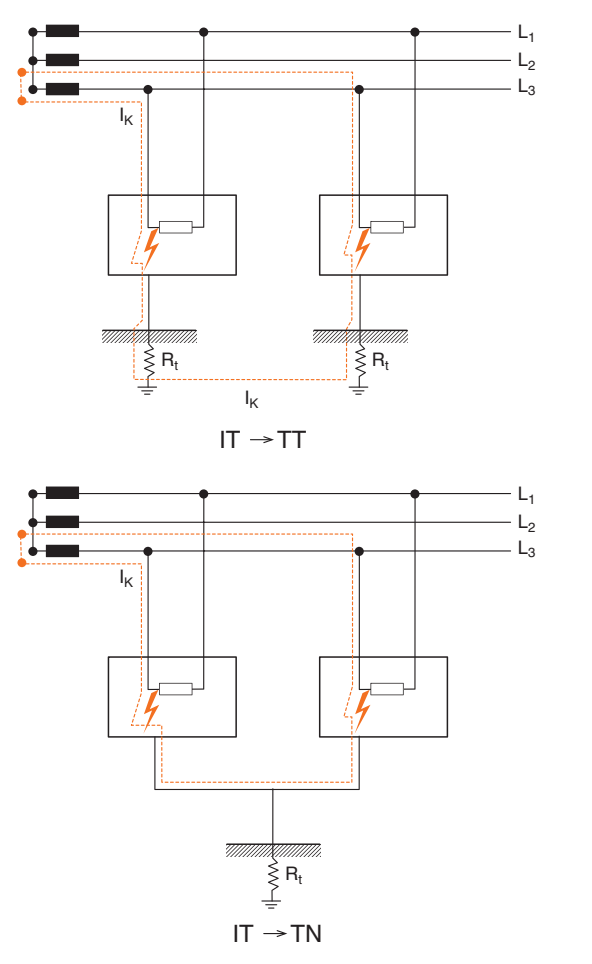
¹ En la norma, esto se denomina primer defecto a tierra; la aparición de dos defectos simultáneos en dos fases distintas se denomina defecto a tierra doble.

se produzca un segundo defecto, con lo que se evita el disparo de la fuente de alimentación.

La aparición de un primer defecto a tierra modifica el sistema de distribución limitando las ventajas de una red aislada de tierra. En particular, pueden producirse dos situaciones en caso de un primer defecto a tierra (Figura 20):

1. cuando las piezas conductoras expuestas del equipo están conectadas a tierra individualmente, el sistema IT se convierte en un sistema TT;
2. cuando las piezas conductoras expuestas del equipo están interconectadas mediante un conductor protegido conectado a tierra colectivamente, el sistema IT se convierte en un sistema TN.

Figura 20



Las normas contemplan que, en caso de un segundo defecto, la alimentación se desconectará de acuerdo a las siguientes indicaciones:

- a) cuando las piezas conductoras expuestas están conectadas a tierra en grupos o individualmente, las condiciones para la protección son las indicadas para sistemas TT.

b) cuando las piezas conductoras expuestas están interconectadas con un conductor de protección colectivamente, se aplican las condiciones de un sistema TN; en particular, deben cumplirse las condiciones siguientes:

cuando el neutro no está distribuido

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

cuando el neutro está distribuido

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

donde:

U_0 es la tensión nominal entre fase y neutro;

U es la tensión nominal entre fases;

Z_s es la impedancia del bucle de defecto que comprende el conductor de fase y el conductor de protección del circuito;

Z'_s es la impedancia del bucle de defecto que comprende el conductor neutro y el conductor de protección del circuito;

I_a es la corriente de funcionamiento del dispositivo de protección en los tiempos de disparo especificados en la Tabla 5 o en 5 s, según el tipo de circuito (se aplican las disposiciones para sistemas TN especificadas en el Capítulo 5.4).

Tabla 5

Tensión nominal de la instalación U_0/U [V]	tiempo de disparo [s]	
	neutro no distribuido	neutro distribuido
120/240	0.8	5
230/400	0.4	0.8
400/690	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

La norma sugiere no distribuir el conductor de neutro en sistemas IT. Uno de los motivos es la dificultad real de cumplir la condición descrita para la impedancia del bucle de defecto doble Z'_s . De hecho, en presencia de un conductor de neutro distribuido, la impedancia debe ser un 58% menor que la impedancia Z_s , que se verifica en caso de un defecto doble entre las fases; de esta manera, se hace evidente que existe una mayor dificultad para la coordinación con el dispositivo automático que debe disparar para garantizar la protección contra contactos indirectos.

Además, y sobre todo en instalaciones industriales bastante complejas, la presencia del neutro distribuido puede implicar el riesgo de una conexión accidental en cualquier punto a tierra, lo que elimina las ventajas ofrecidas por los sistemas IT.

La norma IEC 60364-4 indica que, si no es posible cumplir los requisitos del punto b) al utilizar dispositivos de protección contra sobrecorriente, la protección de cada carga alimentada debe proporcionarse mediante un interruptor diferencial; por lo tanto, a través de tales interruptores, también es posible mejorar las condiciones de protección en sistemas IT, siempre que estos sistemas de distribución se utilicen en plantas específicas para las cuales la continuidad del suministro sea un requisito fundamental, o en instalaciones en que la interrupción del servicio pueda provocar situaciones peligrosas para las personas o daños económicos significativos. En tales casos, la planta estará equipada con un dispositivo que monitorice constantemente el aislamiento, y que indique con señales auditivas o visuales cualquier posible defecto a tierra en la red o cualquier defecto del equipo alimentado.

Conclusiones

En resumen, en sistemas IT las normas:

- no requieren la desconexión automática de la alimentación del circuito cuando se produce un defecto;
- dictan la desconexión automática de la alimentación del circuito si se produce un segundo defecto cuando el primero no se ha eliminado, aplicando disposiciones análogas a los sistemas TT o TN, en función del tipo de conexión a tierra de las piezas conductoras expuestas;
- requieren monitorización del aislamiento a tierra de la red, de modo que se indique la aparición de cualquier defecto.

6 Soluciones ABB para la protección contra defecto a tierra

6.1 Generalidades

Como ya se ha visto en los capítulos anteriores, en la mayoría de los sistemas eléctricos se habilita una protección segura y fiable combinando las funciones de protección contra sobreintensidad y contra defectos a tierra, sumadas a una puesta a tierra eficaz.

Aparte de la protección contra contactos indirectos, esta opción permite obtener una protección fiable y adecuada contra defectos a tierra de valor reducido en que la prevención de peligros de incendio es completamente necesaria.

La elección adecuada de los dispositivos de protección también debe permitir la selectividad entre las protecciones contra defectos a tierra, y contra sobrecorrientes.

Para cumplir los requisitos de una protección adecuada contra defectos a tierra, ABB ha diseñado las siguientes categorías de producto:

- Interruptores automáticos de carril DIN (Tabla 1)

- Interruptores magnetotérmicos diferenciales (interruptores diferenciales con protección integrada contra sobreintensidades) de la serie DS9 con corriente nominal desde 6 A hasta 40 A.
- Bloques diferenciales de tipo DDA 200 para combinar con los interruptores automáticos magnetotérmicos de la serie S200 con corriente nominal de 0,5 A a 63 A;
- Bloques diferenciales de tipo DDA 60, DDA 70, DDA 90 para combinar con los interruptores automáticos magnetotérmicos de la serie S290 con corriente nominal de 80 A a 125 A;
- Bloques diferenciales de tipo DDA 560, DDA 570, DDA 590 para combinar con los interruptores automáticos magnetotérmicos de la serie S800 con corriente nominal de 6 A a 63 A;
- Interruptores diferenciales puros de tipo F200, con corriente nominal de 16 A hasta 125 A.

Tabla 1: Interruptores automáticos magnetotérmicos System pro M con protección diferencial

In [A]	DDA 200	DDA 60	DDA 70	DDA 90	DDA 800	DDA 570	DDA 590
S200 0.5P63	•	-	-	-	-	-	-
S290 80P125	-	•	•	•	-	-	-
S800 10P125	-	-	-	-	•	•	•

- Interruptores automáticos en caja moldeada (Tabla 2)

- Bloque diferencial RC221, a acoplar con los interruptores automáticos Tmax T1, T2, T3 con corrientes nominales de 16 A a 250 A;
- Bloque diferencial RC222, a acoplar con los interruptores automáticos Tmax T1, T2, T3, T4, T5 con corrientes nominales de 16 A a 400 A;
- Bloque diferencial RC223, a acoplar con el interruptor automático Tmax T4 con corrientes nominales de hasta 250 A;

- Relé electrónico con función G PR222DS/P, PR223DS/P LSIG para interruptores automáticos Tmax T4, T5, T6 con corrientes nominales de 100 A a 1000 A;
- Relé electrónico con función G de tipo PR331, PR332 LSIG para el interruptor automático Tmax T7 con corrientes nominales de 800 A a 1600 A;
- Relés electrónicos PR332 y con protección diferencial integrada para el interruptor automático de tipo Tmax T7 con corrientes nominales de 800 A a 1600 A.

Tabla 2: Interruptores automáticos en caja moldeada de tipo Tmax con protección diferencial y contra defectos a tierra

In [A]	PR331						
	RC221	RC222	RC223	LSIG	LSIG	LSIG	LSIRc
T1 16 ÷ 160	•	•	-	-	-	-	-
T2 10 ÷ 160	•	•	-	-	-	-	-
T3 63 ÷ 250	•	•	-	-	-	-	-
T4 100 ÷ 320	-	•	• ¹	•	•	-	-
T5 320 ÷ 630	-	•	-	•	•	-	-
T6 630 ÷ 1000	-	-	-	•	•	-	-
T7 800 ÷ 1600	-	-	-	-	-	•	•

¹ Sólo para T4 250

- Interruptores automáticos de bastidor abierto (Tabla 3)

- Relé electrónico PR331, PR332, PR333 LSIG para el interruptor automático Emax X1 con corrientes nominales de 630 A a 1600 A;
- Interruptores automáticos de bastidor abierto equipados con relé electrónico PR121, PR122, PR123 LSIG para interruptores automáticos Emax E1 a E6 con corrientes nominales de 400 A a 6300 A;
- Relés electrónicos PR332 y PR333 con protección diferencial integrada para el interruptor automático Emax X1 con corrientes nominales de 630 A a 1600 A;
- Relés electrónicos PR122 y PR123 con protección diferencial Rc integrada para los interruptores automáticos Emax E1 a E3 con corrientes nominales de 400 A a 3200 A;

Tabla 3: Interruptores automáticos de bastidor abierto de tipo Emax con protección diferencial Rc y contra defectos a tierra G

In [A]	PR331		PR121	
	PR332	PR333	PR122	PR123
	LSIG	LSIRc	LSIG	LSIRc
X1 630 ÷ 1600	•	•	-	-
E1 400 ÷ 1600	-	-	•	•
E2 400 ÷ 2000	-	-	•	•
E3 400 ÷ 3200	-	-	•	•
E4 1250 ÷ 4000	-	-	•	-
E6 3200 ÷ 6300	-	-	•	-

- *Relés diferenciales con transformador externo:*
 - RCQ: relé diferencial electrónico para frente cuadro;
 - RD2: relé diferencial para fijación en guía DIN.
 - RD3: relé diferencial para fijación en guía DIN, para protección diferencial industrial.

6.2 Dispositivos de protección diferencial

6.2.1 Interruptores diferenciales magnetotérmicos de carril DIN System pro M y System pro M Compact

Familia de interruptores combinados DS9..

La gama de interruptores diferenciales magnetotérmicos de la serie DS 9.., de ABB unipolares con neutro, satisface el requisito de interruptores automáticos capaces de proporcionar una protección destinada a las distintas tipologías de circuitos monofásicos de la ingeniería eléctrica moderna.

Todos los interruptores automáticos se caracterizan por una única maneta de accionamiento roja/verde, y un indicador de disparo por diferencial en la parte frontal del aparato.

La gama DS 9.. cumple con todos los requisitos de protección de circuitos monofásicos, ofreciendo en dos módulos la oportunidad de escoger entre tres poderes de corte diferentes, cinco valores de disparo por corriente residual distintos y, para cada uno de ellos, la posibilidad de escoger entre protección diferencial de tipo A o tipo AC.

La gama DS 9.. consta de tres series:

- DS 941 con poder de corte de 4,5 kA
- DS 951 con poder de corte de 6 kA
- DS 971 con poder de corte de 10 kA.

La protección contra sobrecargas y cortocircuitos se realiza mediante el mismo componente magnetotérmico que en la gama de interruptores automáticos magnetotérmicos S9...; para más información, véase el catálogo técnico.

Para todas las familias, están disponibles todos los valores de sensibilidad requeridos para estos tipos de interruptores automáticos: 30 mA - 100 mA - 300 mA - 500 mA - 1000 mA. Además, la sensibilidad de 10 mA está disponible para la serie DS 941.

La posibilidad de elegir entre la protección diferencial de tipo A o tipo AC en cada familia permite habilitar una protección dedicada contra contactos indirectos, acorde a la carga conectada a la línea protegida.

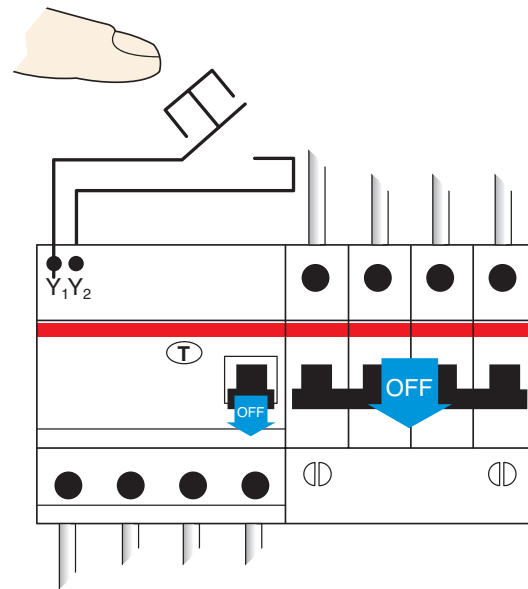
Interruptores magnetotérmicos diferenciales de la serie DS9... (interruptores combinados)

		DS941	DS951	DS971
Norma de referencia		IEC/EN 61009, IEC/EN 60947-2		
Tipo (forma de onda de la corriente de fuga a tierra detectada)		AC, A		
Características de disparo		instantáneo		
Corriente nominal	I_n [A]	$6 \leq I_n \leq 40$	$6 \leq I_n \leq 40$	$6 \leq I_n \leq 32$
Polos		1P+N		
Tensión nominal	U_e [V]	230		
Tensión de aislamiento	U_i [V]	500		
Frecuencia nominal	[Hz]	50...60		
Poder de corte nominal IEC/EN 61009	I_{cn} [A]	4500	6000	10000
Poder de corte nominal IEC/EN 60947-2 bipolar - 230 V	I_{cu} [kA]	6	10	10
	I_{cs} [kA]	4.5	6	10
Características de relé magnetotérmico	B: $3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$	•		
	C: $5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	•		
Sensibilidad nominal $I_{\Delta n}$ [A]		0.01-0.03-0.1-0.3-0.5-1	0.03-0.1-0.3-0.5-1	0.03-0.1-0.3-0.5-1

Interruptores diferenciales magnetotérmicos de la serie DS200

Los interruptores diferenciales magnetotérmicos de la familia DS200, DS200 M y DS200 P, en las versiones de dos, tres y cuatro polos, ofrecen la función de protección contra contactos indirectos, así como las funciones magnetotérmicas típicas de los interruptores automáticos (disparo por sobrecarga o cortocircuito). La familia de interruptores diferenciales magnetotérmicos deriva de la familia correspondiente de interruptores automáticos S200 Compact, y conserva sus características en términos de poder de corte, curva de disparo y corriente nominal. En particular, la familia DS200 deriva de un automático de la familia S200, la familia DS200 M de un automático de la familia S200M y la familia DS200 P de un automático de la familia S200 P.

Los relés diferenciales de las familias DS200 y DS200 M son de tipo AC y A, mientras que los de las familias DS200 L y DS200 P son de clase A, respectivamente. En las versiones de 50 y 63 A hay dos terminales adicionales Y1 Y2 para el disparo remoto del relé diferencial a través de un botón externo, como muestra la imagen siguiente.



El rango de tensión de funcionamiento para los interruptores automáticos de la familia DS200 es:

- 110-254 V para la versión de dos polos
- 195-440 V para la versión de tres y cuatro polos.

Interruptores magnetotérmicos diferenciales de la familia DS200

		DS200	DS200 M	DS200 P	DS200 L	
Norma de referencia		IEC/EN 61009, IEC/EN 60947-2				
Clase (forma de onda de la corriente de fuga a tierra detectada)		AC, A	AC, A	A	AC	
Característica de disparo		instantáneo				
Corriente nominal	I_n [A]	6...63	6...63	6...25 32	6...32	
Polos		2P, 3P, 4P	2P, 3P, 4P	2P	2P	
Tensión de empleo		110-254 (2P)/195-440 (3P, 4P)				
Tensión de aislamiento		500				
Frecuencia nominal		50...60				
Poder de corte nominal IEC/EN 61009		I_{cn} [A]	6000	10000	25000 15000	4500
Poder de corte nominal * IEC/EN 60947-2		I_{cu} [kA]	10	15	25 15	6
		I_{cs} [kA]	7.5	11.2	12.5 10	4,5
Características de relé magnetotérmico		B: $3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$	•	•		
		C: $5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	•	•		•
		K: $8 I_n \leq I_m \leq 14 I_n$	•		•	•
Sensibilidad nominal		$I_{\Delta n}$ [A]	0,03, 0,3 (sólo clase AC car. C - 2P, 4P)	0,03, 0,3 (sólo clase AC car. C - 4P)	0.03	0,03

*1P+N a 230 V CA, 2P, 3P, 4P a 400 V CA

Bloques diferenciales DDA 200 para combinar con los interruptores automáticos magnetotérmicos de la serie S200

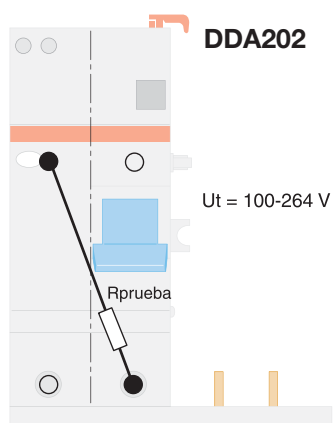
Los bloques diferenciales están acoplados a interruptores automáticos magnetotérmicos que tienen corrientes nominales iguales o menores, de modo que se facilita la protección tanto contra faltas a tierra como contra cortocircuitos y sobrecargas.

Los dispositivos DDA 200 son adecuados para su montaje con interruptores automáticos magnetotérmicos S 200 mediante elementos de acople fijos y patillas de plástico.

Están disponibles en las clases siguientes: AC, A y AP-R (versiones selectivas y antiperturbaciones) y tipo AE (con función de paro de emergencia); la gama mantiene las mismas dimensiones hasta los 63 A para cualquier valor de sensibilidad y configuración de polos. Aparte, se facilitan dimensiones de 63 A con terminales que permiten la apertura remota mediante pulsadores normalmente abiertos.

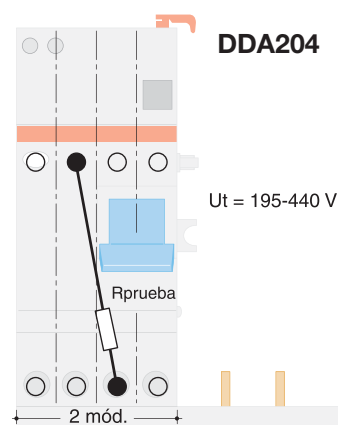
Los dispositivos DDA 200, versión estándar de 25-40 A, gracias a su diseño y a la elección del rango de funcionamiento del pulsador de test, son adecuados para uso en instalaciones eléctricas y navales (en que la tensión entre fase y neutro es de 115-125 V).

De hecho, los bloques diferenciales para interruptor bipolar están disponibles con un rango de funcionamiento 100-264 V para el pulsador de test, como se muestra en la figura:

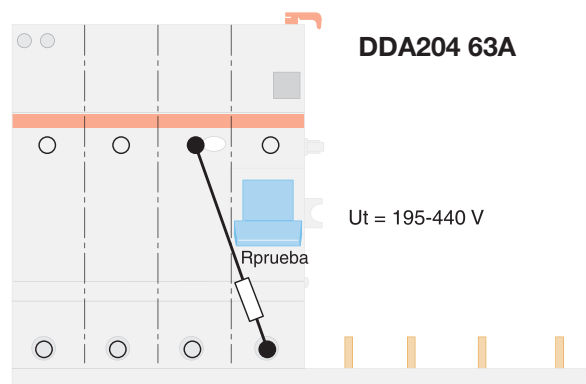


En los dispositivos tetrapolares compactos con dos módulos (tamaño disponible de 25-40 A), el pulsador de test está conectado a un punto entre las dos fases centrales, con un rango de funcionamiento entre 195 y 440 V; por eso resulta ser adecuado tanto para sistemas con 400 V entre fases (como en las situaciones estándar), como para instalaciones eléctricas con 115-125 V de tensión entre fase y neutro (en este caso, la tensión entre fases

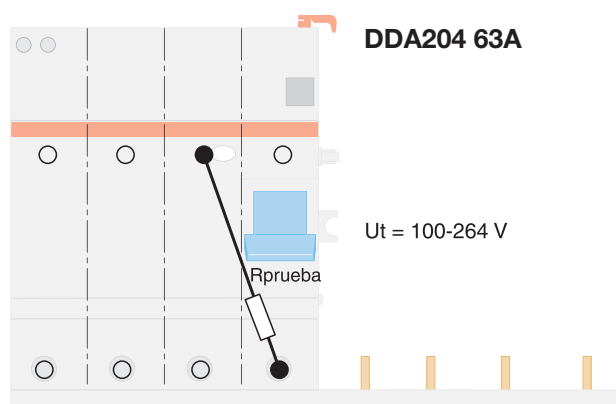
sería $115-125 \text{ V} \times 1,73 = 200/215 \text{ V}$, que son valores de tensión incluidos en el rango de funcionamiento del pulsador de test).



En los dispositivos tetrapolares, de 63 A, el pulsador de test tiene un rango de funcionamiento que oscila entre 195 y 440 V y está conectado como se muestra en la figura siguiente:



No obstante, existen los dispositivos DDA 200 115 V cuyo rango de funcionamiento del pulsador de test oscila entre 100 y 264 V; por ello, también para este tamaño, los dispositivos DDA 200 pueden emplearse en instalaciones navales con tensión de 115-125 V entre fase y neutro.



Bloques diferenciales de la serie DDA 200

	DDA200 AC	DDA200 A	DDA200 A AE	DDA200 AC AP-R	DDA200 A AP-R	DDA200 AC-S	DDA200 A S
Norma de referencia	IEC/EN 61009 Anexo G						
Clase (forma de onda de la corriente de fuga a tierra detectada)	AC	A	A	AC	A	AC	A
Característica de disparo	instantáneo					selectivo	
Corriente nominal I_n [A]	25, 40, 63	25, 40, 63	63	25, 40, 63	25, 40, 63	63	63
Polos	2P, 3P, 4P						
Tensión de empleo U_e [V]	230/400 – 240/415						
Tensión de aislamiento U_i [V]	500						
Frecuencia nominal [Hz]	50...60						
Poder de corte nominal IEC/EN 61009 I_{cn} [A]	I _{cn} del interruptor automático magnetotérmico asociado						
Poder de corte nominal IEC/EN 60947-2 2 I_{cu} [kA] I_{cs} [kA]	I _{cu} /I _{cs} del interruptor automático magnetotérmico asociado						
Sensibilidad nominal $I_{\Delta n}$ [A]	0.01...1	0.01...1	0.03...1	0.03	0.03	0.1...1	0.1...1

Bloques diferenciales de la serie DDA 60, DDA 70, DDA 90 para combinar con interruptores automáticos magnetotérmicos S290

Para montaje con interruptores automáticos magnetotérmicos de tipo S 290, están disponibles los siguientes dispositivos diferenciales adaptables: DDA 60 tipo AC, DDA 70 tipo A y DDA 90 tipo S.

Bloques diferenciales de la serie DDA 60, DDA 70, DDA 90

	DDA60	DDA70	DDA90
Norma de referencia	IEC/EN 61009 Anexo G		
Clase (forma de onda de la corriente de fuga a tierra detectada)	AC	A	A
Característica de disparo	instantáneo	instantáneo	selectivo
Corriente nominal I_n [A]	100		
Polos	2P, 4P		
Tensión de empleo U_e [V]	230/400		
Tensión de aislamiento U_i [V]	500		
Frecuencia nominal [Hz]	50...60		
Poder de corte nominal IEC/EN 61009 I_{cn} [A]	I _{cn} del interruptor automático magnetotérmico asociado		
Poder de corte nominal IEC/EN 60947-2 2 I_{cu} [kA] I_{cs} [kA]	I _{cu} /I _{cs} del interruptor automático magnetotérmico asociado		
Sensibilidad nominal $I_{\Delta n}$ [A]	0.03 - 0.3	0.03 - 0.3	0.3 - 1

Bloques diferenciales de la serie DDA 800 para combinar con interruptores automáticos magnetotérmicos S500
Para el montaje con interruptores automáticos magnetotérmicos S 500, están disponibles los siguientes dispositivos

Bloques diferenciales de la serie DDA 800

		DDA560	DDA570	DDA590	
Norma de referencia		IEC/EN 60947-2 Anexo B			
Tipo (forma de onda de la corriente de fuga a tierra detectada)		AC	A	A AP-R	A
Característica de disparo		instantáneo		selectivo	
Corriente nominal	I_n [A]	63, 100, 125 disponibles interruptor magnetotérmico diferencial de la serie DS800			
Polos		2P, 3P, 4P			
Tensión de empleo	U_e [V]	230/400/690			
Tensión de aislamiento	U_i [V]	690			
Frecuencia nominal	[Hz]	50...60			
Poder de corte nominal IEC/EN 61009	I_{cu} [kA] I_{cs} [kA]	I_{cu}/I_{cs} del interruptor automático magnetotérmico asociado			
Sensibilidad nominal	$I_{\Delta n}$ [A]	0.03 - 0.3	0.03 - 0.3	0.3 - 0.5 - 1	

Interruptores diferenciales de la serie F200

La nueva gama de interruptores diferenciales System pro M compact ofrece un amplio portafolio de interruptores diferenciales F200. Las clases AC y A, tanto en versión instantánea como selectiva, se han integrado con algunas versiones para aplicaciones especiales, como el tipo AP-R antiperturbaciones y la versión con el neutro a la izquierda.

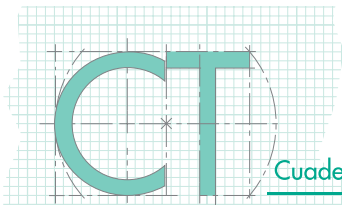
Se ofrecen todos los tamaños hasta 63 A con todos los valores de sensibilidad hasta 1 A, en configuraciones de dos y cuatro polos.

También se ofrecen interruptores diferenciales con corrientes nominales de 80-100-125 A, y sensibilidad de 0,03 a 0,5 A, tipo A, AC, A antiperturbaciones y A selectivo.

La gama de interruptores diferenciales F200 también incluye los tipos B, con 63 A y sensibilidad de 0,03-0,3 A, y B selectivo, 63 A con sensibilidad de 0,3 A.

Interruptores diferenciales de la serie F200

		F200 AC	F200 A	F200 AC AP-R	F200 A AP-R	F200 A S
Norma de referencia		IEC/EN 61008				
Clase (forma de onda de la corriente de fuga a tierra detectada)		AC	A	AC	A	A
Característica de disparo		instantáneo				selectivo
Corriente nominal	I_n [A]	16, 25, 40, 63		25, 40, 63		40, 63
Polos		2P, 4P				
Tensión de empleo	U_e [V]	230/400 - 240/415				
Tensión de aislamiento	U_i [V]	500				
Frecuencia nominal	[Hz]	50...60				
Sensibilidad nominal	$I_{\Delta n}$ [A]	0.01...0.5		0.03		0.1...1



6.2.2 Relés diferenciales para interruptores automáticos en caja moldeada Tmax

Todos los interruptores automáticos Tmax están pre-dispuestos para asociarse a relés diferenciales. En particular, los interruptores automáticos Tmax T1, T2 y T3, en versión de tres y cuatro polos, pueden combinarse con las series RC221 o RC222, los T4 y T5 de cuatro polos con RC222 que se instala debajo del interruptor automático, mientras que el T4 puede combinarse con el relé diferencial de la serie RC223.

Aparte de la protección contra sobrecargas y cortocircuitos típica de los interruptores automáticos, los interruptores diferenciales derivados de ellos también garantizan la protección de las personas y la protección contra corrientes de defecto a tierra, con lo que se garantiza la protección contra contactos indirectos y peligro de incendio. Los relés diferenciales también pueden montarse en interruptores seccionadores Tmax T1D, T3D, T4D y T5D; en este caso, el aparato derivado es un interruptor diferencial “puro”, es decir, uno que sólo garantiza la protección diferencial y no las protecciones típicas de los interruptores automáticos. Los interruptores diferenciales “puros” sólo son sensibles a la corriente de defecto a tierra y, generalmente, se aplican como interruptores principales en pequeños cuadros de distribución hacia cargas terminales.

El uso de interruptores diferenciales “puros” o “impuros” permite una monitorización continua del estado de aislamiento de la planta, con lo que se asegura una protección eficaz contra contactos indirectos, incendios y explosiones y, en caso de dispositivos con $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$, ofrecen la protección adicional del personal contra contactos directos.

Los relés diferenciales cumplen las normas siguientes:

- IEC 60947-2, Anexo B
- IEC 60255-3 (RCQ y RC223) e IEC 61000: para protección contra disparo intempestivo.
- IEC 60755 (RCQ): para insensibilidad frente a componentes de corriente continua.

Relés diferenciales RC221 y RC222 para T1, T2 y T3

Los relés diferenciales de tipo RC221 y RC222 pueden instalarse en los interruptores automáticos de la serie Tmax T1, T2, T3, así como en los seccionadores T1D y T3D. Pueden utilizarse asociados a interruptores automáticos de tres y cuatro polos, en versión fija.

Se construyen aplicando tecnología electrónica y actúan directamente sobre el interruptor automático mediante una bobina de disparo, suministrada con el relé diferencial, para instalarse en la ranura específica del área del polo izquierdo. No requieren una fuente de alimentación auxiliar porque se alimentan directamente a través de la red, y su funcionamiento se garantiza incluso con una fase más neutro o con dos fases alimentadas en tensión y en presencia de corrientes pulsantes unidireccionales con componentes continuas (tipo A).

El relé diferencial RC222 permite el control de la apertura

remota del interruptor automático a través de un botón externo normalmente cerrado, con lo que se habilita un circuito de seguridad positiva (AE).

Relés diferenciales RC222 para T4 y T5

Con T4 y T5, en la versión de cuatro polos, es posible emplear un relé diferencial RC222 montado debajo del interruptor automático.

El relé diferencial RC222, en versión fija, puede convertirse fácilmente en un dispositivo enchufable añadiendo un kit de conversión específico.

El relé RC222, de tecnología electrónica, actúa directamente sobre el interruptor automático mediante una bobina de disparo, suministrada con el relé diferencial, a instalarse en la ranura específica del área del polo izquierdo. No requiere una fuente de alimentación auxiliar porque se alimenta directamente a través de la red, y su funcionamiento se garantiza incluso con una fase más neutro o con dos fases alimentadas en tensión y en presencia de corrientes pulsantes unidireccionales con componentes continuas.

El relé diferencial RC222 puede alimentarse desde arriba o desde abajo. Está disponible un selector para el disparo de la fuente de alimentación durante la prueba de aislamiento.

El relé diferencial RC222 permite el control de la apertura remota del interruptor automático a través de un botón externo normalmente cerrado, con lo que se habilita un circuito de seguridad positiva (AE).

Relés diferenciales RC223 (tipo B)

Junto con la familia de relés diferenciales anteriormente descrita, ABB ha desarrollado el dispositivo diferencial RC223 (tipo B), que puede combinarse con el interruptor automático tetrapolar Tmax T4, en versión fija o enchufable.

Se caracteriza por las mismas características del tipo RC222, pero también cumple con el funcionamiento de tipo B, que garantiza la sensibilidad a corrientes de defecto residuales con componentes de corriente alterna, alterna pulsante y continua.

El relé diferencial RC223 permite el control de apertura remota del interruptor automático a través de un botón externo normalmente cerrado, con lo que se habilita un circuito de seguridad positiva (AE).

Las normas de referencia son: IEC 60947-1, IEC 60947-2 Anexo B e IEC 60755.

Además de las señalizaciones y los ajustes típicos del relé diferencial RC222, el RC223 también permite la selección del umbral máximo de la sensibilidad a la frecuencia de defecto residual (3 configuraciones: 400 – 700 – 1000 Hz). Por lo tanto, es posible adaptar el relé diferencial a los distintos requisitos de la planta industrial en conformidad con las frecuencias de defecto supuestas generadas en la parte de la carga del relé. Las instalaciones que normalmente pueden requerir umbrales de frecuencia distintos de los estándar (50 – 60 Hz) son las

instalaciones de soldadura de la industria de la automoción (1000 Hz), la industria textil (700 Hz), los aeropuertos y los convertidores trifásicos (400 Hz).

6.2.3 Relés electrónicos de la serie PR... para interruptores automáticos de bastidor abierto y de caja moldeada con protección diferencial integrada

Los interruptores automáticos Emax y Tmax T7 pueden equiparse con un toroide montado en la parte posterior del interruptor, garantizando la protección contra defectos a tierra con detección de la corriente residual.

En particular, los relés electrónicos que pueden garantizar esta función son:

- PR122/P LSI Rc y PR332 LSI Rc
- PR122/P LSI G y PR332/P LSI G con “módulo de medidas PR 120V”
- PR123/P LSI G y PR333/P LSI G.

Los relés PR332 y PR333, que proporcionan protección diferencial, pueden montarse con los interruptores automáticos de tipo Tmax T7, Emax X1 en la versión de tres y cuatro polos, mientras que los relés PR122 y PR123, que ofrecen la misma función, pueden montarse los interruptores automáticos de tipo Emax E1 y E2, en la versión de tres y cuatro polos y E3 tripolar.

Gracias a su amplia gama de ajustes, estos relés electrónicos son adecuados para aplicaciones en que se requiere un sistema con protección diferencial coordinado con diversos niveles de distribución, desde el cuadro de distribución principal hasta el final.

Tabla 4

		RC221	RC222		RC223
Tamaño del interruptor automático		T1-T2-T3	T1-T2-T3	T4 y T5 4p	T4 4p
Tipo		forma de “L”	forma de “L”	ubicado debajo del interruptor	ubicado debajo del interruptor
Tecnología		basada en microprocesador	basada en microprocesador	basada en microprocesador	basada en microprocesador
Acción		con solenoide	con solenoide	con solenoide	con solenoide
Tensión de servicio del primario ⁽¹⁾	[V]	85...500	85...500	85...500	110...440
Frecuencia de funcionamiento	[Hz]	45...66	45...66	45...66	0-1000
Autoalimentación		■	■	■	■
Rango de funcionamiento de la tensión del circuito de prueba ⁽¹⁾		85...500	85...500	85...500	110...500
Intensidad nominal de servicio	[A]	hasta 250 A	hasta 250 A	hasta 500 A	hasta 250 A
Sensibilidad	[A]	0.03 - 0.1 - 0.3 0.5 - 1 - 3	0.03 - 0.05 - 0.1 - 0.3 0.5 - 1 - 3 - 5 - 10	0.03 - 0.05 - 0.1 0.3 - 0.5 - 1 - 3 - 5 - 10	0.03 - 0.05 - 0.1 0.3 - 0.5 - 1
Tiempo de disparo	[s]	instantáneo	instantáneo - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 2 - 3	instantáneo - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 2 - 3	instantáneo - 0 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 2 - 3
Tolerancia respecto a los tiempos de disparo			±20%	±20%	±20%
Indicación de disparo local		■	■	■	■
Bobina de disparo con contacto conmutado para indicación de disparo		■	■	■	■
Entrada para apertura remota			■	■	■
Contacto normalmente abierto para indicación de prealarma			■	■	■
Contacto normalmente abierto para indicación de alarma			■	■	■
Indicación de prealarma desde 25% I _{Δn} (tolerancia ± 3%)		■	■	■	
Indicación de tiempo de alarma a 75% I _{Δn} (tolerancia ± 3%)		■	■	■	
Reset automático		■	■	■	■
Tipo “A” para corriente alterna pulsante, “AC” para corriente alterna		■	■	■	■
Tipo “AE” para dispositivo de disparo remoto			■	■	■
Tipo “B” para corriente pulsante y corriente continua					■
Tipo “S” selectivo			■	■	■
Selector para prueba de aislamiento		■	■	■	■
Fuente de alimentación por arriba y por abajo		■	■	■	■
Montaje con interruptores automáticos de tres polos		■	■	■	■
Montaje con interruptores automáticos de cuatro polos		■	■	■	■
Kit para conversión de interruptor automático con relé diferencial de fijo a enchufable			■	■	

⁽¹⁾ Funcionamiento hasta 50 V entre fase y neutro (55 V para RC223)

Estos relés electrónicos para protección diferencial son adecuados para utilizarse en presencia de:

- corrientes a tierra alternas (tipo AC)
- corrientes a tierra alternas y/o pulsantes con componentes continuas (tipo A).

La tabla siguiente muestra las principales características técnicas de la protección diferencial:

Tabla 5

Sensibilidad $I_{\Delta n}$	[A]	0,3 - 05 - 0,7 - 1 - 2 - 3 (DIP switch en posición 0,1) 3 - 5 - 7 10 - 20 - 30 (DIP switch en posición 1)
Tiempos de disparo	[s]	0.06 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.5 - 0.8 - 1 - 3 - 5
Tipo		AC y A

6.2.4 Relé diferencial con transformador externo

Los interruptores automáticos ABB también pueden combinarse con los relés diferenciales RCQ, RD3 y RD2 con toroide independiente (a instalar externamente en los conductores de línea) para cumplir los requisitos cuando las condiciones de la instalación son especialmente restrictivas, como cuando ya se han instalado los interruptores automáticos, el espacio en el armario es limitado, etc.

Gracias a las características de ajuste de la corriente residual y de los tiempos de disparo, los relés diferenciales con transformador externo también pueden instalarse fácilmente en las etapas finales de la planta; en particular, al seleccionar la corriente residual nominal $I_{\Delta n} = 0,03$ A con disparo instantáneo, el interruptor automático garantiza la protección contra contactos indirectos y representa

Tabla 6

Relés diferenciales		SACE RCQ	
Tensión de alimentación	CA [V]	80...500	
	CC [V]	48...125	
Frecuencia de funcionamiento	[Hz]	45-66	
Ajuste del umbral de disparo $I_{\Delta n}$	1er rango de valores/ajustes	[A]	0.03 - 0.05 - 0.1 - 0.3 - 0.5
	2º rango de valores/ajustes	[A]	1 - 3 - 5 - 10 - 30
Ajuste del tiempo de disparo	[s]	0 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 0.7 - 1 - 2 - 3 - 5	
Ajuste del umbral de prealarma	% x $I_{\Delta n}$	25...75% x $I_{\Delta n}$	
Rango de uso de transformadores cerrados	Transformador toroidal Ø 60 [mm]	[A]	0.03...30
	Transformador toroidal Ø 100 [mm]	[A]	0.03...30
	Transformador toroidal Ø 185 [mm]	[A]	0.1...30
	Transformador toroidal Ø 110 [mm]	[A]	0.3...30
Rango de uso de transformadores que pueden abrirse	Transformador toroidal Ø 180 [mm]	[A]	0.3...30
	Transformador toroidal Ø 230 [mm]	[A]	1...30
Indicación de alarma antes del umbral	Contacto conmutado del LED amarillo parpadeante 1 normalmente abierto 6 A - 250 V CA 50/60 Hz		
Indicación de disparo del relé diferencial	Contactos conmutados de indicación magnética amarillos (NA; NC; NA) 6 A - 250 V CA 50/60 Hz		
Control de apertura remota	Contacto NA Tiempo de disparo 15 ms		
Conexión al transformador toroidal	Mediante 4 conductores trenzados. Longitud máxima 5 m		
Dimensiones (an. x al. x pr.)	[mm]	96 x 96 x 131,5	
Taladro para montaje en la puerta	[mm]	92 x 92	

una medida adicional contra contactos directos también en presencia de valores de resistencia a tierra particularmente elevados (por ejemplo en sistemas TT).

Estos relés diferenciales son del tipo a acción indirecta: la orden de apertura emitida por el relé debe provocar el disparo del interruptor automático a través de una bobina de disparo.

Relé diferencial electrónico para cuadro de distribución SACE RCQ

Los interruptores automáticos magnetotérmicos System pro M compact, los interruptores automáticos en caja moldeada Tmax y los interruptores automáticos de bastidor abierto Emax también pueden combinarse con el relé diferencial electrónico para cuadro de distribución SACE RCQ con toroide independiente (que debe instalarse externamente en los conductores de línea), y tienen umbrales de disparo de hasta 30 A y tiempos de hasta 5 s.

Gracias a su amplia gama de ajustes, el relé diferencial para cuadros de distribución SACE RCQ es adecuado para aplicaciones en que se requiere un sistema con protección diferencial coordinado en los diferentes niveles de distribución, desde el cuadro principal hasta la carga final. Se recomienda especialmente cuando se requiere una protección diferencial con baja sensibilidad, como en cadenas selectivas parciales (amperimétricas) o totales (cronométricas), así como en aplicaciones de alta sensibilidad (sensibilidad fisiológica) para proporcionar la protección adicional del personal contra contactos directos.

SACE RCQ es un relé diferencial de tipo A y detecta las corrientes residuales de tipo alterno y pulsante con componentes continuas.

Relé diferencial RD2

Como se ha mencionado, los interruptores automáticos magnetotérmicos System pro *M* y los interruptores automáticos en caja moldeada Tmax pequeños también pueden combinarse con los relés diferenciales RD2 con toroide separado (que deben instalarse externamente en los conductores de línea), y cumplen los requisitos con umbrales de disparo de hasta 2 A y tiempos de hasta 5 s. Las aplicaciones del relé diferencial RD2 son similares a las descritas para el relé RCQ; así, se recomienda especialmente cuando se requiere una protección diferencial con baja sensibilidad, como en cadenas selectivas parciales (selectividad en corriente) o totales (selectividad cromométrica), así como en aplicaciones de alta sensibilidad (sensibilidad fisiológica), para proporcionar protección adicional del personal contra contactos directos. El dispositivo RD2 es un relé diferencial de tipo A y detecta las corrientes residuales de los tipos alterno y unidireccionales pulsantes. Mediante minidips especiales, es posible seleccionar los tiempos de disparo y ajustar la sensibilidad. Además, el RD2 puede fijarse directamente en una guía DIN.

Características técnicas			
Tensión de funcionamiento	[V]	230÷400 CA (RD2) 48÷150 CA/CC (RD2-48)	
Frecuencia	[Hz]	50/60	
Ajuste de sensibilidad $I_{\Delta n}$	[A]	0.03; 0.1; 0.3; 0.5; 1; 2	
Ajustes del tiempo de disparo	[s]	Rápido (instantáneo); 0,3; 0,5; 1; 2; 5	
Capacidad del contacto	[A]	10 a 250 V CA (óhmica)	
Tipo de contacto		conmutado	
Temperatura de funcionamiento	[°C]	-5...+ 40 ±5	
Módulos	[n°]	2	
Normas		IEC/EN 62020	

6.3 La solución con la función G

En relación con el rango de corrientes nominales de 100 A a 6300 A, la protección contra defectos a tierra la pueden proporcionar interruptores automáticos ABB combinados con relés electrónicos:

- PR222DS/P, PR223DS y PR223EF (PR222DS/PD) para interruptores automáticos en caja moldeada Tmax T4, T5 y T6 con corrientes nominales ininterrumpidas de 250 A a 1000 A;
- PR331 y PR332 para interruptores automáticos en caja moldeada Tmax T7 con corrientes nominales de 800 A a 1600 A;
- PR331, PR332 y PR 333 para interruptores automáticos de bastidor abierto Emax X1 con corrientes nominales de 630 A a 1600 A;
- PR121/P, PR122/P y PR123/P para interruptores automáticos de bastidor abierto Emax con corrientes nominales de 400 A a 6300 A;

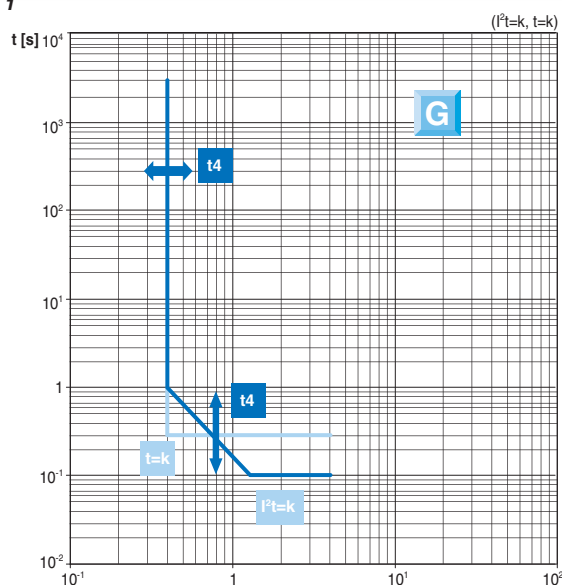
Los relés anteriormente indicados pueden facilitarse con la función G para protección contra defectos a tierra

con curva de disparo a tiempo inverso o tiempo constante. Todas las características técnicas se describen en detalle en los catálogos técnicos. La tabla siguiente muestra los ajustes disponibles:

Tabla 7

		I_4	t_4
PR222	$I^2t=k$	0,2 - 0,25 - 0,45 - 0,55 - 0,75 - 0,8 - $1X_{In}$ ajuste manual	0,1 s, 0,2 s, 0,4 s, 0,8 s ajuste manual
		0,2... $1X_{In}$ (incremento 0,1 X_{In}) ajuste electrónico	0,1...0,8 s (incremento 0,01 s) ajuste electrónico
PR223	$I^2t=k$	0,2... $1X_{In}$ (incremento 0,1 X_{In})	0,1...0,8 s (incremento 0,01 s) ajuste electrónico
PR331	$I^2t=k - t=k$	0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 0,9 - $1X_{In}$	0,1 s, 0,2 s, 0,4 s, 0,8 s
PR332 - PR333	$I^2t=k - t=k$	0,2... $1X_{In}$ (incremento 0,02 X_{In})	0,1...1 s (incremento 0,05 s)
PR121	$I^2t=k - t=k$	0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 0,9 - $1X_{In}$	0,1 s, 0,2 s, 0,4 s, 0,8 s
PR122 - PR123	$I^2t=k - t=k$	0,2... $1X_{In}$ (incremento 0,02 X_{In})	0,1...1 s (incremento 0,05 s)

Figura 1



Los relés electrónicos ABB han sido diseñados empleando tecnología basada en microprocesadores. Ello permite implementar funciones de protección que garantizan una alta fiabilidad, exactitud del disparo e insensibilidad al entorno externo.

Los relés electrónicos basados en microprocesador se autoalimentan y garantizan el funcionamiento correcto de las funciones de protección, incluso cuando la corriente circula sólo a través de una fase. El relé de protección se compone de transformadores de corriente (tres o cuatro según la polaridad del interruptor automático) de la unidad de protección PR..., y de un solenoide de apertura que actúa directamente sobre el mecanismo de accionamiento del interruptor automático.

Los transformadores de corriente suministran toda la energía necesaria para el funcionamiento correcto de la protección y la señal requerida para la detección de la corriente.

Ventajas derivadas del uso de relés electrónicos para la protección contra contactos indirectos

Como ejemplo, veremos la protección contra contactos indirectos de una carga terminal en un sistema TN-S. Las características de la instalación son:

- sistema trifásico sin neutro
- sistema de distribución TN-S
- tensión 400 V
- frecuencia 50 Hz
- corriente de cortocircuito $I_k = 30 \text{ kA}$
- longitud del conductor $L = 200 \text{ m}$
- corriente de carga $I_b = 187 \text{ A}$
- cable de cobre monopolar aislado con PVC
- sección transversal del conductor de fase $S = 95 \text{ mm}^2$
- sección transversal del conductor de protección $S_{PE} = 50 \text{ mm}^2$
- capacidad de corriente admisible $I_z = 207 \text{ A}$

Una vez determinada la idoneidad de los interruptores automáticos de tipo T3N250 $I_n = 200 \text{ A}$ con relé magnetotérmico y de tipo T4N250 $I_n = 250 \text{ A}$ con relé electrónico de tipo PR222DS/P LSIG, en cuanto a la corriente nominal, la capacidad de corte y la protección del cable contra cortocircuito y sobrecarga, la longitud máxima protegida contra contactos indirectos¹ se verifica examinando como alternativa los resultados de los dos interruptores automáticos con relé magnetotérmico y electrónico.

La prueba de longitud del cable protegida contra contactos indirectos se efectúa en cumplimiento de la norma italiana CEI 64-8/5, en relación con la comprobación del oportuno disparo de los dispositivos de protección contra cortocircuito, teniendo en cuenta la analogía entre el problema de la longitud máxima protegida contra cortocircuito y el de la longitud máxima protegida contra contactos indirectos.

La siguiente fórmula (derivada de la Ley de Ohm aplicada al circuito de fallo) permite calcular la longitud máxima protegida contra contacto indirecto:

$$L_{\max} = \frac{0,8 \cdot U_0}{1,5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{I_a}{S}}$$

donde

U_0 es la tensión de alimentación entre fase y tierra en V (230 V);

0.8 es un coeficiente que tiene en cuenta una reducción del 80% de la tensión de alimentación debida al efecto de la corriente de cortocircuito;

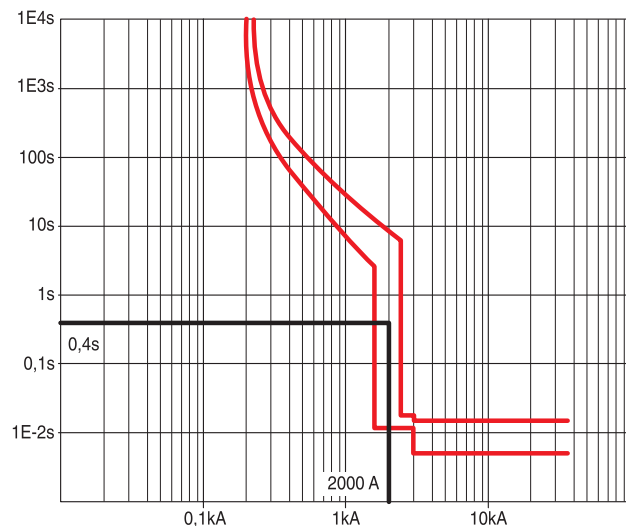
¹ La verificación de la longitud máxima protegida procede de la relación de protección contra contacto indirecto en sistemas TN $Z_{xi} \cdot U_0$ expresada como una función de la longitud del cable. Al introducir en la fórmula el valor mínimo de corriente que provoca la desconexión instantánea del interruptor automático, es posible obtener una longitud máxima correspondiente a una corriente de cortocircuito mínima para un defecto de fase a tierra, que puede ser eliminada por el interruptor automático en poco tiempo, lo que garantiza la protección contra contactos indirectos.

- 1,5 es un coeficiente que tiene en cuenta el incremento del valor de resistencia durante el cortocircuito;
- ρ es la resistividad del material conductor a 20°C (0,018 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ para el cobre);
- m es el cociente entre la sección transversal del conductor de fase y la sección transversal del conductor de protección;
- I_a es la corriente que provoca el disparo del relé del interruptor automático en los tiempos definidos por la norma más la tolerancia (normalmente el 20%);
- S es la sección transversal del conductor de fase.

Interruptor automático T3N250 In 200 A con relé magnetotérmico

- relé $I_n = 200 \text{ A}$
- rango de ajuste térmico $I_1 = 140 - 200 \text{ A}$
- corriente de disparo en 0,4 s $I_a = 2000 \text{ A}$
- tolerancia de la corriente de disparo $f \pm 20\%$

Figura 2



De la fórmula, se obtiene:

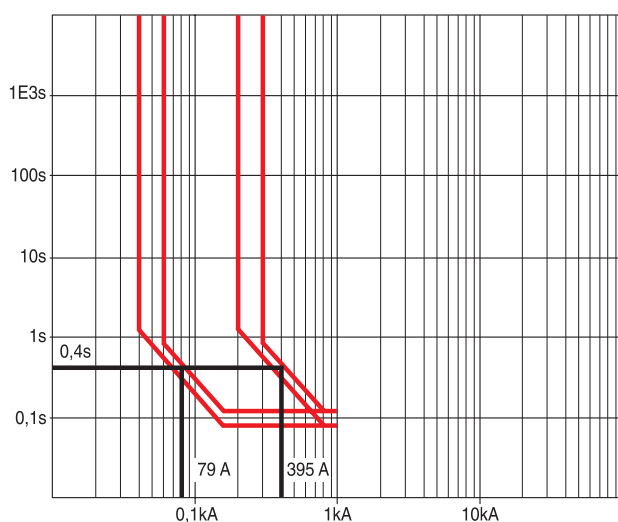
$$L_{\max} = (0,8 \cdot 230 \cdot 0,8) / [1,5 \cdot 0,018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 2000] = 93 \text{ m}$$

La longitud del cable de la planta es de 200 m y, por lo tanto, la protección facilitada no es completa.

Interruptor automático T4N250 con relé electrónico PR 222DS/P LSIG

corriente nominal	$I_n = 250 \text{ A}$
rango de ajuste de la función G	$I_d = 50 - 250 \text{ A}$
corriente de disparo mínima en 0,4 s	$I_a = 79 \text{ A para } I_d = 50 \text{ A}$
corriente de disparo máxima en 0,4 s	$I_a = 395 \text{ A para } I_d = 250 \text{ A}$
tolerancia con la corriente de disparo	$f 10\%$

Figura 3



De la fórmula, se obtiene:

$$L_{max} = (0,8 \cdot 230,95) / [1,5 \cdot 0,018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 1,179] = 2.567 \text{ m}$$

con $I_d = 50 \text{ A}$

y

$$L_{max} = (0,8 \cdot 230,95) / [1,5 \cdot 0,018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 1,1895] = 513 \text{ m}$$

con $I_d = 250 \text{ A}$

Por lo tanto, puede concluirse que, gracias al uso del relé electrónico, el cable está protegido en toda su longitud de 200 m.

La protección se obtiene ajustando la función G con cualquier valor entre 50 y 250 A.

Esta amplia gama de posibilidades y el valor bastante bajo de las corrientes de ajuste contribuyen a facilitar la coordinación de las protecciones, y concretan las afirmaciones anteriores en cuanto a las ventajas derivadas del uso de protección contra defectos a tierra para la seguridad del personal y la fiabilidad de la planta.

6.4 ¿Función de protección G o protección diferencial?

Como se ha comentado en los capítulos anteriores, ABB ofrece dos tipos de productos para protección contra defecto a tierra:

- protección diferencial a acoplar con los interruptores automáticos;
- Protección G contra defecto a tierra integrada en los relés electrónicos de los interruptores automáticos.

La protección diferencial utiliza un toroide de material ferromagnético a través del cual pasan los conductores en tensión del circuito; en presencia de un defecto a tierra, la suma vectorial de las corrientes que circulan por los conductores es distinta de cero y, cuando es superior al umbral ajustado, provoca el disparo de la protección. Los relés diferenciales ABB permiten el ajuste del umbral de la corriente de disparo de 30 mA a 30 A con retardos de 0 (instantánea) a 5 s (véase el catálogo técnico para más detalles).

El principio de funcionamiento de la función G es similar al de la protección diferencial, pero la suma vectorial de las corrientes la procesa un microprocesador y no hay transformadores toroidales. La función G de los relés ABB permite ajustar el umbral de corriente de disparo entre 0,2 y 1 vez la corriente nominal del interruptor automático, y retardos entre 0,1 y 1 s (véase el catálogo técnico para más detalles).

La decisión sobre qué protecciones elegir debe tomarse analizando cuidadosamente no sólo el sistema de distribución, sino también el valor de la corriente de cortocircuito; el cumplimiento de las disposiciones de la norma implica que el interruptor automático debe poder detectar y eliminar una corriente de defecto en los tiempos necesarios para evitar los efectos dañinos de la corriente.

6.4.1 Aplicaciones típicas de los interruptores diferenciales

Los interruptores diferenciales son especialmente adecuados para la protección de personas contra contactos indirectos y para la protección adicional contra contactos directos.

El uso de interruptores diferenciales para la protección contra contactos indirectos es absolutamente necesario, por ejemplo, en los casos siguientes.

- Sistema de distribución TT: como ya se ha visto, la corriente de defecto vuelve a la fuente de alimentación a través del suelo y es de valor reducido, en comparación con la corriente de disparo instantáneo de un interruptor automático magnetotérmico;
- La conexión a tierra de las piezas conductoras expuestas es deficiente.

No obstante, podría ser necesario o útil implementar estas protecciones también en otros casos, como en configuraciones con una única puesta a tierra (sistema TN-S) si se da una de las siguientes condiciones:

- las protecciones normales no bastan para proporcionar protección dentro de los límites definidos por las normas;
- condiciones ambientales peligrosas (p. ej. humedad excesiva);
- defectos con valores de impedancia que no son insignificantes.

Algunas de las plantas en que estos interruptores automáticos son especialmente útiles incluyen:

- todos los tipos de terrenos de construcción (edificios, navales, etc.)
- equipos o plantas móviles;
- entornos hospitalarios y quirófanos;
- excavaciones y minas;
- instalaciones eléctricas de campings;
- piscinas, saunas, comedores y, en general, entornos con altos niveles de humedad;
- iluminación de acuarios y fuentes;
- instalaciones agrícolas;
- laboratorios profesionales;
- laboratorios escolares.

Además, los interruptores diferenciales son adecuados para proteger instalaciones con riesgos de explosión o incendio o, en general, cuando una corriente de fuga a tierra puede causar daños económicos, como:

- plantas químicas;
- entornos polvorientos o con materiales inflamables;
- refinerías petrolíferas;
- plantas de tratamiento de gas;
- instalaciones de carga de baterías.

6.4.2 Aplicaciones típicas de los interruptores automáticos en caja moldeada y de bastidor abierto equipados con función G contra defecto a tierra

Los interruptores automáticos de bastidor abierto y en caja moldeada equipados con la función G se emplean en subestaciones transformadoras MT/BT para proteger transformadores y líneas de distribución.

La función G suele facilitarse con un breve retardo y, por lo tanto, garantiza la selectividad respecto a los relés diferenciales ubicados en la parte de la carga.

A parte de las aplicaciones para las que se requiere expresamente el relé diferencial, la función G también puede emplearse para la protección contra contactos indirectos, cuando lo permiten las condiciones de la instalación, y para mejorar la protección contra defectos a tierra respecto a las comunes protecciones de fase.

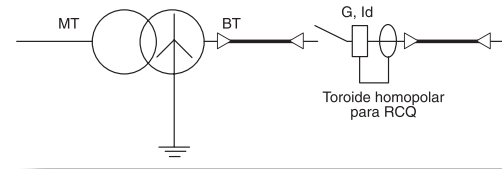
6.5 Sistemas de protección avanzada contra defecto a tierra

6.5.1 Aspectos generales

En referencia al diagrama típico de una línea constituida por un transformador, un cable y un interruptor automático principal, pueden diferenciarse tres zonas, en función de la ubicación del defecto, y tres tipos de protecciones distintos:

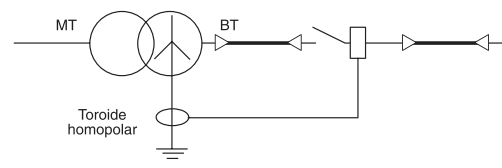
1. La protección contra defecto a tierra no restringida (UEFP) es la protección contra los defectos a tierra que se producen en la parte de la carga de los terminales del interruptor automático. Este tipo de protección (Figura 4), tema que ya se ha tratado en los capítulos anteriores, se obtiene utilizando la función G, protección diferencial (RC.) o protecciones normales de fase contra corrientes de defecto a tierra elevadas.

Figura 4



2. El “source ground return”, que también se denomina protección contra defecto a tierra (SEFP), es la protección contra los defectos a tierra que se producen tanto en la parte de la carga como de la alimentación del interruptor automático y en el bobinado secundario del transformador. Esta protección se implementa mediante un toroide homopolar en el conductor de tierra del centro estrella del transformador, como se muestra en la figura siguiente:

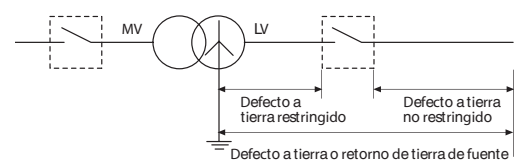
Figura 5



3. La protección contra defecto a tierra restringido (REFP) es la protección contra los defectos a tierra del bobinado secundario del transformador y de sus cables de conexión con los terminales del interruptor automático.

La siguiente figura muestra las áreas de defecto a tierra.

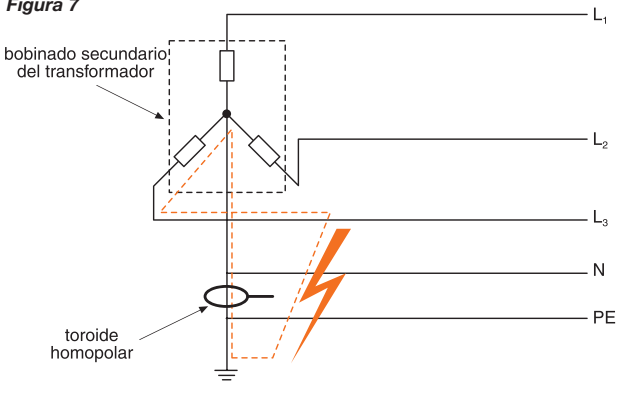
Figura 6



6.5.2 Source Ground Return

La protección “source ground return” representa la protección contra los defectos a tierra que se producen tanto en la parte de la carga como de la alimentación del interruptor automático y en el bobinado secundario del transformador MT/BT. Esta protección se implementa mediante un toroide homopolar que rodea al conductor que conecta el centro estrella del transformador a tierra.

Figura 7



De esta manera, el toroide podrá detectar:

- corrientes de defecto entre fase y PE;
- corrientes de defecto entre fase y tierra;
- errores en la conexión eléctrica (por ejemplo, si se ha conectado una carga monofásica incorrectamente entre el conductor PE y de fase);
- conexiones a tierra del neutro en puntos distintos del centro estrella.

Los relés electrónicos ABB de tipo PR122, PR123, PR332 y PR333 para los interruptores automáticos de bastidor Emax y Emax X1 pueden combinarse con un toroide externo ubicado en el centro estrella del transformador a tierra. La corriente nominal del toroide puede ser de 100 A, 250 A, 400 A y 800 A, con lo que el umbral de la protección contra defecto a tierra (función G) es independiente del tamaño de los transformadores de corriente primarios instalados en las fases del interruptor automático.

6.5.3 Protección de defecto a tierra restringida

La protección de defecto a tierra restringida (REFP) es la protección contra los defectos a tierra que se producen entre el bobinado secundario del transformador y los terminales del interruptor automático¹.

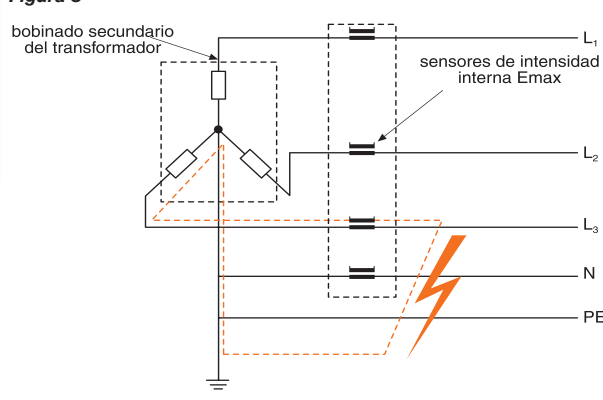
Los interruptores automáticos de bastidor abierto Emax equipados con los relés electrónicos de tipo PR123 y PR333 (Emax X1) permiten dos curvas independientes para la protección G: una para la protección interna (función G sin toroide externo) y otra para la protección

externa (función G con toroide externo, como se describe en el párrafo anterior).

La función “doble G” permite una protección simultánea de la instalación, tanto contra defectos a tierra del secundario del transformador y de sus cables de conexión a los terminales del interruptor automático (protección de defecto a tierra restringida), como contra defectos a tierra en la parte de la carga del interruptor automático (protección de defecto a tierra no restringida).

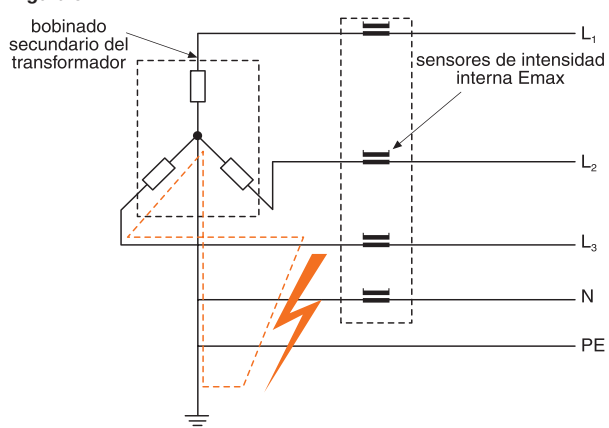
La figura siguiente muestra un defecto a tierra en la parte de la carga de un interruptor automático Emax: la corriente de defecto circula sólo a través de una fase y, si la suma vectorial de las corrientes detectadas por los cuatro transformadores de corriente es superior al umbral ajustado, en el relé electrónico se activa la función G.

Figura 8



Con la misma configuración, un defecto en la parte de la alimentación del interruptor automático (Figura 9) no provoca la intervención de la función G, porque la corriente de defecto no afecta al transformador de corriente de la fase ni al del neutro.

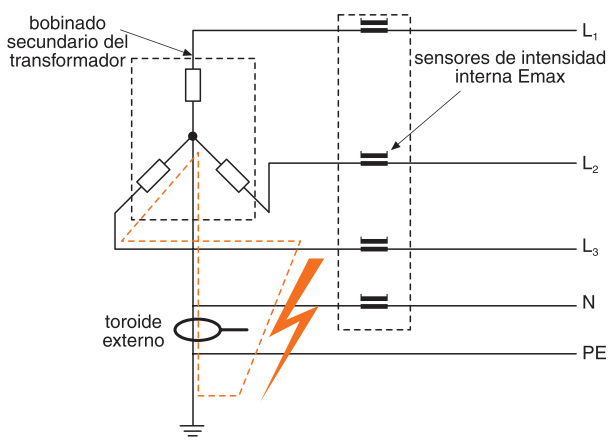
Figura 9



¹ Con protecciones MT es difícil eliminar este tipo de defecto, en particular cuando se utiliza un transformador en delta-estrella, ya que la corriente de defecto entre fase y tierra o fase y neutro en el bobinado secundario se percibe en el primario reducida en $\sqrt{3}$.

El uso de la función “doble G” permite instalar un toroide externo, como se muestra en la figura siguiente, de modo que también pueden detectarse los defectos a tierra en la parte de la alimentación del interruptor automático Emax. En este caso, el contacto de alarma de la segunda G se utiliza para desconectar el interruptor automático instalado en el primario y para garantizar la desconexión en caso de defecto.

Figura 10



Si, con la misma configuración que en la figura, el defecto se produjera en la parte de la carga del interruptor automático Emax, la corriente de defecto afectaría al toroide y a los transformadores de corriente en las fases. Para definir qué interruptor automático debe disparar (interruptor automático MT o BT), se requiere una coordinación adecuada de los tiempos de disparo: en particular, es necesario ajustar los tiempos de modo que la apertura del interruptor automático BT debida a la función interna G sea más rápida que la implementación de la señal de alarma procedente del toroide externo.

Por lo tanto, gracias a la discriminación de tiempo-corriente entre las dos funciones de protección G, antes de que el interruptor automático MT en el primario del transformador reciba la orden de disparo, el interruptor automático en la parte de BT puede eliminar el defecto a tierra. Obviamente, si el defecto se produjera en la parte de la alimentación del interruptor automático BT, sólo se dispararía el interruptor automático en la parte de MT.

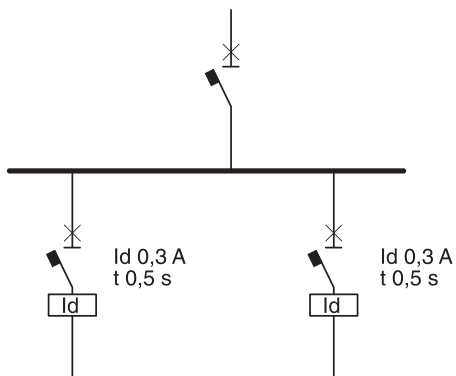
7 Selectividad de las protecciones contra defecto a tierra

Por motivos de seguridad, la norma IEC 60364-5-53 recomienda la selectividad entre dispositivos de protección diferencial en serie para mantener la alimentación de las partes de la instalación no afectadas por el defecto. Esta selectividad puede lograrse instalando los dispositivos de protección diferencial de modo que sólo el más próximo al defecto desconecte la alimentación.

Esto se denomina selectividad de las protecciones diferenciales y puede diferenciarse en dos tipos:

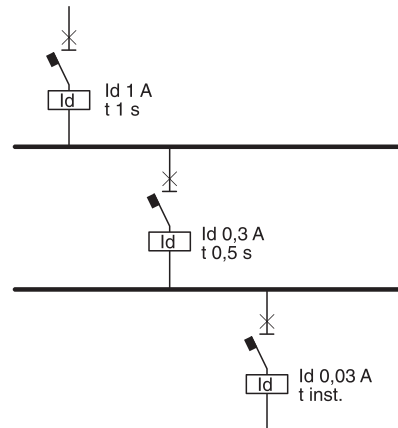
1. Selectividad horizontal (Figura 1): consiste en proteger cada línea con un interruptor diferencial; de esta manera, en el caso de un defecto a tierra, sólo se desconectarán los elementos afectados por el defecto. No obstante, hay que adoptar otras medidas aparte del dispositivo de protección diferencial, para facilitar la protección contra el contacto indirecto en la parte de la alimentación del relé diferencial;

Figura 1: Selectividad horizontal de las protecciones diferenciales



2. Selectividad vertical (Figura 2): con interruptores automáticos diferenciales en serie.

Figura 2: Selectividad vertical de las protecciones diferenciales



En cumplimiento de la norma IEC 60364-5-53, para garantizar la selectividad entre dos dispositivos de protección diferencial en serie, tales dispositivos deberán satisfacer las siguientes condiciones:

- la curva de tiempo-corriente de no actuación del dispositivo de protección diferencial ubicado en la parte de la alimentación (aguas arriba) se situará por encima de la curva tiempo-corriente del dispositivo de protección diferencial ubicado en la parte de la carga (aguas abajo);
- la corriente nominal de disparo diferencial en el dispositivo ubicado en la parte de la alimentación será superior a la del dispositivo de protección diferencial ubicado en la parte de la carga.

La curva de tiempo-corriente de no actuación es la curva que define la máxima demora durante la cual una corriente residual superior a la nominal (equivalente a $0,5 I_{\Delta n}$) circula por el interruptor diferencial sin causar su disparo.

Para resumir, a efectos de garantizar la selectividad entre dos dispositivos de protección diferencial en serie, deberán satisfacerse las siguientes condiciones:

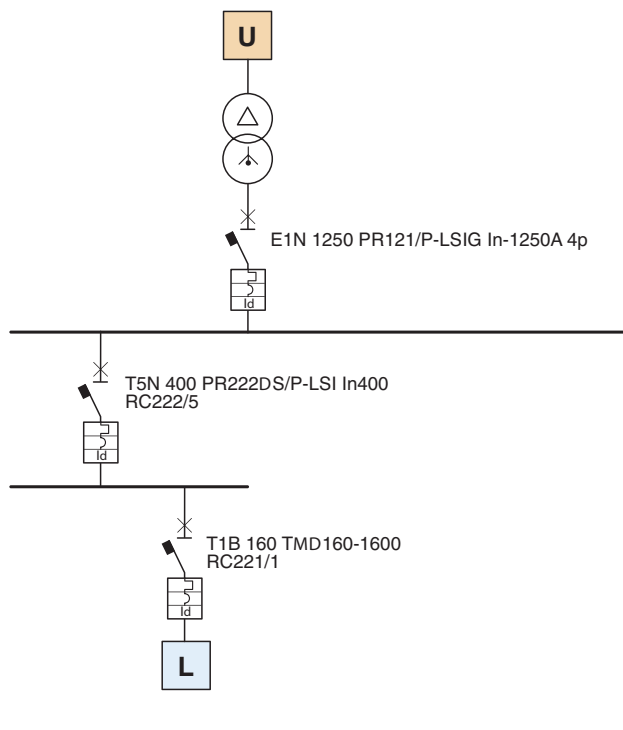
- a) para interruptores diferenciales con retardo de tipo S ubicados en la parte de la alimentación (en cumplimiento de las normas IEC 61008-1 e IEC 61009), es necesario elegir interruptores automáticos no selectivos aguas abajo con un valor de $I_{\Delta n}$ tres veces menor;
- b) para relés electrónicos diferenciales (RC 221/222/223, RCQ y RD2), basta con que los tiempos de disparo y las corrientes del dispositivo en la parte de la alimentación sean inmediatamente superiores a los del dispositivo en la parte de la carga, teniendo en cuenta las tolerancias.

Nota: en relación con la protección contra contacto indirecto en los circuitos de distribución de sistemas TT, el tiempo máximo de disparo a $I_{\Delta n}$ es 1 s.

El siguiente ejemplo (Figura 3) muestra parte de una instalación en la que hay tres interruptores automáticos en serie equipados con relés electrónicos y diferenciales con función de protección G contra defecto a tierra. Los interruptores automáticos en cuestión son:

- E1N 1250 PR121/P-LSIG $I_n=1250A$ 4p
- T5N 400 PR222DS/P-LSI $I_n=400A$ con dispositivo diferencial de tipo RC222
- T1B 160 TMD $I_n=160A$ con dispositivo diferencial de tipo RC221

Figura 3



Para garantizar una coordinación correcta a efectos de la selectividad de las protecciones diferenciales, es necesario que la corriente de disparo y los umbrales de tiempo se ajusten correctamente, teniendo en cuenta también las tolerancias.

Obviamente, el requisito de las normas se verificará para cada interruptor automático, en cuanto a la protección contra contactos indirectos.

Los ajustes posibles para conseguir la selectividad son:

$\mu\#E1N$ 1250

G (defecto a tierra): $t=const - Corriente - 250 [A] - Tiempo 0,8 [s]$

$\mu\#T5N$ 400

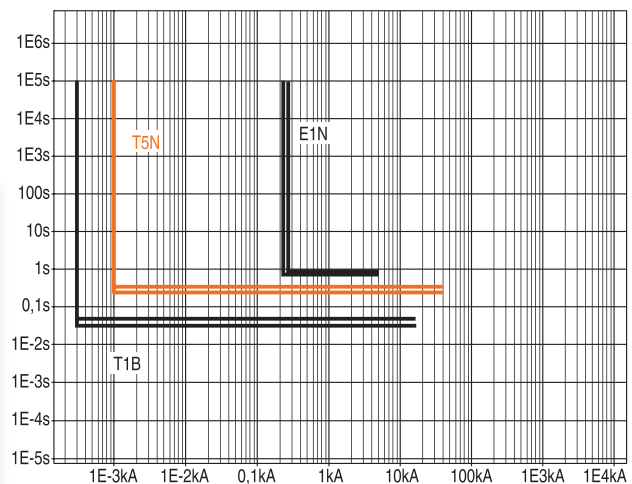
RC : Corriente 1 [A] - Tiempo 0,3 [s]

$\mu\#T1B$ 160

RC : Corriente 0,3 [A] - Tiempo instantáneo

Las curvas de disparo relativas a estos ajustes se representan en la Figura 4:

Figura 4

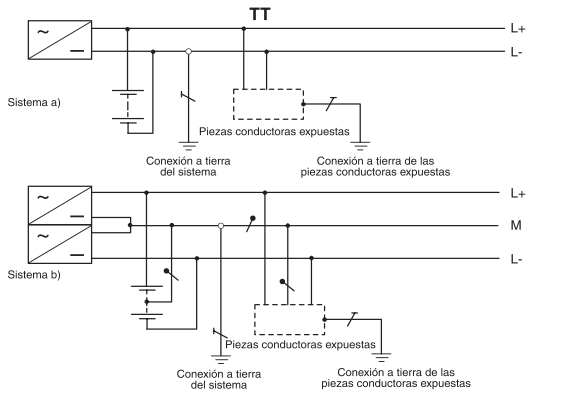


Anexo A

Sistemas de distribución de corriente continua

Los sistemas de distribución de corriente continua se definen en la norma IEC60364-1 de forma parecida a la corriente alterna:

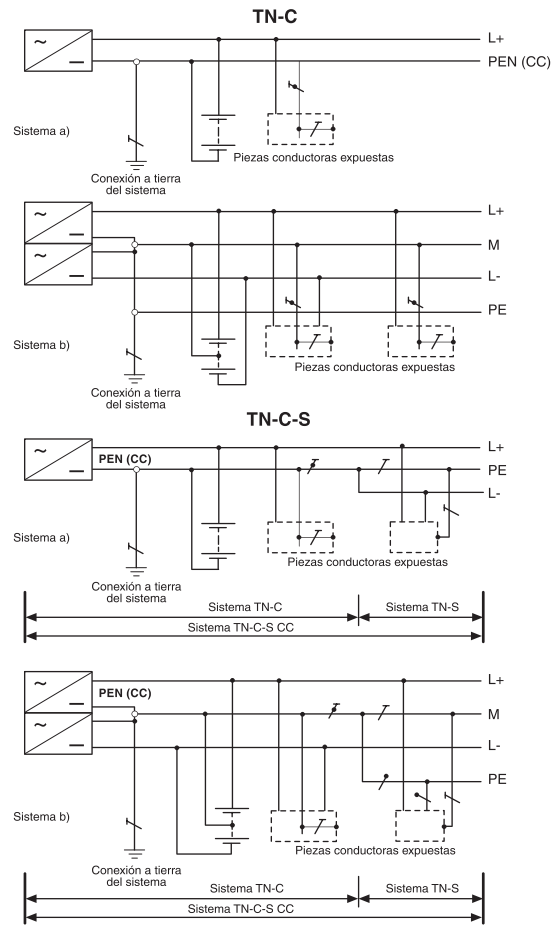
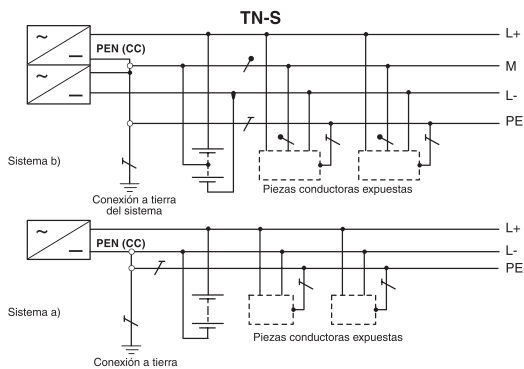
Sistema TT: una polaridad del sistema y las piezas conductoras expuestas están conectadas a dos puestas a tierra eléctricamente independientes¹. Si es necesario, el punto intermedio de la alimentación puede conectarse a tierra.



Sistema TN: una polaridad, o el punto intermedio de la alimentación, están conectados a tierra directamente; las piezas conductoras expuestas están conectadas a la misma puesta a tierra.

Se tienen en cuenta tres tipos de sistema TN según si la polaridad conectada a tierra y el conductor de protección están separados o no, de esta manera:

1. **TN-C** – la polaridad conectada a tierra y conductor de protección están combinadas en un único conductor llamado PEN
2. **TN-S** – el conductor de la polaridad conectada a tierra y el conductor de protección PE están separados;
3. **TN-C-S** – la polaridad conectada a tierra y conductor de protección están parcialmente combinados en un único conductor PEN y separadas por partes.



A efectos de la protección contra contactos indirectos, la norma IEC 60364-4 dispone que un dispositivo de protección desconectará automáticamente la alimentación del circuito para que, en caso de un defecto entre una pieza en tensión y una pieza conductora expuesta o un conductor protector, no persista una tensión de contacto supuesta superior a 120 V CC sin fluctuaciones en las piezas conductoras expuestas durante un tiempo suficiente para provocar un efecto fisiológico dañino en una persona².

Valores de tiempo de disparo y tensión inferiores a los antes indicados podrían requerirse en ubicaciones o instalaciones especiales.

Se están estudiando requisitos adicionales para sistemas de alimentación de corriente continua.

En los sistemas de alimentación de corriente continua, deben tenerse en cuenta los aspectos de la corrosión electromecánica a causa de las corrientes continuas que se propagan en el terreno.

¹ La elección de conectar a tierra la polaridad negativa o positiva se efectúa por motivos que no se comentan en este anexo.

² En sistemas IT, la desconexión automática del circuito no suele requerirse al producirse un primer defecto.

Anexo B

Protección contra contactos directos

La protección de personas y ganado contra contactos directos implica evitar los peligros que pueden derivarse del contacto con piezas en tensión de la instalación. Para evitar dicho contacto, es necesario habilitar una instalación eléctrica que tenga características definidas de modo que se garantice la seguridad de las personas.

Esta protección puede implementarse con uno de los métodos siguientes:


- evitar el paso de corriente por el organismo de cualquier persona;
- limitar la corriente que puede atravesar el organismo a un valor inferior a la corriente fisiológicamente dañina.

Hay que tener en cuenta que las medidas protectoras deberán integrarse adecuadamente entre sí, en relación con el tipo de instalación y las condiciones ambientales.

En base a estas consideraciones, las medidas de seguridad pueden dividirse en:

- protecciones totales;
- protecciones parciales.









La tabla siguiente muestra los grados de protección de los armarios que cumplen las normas IEC


PRIMER NÚMERO: protección contra entrada de objetos extraños sólidos		
IP		Descripción completa
0		Sin protección No se facilitan protecciones específicas
1		Protección contra objetos extraños sólidos de 50 mm de diám. o más (contacto accidental con las manos)
2		Protección contra objetos extraños sólidos de 12,5 mm de diám. o más (dedo de la mano)
3		Protección contra objetos extraños sólidos de 2,5 mm de diám. o más (herramientas, cables)
4		Protección contra objetos extraños sólidos de 1,0 mm de diám. o más
5		Protección contra el polvo
6		Estanqueidad al polvo

Las protecciones totales evitan que las personas toquen intencionada o no intencionadamente las piezas en tensión, y son medidas que suelen adoptarse en caso de instalaciones accesibles para personas sin conocimientos técnicos adecuados (personas ordinarias). Las medidas empleadas en ubicaciones accesibles solamente para personas formadas son protecciones parciales definidas, ya que proporcionan protección contra contacto accidental pero no intencionado.

Las principales medidas para la protección contra contactos directos son:

- # • tapar completamente las piezas en tensión con aislamiento que sólo puede ser retirado destruyéndolo (en este caso la protección es total);

SEGUNDO NÚMERO: protección contra la entrada de agua con efectos dañinos		
IP		Descripción completa
0		Sin protección No se facilitan protecciones específicas
1		Protección contra la caída vertical de gotas de agua (condensado)
2		Protección contra la caída vertical de gotas de agua al inclinar el armario hacia arriba hasta 15°
3		Protección contra pulverización de agua a un ángulo de hasta 60° respecto a la vertical
4		Protección contra agua salpicada desde cualquier dirección
5		Protección contra chorros de agua desde cualquier dirección (bombas de chorro de agua)
6		Protección contra chorros de agua potentes (como olas del mar)
7		Protección contra los efectos de la inmersión temporal en agua
8		Protección contra los efectos de la inmersión continuada en agua

Letra adicional: protección contra el acceso a piezas peligrosas		
IP		Descripción completa
0		Protección contra acceso con el dorso de la mano
1		Protección contra acceso con un dedo
2		Protección contra acceso con una herramienta
3		Protección contra acceso con un cable

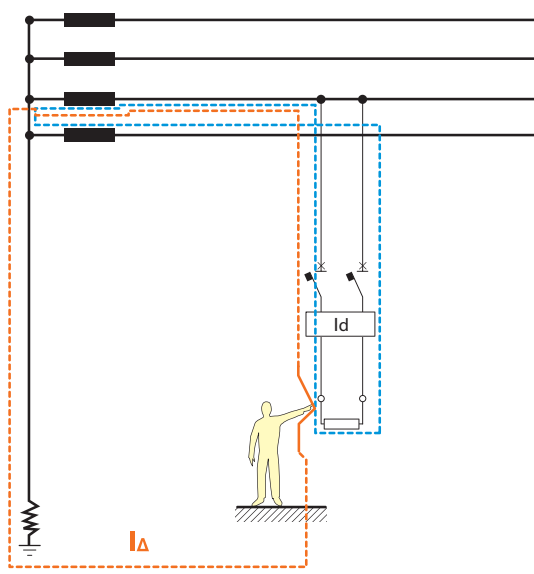
- colocar las piezas en tensión dentro de armarios o con barreras que proporcionen como mínimo un grado de protección IP2X o IPXXB; en cuanto a superficies horizontales al alcance y mayores que las barreras o los armarios, es necesario un grado de protección mínimo IPXXD o IP4X (la protección es total);
- el uso de obstáculos destinados a evitar el contacto accidental con piezas en tensión (la protección sólo evita el contacto accidental, pero no el intencionado y por lo tanto sólo es una protección parcial);
- la colocación de piezas en tensión fuera del alcance para evitar el contacto accidental con estas piezas (protección parcial);
- el uso de dispositivos de protección diferencial con una sensibilidad de funcionamiento no superior a 30 mA.

La protección mediante interruptores diferenciales se define en las normas como la protección adicional destinada solamente a integrar las medidas de protección anteriormente descritas, pero no a sustituirlas. Para aclarar mejor este concepto, la Figura 1 muestra el caso en que se produce el contacto directo solamente con una pieza en tensión.

La línea azul discontinua representa el recorrido de la corriente en condiciones normales, mientras que la línea roja muestra el recorrido de la corriente que podría circular por una persona en las condiciones anteriormente mencionadas.

Dado que no existe defecto a tierra, el estado de conexión de las piezas conductoras expuestas a tierra no tiene influencia.

Figura 1

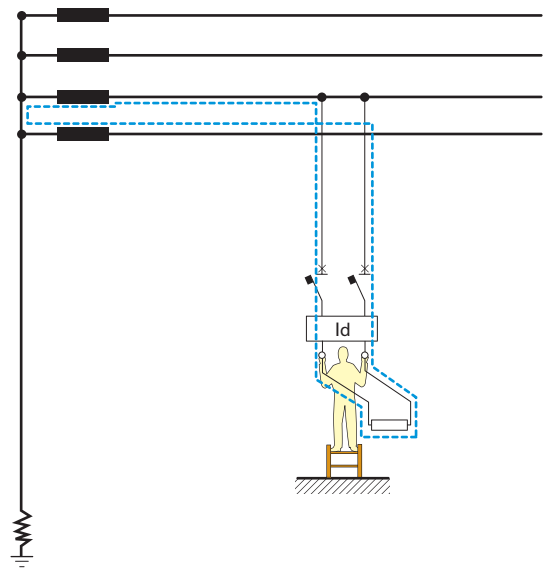


Como se sabe, el dispositivo diferencial opera ciertamente con $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$ (donde $I_{\Delta n}$ es la sensibilidad del dispositivo diferencial).

En conformidad con la curva de peligro (véase el Capítulo 5), una persona no sufre daños si la corriente que circula por el cuerpo humano es inferior o equivalente a 30 mA ($I_{\Delta} \leq 30 \text{ mA}$).

En lugar de ello, la Figura 2 muestra el caso en que se produce contacto directo en dos polaridades con potencial distinto.

Figura 2



Podría producirse una situación peligrosa si una persona está aislada de tierra (p. ej. una persona se apoya contra una escalera de madera o lleva zapatos con suela de goma, etc.) o si su cuerpo presenta un alto valor de resistencia eléctrica al que se suma la resistencia a tierra; de hecho, en estas condiciones, la corriente de fuga a tierra I_{Δ} tiene un valor tan bajo que el dispositivo diferencial no se activaría, pero de cualquier manera la persona podría ser atravesada por una corriente potencialmente peligrosa.

Por consiguiente, en estos casos (aunque son bastante infrecuentes), la norma define la protección diferencial como una protección adicional a integrar con los medios anteriormente mencionados.

Anexo C

Protección contra contactos indirectos sin desconexión automática del circuito

Además de la protección contra contactos indirectos mediante desconexión automática del circuito, las normas de instalación permiten llevar a cabo este tipo de protección sin desconexión automática con ventajas evidentes para la continuidad del servicio; estas protecciones se consideran medidas preventivas porque se emplean para evitar condiciones peligrosas.

Las medidas principales son las siguientes:

- protección mediante el uso de equipo de Clase II o aislamiento equivalente;
- protección mediante zonas no conductoras;
- protección mediante conexión equipotencial local libre de tierra;
- protección mediante separación eléctrica.

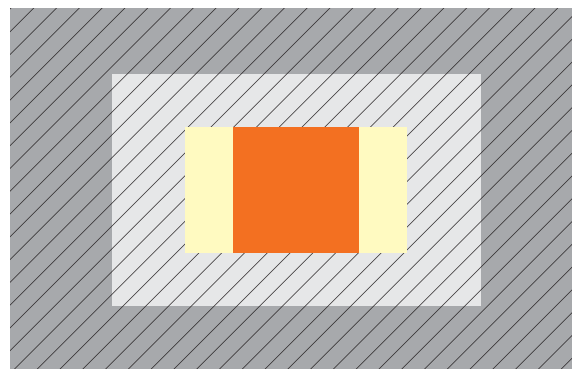
Protección mediante el uso de equipos de Clase II o aislamiento equivalente

Esta protección se facilita a través del uso de equipo eléctrico con características definidas (de construcción y de otro tipo), que garanticen la protección contra contacto indirecto.

Las características principales de estos equipos son (Figura 1):

- aislamiento doble o reforzado;
- aislamiento completo (respecto a cuadros prefabricados);
- aislamiento suplementario aplicado, en fase de instalación, a un equipo eléctrico existiendo un aislamiento principal;
- aislamiento reforzado aplicado a las partes activas desnudas durante la fase de instalación.

Figura 1



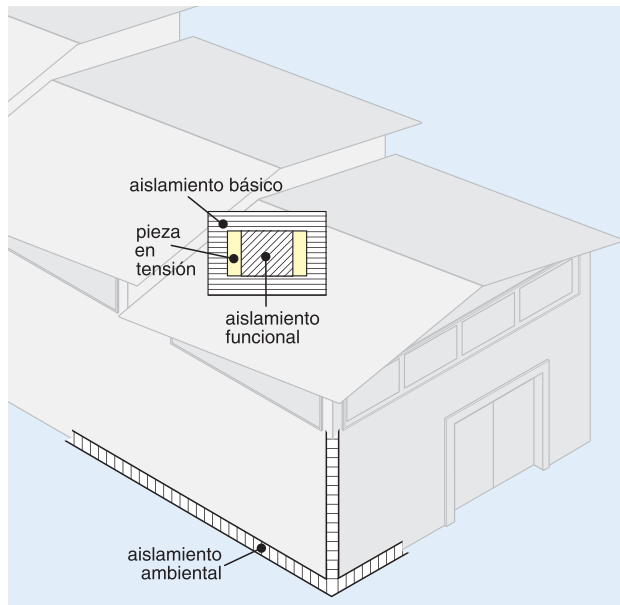
- = pieza bajo tensión
- = aislamiento funcional: en un dispositivo eléctrico aísla las piezas con distintos potenciales, con lo que permite el funcionamiento
- = el aislamiento principal es el aislamiento de las piezas normalmente en tensión
- = el aislamiento suplementario se aplica además del básico en caso de un fallo de éste
- = el aislamiento reforzado es un aislamiento exclusivo que puede garantizar un grado de protección equivalente al que puede proporcionar el aislamiento básico más el adicional

Protección mediante zonas no conductoras

La protección mediante zonas no conductoras consiste en facilitar, a través del entorno, disposiciones específicas (separación, interposición de obstáculos y aislamiento) adecuadas para evitar contactos simultáneos con piezas a distintos potenciales (p. ej. provocados por un defecto en el aislamiento básico de piezas en tensión).

Debido a sus características especiales, este método de protección nunca puede aplicarse en edificios civiles y similares.

Figura 2



Protección mediante conexión equipotencial local libre de tierra

Este tipo de protección consiste en la interconexión de todas las piezas conductoras expuestas accesibles simultáneamente.

Al utilizar este método, pueden producirse problemas en caso de disparo de una conexión equipotencial, que podría exponer a las personas a diferencias de potencial peligrosas en la instalación.

Esta medida de protección no puede aplicarse nunca en edificios civiles y similares y, debido a las dificultades para satisfacer las condiciones requeridas, hay pocos lugares que tengan las características adecuadas.

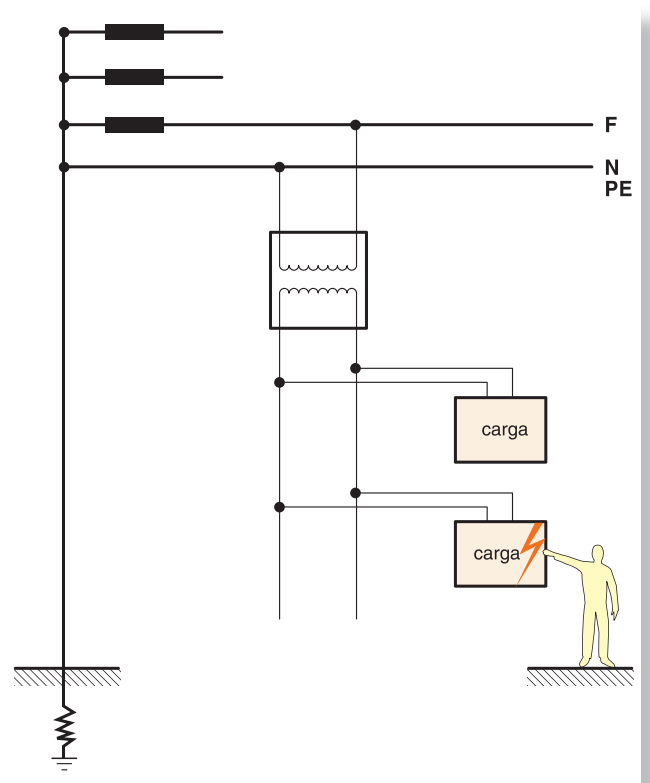
Protección mediante separación eléctrica

La protección mediante separación eléctrica consiste en proporcionar una separación eléctrica entre la fuente de alimentación y el aparato alimentado, utilizando un transformador de aislamiento o una fuente de alimentación con un grado de seguridad equivalente.

El transformador utilizado para obtener esta separación puede ser un transformador sencillo o un autotransformador, pero debe tener unas características que garanticen el aislamiento eléctrico (aislamiento doble o reforzado o un apantallamiento protector entre los bobinados de entrada y salida).

Con esta protección, en caso de contacto indirecto, la tensión del cuerpo humano está limitada por la impedancia del sistema a tierra¹ porque el sistema está completamente aislado (Figura 3).

Figura 3



¹ Ignorando las corrientes capacitivas en cables cortos.

Anexo D

Protección combinada contra contactos directos e indirectos

Las normas permiten utilizar una protección combinada contra contactos directos e indirectos. A tales efectos, es necesario habilitar un sistema con características bien definidas.

La característica principal de estos sistemas es una tensión nominal del circuito equivalente a 50 V CA y 120 V CC (sistemas de tensión extremadamente baja).

Este tipo de protección puede garantizarse adoptando las medidas apropiadas de modo que la tensión nominal no aumente en ningún caso, como podría ocurrir en caso de un defecto en el bobinado secundario de un transformador con primario en $U_1 > 50$ V debido a una pérdida de aislamiento entre los dos bobinados, o debido a un contacto con otros circuitos con valores de tensión superiores.

Por lo tanto, el nivel de tensión extremadamente bajo puede obtenerse con las fuentes siguientes:

- un transformador de aislamiento de seguridad de conformidad con las normas (IEC 61558-2-6);
- una fuente de alimentación que proporcione un grado de seguridad equivalente al del transformador de aislamiento de seguridad;
- una fuente electromecánica con características adecuadas;
- generadores pequeños;
- ciertos dispositivos electrónicos que cumplan las normas apropiadas (en que se hayan adoptado medidas para garantizar que, incluso en caso de un defecto interno, la tensión en los terminales de salida no puede exceder los valores anteriormente indicados).

Estos tipos de sistema se definen así:

- SELV (Baja tensión de seguridad);
- PELV (Baja tensión de protección);
- FELV (Baja tensión funcional).

Baja tensión de seguridad (SELV)

Un sistema SELV tiene las características siguientes:

1. es alimentado por una de las fuentes independientes o una de las fuentes de seguridad anteriormente mencionadas;
2. está separado de otros sistemas eléctricos por una protección, es decir, un aislamiento doble o reforzado o una pantalla metálica conectada a tierra;
3. no hay puntos conectados a tierra.

Estas características son necesarias para evitar que el sistema tenga un valor de tensión superior al nominal.

Baja tensión de protección (PELV)

Un sistema PELV tiene las mismas características de los puntos 1. y 2. anteriores, pero tendrá un punto conectado a tierra necesario por motivos funcionales o para la seguridad de los circuitos de control.

Los sistemas PELV suelen ser menos seguros que los SELV porque, a través de la conexión a tierra, el circuito podría adquirir una tensión superior a la tensión nominal del secundario (tensión extremadamente baja).

Éste es uno de los motivos por los cuales el sistema PELV no es admisible cuando se requieren medidas de protección más estrictas (p. ej. ubicaciones conductoras restrictivas).

Consideraciones acerca de los contactos directos e indirectos en sistemas SELV y PELV.

Al utilizar sistemas de protección SELV o PELV, no hay peligro de contactos indirectos porque la tensión de alimentación es tan baja que no constituye un peligro para el personal.

En cuanto al contacto directo para tensiones nominales de hasta 25 V CA y 60 V CC, la protección ya está garantizada por SELV (en condiciones ambientales normales). Para valores de tensión superiores (pero no superiores a 50 V), se facilitará aislamiento o se impedirá el acceso a las piezas en tensión con un dedo de prueba.

Baja tensión funcional (FELV)

Cuando el sistema es de tensión extremadamente baja, pero no cumple los requisitos anteriores para circuitos SELV y PELV, el sistema se denomina FELV (Baja tensión funcional).

Consideraciones acerca de los contactos directos e indirectos en sistemas FELV.

Los sistemas FELV pueden ser alimentados por un transformador normal que no sea de seguridad; por lo tanto, es posible que, debido a un defecto en el aislamiento, la tensión del primario circule por el secundario.

Por lo tanto, deben aplicarse medidas de seguridad contra contactos directos e indirectos.

Contactos indirectos

Respecto a los contactos indirectos, es necesario que:

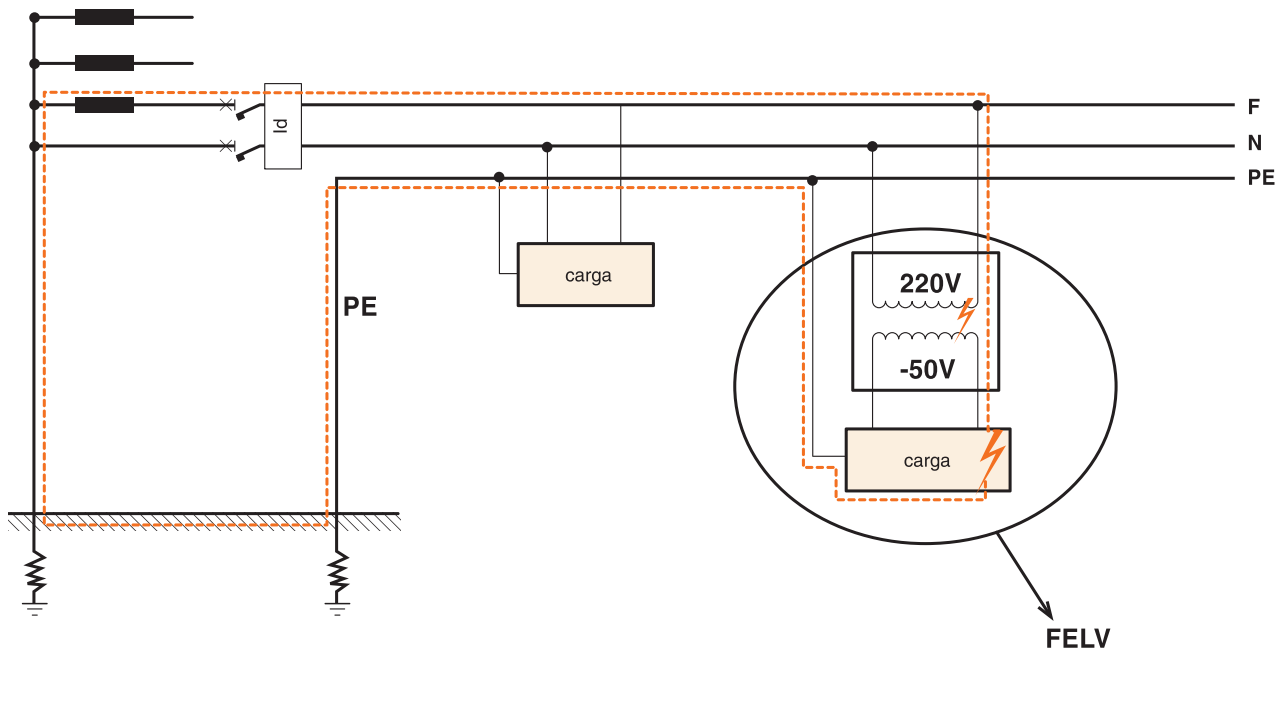
- las piezas conductoras expuestas del circuito FELV estén conectadas al conductor de protección del sistema primario, siempre que se facilite protección mediante disparo automático del circuito. Así, de hecho, como muestra la Figura 1, en caso de defecto doble el dispositivo diferencial del sistema primario se disparará $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$
- las piezas conductoras expuestas del circuito FELV estén conectadas al conductor aislado de conexión equipotencial libre de tierra (en un sistema en que se facilite protección mediante separación eléctrica).

Contactos directos

Respecto a los contactos directos, es necesario que:

- las piezas en tensión estén situadas dentro de armarios o tras barreras que ofrezcan un grado de protección de como mínimo IP2X o IPXXB
- se garantice un grado de aislamiento correspondiente a la tensión de prueba mínima requerida para el circuito primario.

Figura 1



Anexo E

Consideraciones sobre el neutro y el conductor de protección

Conductor neutro

Aspectos generales

El conductor neutro es un conductor en tensión que está conectado al punto neutro del sistema¹ y que puede contribuir a la transmisión de energía eléctrica.

Sus otras funciones son:

- facilitar una tensión U_0 que es distinta de la tensión entre fases U (Figura 1);
- hacer que las cargas monofásicas sean funcionalmente independientes entre sí (Figura 2);
- limitar el desplazamiento del centro estrella en presencia de cargas trifásicas desequilibradas (Figura 3);
- realizar también la función de conductor de protección (PEN), en condiciones específicas (Figura 4).

Figura 1

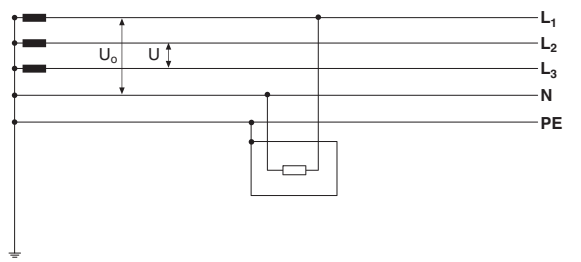
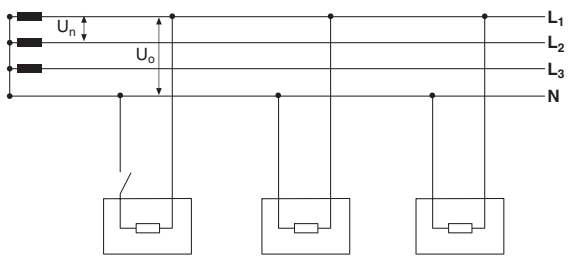


Figura 2

Con el neutro distribuido, las cargas monofásicas siempre son alimentadas por la tensión U_0 .



En ausencia del neutro, la desconexión de una carga podría hacer que las demás operaran a una tensión equivalente a $U_n/2$.

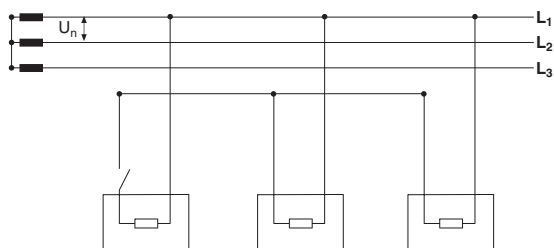
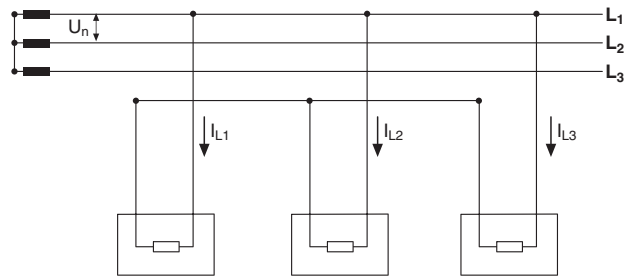


Figura 3

Sin el neutro, la suma de corrientes debe ser cero, lo que provoca una asimetría acusada de las tensiones de fase.



La presencia del neutro une el punto de estrella real al ideal.

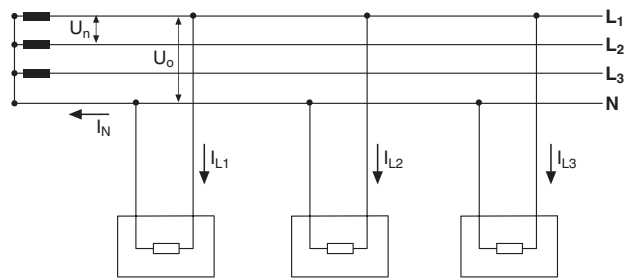
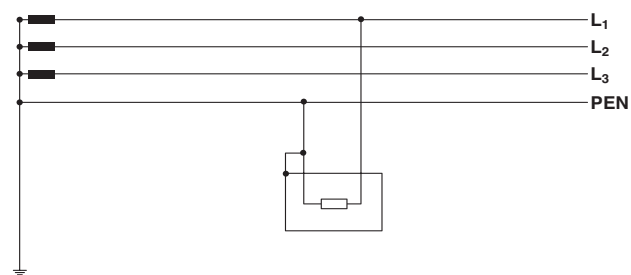


Figura 4

En un sistema TN-C, el conductor neutro también es el conductor de protección.



¹ El punto neutro suele estar conectado al centro estrella del transformador o del generador, aunque no necesariamente. En la práctica, en instalaciones eléctricas, el punto neutro del sistema tiene potencial cero. De hecho, si el sistema está equilibrado, el diagrama vectorial de las tensiones entre fases y estrella muestra que el punto neutro coincide con el centroide del triángulo. Desde el punto de vista de la física, el punto neutro pasa a estar disponible en caso de conexión en estrella de las fases. En caso contrario, si la conexión es de tipo delta, el punto neutro puede hacerse accesible derivando de las fases una serie de tres impedancias conectadas en estrella de valor equivalente.

Protección y disparo del conductor neutro

En condiciones anómalas, el conductor neutro puede tener una tensión a tierra que, por ejemplo, puede deberse a una desconexión provocada por una ruptura accidental o por la intervención de los dispositivos monopolares (fusibles o interruptores automáticos monopolares). Debe prestarse atención al hecho de que estas anomalías pueden tener consecuencias graves si el conductor neutro se utiliza también como conductor de protección, como en los sistemas TN-C. En cuanto a estos sistemas de distribución, las normas prohíben el uso de cualquier dispositivo (tanto monopolares como multipolares) que pueda desconectar el conductor PEN, y detallan las secciones transversales mínimas (véase el párrafo siguiente) necesarias para considerar insignificante la posibilidad de ruptura por causas accidentales. Como se ha comentado, en un circuito de cuatro polos, el disparo del conductor neutro sólo podría alterar la tensión de alimentación de los aparatos monofásicos alimentados por una tensión distinta de la tensión de fase. Por lo tanto, la protección del conductor neutro no debe facilitarse a través de dispositivos monopolares. La protección y el disparo del conductor neutro son distintas según la naturaleza de los sistemas de distribución:

- sistemas TT o TN;
- sistemas IT.

En sistemas TT o TN:

- a) cuando la sección transversal del conductor neutro es como mínimo equivalente o superior a la de los conductores de fase, no es necesario proporcionar detección de sobreintensidad para el conductor neutro o un dispositivo de disparo para ese conductor (neutro no protegido y no desconectado);
- b) la detección de sobreintensidad no debe facilitarse para el conductor neutro si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes: #

- #
 - el conductor neutro está protegido contra cortocircuito por el dispositivo de protección de los conductores de fase del circuito, y
 - en servicio normal, la corriente máxima que es probable que conduzca el conductor neutro es claramente inferior a la capacidad de conducción de ese conductor;
- c) cuando la sección del conductor neutro es inferior a la del conductor de fase, es necesario detectar una sobreintensidad en el conductor neutro, y provocar la desconexión de los conductores de fase, pero no necesariamente del conductor neutro (neutro protegido pero no desconectado).
En sistemas TN-C, el conductor neutro también actúa como un conductor de protección y, por lo tanto, no puede desconectarse. Además, en caso de disparo del conductor neutro, durante un defecto a tierra las piezas conductoras expuestas tomarían la tensión nominal a tierra del sistema.

Sistemas IT:

Cuando el conductor neutro está distribuido¹, normalmente es necesario proporcionar la detección de una sobreintensidad en el conductor neutro de cada circuito, que provocará la desconexión de todos los conductores en tensión del circuito correspondiente, incluyendo el conductor neutro.

La detección de sobrecarga en el conductor neutro no es necesaria si:

- el conductor neutro está protegido eficazmente contra cortocircuitos por un dispositivo de protección situado en la parte de la alimentación (es decir, en el origen de la instalación);
- el circuito está protegido por un dispositivo diferencial con una sensibilidad no superior a 0,15 veces la capacidad de conducción del conductor neutro correspondiente. Este dispositivo desconectará todos los conductores en tensión, incluido el neutro.

¹ La norma desaconseja la distribución del neutro en sistemas IT, véase el Capítulo 5.

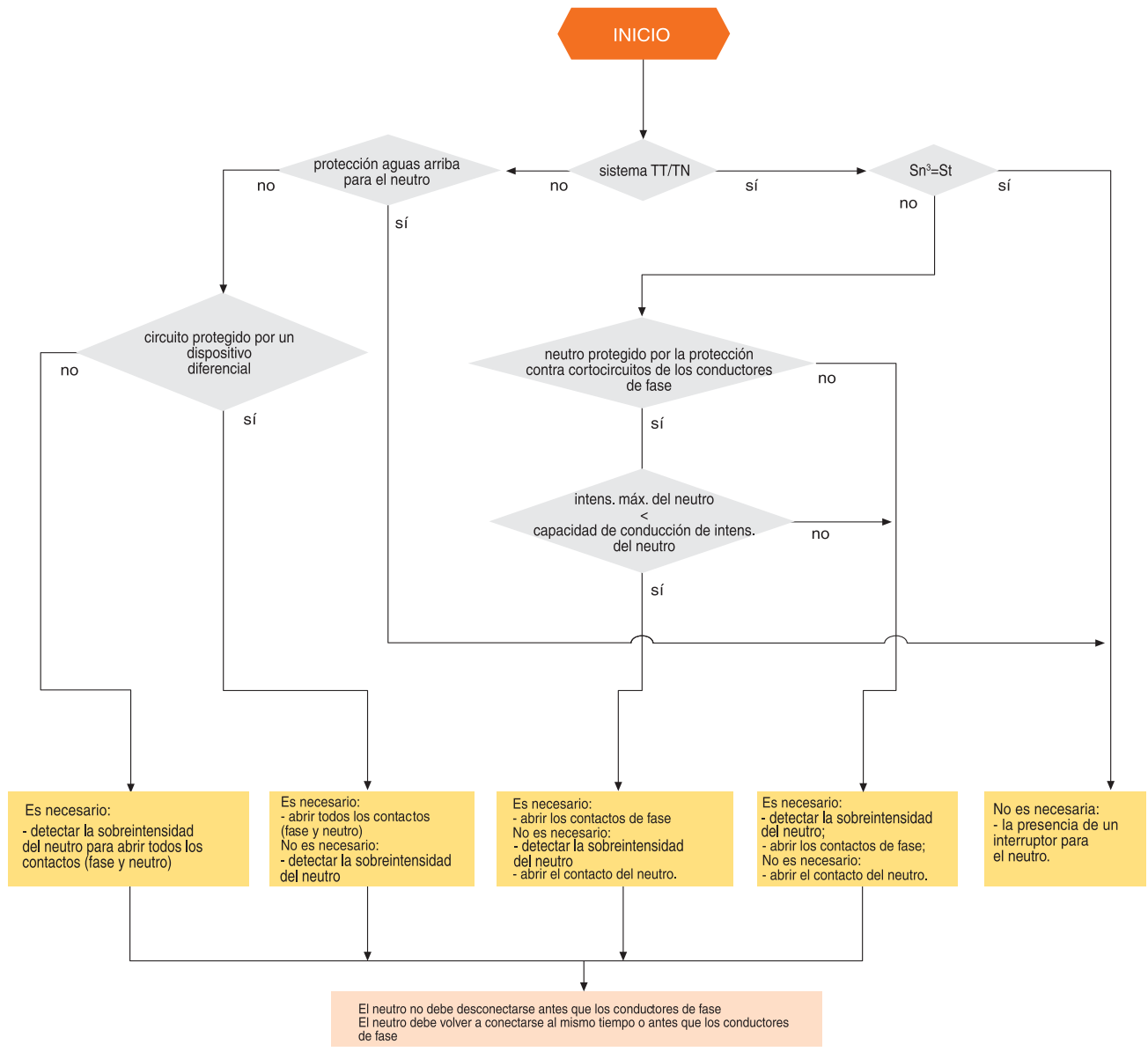
La Tabla 1 resume los puntos anteriores.

Tabla 1

	Sistemas TT o TN-S		Sistema TN-C		Sistema IT
	$S_N = S$	$S_N < S$	$S_{PEN} = S$	$S_{PEN} < S$	
Trifásico + neutro	(1)	(1)	-	-	
	(2)	(2)			
	(3)	(3)			
Fase + neutro	(1)	-	-	-	
	(2)				
	(3)				
Trifásico+ PEN	-	-		(1)	-
	-	-	-	(3)	
Fase + PEN	-	-		-	-

(1) requisito mínimo descrito por las normas de instalación
 (2) configuración sugerida por ABB
 (3) configuración factible si se verifica el punto b).

Figura 5: Diagrama de flujo "protección del conductor neutro"



Determinación de la sección mínima del conductor neutro

El conductor neutro, si existe, tendrá la misma sección que el conductor de línea en los casos siguientes:

- en circuitos monofásicos o bifásicos, con independencia de la sección del conductor de línea;
- en circuitos trifásicos, cuando la sección del conductor de línea es inferior o equivalente a 16 mm² en cobre o 25 mm² en aluminio.

La sección del conductor neutro podría ser menor que la sección del conductor de fase cuando la sección del

conductor de fase es superior a 16 mm² con cable de cobre o 25 mm² con cable de aluminio, si se cumplen las dos condiciones siguientes:

- la sección del conductor neutro es como mínimo de 16 mm² para conductores de cobre y 25 mm² para conductores de aluminio;
- no hay una distorsión por armónicos elevada de la corriente de carga. Si existe una alta distorsión por armónicos, como por ejemplo en el caso de lámparas de descarga, la sección del neutro no puede ser menor que la sección de los conductores de fase.

En resumen:

Tabla 2

	Sección transversal de fase S [mm ²]	Sección transversal mín. del neutro S _N [mm ²]
Circuitos monofásicos/bifásicos de Cu/Al	cualquiera	S ¹
Circuitos trifásicos de Cu	S A 16	S ¹
	S > 16	16
Circuitos trifásicos de Al	S A 25	S ¹
	S > 25	25

¹En sistemas de distribución TN-C, las normas disponen para los conductores PEN una sección transversal mínima de 10 mm² para cobre y 16 mm² para aluminio.

Conductor de protección

Determinación de las secciones transversales mínimas

La sección transversal mínima del conductor de protección PE puede determinarse con la Tabla 3 que figura a continuación:

Tabla 3

Sección transversal del conductor de fase S [mm ²]	Sección transversal del conductor de protección S _{PE} [mm ²]
S A 16	S
16 < S A 25	16
S > 25	S/2

Para un cálculo más preciso y suponiendo que el conductor de protección se somete a calentamiento adiabático entre una temperatura inicial conocida y una temperatura final especificada (por lo tanto aplicable a tiempos de eliminación del defecto no superiores a 5 s), la sección transversal mínima del conductor de protección S_{PE} puede obtenerse con la fórmula siguiente:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K}$$

donde:

- S_{PE} es la sección transversal del conductor de protección en [mm²];
- I es la corriente eficaz que circula por el conductor de protección en el caso de un defecto con baja impedancia en [A];

- K es una constante que depende del material del conductor de protección, del tipo de aislamiento y de la temperatura inicial y final, y que puede obtenerse en las tablas de las normas o calcularse con la fórmula siguiente:

$$K = \sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{\xi - \xi_0}{B + \xi} \right)}$$

donde:

- μ#Q_c es la capacidad térmica por unidad de volumen del material del conductor en [J/°C·mm³];
- μ#B es el valor inverso del coeficiente de temperatura de la resistividad a 0°C para el conductor;
- μ#ρ₂₀ es la resistividad del material del conductor a 20°C en [Ω·mm];
- μ#ξ₀ es la temperatura inicial del conductor en [°C];
- μ#ξ es la temperatura final del conductor en [°C];
- μ#ξ y ξ dependen del material de aislamiento y del tipo de cable utilizado; véase la norma para obtener más detalles.

La Tabla 4 muestra los valores más comunes de los parámetros anteriores:

Tabla 4

Material	B [°C]	Q _c [J/°C·mm ³]	ρ ₂₀ [K·mm]	
Cobre	234.5	3.45Δ10 ⁻³	17.241Δ10 ⁻⁶	226
Aluminio	228	2.5Δ10 ⁻³	28.264Δ10 ⁻⁶	148
Plomo	230	1.45Δ10 ⁻³	214Δ10 ⁻⁶	42
Acero	202	3.8Δ10 ⁻³	138Δ10 ⁻⁶	78

Si la tabla de las normas o la fórmula no proporcionan una sección transversal estandarizada, es necesario elegir un conductor de protección con la sección transversal estandarizada inmediatamente mayor.

Tanto si se utiliza la tabla como la fórmula, la sección transversal del conductor de protección, que no forma parte del cable de alimentación, deberá ser como mínimo de:

- 2,5 mm² si se facilita una protección mecánica
- 4 mm² si no se facilita protección mecánica.

Glosario

PE	Conductor de protección
PEN	Conductor combinado (protección y neutro)
I_0	Corriente diferencial
I_{0n}	Corriente diferencial nominal
I_n	Corriente nominal
I_3	Umbral de disparo instantáneo
RCD	Dispositivo de protección diferencial
U_0	Tensión de fase entre fase y neutro
U_n	Tensión nominal (entre fases)
Z	Impedancia
I_a	Corriente de disparo del dispositivo de protección
R	Resistencia
R_t	Resistencia de la puesta a tierra
N	Neutro
S	Sección transversal del conductor de fase
S_N	Sección transversal del conductor neutro
S_{PE}	Sección transversal del conductor de protección
S_{PEN}	Sección transversal del conductor PEN

Contacte con nosotros

Asea Brown Boveri, S.A.
Low Voltage Products
Torrent de l'Olla 220
08012 Barcelona
Tel. 93 484 21 21
Fax 93 484 21 90
www.abb.es/bajatension



1TXA007102G0701 000309