



Protección de defecto a tierra

—
«La distribución de energía eléctrica ofrece una contribución indispensable al mundo y a la vida moderna.

Todos lo sabemos implícitamente, hasta el punto de darlo por descontado como algo ya hecho, quizá subestimando la complejidad técnica que hay detrás y la importancia de la seguridad de las instalaciones eléctricas».

Índice

04	1. Introducción
05	2. Las tres capas de la protección de defecto a tierra
05	2.1. Protección básica
06	2.2. Protección de defectos
07	2.3. Protección adicional
08	3. Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano
09	3.1. Límite de fibrilación de λ
09	3.2. Límite de contracción lateral
10	4. Clases de RCD
10	4.1. Clasificación de los RCD por arquitectura de producto
11	4.2. Clasificación de los RCD según la forma de onda de la corriente residual esperada
12	4.3. Corriente residual nominal de funcionamiento $I_{\Delta n}$
12	4.4. Prevención de disparos no deseados y selectividad
14	5. Principio de funcionamiento del RCD
14	5.1. Detección de corriente residual
15	5.2. Procesamiento de señales
15	5.3. Actuación
16	5.4. Botón de prueba
17	6. Sistemas de puesta a tierra e instalación de RCD
19	6.1. Sistemas de distribución eléctrica TT
19	6.2. Sistemas de distribución eléctrica TN
19	6.3. Sistemas de distribución eléctrica IT
20	7. Condiciones de riesgo residual en defectos a tierra
20	7.1. Pérdida del neutro frente a los RCD IV
21	7.2. Doble contacto directo
21	7.3. Falta de RCD en instalaciones generalizadas en sistemas TT
22	8. Eficacia y fiabilidad de los RCD
24	9. Referencias

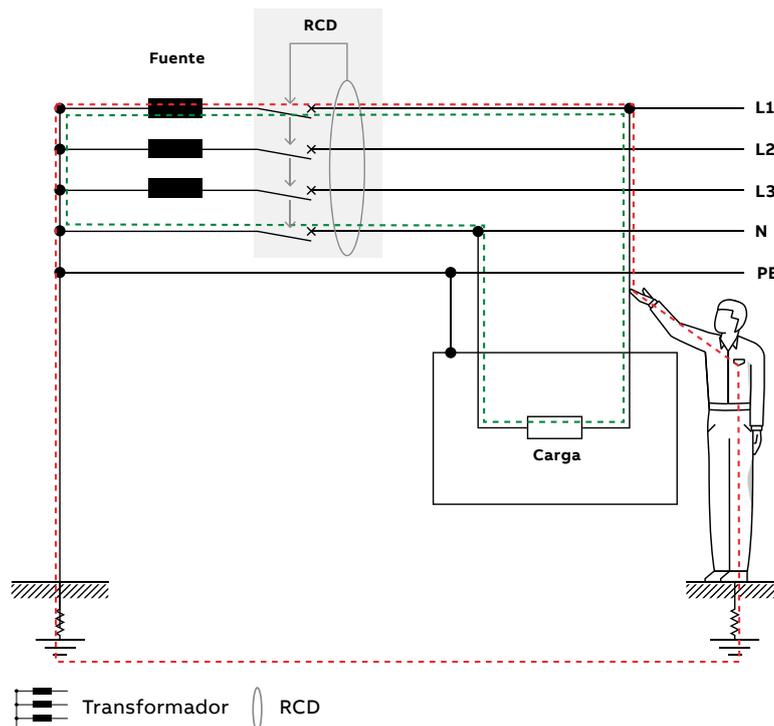
1. Introducción

— Figura 1. La corriente de carga (verde) suele circular desde la fuente a través de la carga y de vuelta a la fuente, pasando por el dispositivo de corriente residual (RCD) dos veces y en direcciones opuestas. En caso de defecto a tierra, una corriente residual (roja) fluye de la fuente a tierra a través de un cuerpo humano, por ejemplo, al tocar una pieza con tensión, y luego vuelve a la fuente, sorteando el RCD en el camino de vuelta. El RCD detecta el desequilibrio de corriente resultante, que inmediatamente desconecta la alimentación.

La distribución eléctrica ofrece una contribución indispensable a la vida y el mundo modernos. Todos lo sabemos implícitamente, hasta el punto de darlo por descontado como algo ya hecho, quizá subestimando la complejidad técnica que hay detrás y la importancia de la seguridad de las instalaciones eléctricas, especialmente en entornos con presencia de personas. Afortunadamente, el riesgo de incidentes mortales o perjudiciales relacionados con la electricidad puede mantenerse muy reducido, siguiendo debidamente las disposiciones de las rigurosas normas eléctricas, y gracias a la correcta instalación de los dispositivos de protección que prescriben. Por otro lado, la gran eficacia y fiabilidad de estas soluciones de protección puede llevar a descuidar el problema por completo. Por lo tanto, para una elección, instalación, mantenimiento y uso seguro de la red eléctrica de forma competente, es conveniente tener ciertos conocimientos, que es nuestro propósito aquí. Esta guía está dedicada a la protección contra los **defectos a tierra** en instalaciones de baja tensión, incluyendo el caso de corrientes eléctricas que pasan a través de un cuerpo humano (o del ganado) como consecuencia de contacto con una

o más partes activas peligrosas como en la Figura 1. En un circuito sin defectos, las corrientes fluyen desde la fuente (es decir, el transformador de la subestación) hasta la carga y de vuelta, en un bucle (verde en la figura) que incluye una o más fases (L1, L2, L3) o el conductor neutro (N). En caso de un defecto a tierra, se forma un bucle de corriente adicional (rojo en la figura), en el que la corriente fluye de nuevo a la fuente a través de la tierra (como en la Figura 1) o a través de un conductor de puesta a tierra, como por ejemplo, la tierra de protección (PE) (como el bucle azul en la Figura 15b).

Además de los defectos a tierra, pueden producirse otros fallos eléctricos, como por ejemplo, una sobrecarga o un cortocircuito (ambos incluidos en el llamado fallo de sobreintensidad), una sobretensión, un fallo de arco, etc. Se recomiendan dispositivos de protección específicos contra dichos fallos y no se describirá aquí. Por otro lado, los RCD que encontrarán un amplio espacio en esta guía, además de la protección de defecto a tierra, también son útiles para la protección contra incendios, pero esta última aplicación no se describirá aquí.



— Figura 1.

2. Las tres capas de la protección de defecto a tierra

—
Figura 2. Las tres capas de la protección de defecto a tierra. Los RCD intervienen en la protección de defectos por desconexión automática y en la protección adicional

Según el entendimiento general, la protección de defecto a tierra se delega en los dispositivos de corriente residual (RCD), es decir, en los dispositivos de conmutación mecánica seleccionados e instalados de acuerdo con la serie de normas internacionales IEC 60364 [2] y los reglamentos nacionales derivados. Los RCD detectan el desequilibrio de la corriente que no fluye a través de ellos, que en este contexto

se denomina corriente residual y es representativa de un defecto a tierra. Esta es solo una parte del concepto de protección. El nivel más alto de protección solo puede alcanzarse en el marco de un enfoque de seguridad que consta de tres capas: protección básica, protección de defectos y protección adicional; consulte la Figura 2 y IEC 61140 [10] para obtener más detalles. Es importante comprender la estrategia general de protección para evitar peligrosos conceptos erróneos, incluida la creencia incorrecta de un riesgo residual nulo.



—
Figura 2.

2.1. Protección básica

La primera y mejor forma de protección es evitar el contacto involuntario con las partes activas. Esto se garantiza con medidas pasivas como el aislamiento de los cables o las envolventes para equipos eléctricos; consulte Figura 3. Esto se conoce como **protección básica** (conocida habitualmente también como protección de contacto directo). Para aplicaciones especiales, también se puede utilizar la protección mediante obstáculos o la protección mediante la colocación de las partes activas fuera del alcance. La protección básica se diseñará y construirá teniendo en cuenta las condiciones climáticas, la presencia de agua, los esfuerzos mecánicos, etc.

La protección básica sería suficiente para el propósito, a menos que haya un fallo en el aislamiento en alguna parte, o que la protección se elimine intencionadamente, como, por ejemplo, para instalar una lámpara, olvidando desconectar y, por lo tanto, desenergizar el circuito eléctrico sometido a mantenimiento. El contacto con una sola pieza activa es peligroso porque, por lo general, un cuerpo está en contacto simultáneo con el potencial de tierra (por ejemplo, con los pies apoyados en el suelo). Esto proporciona a la corriente eléctrica un camino de vuelta a la fuente, es decir, al transformador de la subestación de la red de distribución.

Figura 3. Protección básica.

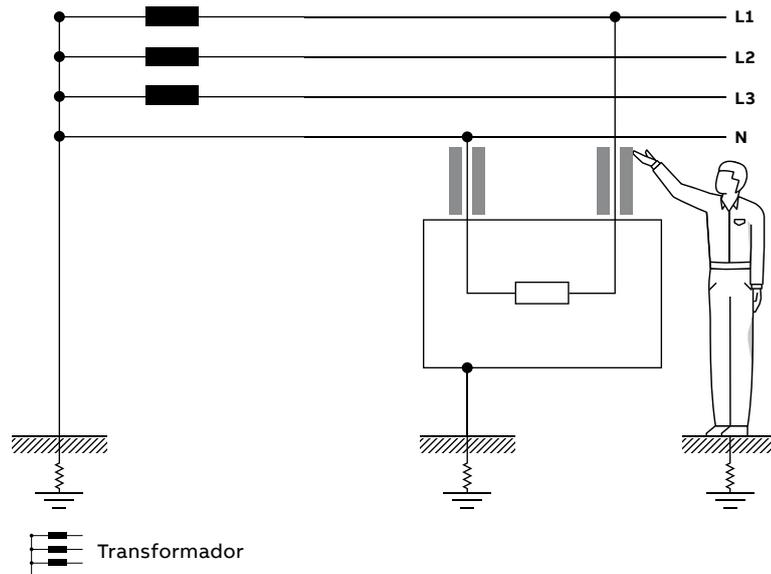


Figura 3.

2.2. Protección de defectos

En caso de fallo de aislamiento, la **protección de defectos** es responsable de evitar descargas eléctricas. Esto se realiza mediante una segunda capa de aislamiento independiente (doble aislamiento) o encerrando en una envolvente las partes activas con una carcasa metálica conectada a tierra (se muestra esquemáticamente en Figura 1 y Figura 5 como una caja rectangular alrededor de la carga y conectada al conductor PE) y un dispositivo de protección desconectará automáticamente el suministro en caso de un fallo de impedancia insignificante entre los conductores de línea y las partes conductoras expuestas.

Para proporcionar un aislamiento doble o reforzado, es necesario utilizar equipos eléctricos, conocidos como equipos de clase II. Ejemplos típicos son los cables con revestimiento que constan de una cubierta aislante exterior, que cubre uno o más conductores que a su vez están aislados individualmente, o envolventes o cuadros de distribución totalmente aislados; consulte los contornos grises en la Figura 4.

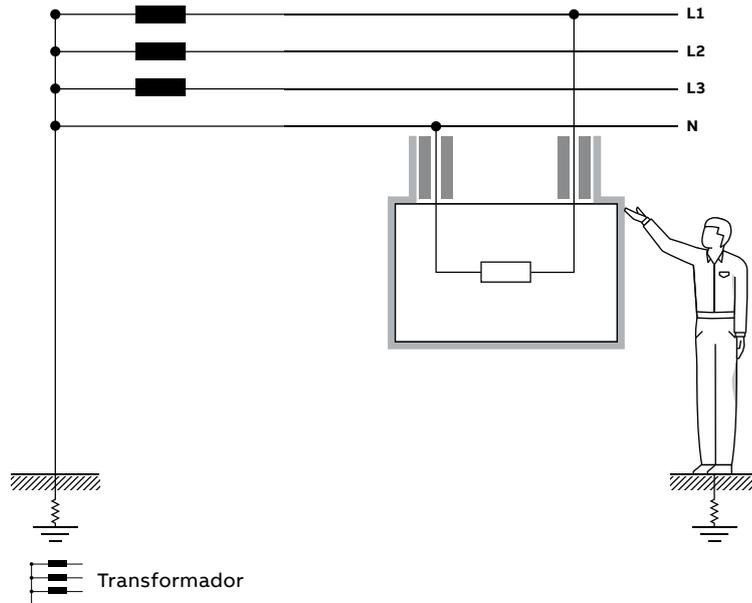
En el segundo caso, conocido como protección de defectos mediante desconexión automática de la alimentación, o también como protección de contacto indirecto, todas las partes conductoras expuestas (por ejemplo, las partes metálicas accesibles) deben estar conectadas entre sí por los conductores a tierra de protección (PE) (conexión equipotencial) y al borne de puesta a tierra principal de la instalación.

Las corrientes de defecto pueden fluir de las partes activas a la envolvente conectada a tierra y luego, a la fuente; consulte la Figura 5. En este caso, es obligatorio desconectar automáticamente el suministro, lo cual se logra mediante un RCD de sensibilidad media (por ejemplo, 300 mA). En el caso mostrado en la Figura 15b, relevante para un denominado sistema de distribución TN, la corriente de defecto fluye principalmente a través de conductores, es decir, a través de una trayectoria de baja impedancia, y por lo tanto puede alcanzar valores suficientes para disparar disyuntores en miniatura (MCB) y/o fusibles. El caso mostrado en la Figura 5 muestra un sistema de distribución TT (consulte la Sección 6 para ver una descripción general de los sistemas de distribución principales), donde la tierra forma parte del bucle de reconexión, aumentando su impedancia a valores que pueden provocar corrientes no detectables por los MCB o los fusibles. Los equipos eléctricos que deben protegerse mediante desconexión automática están equipados con un terminal PE (un tercer pasador en muchos enchufes) y se conocen como equipos de clase I.

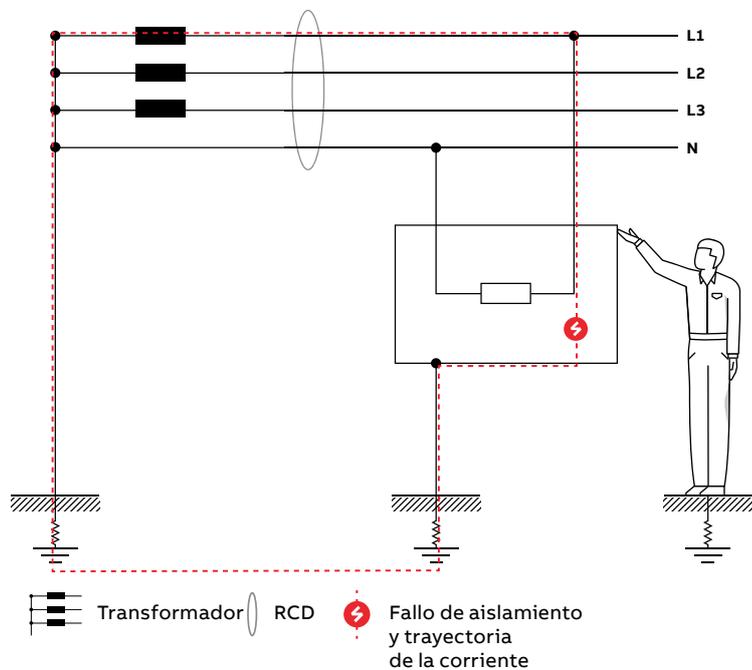
Otro método de protección de defectos es la protección por tensión extra baja (ELV), obtenida en sistemas con una tensión no superior a 50 V en CA o 120 V en CC, suministrada por una fuente de seguridad especificada. Los equipos protegidos por tensión extra baja se conocen como equipos de clase III. Algunos ejemplos típicos son los aparatos electrónicos de baja potencia, como un cargador de teléfono móvil o un portátil.

—
Figura 4. Protección de defectos con aislamiento doble o reforzado.

—
Figura 5. Protección de defectos mediante desconexión automática del suministro (se evitan las descargas eléctricas).



—
Figura 4.



—
Figura 5.

2.3. Protección adicional

Según las normas de la CEI, el doble nivel de protección contra descargas eléctricas - la protección básica y la protección de defectos - es obligatorio en casi todo el mundo. En muchas aplicaciones comunes, se requiere un tercer nivel de protección, conocido como protección adicional, en caso de fallo de la protección básica y de la protección de defectos; consulte la Figura 6. Esto último puede ocurrir debido a un descuido de los usuarios, por ejemplo, al retirar voluntariamente la envolvente de un aparato, o debido a la rotura del aislamiento, o a la pérdida de la conexión PE, la inmersión en agua, etc. Si no se desconecta previamente el suministro, es muy probable que se produzca una descarga eléctrica en cuanto se toque una parte activa; véase, por ejemplo, el caso mos-

trado en la Figura 1. Un RCD con alta sensibilidad (por ejemplo, 30 mA o menos) se reconoce en los sistemas de CA como protección adicional contra las descargas eléctricas.

Aunque un RCD no puede evitar las descargas eléctricas, sí puede, en muchos casos, interrumpir la corriente lo suficientemente rápido como para evitar lesiones graves o la muerte. Como se muestra en la Figura 1, al tocar un conductor con tensión, una corriente residual fluirá a través del cuerpo a tierra, eludiendo el RCD en la trayectoria de retorno, lo que desconectará la alimentación (más detalles en la Sección 5). Es importante tener en cuenta que, dado que la tierra es parte del bucle de fallo, una alta impedancia conduce a corrientes muy bajas (varios mA) en comparación con la

Figura 6. Las corrientes residuales (rojo) fluyen de la fuente a la tierra, por ejemplo, al tocar una estructura metálica en condiciones de doble fallo (defecto de aislamiento y pérdida de la conexión PE, es decir, de la puesta a tierra correcta) y de vuelta a la fuente alrededor del RCD. El RCD detecta el desequilibrio resultante e inmediatamente desconecta la alimentación.

corriente de funcionamiento de una protección de sobrecorriente (MCB o fusible), que está dentro del rango de decenas, cientos, miles de amperios. Por lo tanto, la protección de sobrecorriente no puede proporcionar protección adicional.

La principal diferencia entre el uso del RCD para la protección de defectos y el uso del mismo RCD para la protección adicional es que en el primer caso se evitan las descargas eléctricas, mientras que en el segundo caso, el RCD puede interrumpir rápidamente la descarga eléctrica, lo que reduce el riesgo de lesiones pero no elimina la descarga eléctrica. El uso de los RCD con una corriente de funcionamiento residual nominal que no supere los 30 mA es entonces un elemento de protección clave para aumentar la seguridad en los circuitos eléctricos de baja tensión (BT), aunque no puede ser el único medio de protección y no implica la necesidad de aplicar también las otras medidas de protección especificadas para la protección básica y la protección de defectos.

La protección adicional mediante RCD de hasta 30 mA no depende del sistema de puesta a tierra (consulte la sección 6) y no está relacionada con la provisión utilizada para la protección de defectos. Por ejemplo, se puede utilizar un RCD de 30 mA para proteger adicionalmente equipos de clase II que no necesitan RCD para la protección de defectos. La palabra "protección adicional" no significa solo una disposición opcional. La protección adicional mediante los RCD de hasta 30 mA es obligatoria en determinadas condiciones de influencias externas y en determinadas ubicaciones especiales, que incluyen, por ejemplo:

- Bases de enchufe de uso general para todo tipo de gente;
- Bases de enchufe para conectar a equipos portátiles utilizados en exteriores con una corriente nominal ≤ 32 A;
- Lugares que contienen una bañera o una ducha.

Para una lista completa de aplicaciones y lugares en los que es obligatoria la protección adicional mediante un RCD de hasta 30 mA, véase la serie IEC 60364 [2] y las normativas nacionales aplicables.

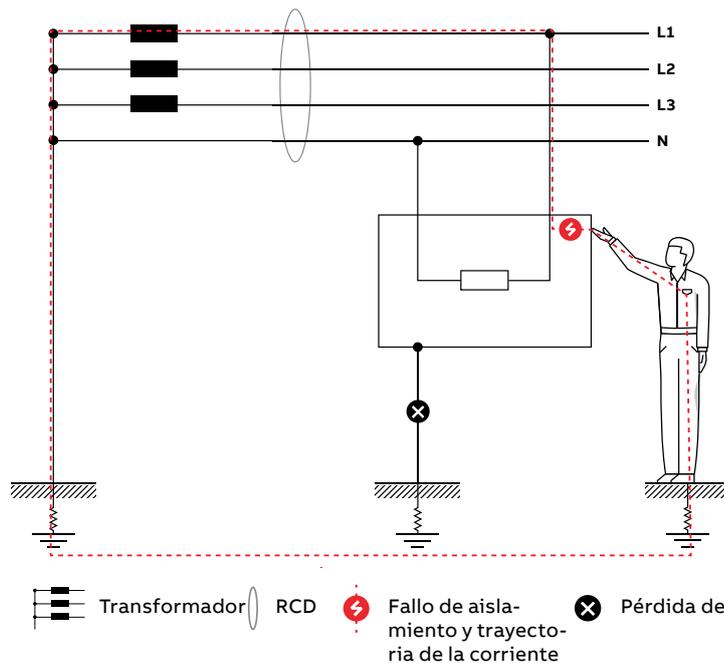


Figura 6.

3. Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano

Como comentamos, los defectos a tierra que afectan a las personas pueden provocar una descarga eléctrica, un peligroso efecto fisiopatológico resultante del paso de una corriente eléctrica por el cuerpo humano. Los efectos reales de una descarga eléctrica dependen de muchos factores, como la tensión y la intensidad de la corriente, la forma de onda de corriente, la duración de la descarga eléctrica,

qué partes del cuerpo están implicadas, si hay elementos resistivos externos en serie con el cuerpo (por ejemplo, la ropa o el calzado), si alguno de los puntos de contacto está húmedo o sumergido en agua, la edad y el sexo de la persona implicada, las variaciones naturales de los individuos, y muchos otros. En el peor de los casos, las descargas eléctricas pueden provocar lesiones graves o la muerte. Los descargas eléctricas

Figura 7. Mapa de riesgo convencional para la conducción de la corriente eléctrica en el cuerpo humano, desde la mano izquierda hasta los pies (el corazón está en la trayectoria de la corriente). Se definen diferentes zonas de riesgo en función de la intensidad de la corriente y de la duración de la exposición. La imagen, según la norma IEC 60479-1 [1], se refiere a la CA en la gama de frecuencias de 15 a 100 Hz.

también pueden causar lesiones indirectas, por ejemplo, caídas desde una escalera o ahogamiento.

En la figura 7 se muestra un mapa de riesgo convencional, reproducido de la norma IEC 60479-1 [1] y que muestra las zonas de efectos

del tiempo/la corriente para corriente alterna que fluye a través de una trayectoria típica desde la mano izquierda hasta los pies. Observe que el corazón se halla a lo largo de la trayectoria actual. Cada punto del mapa representa una corriente corporal, leída en el eje horizontal, y de una duración de la exposición, leída en el eje vertical.

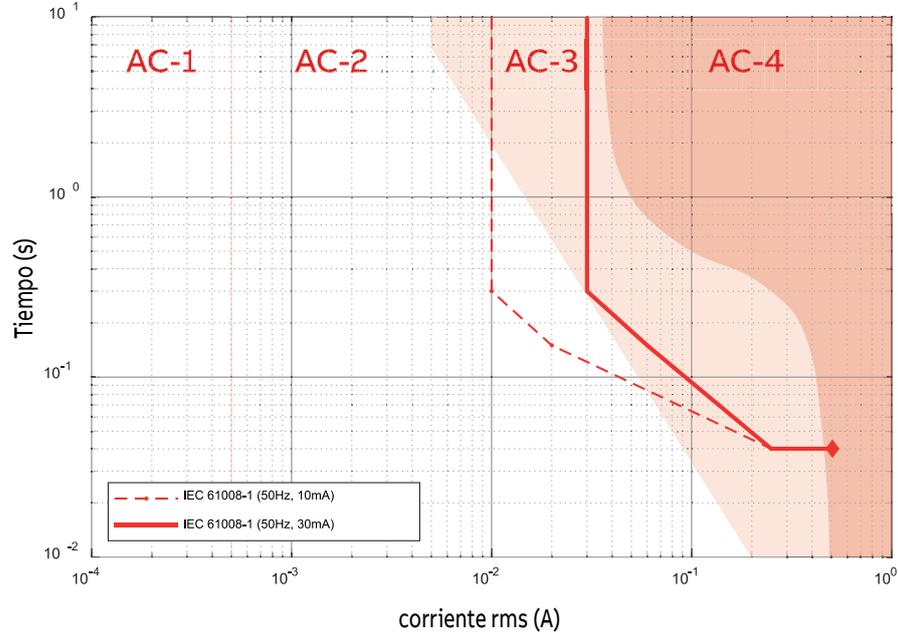


Figura 7.

3.1. Límite de fibrilación de λ

Considerando Figura 7, la fibrilación ventricular y otros efectos fisiopatológicos que son causa de muerte pueden producirse en la zona AC-4. La característica de funcionamiento de los **RCD con una corriente de funcionamiento residual nominal de 30 mA** se muestra como una curva roja sólida. Los puntos por encima de la curva roja representan condiciones de defecto

lo suficientemente intensas y/o prolongadas como para que el RCD se dispare. Dada la resistencia de las trayectorias a través del cuerpo humano, a 230 V es poco probable que haya corrientes superiores al extremo derecho de la curva roja. Se observa que los RCD de 30 mA cubren la zona AC-4 y, por tanto, están destinados a evitar la fibrilación ventricular.

3.2. Límite de contracción lateral

Aún así, según la Figura 7, en la zona AC-3, una fuerte contracción muscular involuntaria puede impedir que la víctima se desprenda de las partes activas peligrosas que ha tocado hasta que cese el flujo de corriente. Por esta razón, el límite de contracción muscular también se conoce como límite de inmovilización o límite de desunión. La característica de funcionamiento de los **RCD con una corriente residual de funcionamiento nominal de 10 mA** aparece en la Figura 7 como una curva roja discontinua. Claramente, esta curva se encuentra por debajo de la curva de 30 mA, lo que significa que el RCD también se dispara para defectos menores y/o más cortos. Se observa que los RCD de 10 mA cubren

la mayor parte de la zona AC-3 y, por lo tanto, están diseñados para evitar una fuerte contracción involuntaria y los daños que provocan. Por lo tanto, son adecuados para zonas sensibles, como los baños, o en presencia de personas vulnerables, como en hospitales y residencias de ancianos. Para asegurar la continuidad del servicio, los RCD de 10 mA no se sugieren como protección general y podrían ser inadecuados para algunos equipos.

A partir de lo comentado en la Figura 7, y de acuerdo con la estrategia de protección de defectos a tierra de tres capas, se argumenta que los RCD de 300 mA no están destinados a proteger ni de la contracción muscular involuntaria, ni de la fibrilación ventricular.

4. Clases de RCD

La cartera actual de RCD es abundante y variada. A continuación se intenta describir de forma sencilla las oportunidades disponibles,

proporcionando un apoyo para realizar la elección más adecuada a las necesidades específicas.

4.1. Clasificación de los RCD por arquitectura de producto

Figura 8. RCD seleccionados de ABB. De izquierda a derecha: el bipolar (fase y neutro) F202, un RCCB; el tetrapolar (tres fases y neutro) DDA 204, un bloque RCD; el bipolar (fase y neutro) DS201, un VI RCBO; el bipolar (fase y neutro) DSE, un VD RCBO, donde el cable azul y el blanco conectan la alimentación a la red.

RCD es el término genérico para todos los tipos de dispositivos de protección de corriente residual, cuyos requisitos generales y mínimos se indican en la norma IEC 60755 [7]. Varias familias de RCD están definidas por las normas de los productos. Limitando el ámbito de aplicación a los usos domésticos y similares, en donde los RCD son accesibles para los usuarios no cualificados, se puede encontrar una justificación en la definición oficial según tres características principales; Véase también la Figura 8 para ver una galería de imágenes de los RCD de la cartera de productos de ABB.

Una primera distinción se refiere a la **fuente de energía con la que funciona**. Los RCD pueden o no tener permitido drenar la energía de la red para realizar la protección de defecto a tierra. En el primer caso, la funcionalidad del RCD se ve afectada cuando la tensión de alimentación cae por debajo de un determinado valor y se pierde si, por ejemplo, el conductor neutro se interrumpe línea arriba. Por lo tanto, los RCD de este tipo dependen de la tensión de la red y por ello se conocen como dependientes del voltaje, **DV**. Por otro lado, los RCD totalmente pasivos (conocidos como independientes del voltaje, **IV**) encuentran la energía para funcionar en el propio fallo y están operativos también en caso de interrupción del neutro.

Una segunda característica se refiere a lo que hace el RCD después de detectar una corriente residual. Puede interrumpir el circuito por medio de **contactos eléctricos** adecuados situados internamente, o —en el caso de los denominados **bloques RCD**— puede activar medios de interrupción adecuados proporcionados por un disyuntor en miniatura (MCB) coordinado y acoplado mecánicamente. Los dispositivos denominados monitores de corriente residual (RCM, según la norma IEC 62020-1 [13]) se limitan a comunicar el nivel de corriente residual detectado a otros dispositivos que tomarán las medidas adecuadas. Los RCM no pueden sustituir a los RCD para la protección contra las descargas eléctricas.

Por último, los RCD pueden incluir o no medios adecuados para garantizar la **protección contra sobrecargas**. En el primer caso, el RCD incorpora la funcionalidad de un disyuntor en miniatura (MCB) en un solo dispositivo y se denomina disyuntor operado por corriente residual con protección de sobrecarga integrada (RCBO, según IEC 61009 [9]), mientras que los RCD puros se denominan disyuntores operados por corriente residual sin protección de sobrecarga integrada (**RCCB**, según IEC 61008 [8]).



Figura 8.

4.2. Clasificación de los RCD según la forma de onda de la corriente residual esperada

Los RCD pueden dividirse en varios tipos dependiendo de las formas de onda de corriente residual que pueden detectar, junto con la posibilidad de introducir un retardo intencional antes del disparo; consulte la Figura 9, basada en la norma IEC 60755 [7].

Los RCD de **tipo AC** (según la norma IEC 61008 [8]) están diseñados para detectar formas de onda sinusoidales que tienen una frecuencia igual a la frecuencia de la energía, es decir, 50 o 60 Hz, dependiendo de la red de distribución de energía local, según el país. Los RCD de tipo AC son la primera clase, y aún así la más común, concebidos para redes alimentadas con CA (de ahí su nombre) y que albergan cargas eléctricas clásicas con una impedancia resistiva, inductiva o capacitiva, generalmente sin componentes electrónicos. Bajo tales supuestos, las corrientes (incluidas las fugas a tierra) y la tensión son sinusoidales en cualquier lugar. Las cargas típicas incluyen iluminación de tungsteno y halógena, hornos y calentadores sin control electrónico.

Los RCD de **tipo A** (según IEC 61008 [8]) son una extensión del tipo AC, con la capacidad adicional de detectar corrientes residuales que solo son parcialmente sinusoidales, ya que se cortan a cero durante alguna parte de su período. Estas corrientes son típicas de las redes que albergan en gran medida componentes de electrónica de potencia, como diodos y transistores. Con la llegada masiva de aparatos electrónicos, como reguladores, ordenadores y televisores, las corrientes y tensiones de la red han experimentado una contribución progresivamente mayor de, por ejemplo, los alimentadores conmutados, en los que los tiristores controlan la absorción de energía conectando y desconectando alternativamente el flujo de corriente a través de los aparatos alimentados. Esto explica la naturaleza parcialmente sinusoidal de las fugas a tierra en redes caracterizadas por una contribución dominante de las cargas electrónicas. Los RCD de tipo A siguen funcionando en presencia de una corriente continua suave de hasta 6 mA.

Los RCD de **tipo F** (según las normas IEC 61008 [8] y IEC 62423 [14]) son una extensión del tipo A, con la capacidad adicional de detectar corrientes residuales caracterizadas por un contenido armónico no despreciable a frecuencias superiores a la frecuencia de alimentación, hasta 1 kHz. Esta situación es típica de las redes que albergan convertidores de potencia monofásicos, que modulan el flujo de potencia moldeando adecuadamente la corriente y la tensión según formas de onda muy generales. Por ejemplo, los sinusoides se aproximan mediante formas de onda muy finamente escalonadas. Como resultado, la densidad espectral de potencia se desplaza hacia las frecuencias más altas. Las cargas típicas que requieren RCD de tipo F son las lavadoras y el aire acondicionado que utilizan accionamientos de velocidad de frecuencia variable. Los RCD de tipo F siguen funcionando en presencia de una corriente continua suave de hasta 10 mA.

Los RCD de **tipo B** (según IEC 61008 [8] e IEC 62423 [14]) son una extensión del tipo F, con la capacidad adicional de detectar corrientes residuales caracterizadas por un contenido de CC no despreciable. En la práctica, las corrientes residuales de corriente continua o de variación lenta entran en el ámbito de aplicación. Esta situación es típica en los convertidores de potencia trifásicos, la carga de vehículos eléctricos y los SAI trifásicos, entre otros.

Muchos equipos comunes y modernos, a menudo relacionados con la eficiencia energética y el ahorro de energía, pueden necesitar RCD de tipo A/F/B en lugar del tipo AC: por ejemplo, reguladores de luz, calefactores controlados electrónicamente, aire acondicionado, lavavajillas y lavadoras con variadores de velocidad (inversores), cargadores de vehículos eléctricos, fuentes de alimentación, SAI, ascensores, instalaciones fotovoltaicas, equipos médicos y muchos otros.

El tipo de RCD, AC/A/F/B, se seleccionará en función de la corriente a tierra prevista, teniendo en cuenta las cargas que probablemente se conecten a una instalación. Cuando sea necesario, los fabricantes de equipos deben especificar el tipo correcto de RCD requerido. Si la información no está disponible, el instalador debe ponerse en contacto con el fabricante y pedirle que se la proporcione. La norma IEC 60364 [2], para algunas aplicaciones, exige que los RCD sean al menos del tipo A.

Figura 9. Tipos de RCD, clasificados por las formas de onda de corriente residual que pueden detectar.

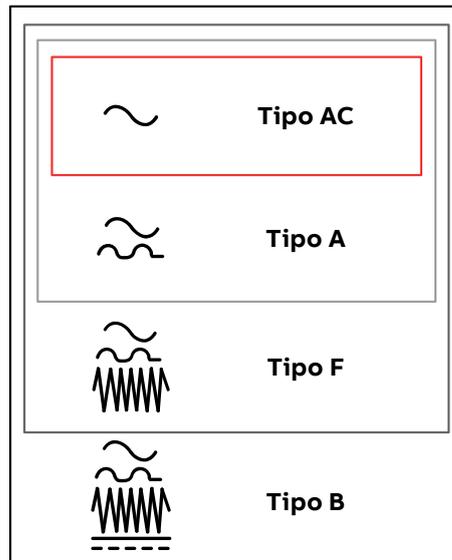


Figura 9.

4.3. Corriente residual nominal de funcionamiento $I_{\Delta n}$

Un parámetro clave que caracteriza a los RCD es la corriente residual nominal de funcionamiento $I_{\Delta n}$. Los criterios para el disparo están definidos por las normas que hacen referencia a $I_{\Delta n}$. El dispositivo debe dispararse si la corriente residual supera $I_{\Delta n}$ y debe permanecer cerrado si permanece por debajo de $0.5 I_{\Delta n}$ (en un caso intermedio, el fabricante decide qué debe hacer el RCD). Los valores para $I_{\Delta n}$ están prescritos por las normas e incluyen 10, 30, 100, 300, 500 mA, 1 A.

Ya comentamos en la Sección 3, que 10 mA son adecuados para evitar una fuerte contracción muscular involuntaria, 30 mA para evitar la fibrilación ventricular, mientras que los valores más altos de $I_{\Delta n}$ están pensados para la protección contra defectos pero no para la protección adicional. El valor más común para los RCD en aplicaciones residenciales es de 30 mA, lo que está motivado por el hecho de que dichos RCD son adecuados tanto para la protección contra defectos mediante la desconexión automática del suministro como para la protección adicional (y para la protección contra incendios).

4.4. Prevención de disparos no deseados y selectividad

Para evitar la pérdida de suministro por disparos no deseados de los RCD, la corriente residual de funcionamiento nominal $I_{\Delta n}$ se seleccionará teniendo en cuenta también las corrientes de fuga que puedan producirse durante el funcionamiento normal corriente abajo de un RCD debido a los filtros, la capacitancia natural, etc. La norma IEC 60364-5-53 [4] recomienda la subdivisión de la corriente que utiliza el equipo con varios RCD de manera que las corrientes de fuga esperadas de cada RCD sean inferiores a 0,3 veces el valor de $I_{\Delta n}$.

Como recurso adicional contra los disparos no deseados, los RCD pueden estar provistos de un retardo intencional antes del disparo, denominado **tiempo de no actuación**, como se resume en la Tabla 1. Es posible definir tres categorías de RCD: RCD para uso general sin retardo, con retardo corto y RCD selectivos.

Todos los tipos son lo suficientemente rápidos como para proporcionar protección de defectos mediante la desconexión automática en cualquier sistema TT o TN con una tensión de línea a tierra de hasta 230 V. Los RCD con $I_{\Delta n}$ hasta 30 mA —que también son adecuados para la protección adicional— están disponibles sólo como uso general.

El uso general incluye también los **RCD con retardo de tiempo corto**, por ejemplo los RCD de tipo F y B, que tienen un retardo de tiempo mínimo de 10 ms (media onda en redes de 50 Hz). Los RCD de tipo selectivo y con retardo de tiempo corto sólo se disparan cuando fluye una corriente residual durante más tiempo que el tiempo sin actuación. Por lo tanto, estos RCD ignoran las fugas de corta duración o los impulsos de sobretensión. Estas prestaciones confieren a estos RCD una **inmunidad muy alta frente a disparos no deseados** causados, por ejemplo, por rayos, conmutación de cargas, armónicos de alta frecuencia, etc.

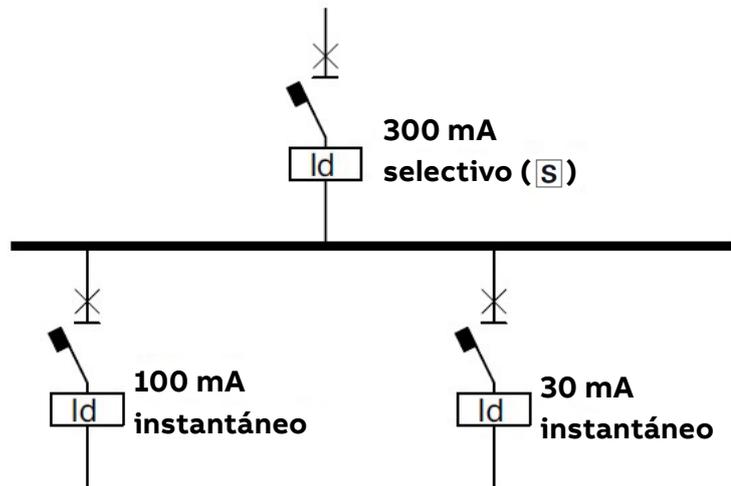
—
 Tabla 1. Tiempos de disparo y sin actuación de los RCD para uso doméstico y similar.
 —
 Figura 10. Ejemplo de selectividad total de dos niveles entre RCD (representados convencionalmente por el símbolo $I_{\Delta n}$ en los esquemas eléctricos unifilares).

Los RCD e tipo selectivo, conocidos como tipo S, también se utilizan para obtener una **selectividad total** entre dos RCD, el primero —de tipo S— instalado en un circuito de distribución y el segundo —de uso general, con o sin retardo de tiempo corto— instalado en un circuito terminal, corriente abajo del primero. Ver Figura 10 El $I_{\Delta n}$ del RCD corriente arriba debe ser al menos tres veces el $I_{\Delta n}$ del RCD corriente abajo. Entonces, debido a su

mayor tiempo sin actuación, el RCD selectivo esperará a que el RCD más rápido corriente abajo se dispare. En caso de fallo en el circuito terminal, sólo se desconectará la parte más cercana al fallo, permaneciendo el resto de la instalación operativa. El RCD corriente arriba sólo funcionará en el raro caso de que se produzca un fallo entre los dos RCD. La selectividad correcta es esencial en instalaciones donde es importante minimizar la probabilidad de desconexión completa del sistema.

tipo RCD	[ms]				
	$I_{\Delta n}$	$2 \times I_{\Delta n}$	$5 \times I_{\Delta n}$	$I_{\Delta n} = 500A$	
para uso general sin retardo	≤ 300	≤ 150	≤ 40	≤ 40	Tiempos de disparo
para uso general con retardo de tiempo corto (Por ejemplo, APR, tipo F o tipo B)	≤ 300	≤ 150	≤ 40	≤ 40	Tiempos de disparo
	10	10	10	10	Tiempos sin actuación
S tipo selectivo	≤ 500	≤ 200	≤ 150	≤ 150	Tiempos de disparo
	130	60	50	40	Tiempos sin actuación

—
 Tabla 1.



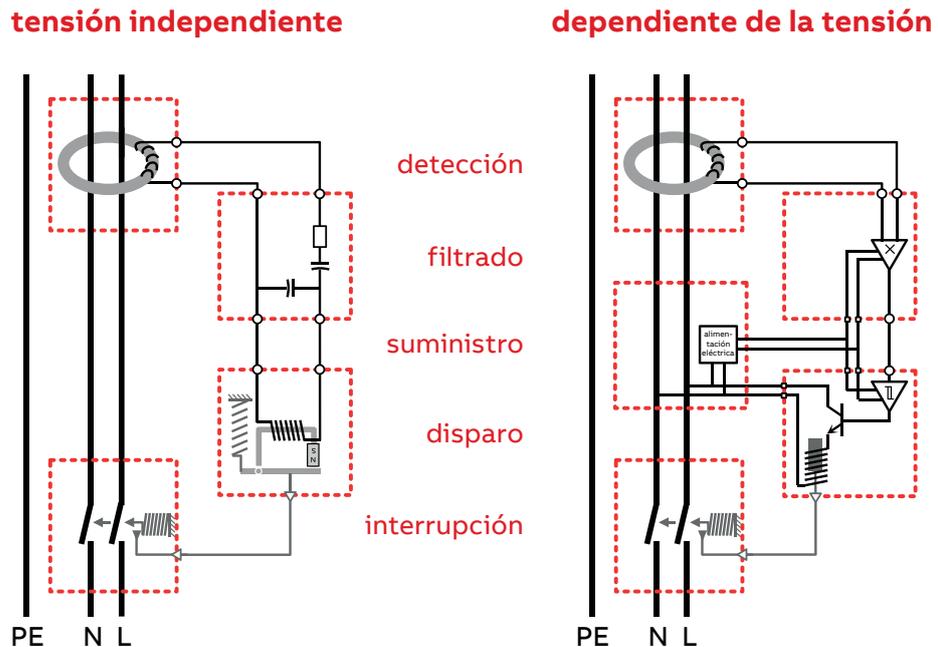
—
 Figura 10.

5. Principio de funcionamiento del RCD

—
Figura 11. Componentes básicos de los RCD IV (izquierda) y DV (derecha).

La arquitectura de productos y la estructura funcional de los RCD pueden representarse esquemáticamente como en Figura 11. Observando la imagen de arriba a abajo, consta básicamente de medios de detección de corrientes residuales, acoplados funcionalmente a medios

de procesamiento que tratan la señal detectada y proporcionan una orden de disparo a un actuador, este último dispara los contactos eléctricos abiertos, para interrumpir y desenergizar el circuito.



—
Figura 11.

5.1 Detección de corriente residual

Para cualquier instalación, una corriente residual es igual a la diferencia (propriadamente dicha, la suma con signo) de las corrientes que circulan por los conductores de fase y, en su caso, por el conductor neutro. Los RCD deben disparar para valores de corriente residual que son muy pequeños comparados con las corrientes que normalmente fluyen en los conductores (varios mA frente a A o más). Por lo tanto, una forma inteligente de abordar la detección de la corriente residual es medir directamente dicho desequilibrio de la corriente.

Cuando la corriente cambia significativamente en el tiempo, como en el caso de la CA, esto puede lograrse mediante un llamado transformador diferencial, es decir, un transformador de corriente (TC) que recibe todos los conductores aplicables como devanados primarios; véase la Figura 11 y la Figura 12. El desequilibrio de la corriente en los devanados primarios produce un desequilibrio del campo magnético en el toroide del transformador, que a su vez produce una tensión en el devanado secundario. Esta tensión de salida es una medida proporcional a la

intensidad de la corriente residual.

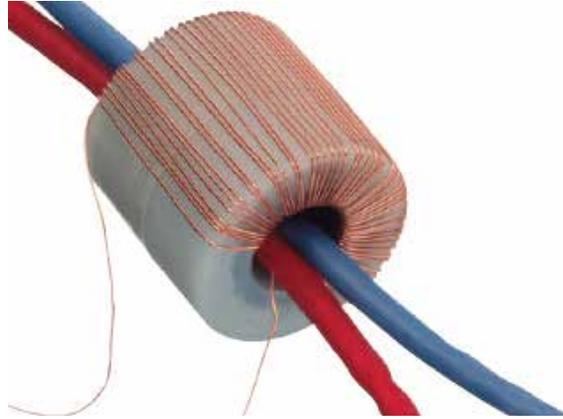
Los materiales magnéticos de alto rendimiento son necesarios en el toroide del TC, para permitir un alto rendimiento de salida a partir de una entrada de corriente residual muy pequeña. Se emplean materiales nanocristalinos que presentan una permeabilidad magnética de más de cinco órdenes de magnitud que el aire. Dado que las propiedades magnéticas dependen de la frecuencia, se necesitan disposiciones especiales para tratar las formas de onda ricas en contenido armónico, como en el caso de los RCD de tipo F.

Las corrientes residuales caracterizadas por una componente de CC suave no despreciable, como en el caso de los RCD de tipo B, requieren medios de detección adicionales. De hecho, dicha componente de corriente continua suave solo proporciona una salida insignificante del transformador diferencial, ya que este último es un sensor que se basa en la tasa de cambio de la corriente que se detecta. ABB detecta las corrientes residuales de CC suaves recurriendo a una tecnología denominada puerta de flujo. Los conductores de fase y, en su caso, de neutro, pasan también por un TC adicional, dedicado,

—
Figura 12. Un transformador diferencial para proteger una rama de la red caracterizada por conductores de fase y neutro (rojo y azul).

que se excita activamente mediante el devanado secundario. En ausencia de corriente continua residual suave, dicha excitación produce oscilaciones predecibles, que se controlan y se espera que sean simétricas en el verso positivo y negativo

La presencia de una corriente continua residual suave introduce un campo magnético suave en el toroide, sesgando las oscilaciones monitorizadas en uno de los dos versos. La asimetría de la derivación proporciona una medida de la cantidad de corriente residual de CC suave.



—
Figura 12.

5.2. Procesamiento de señales

La salida de tensión del transformador diferencial es procesada ventajosamente por un circuito electrónico que permite el paso de la banda de frecuencia deseada de la señal, filtrando las pequeñas sobretensiones y picos. Los RCD IV se basan en circuitos de procesamiento puramente pasivos, mientras que los RCD DV suelen amplificar activamente la señal en esta etapa, drenando energía de la red.

La estructura tradicional del circuito de procesamiento es tal que la señal procesada sale directamente en tiempo real. Por otro lado, las denominadas configuraciones de almacenamiento de carga (como las que se utilizan, por ejemplo, en los RCD APR de ABB) rectifican la señal y cargan un condensador, que finalmente se descarga corriente abajo sobre los medios de actuación tan pronto como la carga almacenada alcanza un umbral prescrito. La salida del circuito de procesamiento energiza un actuador adecuado.

5.3. Actuación

En su caso, la interrupción de la corriente es activada por un actuador que recibe la salida de procesamiento de la señal y realiza una acción mecánica. Esta última dispara una cadena cinemática adecuada, lo que da como resultado la apertura de los contactos eléctricos. Dicha cadena cinemática almacena en uno o varios resortes la energía necesaria para una apertura y conmutación de corriente rápida y eficaz.

Los RCD IV se basan en el llamado relé de desmagnetización como actuador; véase la Figura 13. Un relé de este tipo consiste en un circuito magnético, que incluye un ancla móvil (dorada en la imagen) que es empujada por un resorte (visible a la derecha), y donde un imán permanente (esquina inferior derecha) produce un flujo magnético. El flujo magnético ejerce una fuerza atractiva y magnética sobre el ancla, más fuerte que la fuerza del resorte. Por lo tanto, el ancla se mantiene cerrada en condiciones normales y sin fallos. Cuando se detecta un fallo residual y se procesa como

se ha descrito anteriormente, la salida de la señal procesada se inyecta en una bobina devanada alrededor de una parte del circuito magnético (a la izquierda en la imagen). El flujo de corriente en dicha bobina produce una contribución de flujo magnético que se suma a la contribución de flujo del imán permanente. En cuanto la polaridad del primero es opuesta a la del segundo, la fuerza de retención magnética se debilita, dejando que el resorte gane y aleje el ancla móvil. Se forma así un pequeño entrehierro que separa el ancla de la parte fija del circuito magnético. Debido a la drástica diferencia —hasta cinco órdenes de magnitud— entre la permeabilidad magnética del aire y el material magnético de alto rendimiento que constituye el circuito magnético, basta con un entrehierro muy pequeño para aumentar considerablemente la reluctancia magnética del circuito magnético. Este aumento repentino hace que el flujo magnético caiga casi instantáneamente, dejando que el empuje mecánico del resorte actúe sin oposición. El ancla en movimiento es acelerada por el resorte e impulsa un émbolo que, a su vez,

—
Figura 13. Relé MA7
ABB (vista interna).

dispara la cadena cinemática antes mencionada y abre los contactos eléctricos. En resumen, la pequeña cantidad de energía procedente del defecto a tierra libera una mayor cantidad de energía almacenada magnéticamente en el relé de desmagnetización, que a su vez libera una cantidad aún mayor de energía almacenada mecánicamente en los resortes del mecanismo de disparo.

Los RCD DV suelen emplear una bobina de disparo electrónica clásica, en la que la corriente impulsada por la salida amplificada del circuito de procesamiento produce un campo magnético que atrae una pieza móvil ferromagnética.



—
Figura 13.

5.4. Botón de prueba

Las normas internacionales recomiendan probar periódicamente los RCD instalados. La prueba se realiza mediante un circuito de derivación adecuado que puentea una de las fases con el neutro, o con otra fase, sin pasar por el sensor de corriente residual; véase la Figura 14. En consecuencia, se simula una corriente residual cuando se cierra el circuito de prueba accionando un botón de prueba adecuado. Un RCD funcional deberá detectar y procesar la corriente residual simulada, cuya intensidad está definida por una resistencia de circuito de prueba adecuada de manera que sea al menos igual a $I_{\Delta n}$. Por lo tanto, un RCD que funcione correctamente se disparará.

Dado que la señal de prueba se inyecta antes, mientras que los efectos de la prueba se observan después, la prueba RCD verifica efectivamente que toda la cadena de detección-procesamiento-actuación sea perfectamente funcional. Cada fabricante

recomienda una frecuencia de prueba adecuada. En el caso de los RCD IV de ABB, se recomienda realizar las pruebas a más tardar cada seis meses. También en el caso de los RCD DV de ABB, se recomienda una frecuencia de prueba de seis meses, debido a la fiabilidad de los componentes electrónicos incorporados, como, por ejemplo, los amplificadores operacionales que están permanentemente activos. Se entiende que el tiempo que transcurre entre dos pruebas consecutivas está relacionado con la probabilidad de que se produzca un fallo y no se detecte hasta la realización de la prueba. Para fines especiales se recomienda contactar con el servicio de atención al cliente de ABB.

El uso del botón de prueba no pretende sustituir las verificaciones periódicas de las instalaciones, tal y como exige la norma IEC 60364-6 [5] o cualquier otra normativa nacional aplicable, utilizando instrumentos según la serie IEC 61557 [11].

Figura 14. Circuito de prueba RCD.

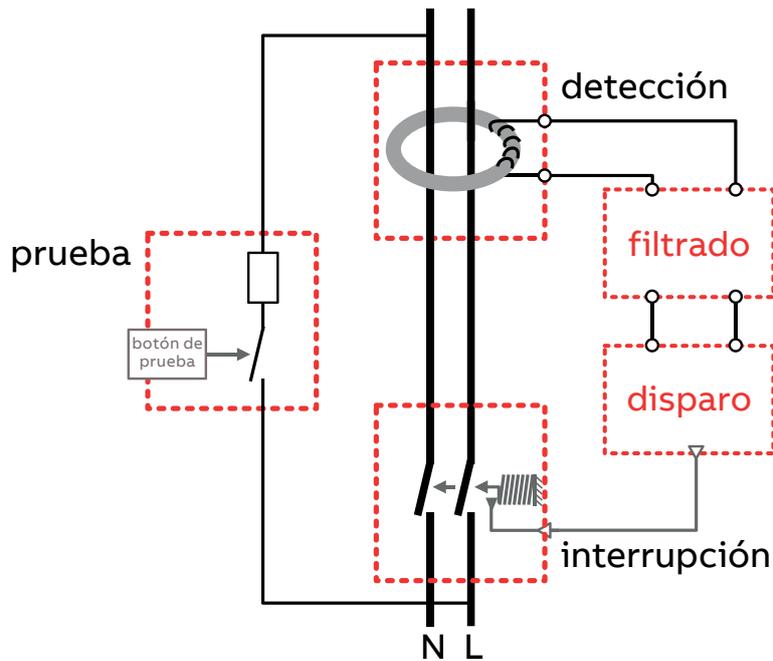


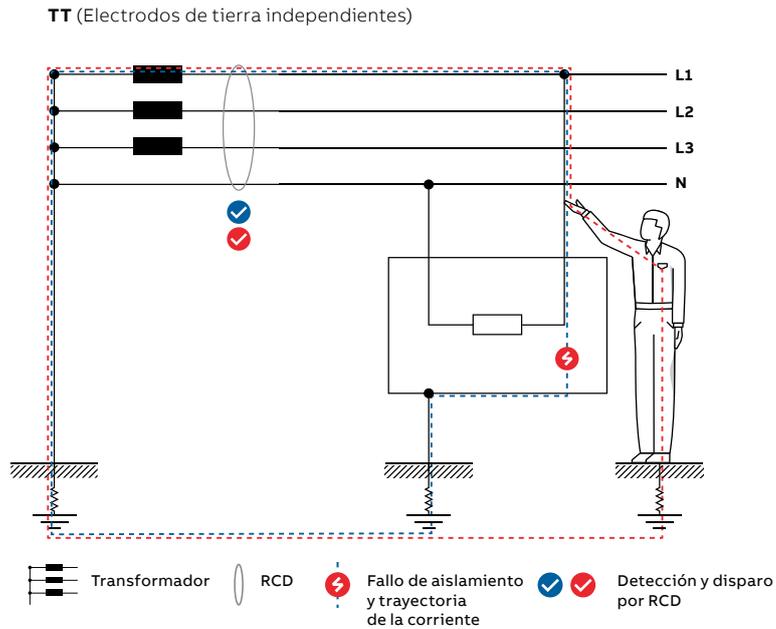
Figura 14.

6. Sistemas de puesta a tierra e instalación de RCD

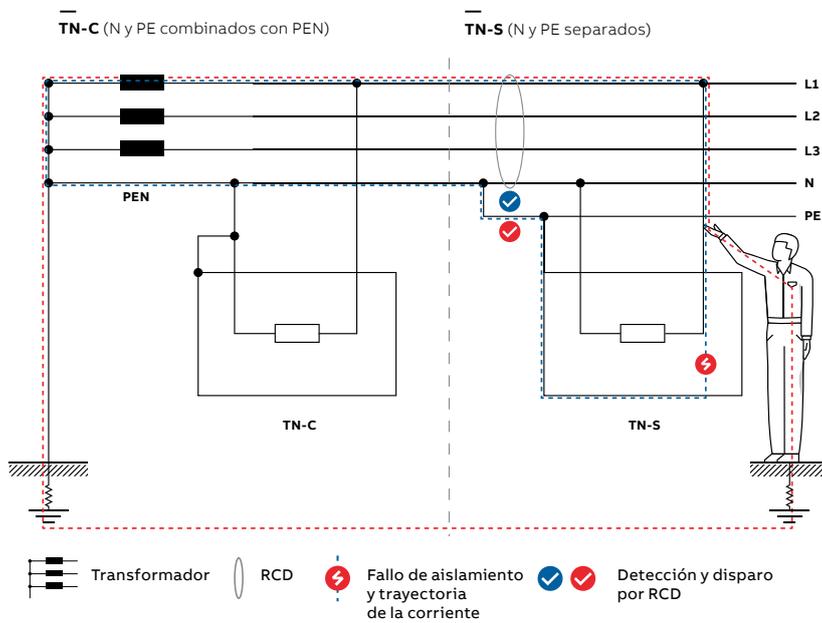
Para una completa comprensión de la protección contra fallos por desconexión automática del suministro, es necesario tener en cuenta el sistema de puesta a tierra en uso. En función de esto último, los RCD intervienen de diferentes maneras. Básicamente, la norma IEC 60364 [2] considera tres sistemas de puesta a tierra, denominados TT, TN e IT (el último se utiliza sólo para aplicaciones particulares); véase la Figura 15a. Para las instalaciones alimentadas por la red pública

de baja tensión, el sistema de puesta a tierra es el adoptado por el operador de la red local y el instalador no puede seleccionarlo. En caso contrario, cuando el transformador de la subestación pertenece a la instalación privada, o la instalación no está conectada a la red pública (por ejemplo, si está alimentada por un generador local), la selección del sistema de puesta a tierra es responsabilidad del ingeniero de la instalación.

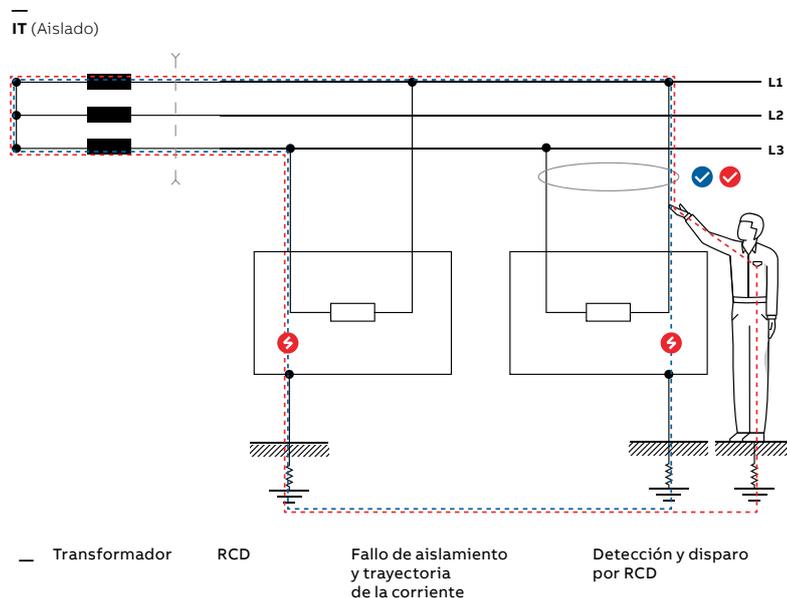
—
 Figura 15. Visión general de la protección RCD en varios esquemas de puesta a tierra. Se muestran un contacto directo (rojo) y una pérdida de aislamiento que podría provocar un contacto indirecto (azul), junto con el RCD recomendado.



—
 Figura 15a.



—
 Figura 15b.



—
 Figura 15c.

6.1. Sistemas de distribución eléctrica TT

El sistema de puesta a tierra TT se encuentra comúnmente en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales pequeñas. En los sistemas de distribución TT, el neutro de la fuente (por ejemplo, los devanados secundarios del transformador de la subestación) se conecta directamente a tierra y las partes conductoras expuestas de las plantas de los usuarios se conectan a electrodos locales de tierra independientes.

En caso de fallo entre las piezas activas y la metálica, la corriente de fallo vuelve al nodo de alimentación a través del suelo, lo que da lugar a un bucle de fallo de impedancia relativamente alta. Por lo tanto, las corrientes residuales suelen ser demasiado pequeñas para que la protección contra sobrecorrientes se dispare, y los RCD son necesarios para la protección de defectos. Además, para la protección adicional se suelen utilizar RCD con $I_{\Delta n}$ de hasta 30 mA.

6.2. Sistemas de distribución eléctrica TN

En los sistemas TN, el neutro de la fuente se conecta directamente a tierra, mientras que las partes conductoras expuestas de la planta del consumidor se conectan a la misma disposición de tierra que la fuente a través de conductores sólidos. El caso mostrado en la Figura 15 se denomina TN-C-S y representa el sistema TN más general. Corriente abajo de la línea discontinua, las partes conductoras expuestas se conectan al PE, que se fusiona con el neutro en un único conductor, denominado PEN, al que las partes conductoras expuestas se conectan corriente arriba de la línea discontinua. Normalmente, el punto de fusión coincide con el punto de entrada a una instalación privada. El caso de un sistema TN-S se da en el (raro) caso de que N y PE estén separados de la fuente, mientras que un sistema TN-C carece de la porción corriente abajo de la línea discontinua. En cualquier sistema de TN, un fallo entre una parte con tensión y cualquier parte conductora expuesta, por ejemplo, las instalaciones metálicas conectadas a tierra, equivale aproximadamente a un cortocircuito porque el bucle de fallo es mayoritariamente metálico, sin incluir la tierra. Por lo tanto, los dispositivos

de protección de sobrecorriente suelen utilizarse como protección de defectos mediante desconexión automática del suministro, si la corriente de defecto es superior a su corriente de desconexión y el tiempo de desconexión cumple la norma IEC 60364-4-41 [2]. En un sistema TN-S, o en la parte TN-S de un sistema TN-C-S, pero no en un sistema TN-C, los RCD también pueden utilizarse como protección de defectos en lugar de disyuntores o fusibles. Independientemente de su valor de disparo $I_{\Delta n}$, en los sistemas de TN los RCD cumplen los requisitos de protección con amplios márgenes y se prefieren cuando es difícil que las protecciones de sobrecorriente se desconecten con suficiente rapidez, como, por ejemplo, en el caso de instalaciones de baja potencia alejadas del transformador de la subestación. En los sistemas TN-C, los RCD no pueden utilizarse para la protección de defectos mediante desconexión automática del suministro porque el PEN los atravesaría y, por tanto, no podrían detectarse las corrientes residuales. En los sistemas TN-S, o en la parte TN-S de un sistema TN-C-S, se suelen utilizar RCD de hasta 30 mA para la protección adicional en caso de fallo de la protección básica y de defecto, como por ejemplo, en la pérdida de la conexión PE.

6.3. Sistemas de distribución eléctrica IT

Los sistemas informáticos no suelen tener el conductor neutro y los conductores activos no se conectan directamente a tierra o lo hacen a través de una alta impedancia en serie con la barra de tierra. Todas las partes conductoras expuestas de las instalaciones de los consumidores están conectadas a uno o varios electrodos de tierra locales independientes. A pesar de que el acoplamiento capacitivo de los conductores activos con el suelo cierra un bucle de fallo en caso de un defecto a tierra —especialmente en el caso de una gran extensión espacial— la característica principal de los sistemas IT es tener una baja corriente de defecto a tierra, no capaz de elevar la tensión de la estructura metálica a valores peligrosos. Por lo tanto, los sistemas IT

permiten un funcionamiento seguro incluso en caso de un único defecto a tierra, que requeriría una desconexión inmediata en un sistema TT o TN. Entre las aplicaciones se encuentran los procesos industriales ininterrumpidos o algunos lugares médicos como salas de cirugía o unidades de cuidados intensivos (según la norma IEC 60364-7-710 [6]).

Tras producirse un primer defecto a tierra, el sistema se conecta a tierra por el propio defecto y evoluciona o bien a un sistema TN (en caso de una sola barra de tierra para todas las partes conductoras expuestas, que es lo más frecuente), o a un sistema TT (en caso de múltiples barras de tierra). La protección contra un segundo defecto a tierra sigue según las disposiciones de los dos

casos posibles, como se ha indicado anteriormente. En los sistemas IT para quirófanos o unidades de cuidados intensivos, la desconexión de la alimentación y, por tanto, los RCD están prohibidos para los equipos médicos (denominados Grupo 2) de los que depende la supervivencia del paciente. Para evitar un segundo fallo, junto con la desconexión de la alimentación, un dispositivo activo, denominado dispositivo de vigilancia del aislamiento (IMD, según la norma IEC 61557-8 [12]), vigila constantemente el nivel de aislamiento del sistema IT, señalando mediante una señal acústica o luminosa cualquier reducción notable. Hay que tener en cuenta que los IMD no son dispositivos

de protección como los RCD o los disyuntores: se debe prever la desconexión automática en el segundo defecto dentro de los tiempos de desconexión prescritos, incluso si se evita el segundo defecto.

Si se instalan en sistemas IT, los RCD deben estar situados cerca de las cargas, como se muestra en la Figura 15c, para que el bucle de fallo pase solo una vez por el RCD montado justo antes de la carga defectuosa más descendente, siendo así detectado. Obsérvese que un RCD situado en la sección vertical, discontinua y gris, como en la figura, no podría detectar ese defecto a tierra, porque el bucle de fallo pasaría dos veces por él.

7. Condiciones de riesgo residual en defectos a tierra

Ya hemos mencionado que la eliminación completa de todos los riesgos asociados a los defectos a tierra es posiblemente un error. De hecho, pueden darse algunas condiciones especiales que no están cubiertas por las tres capas de protección contra defectos a tierra, incluidos los RCD que

funcionan perfectamente. Por lo tanto, es útil ser consciente de los peligros residuales, siendo los más relevantes los aquí descritos. La lista no es exhaustiva, pero, afortunadamente, la probabilidad de que se produzcan otras situaciones es extremadamente baja.

7.1. Pérdida del neutro frente a los RCD IV

Figura 16. Pérdida del neutro.

Puede producirse una situación peligrosa si, en caso de defecto a tierra, el **cable neutro se rompe** en el lado de alimentación de un RCD DV, mientras que el cable de fase correspondiente permanece ininterrumpido; véase la Figura 17. A diferencia de un RCD IV, un RCD DV no estará energizado y, por lo tanto, no se disparará ni protegerá. Parece poco probable que se produzca una descarga eléctrica porque está determinada por una falta de suministro con el fallo actual y, al mismo tiempo, la falta puede ser evidente para el usuario porque los aparatos alimentados por el mismo RCD dejan de funcionar. Sin embargo,

un usuario inexperto puede no darse cuenta de la falta de suministro si no se supone que ningún aparato está encendido. Esta situación es peligrosa porque afecta tanto a la protección adicional como a la protección de defectos. En particular, en los sistemas TT la continuidad del neutro no suele estar asegurada y la corriente de defecto a tierra no es lo suficientemente grande como para disparar la protección contra sobrecorrientes. Por esta razón, en la mayoría de los países europeos y en otros países, los RCD para usuarios no cualificados deben ser capaces de funcionar independientemente de la tensión de la red.

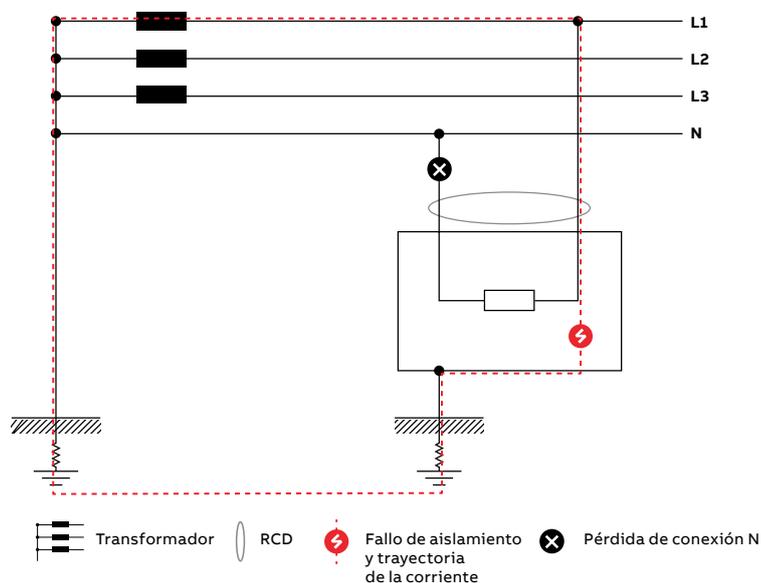


Figura 16.

7.2. Doble contacto directo

Figura 17. Doble contacto directo.

El **doble contacto directo** de una persona con un conductor de fase y otro de neutro (por ejemplo, 230 V), o con dos conductores de fase (por ejemplo, 400 V), provoca una pequeña corriente residual a tierra detectada por el RCD, ya que el conductor de neutro ofrece una impedancia menor y circulará una corriente mayor por el cuerpo de la persona. Esta circunstancia se da, por ejemplo, cuando una persona toca los contactos activo y neutro de un portalámparas, o en caso de trabajos en la instalación eléctrica realizados por una persona no cualificada que no desconectó previamente

el suministro. Aunque sea poco común, en esta situación no puede funcionar ningún RCD. Esta es una de las razones por las que las normas CEI definen la protección de corriente residual contra el contacto directo como una protección «adicional» que no implica la necesidad de otras medidas de protección principales especificadas por las normas aplicables para la instalación y para los aparatos suministrados. Se debe advertir a los usuarios ordinarios no cualificados que desconecten el suministro antes de cambiar una bombilla y que no realicen trabajos eléctricos en el cableado.

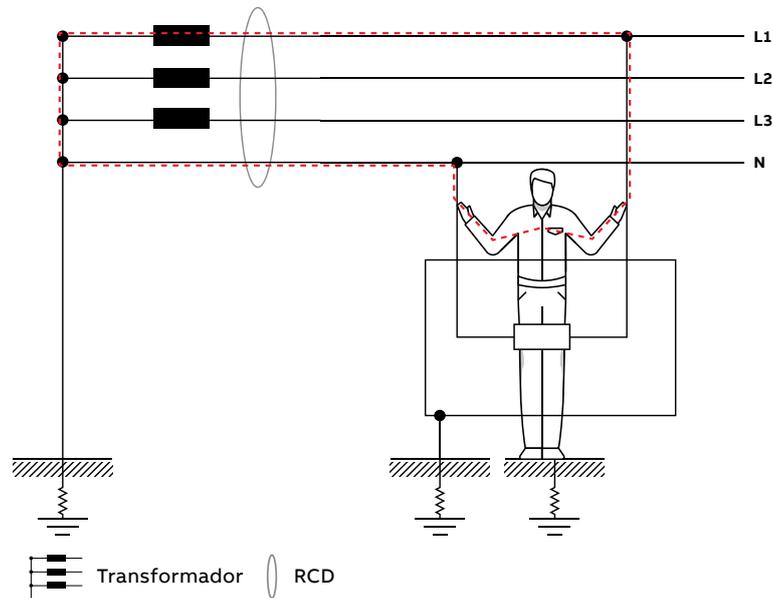


Figura 17.

7.3. Falta de RCD en instalaciones generalizadas en sistemas TT

Consideremos los edificios con un sistema de distribución TT en el que varios RCD, pertenecientes a instalaciones separadas, comparten el mismo sistema de puesta a tierra; véase la Figura 18. Se produce una situación peligrosa en el caso de que un defecto a tierra (rojo en la figura) afecte a una primera instalación cuyo RCD falte o no funcione (izquierda en la figura). En este caso, aparece una tensión peligrosa y persistente de hasta 230 V en las partes conductoras expuestas de todas las demás instalaciones individuales que comparten

el sistema de puesta a tierra común (a la derecha en la figura). La tensión real suele ser lo suficientemente alta como para crear un riesgo de seguridad para una persona que toque la envolvente metálica de cualquier aparato, ya que una parte de la falta a tierra total (azul en la figura) puede fluir a través de su cuerpo. Como se aprecia en la figura, los correspondientes RCD no pueden dispararse, ya que están completamente puenteados por la corriente residual.

Figura 18. Falta el RCD (carga a la izquierda) en las instalaciones generalizadas en los sistemas TT.

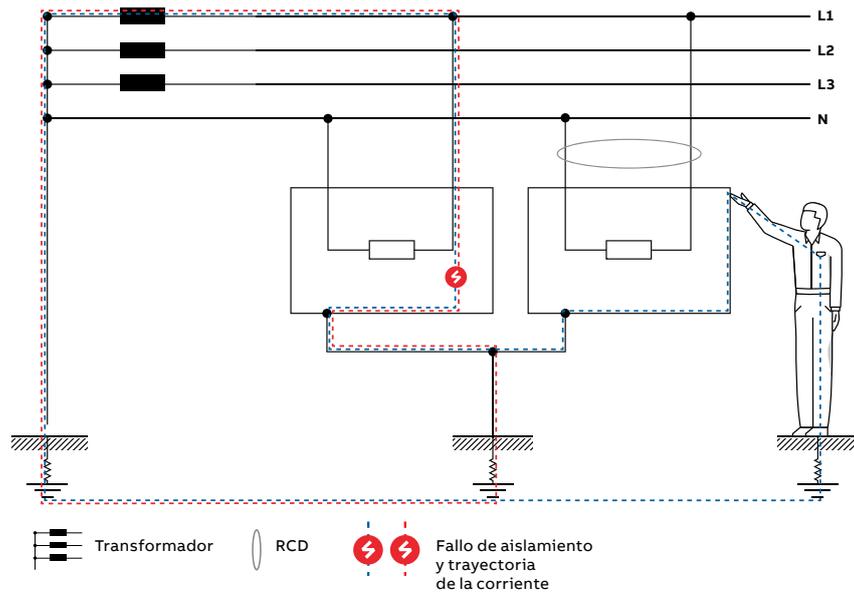


Figura 18.

8. Eficacia y fiabilidad de los RCD

La protección de defecto a tierra se realiza mediante un enfoque de seguridad de varios niveles que incluye, pero no se limita, a los RCD. El primer nivel de este enfoque de seguridad se basa en la correcta ejecución y mantenimiento de la instalación eléctrica. Para asegurar la protección básica, es crucial que el material eléctrico empleado sea de buena calidad, proporcionando un comportamiento fiable en el tiempo, también después de muchos años desde su instalación. Por ejemplo, las tensiones mecánicas y la exposición prolongada a altas temperaturas y a la luz solar pueden debilitar o dañar el aislamiento. Aún más difíciles son los entornos en los que el exceso de polvo, la contaminación y la presencia de sustancias químicas pueden acelerar el deterioro de los materiales y su funcionalidad.

En caso de fallo de aislamiento, la estrategia de protección contra defectos basada en una combinación de una puesta a tierra adecuada y unos RCD capaces de interrumpir automáticamente el suministro en caso de defecto a tierra evitaría que las personas se electrocutaran. La protección de defectos mediante desconexión automática del suministro se basa en una puesta a tierra adecuada y en la continuidad de los PE, de acuerdo con los requisitos de la norma IEC 60364 [2] para el sistema específico de distribución de energía. Desgraciadamente, no es infrecuente que la toma de tierra falte por

completo, o que se retire y no se restablezca en su sitio, posteriormente a algún mantenimiento de la instalación.

Además, si la capa de protección de defectos no puede ayudar, por ejemplo, por la razón descrita anteriormente, o en caso de un contacto directo con partes eléctricamente activas de la instalación, el último papel de seguridad que desempeña un RCD es la llamada protección adicional, en la que el circuito se interrumpe inmediatamente después de que se inicie el defecto a tierra que afecta a la persona. En tal caso, no se puede evitar la electrocución, pero es de esperar que la reducción de la exposición a la descarga eléctrica pueda salvar la vida del individuo implicado, limitando los posibles daños físicos.

En lo que respecta a los RCD, los datos históricos muestran claramente los beneficios de su introducción, en términos de disminución constante de las muertes por electrocución. Por ejemplo, la Figura 19 muestra la evolución histórica en Estados Unidos, desde 1968 hasta 2017. Se observa una clara mejora desde 1975, que corresponde a la introducción de los dispositivos de corriente residual (llamados GFCI según la nomenclatura y las normas americanas). Se observa que la adopción progresiva de los GFCI ha mejorado considerablemente la seguridad.

Figura 19. Datos históricos de muertes por electrocución en EE. UU. Fuente: Fundación Internacional de Seguridad Eléctrica (ESFI) [16].

Se han observado mejoras notables similares en todos los mercados en los que la normativa local ha introducido RCD, independientemente de la tecnología utilizada y del umbral específico adoptado por las autoridades reguladoras. Estos resultados positivos muestran que los RCD son dispositivos extremadamente eficaces. Sin embargo, las extensas campañas de comprobación del funcionamiento llevadas a cabo en Europa y Norteamérica han demostrado que, independientemente de la tecnología utilizada, hasta el 5 % de los RCD en el campo podrían no funcionar correctamente en la primera década después de su instalación. Este porcentaje puede aumentar hasta el 10 % cuando los RCD llevan 25 años o más en el campo.

Una forma muy eficaz de mejorar esta situación es realizar pruebas periódicas de los RCD con una cadencia de algunos meses como se recomienda, con lo que prácticamente se elimina el riesgo de que se produzcan fenómenos de degradación lentos y prolongados, poco frecuentes pero siempre posibles, como el envejecimiento durante una década. Además, las pruebas minimizan la probabilidad de que las obras mal ejecutadas en la instalación eléctrica puedan haber eliminado las condiciones previas para el funcionamiento de los RCD, como, por ejemplo, una puesta a tierra adecuada, o la pérdida del neutro para los RCD DV.

Los entornos especialmente severos, normalmente al aire libre y expuestos a condiciones meteorológicas desfavorables, hacen que las pruebas periódicas sean aún más obligatorias. A partir de 1996, las normas internacionales IEC 61008 [8] e IEC 61009 [9] prescriben que los RCD se sometan a pruebas climáticas antes de ser certificados. En concreto, los RCD están sometidos a ciclos rígidos de humedad y calor y no deben ver mermada su función de protección. En consecuencia, los RCD modernos muestran una fiabilidad superior y son preferibles a las

instalaciones de productos antiguos. Por lo tanto, la sustitución de los antiguos RCD por productos de última generación es una forma sencilla de aumentar la seguridad, tal y como recomienda el informe técnico IEC TR 62350 [15]. Un punto evidente —que de todos modos siempre es útil remarcar— es seleccionar correctamente el RCD adecuado para la instalación eléctrica en cuestión. No sólo hay que seleccionar la corriente residual de funcionamiento correcta $I_{\Delta n}$, sino también el tipo de RCD correcto con referencia al tipo de cargas que se encuentran en la red a proteger. Por ejemplo, como ya se ha dicho, se recomiendan los RCD de tipo A en caso de que el circuito protegido tenga varias cargas con componentes electrónicos capaces de generar ondas sinusoidales rectificadas.

Con todo, hay que recordar siempre que algunas condiciones de riesgo residual no pueden ser eliminadas por los RCD. Ya hemos mencionado, en la sección 7, algunas situaciones críticas que no pueden ser detectadas por los RCD que funcionan perfectamente. Más básicamente y de forma más general, es importante considerar que la protección adicional por medio de los RCD no previene las descargas eléctricas, sino que, más bien, trata de minimizar sus consecuencias desconectando a tiempo el suministro eléctrico. Una buena metáfora en este caso es el airbag de un vehículo. Cualquier conductor debe conducir de forma responsable y tratar de evitar los accidentes, pero cuando éstos se producen, los airbags tratan de limitar los daños y salvar vidas.

Después de todas las recomendaciones de instalación y mantenimiento correctos, queda el hecho comprobado (Figura 19 arriba) de que la protección contra defectos a tierra mediante los RCD en los circuitos de baja tensión aseguró uno de los avances más notables en la dirección de la seguridad en el uso de la energía eléctrica.

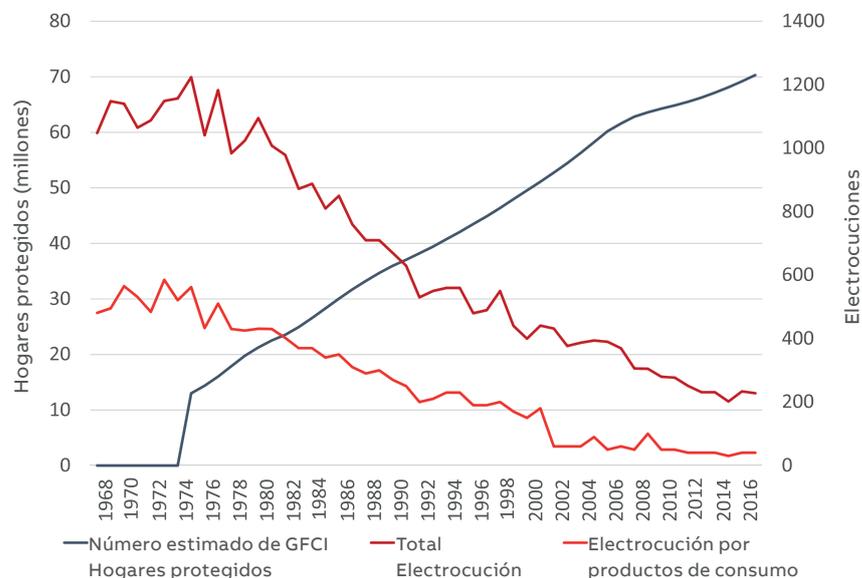


Figura 19.

9. Referencias

- [1] IEC 60479-1, Efectos de la corriente sobre las personas y el ganado - Parte 1: Aspectos generales.
- [2] IEC 60364 (serie), Instalaciones eléctricas de baja tensión.
- [3] IEC 60364-4-41, Instalaciones eléctricas de baja tensión - Parte 4-41: Protección para la seguridad - Protección contra descargas eléctricas.
- [4] IEC 60364-5-53, Instalaciones eléctricas de baja tensión - Parte 5-53: Selección y montaje de equipos eléctricos - Dispositivos de protección para la seguridad, el aislamiento, la conmutación, el control y la supervisión.
- [5] IEC 60364-6, Instalaciones eléctricas de baja tensión - Parte 6: Verificación.
- [6] IEC 60364-7-710, Instalaciones eléctricas de edificios - Parte 7-710: Requisitos para instalaciones o lugares especiales - Lugares médicos.
- [7] IEC 60755, Requisitos generales de seguridad para los dispositivos de protección con corriente residual.
- [8] IEC 61008 (serie), Interruptores automáticos para actuar por corriente diferencial sin protección integral contra sobrecargas para usos domésticos y análogos (RCCB).
- [9] IEC 61009 (serie), Interruptores automáticos para actuar por corriente diferencial residual con protección integral contra sobrecargas para usos domésticos y análogos (RCBO).
- [10] IEC 61140, Protección contra descargas eléctricas - Aspectos comunes para la instalación y el equipo.
- [11] IEC 61557 (serie), Seguridad eléctrica en sistemas de distribución de baja tensión hasta 1000 V CA y 1500 V CC. - Equipos de ensayo, medición o control de las medidas de protección.
- [12] CEI 61557-8, Seguridad eléctrica en sistemas de distribución de baja tensión hasta 1000 V CA y 1500 V CC. - Equipos de ensayo, medición o control de las medidas de protección - Parte 8: Dispositivos de control del aislamiento para sistemas informáticos.
- [13] IEC 62020-1, Accesorios eléctricos - Monitores de corriente residual (RCM) - Parte 1: RCM para usos domésticos y similares.
- [14] IEC 62423 Interruptores automáticos para actuar por corriente diferencial de tipo F y B, con y sin protección integral contra sobrecargas, para usos domésticos y similares.
- [15] IEC TR 62350, Guía para el uso correcto de los dispositivos de protección contra corrientes residuales (RCD) para uso doméstico y similar.
- [16] <https://www.esfi.org/resource/ground-fault-circuit-interrupters-preventing-electrocution-since-1973-614>



ABB Group
Electrification Business
Affolternstrasse 44
8050 Zurich
Suiza

new.abb.com/low-voltage

