

**Seguridad eléctrica en  
sistemas sólidamente  
puestos a tierra,  
sistemas puestos  
a tierra a través de  
resistencia y sistemas  
aislados de tierra**

*Guía detallada para instaladores,  
diseñadores de sistemas y  
personal técnico*



# Introducción

## Fallos a tierra en sistemas de alimentación modernos

### Introducción

Es frecuente que se produzcan peligrosos fallos a tierra en sistemas eléctricos. Hay muchas maneras de describir un fallo a tierra. Algunas de las definiciones más habituales son:

- Una fuga de corriente de un conductor a la estructura o a tierra medida en miliamperios o amperios
- Una disminución o pérdida del aislamiento medido en  $\Omega$  o  $k\Omega$
- Una corriente de la carga fugándose a tierra (fuga capacitiva)

El NEC 2017 describe un fallo a tierra como una conexión involuntaria, conductora de electricidad entre un conductor aislado de tierra de un circuito eléctrico y los conductores que habitualmente no conducen corriente, envolventes metálicas, conductos metálicos, equipamiento metálico o tierra. En este texto, se utiliza la clásica terminología norteamericana.

¿Qué cantidad de corriente de falla a tierra se puede esperar en un sistema de alimentación?

¿Para qué sirve una resistencia en un sistema de alimentación puesto a tierra a través de resistencia?

¿Qué tipo de monitores de fallo a tierra recomienda Bender para mi sistema?

Estas preguntas se generan debido a la variedad de sistemas de alimentación empleados. Existe una amplia variedad de relés en el mercado para proteger estos sistemas. Hemos redactado este folleto para ofrecer una breve introducción a la mayoría de los sistemas de alimentación y a los equipos fabricados por Bender, que son los más adecuados para proteger estos sistemas en caso de un fallo a tierra. Los cálculos realizados en los siguientes ejemplos se han basado en formas simples asumiendo pruebas o condiciones ideales de uso. Los valores se eligieron al azar para apoyar las ideas básicas y fundamentales. La siguiente información puede ser usada como una guía para un integrador o como referencia para un diseñador de sistemas eléctricos que busca una solución efectiva para evitar un fallo a tierra.

Podrá encontrar información detallada (manuales, hojas técnicas, etc.) de cada uno de los productos en:

- [www.bender-latinamerica.com](http://www.bender-latinamerica.com)
- [www.bender.com.mx](http://www.bender.com.mx)
- [www.benderinc.com](http://www.benderinc.com)

Este folleto cubre los tres tipos de sistemas de alimentación a tierra más comunes y sus equipos de protección de fallo a tierra:

Sólidamente puestos a tierra, puestos a tierra a través de resistencia y aislados de tierra.

## Información general

Tecnologías de detección para diversos sistemas de alimentación 4

## Sistemas sólidamente puestos a tierra

Sistemas de alimentación básicos 5

El fallo a tierra 6

Sistemas puestos a tierra AC 60 HZ – Equipo de fallo a tierra 7

Interrupción de la falla a tierra - Interruptor de disparo en derivación 8

Interrupción de la falla a tierra - Contactor 9

Sistemas AC puestos a tierra con VFDs 10

Sistemas DC 11

Localización de fallos a tierra 12-14

## Sistemas puestos a tierra a través de resistencia

Sistemas básicos de alimentación 15

El Fallo a tierra 15

Sistemas AC puestos a tierra a través de resistencia

- GFGC (fallo a tierra - comprobación de tierra) 16

- fallo a tierra - Monitor NGR 17

Localización de fallos a tierra 18

## Sistemas aislados de tierra (neutro flotante)

Sistemas de alimentación básicos 19

El fallo a tierra 19

Monitor de resistencia aislamiento IMD

- IMD Pasivo 20

- IMDs Activos 21-22

Sistemas aislados de tierra

- Localización de fallos a tierra con equipo portátil 23

- Caso real: Localización de fallo a tierra en un sistema en delta 480 V 24

- Localización de fallos a tierra con equipamiento fijo 25

## Monitorización fuera de línea (Off-Line)

Monitorización Off-line con equipo Bender IR420-D6 26

## Índice alfabético

27

**Equipos Bender para sistemas sólidamente puestos a tierra y sistemas puestos a tierra a través de resistencia** 28-29

**Equipos Bender para sistemas eléctricos aislados de tierra** 30-31

# Información general

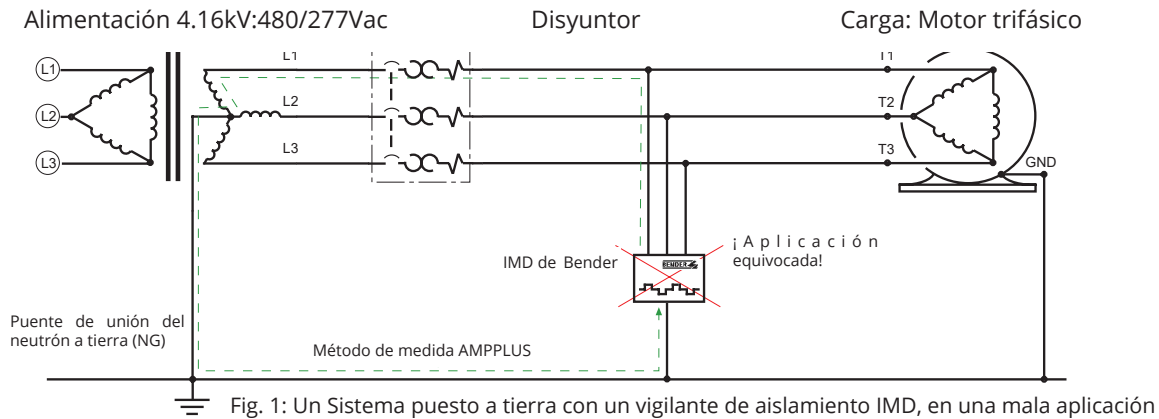
## Tecnologías de detección para diferentes tipos de sistemas de alimentación

No hay un solo detector de fallos a tierra que trabaje en todos los tipos de sistemas de alimentación. Por ejemplo, un relé de fallo a tierra (GFR) y un monitor de corriente residual (RCM) en combinación con un transformador de corriente (TC) de secuencia cero puede utilizarse en sistemas puestos sólidamente a tierra o en sistemas puestos a tierra a través de resistencia, pero requieren una consideración especial si se utilizan en un sistema aislado de tierra (neutro flotante).

De manera similar, un equipo de vigilancia de aislamiento (IMD) que se utiliza en un sistema aislado de tierra, puede disparar o generar una falsa alarma en un sistema puesto a tierra.

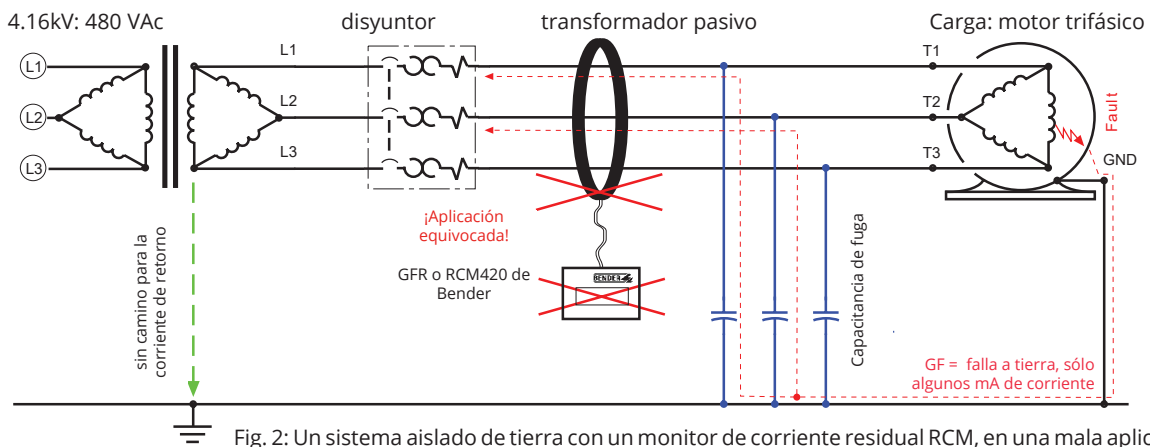
### Caso nº 1

La instalación de un IMD como se muestra abajo, ¡no funcionará! El IMD (megóhmetro en línea) aplica una señal de medida al sistema trifásico. La señal encontrará inmediatamente el puente de unión del neutro a tierra e indicará el fallo a tierra. Esto es lo mismo para sistemas puestos a tierra a través de resistencia.



### Caso nº 2

La instalación de un relé de fallo a tierra (GFR) como se muestra abajo, ¡no funcionará! El transformador de corriente (TC) en combinación con el GFR requiere relativamente de un gran flujo de corriente para su funcionamiento. El sistema en delta no puede crear la magnitud de corriente de fallo necesaria, puesto que no tiene un camino de retorno a tierra de baja impedancia y normalmente la corriente que se fuga por efecto capacitivo del sistema es inferior al punto de funcionamiento de la mayoría de los GFRs. El equipo no disparará incluso si existe un fallo a tierra franco (una conexión de muy baja impedancia entre fase y tierra) desde hace varios días.



# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## Sistemas de alimentación básicos – sólidamente puestos a tierra

En los sistemas sólidamente puestos a tierra se tiene una fuente de alimentación en la que el neutro o el punto X0 del transformador o generador se conecta a tierra a través de un puente de unión. El puente tiene una resistencia o impedancia mínima a tierra lo cual no limita de manera apreciable la corriente de fallo a tierra. Ejemplos comunes son las configuraciones trifásicas en estrella 208/120-V o 480/277-V, así como transformadores monofásicos con el neutro secundario conectado a tierra (en raros casos, delta puesta a tierra). En Norteamérica es muy común el uso de sistemas sólidamente puestos a tierra como suministro doméstico, habitualmente un sistema de fase dividida de 240/120 V con su neutro unido sólidamente a tierra.

Hay ventajas y desventajas de este método de puesta a tierra. Un inconveniente es la gran cantidad de corriente de fallo a tierra que se puede tener. Pueden ocurrir incendios, daños de componentes eléctricos o daños personales. No obstante, el disparo de un equipo de sobrecorriente (disyuntor o fusible) o un interruptor de circuito de fallo a tierra (GFCI) permite al técnico localizar rápidamente el circuito defectuoso. A menudo se llevan a cabo las medidas correctivas una vez que el fallo ya ha ocurrido y el daño se ha producido. El mantenimiento preventivo no está necesariamente asociado con el sistema sólidamente puesto a tierra.

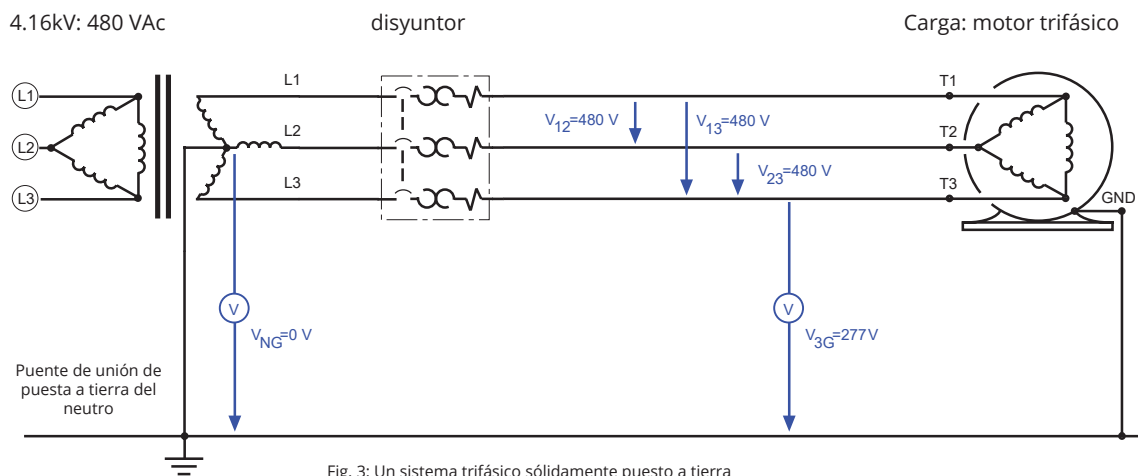


Fig. 3: Un sistema trifásico sólidamente puesto a tierra

# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## El fallo a tierra

La magnitud de la corriente de fallo a tierra en un sistema sólidamente puesto a tierra puede ser muy alta y depende de la tensión del sistema y de la resistencia del circuito del fallo a tierra. Esto, por definición del NEC, es el circuito eléctrico conductivo desde el punto del fallo a tierra en un sistema cableado, a través de conductores habitualmente no conductores de corriente, equipamiento o tierra a la fuente de suministro eléctrico.

La corriente de fallo a tierra en una etapa temprana es muy baja, pero de no atenderse puede alcanzar fácilmente un valor muy superior al de la corriente nominal de la carga. La corriente de fallo a tierra se conoce también comúnmente como corriente residual y corriente de secuencia cero. Un cálculo sencillo explica las corrientes elevadas.

Ver el esquema de la figura 4. La corriente de fallo  $I_F$  se define como:

$$I_F = \frac{V_{3G}}{R_{GF} + R_{GR} + R_{NG}}$$

- $I_F$  = Corriente de fallo, en amperios
- $V_{3G}$  = Tensión entre fase de fallo y tierra, en voltios
- $R_{GF}$  = Resistencia en el punto de fallo a tierra, en ohmios
- $R_{GR}$  = Resistencia del circuito de retorno a tierra
- $R_{NG}$  = Resistencia del puente de unión de neutro a tierra

**Nota:** Los valores de resistencia se han elegido de manera selectiva como ilustración

$$I_F = \frac{277V}{0.1\Omega + 0.2\Omega + 0.1\Omega} = 692.5A$$

La potencia disipada en el punto del fallo es:

$$P = I^2 R = 692.5^2 * 0.1 = 48 \text{ kW}$$

Esto se libera en forma de calor.

La cantidad de energía liberada por el fallo a tierra depende del tiempo que se permita que el fallo persista. Con este ejemplo se puede mostrar que la corriente de fallo puede ser severa si se produce un cortocircuito. No obstante, un relé de fallo a tierra o un equipo de protección de corriente debe disparar muy rápido para interrumpir la alimentación a la carga. ¿Cuánta corriente debería fluir si una persona ocasionara el fallo al tocar el mismo el circuito? Respuesta: Se debe reemplazar el valor de la resistencia en el punto de falla  $R_{GF}$ , de 0.1 Ohm, con la resistencia habitual de un cuerpo humano. Supongamos que la persona está tocando el marco de un motor defectuoso y su cuerpo es el único camino a tierra. Se supone una resistencia de 1,000  $\Omega$  para un cuerpo humano. El cálculo para la corriente de fallo ahora es:

$$I_F = \frac{277V}{1000\Omega + 0.2\Omega + 0.1\Omega} = 277 \text{ mA}$$

La corriente es varias veces 15 mA, que es el umbral para que una persona pueda soltar una parte activa, 50 mA pueden ser mortales. Los equipos de protección de sobrecorriente no disparan a esta magnitud de corriente, por lo que se debe utilizar un relevador de fallo a tierra GFR complementario para protegerse contra este escenario.

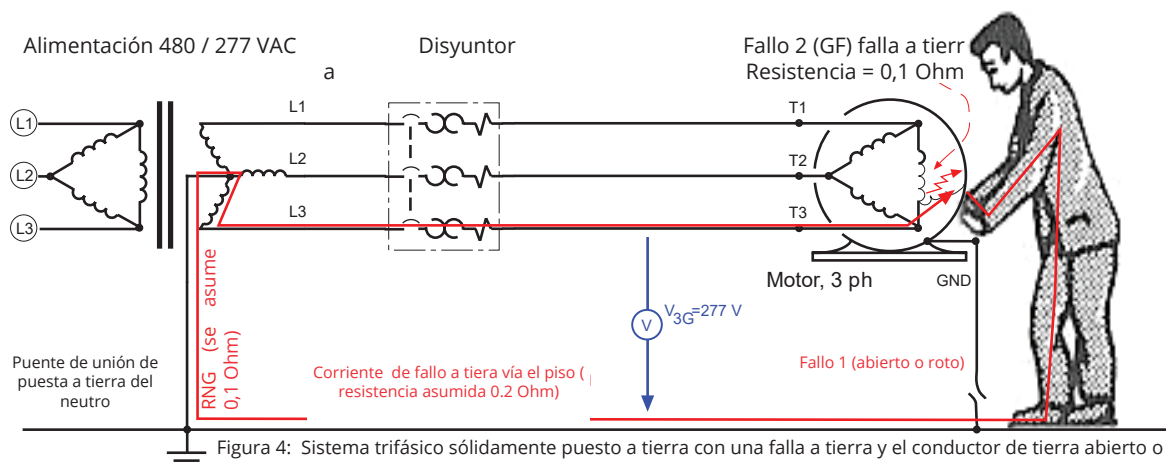


Figura 4: Sistema trifásico sólidamente puesto a tierra con una falla a tierra y el conductor de tierra abierto o roto

# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## Sistemas sólidamente puestos a tierra AC 60 Hz - El equipo de fallo a tierra

La mayoría de los técnicos están familiarizados con relés de corriente de fallo a tierra y transformadores de corriente (TC's). Las personas que no tienen conocimientos técnicos también se encuentran a diario con ellos, por ejemplo, los GFCI que protegen los receptáculos de la pared en zonas húmedas como cocinas y baños. La teoría de funcionamiento del relé es como se describe a continuación. Los cables de alimentación que se conducen a la carga protegida pasan a través del TC. Es importante que todos los cables vivos o activos, así como el neutro pasen a través del TC y no así los conductores a tierra. Esto aplica tanto a sistemas monofásicos como trifásicos y los TC's utilizados de esta manera se conocen a menudo como TC's de secuencia cero.

Algunos sistemas trifásicos sólidamente puestos a tierra no tienen un neutro y pueden hacer funcionar una bomba o motor industrial. En este caso solo los conductores de las tres fases se pasarán a través del TC. La norma básica para los sistemas trifásicos es: si el neutro se lleva a la carga, entonces se debe pasar a través del TC. Si no hay neutro, sólo pasarán a través de la ventana del TC los conductores de fase. El TC y el relé de fallo a tierra leerán siempre corriente cero en un sistema libre de fallos, incluso en un caso de sobrecarga o de plena carga. Suponiendo que no hay fallo a tierra, la corriente entrante y saliente a través de la ventana del TC se cancelarán mutuamente, sumando cero. Asumiendo que una carga de 10 A esté conectada a un sistema AC 480/277, 10 A circularán de la fuente a la carga, por lo tanto 10 A deberán volver de la carga a la fuente, el TC medirá ambas de manera simultánea, ya que está ubicado alrededor de todos los conductores y mide la suma de las corrientes que llevan los conductores, dando cero como resultado.

$$\sum I_1, I_2, I_3, \dots, I_x = 0$$

Esto es lo que el TC medirá en un determinado momento. De acuerdo con el esquema de la figura 5 (para un sistema sin fallo a tierra):

$$10A - 5A - 5A = 0A$$

Suponiendo que tiene lugar un fallo a tierra y desvía parte de la corriente (IF=1 A) al marco, con IF evitando el TC y volviendo a la fuente a través del circuito de retorno a tierra. La nueva ecuación para el transformador de corriente es la siguiente:

$$10A - 5A - 4A = 1A$$

Mientras que 10 A salen hacia la carga en L1, 9 A vuelven a la fuente a través de las fases L2 y L3, y 1 A vuelve a la fuente a través del conductor de tierra. La suma de las corrientes a través del TC ahora es 1 A en lugar de 0 A. La señal de salida del TC aumenta, lo que provocará que el GFR señalice con una alarma si el valor medido (1 A) y su duración excede el valor de respuesta y el tiempo de retraso.

Un relé de fallo a tierra (GFR) en combinación con un TC de secuencia cero pueden trabajar también en sistemas puestos a tierra a través de resistencia. Los GFR's básicos pueden tener problemas de rendimiento en aplicaciones con cargas no lineales, tales como los Drives de Frecuencia Variable (VFDs) o componentes rectificadores.

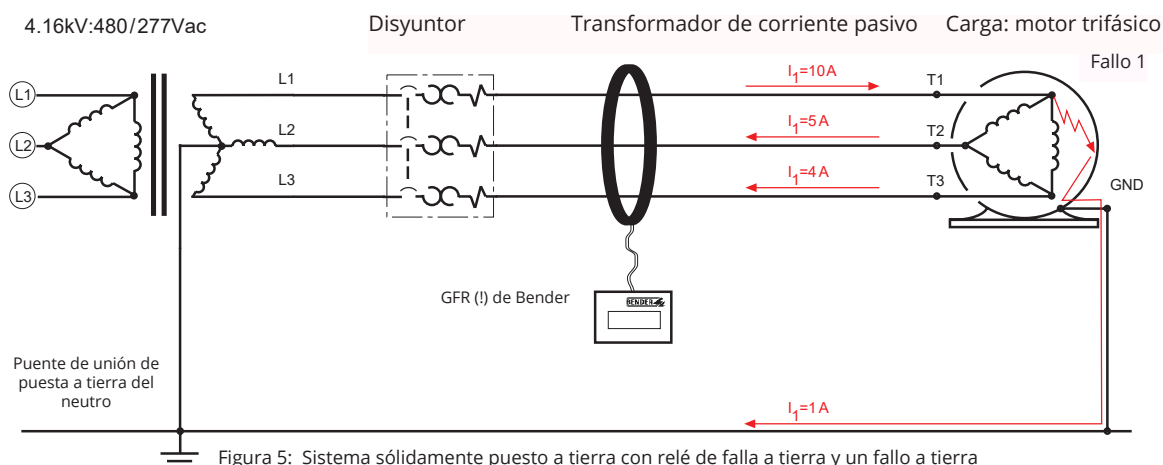


Figura 5: Sistema sólidamente puesto a tierra con relé de falla a tierra y un fallo a tierra

(1) Relés: serie RCM, TC: Series CTAC, W

# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## Protección de fallo a tierra - Disyuntor de disparo en derivación

Algunos de los sistemas sólidamente puestos a tierra y puestos a tierra a través de resistencia necesitan interrumpir la alimentación cuando se produce un fallo a tierra. El fallo a tierra tiene que ser percibido y la alimentación eliminada (a menudo en milisegundos). Los niveles de disparo para la protección de fallos a tierra varían en función de la aplicación. En Norteamérica, la protección personal en sistemas de hasta 240VAC según la norma UL943, está definida como 6 mA. Los niveles de disparo para la protección de los equipos van desde los 10 mA hasta múltiples amperios. En la parte industrial los circuitos derivados o la protección de la carga suele estar fijada a 5 A. La protección de la entrada de servicio es más probable que se establezca para disparar a niveles de cientos de amperios. Tanto el NEC de USA, el CEC de Canadá y la NOM de México ordenan protección de fallo a tierra en sistemas sólidamente puestos a tierra, frecuentemente a altos niveles y protección al personal de 6mA para circuitos específicos. A continuación, en la figura 6 se muestra un esquema con las conexiones entre un equipo RCM de Bender, un disyuntor con bobina de disparo derivado y una carga trifásica.

Terminales RCM: A1, A2 = Fuente de alimentación externa; k,L = conexión al TC; 11,12 = contacto que cierra y aplica 120 VA a la bobina de disparo del disyuntor si la corriente de fallo a tierra detectada, por medio del transformador de corriente, excede el punto de ajuste del RCM. El disyuntor entonces opera e interrumpe la alimentación a la carga. El disyuntor debe ser reiniciado de forma manual después de un disparo y después de que el fallo a tierra haya sido reparado o eliminado.

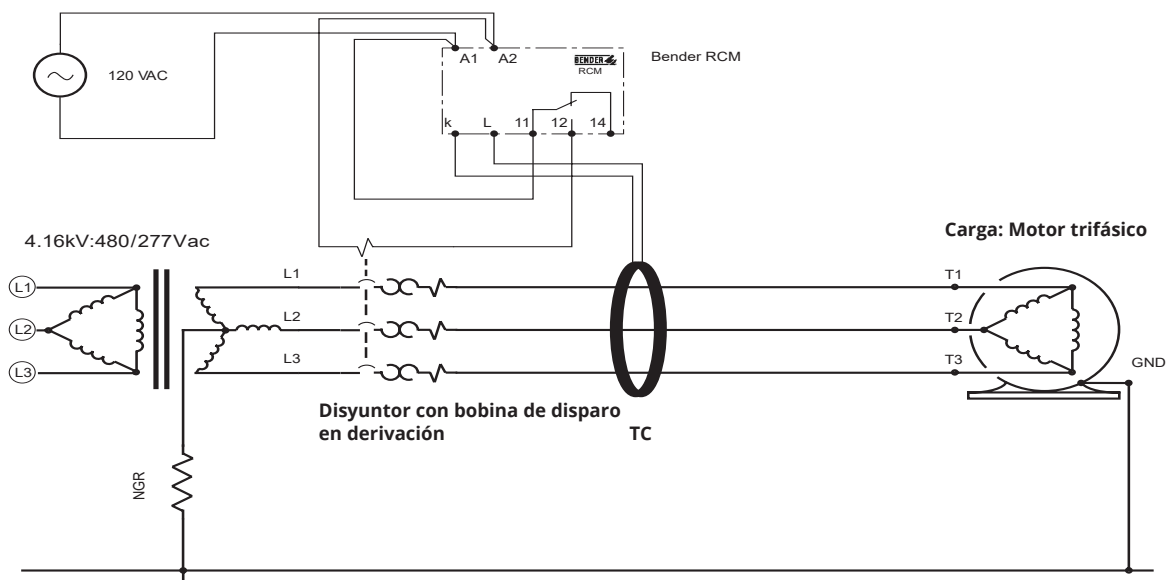


Figura 6: Monitor de corriente residual RCM conectado a un disyuntor con bobina de disparo en un sistema puesto a tierra a través de resistencia



# Sistemas sólidos puestos a tierra

## Protección de fallo a tierra - Contactor

El esquema de cableado de la figura 6 utiliza un disyuntor con bobina de disparo. Un contactor puede conseguir realizar la misma tarea si se instala una protección de sobreconrriente aguas arriba. Ver el esquema de la figura 7.

A1, A2 = suministro de alimentación externo; k,L = conexión al TC; 11,14 = contacto de alarma se abrirá y eliminará la alimentación (120 VAC) de la bobina del contactor si la corriente de fallo a tierra excede del punto de ajuste, entonces el contactor abrirá sus contactos y se interrumpirá la alimentación a la carga. Se puede configurar el contactor para que se reinicie de manera automática cuando el fallo se haya eliminado y el relé de fallo a tierra del monitor de corriente residual se haya reiniciado localmente o de forma remota.

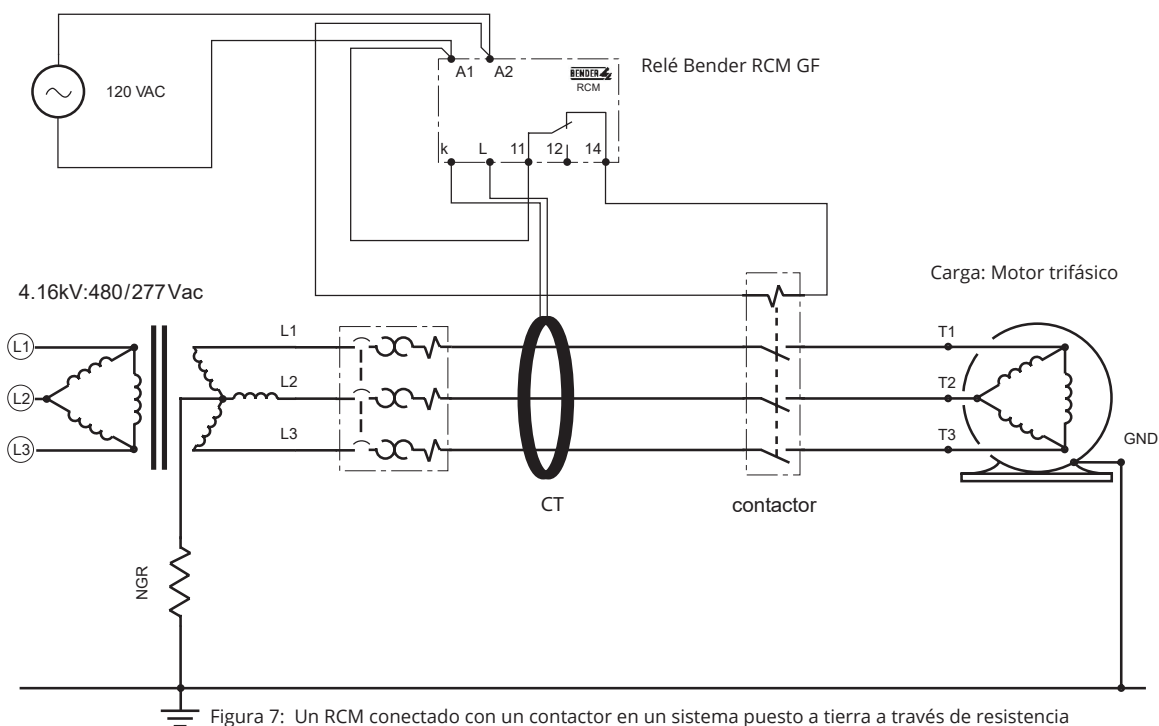


Figura 7: Un RCM conectado con un contactor en un sistema puesto a tierra a través de resistencia

# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## Sistemas AC puestos a tierra con VFDs (Drives de frecuencia variable)

Los relés de fallo a tierra de 60 Hz tienen limitaciones en su rendimiento si el sistema de alimentación incluye drives de frecuencia variable (VFDs). Los ensayos muestran que el relé de fallo a tierra común no detectará de manera precisa un fallo a tierra si la frecuencia de salida del VFD está muy por debajo de 60 Hz. Cabe esperar una completa incapacidad para detectar un fallo a tierra en frecuencias inferiores a 12 Hz. Un VFD rectifica la tensión AC entrante a una tensión DC, que es luego modulada a una tensión AC de frecuencia variable para controlar la velocidad de un motor de inducción común. Un fallo interno a tierra en DC del VFD no se puede detectar con el uso de tecnología convencional del relé de fallo a tierra, ni tampoco un fallo a tierra en el motor o en el cable cuando el VFD está funcionamiento a baja velocidad. Un TC común sólo puede detectar corriente AC, por lo tanto, las corrientes de fallos en DC no se detectan. Algunos VFD's están dotados de su propio esquema interno para detectar fallos a tierra con el fin de autoprotgerse frente a fallos AC de alta corriente. A menudo, los VFD's se fabrican para operar en sistemas sólidamente puestos tierra donde no hay límite en la corriente de fallo a tierra. La sensibilidad a la corriente de fallo a tierra de los VFD's debe ser comprobada para determinar si es compatible con los sistemas puestos a tierra a través de resistencia y fallos a tierra de baja corriente. La detección temprana o la protección personal probablemente requiera un relé de fallo a tierra adicional.

### Más cuestiones con los VFDs:

- Los VFDs incluyen a menudo filtros de calidad de la energía y EMI. Los filtros y los dispositivos de protección contra transitorios proporcionan circuitos de derivación a tierra y añaden al sistema en general corriente de fuga.
- Los componentes del filtro pueden ser clasificados para la tensión de línea a neutro. Si se encuentra instalado en un sistema aislado de tierra o puesto a tierra a través de resistencia, pueden darse daños catastróficos en los componentes y una avería en el VFD puede ocurrir durante un fallo a tierra.
- Los VFDs conmutan en una frecuencia portadora kHz. La reactancia capacitiva disminuye a medida que la frecuencia aumenta, por lo tanto, las altas frecuencias generan mayores niveles de corriente de fuga. Las frecuencias portadoras a través del aislamiento, el cual es una capacitancia distribuida, suman corriente a las fugas de corriente inherentes del dispositivo.
- Las frecuencias armónicas que son resultado de las operaciones de conmutación se suman al impacto de estos circuitos de corriente de fuga.
- Los picos de tensión transitoria son un problema conocido en los VFD's, en particular cuando se haya excedido la distancia de separación recomendada por el fabricante entre el drive y el motor.

**La solución:** Los sistemas puestos a tierra que tienen VFDs deben ser protegidos con relés de fallo a tierra capaces de detectar fallos en AC y DC. Los monitores de fallo a tierra de Bender de las series NGRM, RCMA, RCMB, y RCMS, en combinación con transformadores de corriente activos, los cuales disponen de un sistema de doble bobinado, miden con precisión corrientes AC, DC y AC/DC. Los ajustes de alarma/disparo abarcan desde 6 mA hasta 10 A.

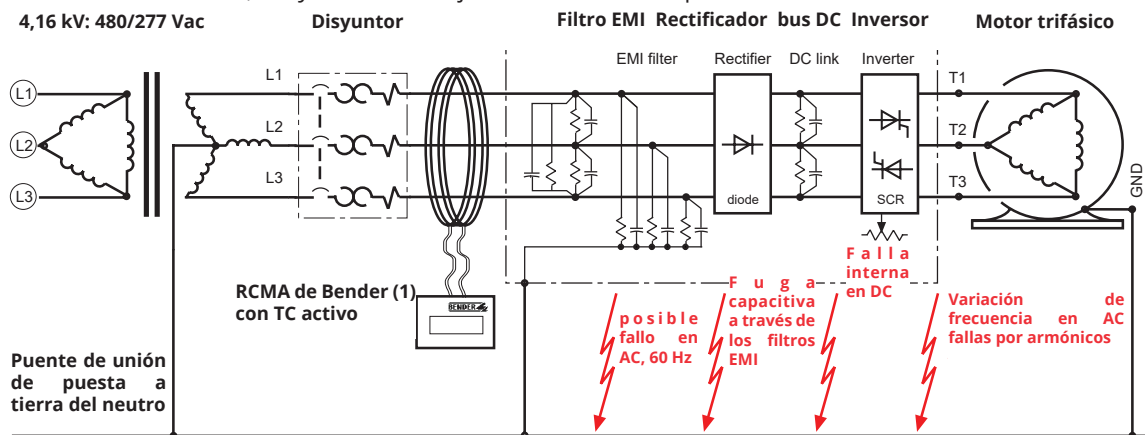


Figura 8: Sistema AC puesto a tierra con un drive de frecuencia variable y protección de fallo a tierra AC/DC por medio de un RCMA y TC activo.

# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## Sistemas DC

Los Monitores de fallo a tierra RCMA y RCMB de Bender trabajan en DC y sistemas mixtos AC/DC. El principio de medida único puede ser usado como protección si el sistema DC está puesto a tierra como se muestra en la fig 9. En este ejemplo, el polo negativo de la fuente de alimentación o batería está conectado a tierra. Ambos conductores, el negativo y el positivo que conducen a la carga pasan a través de la ventana del TC activo. Cuando se da un fallo a tierra, la corriente de fallo DC fluye a través de tierra y vuelve a la fuente de alimentación, evitando al TC. Su magnitud se calculará por el monitor de fallo a tierra AC/DC y se mostrará una alarma o si el sistema está configurado para ello, se disparará. Una ventaja clave sobre la detección de fallos en DC es que este método puede ser usado para localizar un fallo a tierra. Es importante observar que esta tecnología trabaja en circuitos AC, DC y mixtos AC/DC. Por ejemplo: Un solo relé RCMA puede proteger un sistema DC y uno AC al mismo tiempo. Considere un circuito de control en DC y un cable de alimentación de 120 VAC pasando por el mismo TC. Un relé de fallo a tierra estándar sólo puede monitorizar la línea AC, el RCMA protege a ambos.

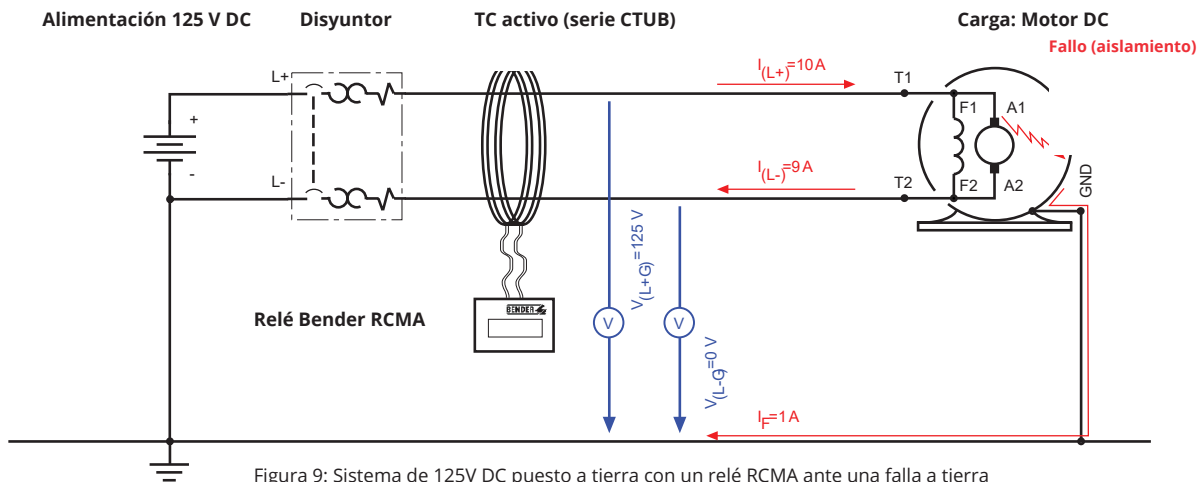


Figura 9: Sistema de 125V DC puesto a tierra con un relé RCMA ante una falla a tierra

# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## Localización de fallos a tierra con equipos portátiles

Normalmente no resulta demasiado difícil localizar un fallo a tierra en un sistema sólidamente puesto a tierra. Como se mencionó anteriormente, la corriente de fallo a tierra normalmente es alta y obligará al dispositivo de sobrecorriente o al relé de fallo a tierra a disparar ante el circuito defectuoso. Un disparo del relé de fallo a tierra puede ocasionar un tiempo de inactividad no deseado, esto sí sólo hay un relé de fallo a tierra, instalado cerca de la fuente de alimentación, que protege múltiples salidas de alimentación y cargas. Un solo fallo en cualquier lugar del sistema ocasionará que se desconecte la alimentación. Una situación habitual en una planta industrial con las unidades de aire acondicionado montadas en el techo es que una unidad tenga un fallo a tierra la cual provoca que dispare el interruptor principal de entrada de servicio al no tener instalada una protección a nivel de los circuitos derivados. No resulta una tarea sencilla encontrar la unidad defectuosa si hay otras 50 cargas en el sistema. A continuación, se muestra una solución al problema:

## Localización de fallos en sistemas inactivos off-line (búsqueda fuera de línea)

Una manera habitual para comprobar un fallo a tierra en un sistema inactivo es utilizando un megóhmetro, conocido también como "hi-pot tester" o "equipo de meggeo". El megóhmetro se conecta a través de los cables de motor y el chasis y aplica una tensión (normalmente 500 V mín.) al circuito del motor. El fallo a tierra aparece si la tensión de prueba genera corriente de flujo que indica un circuito a tierra. Nota: el megóhmetro sólo funciona en sistemas desconectados. Se debe asegurar que el sistema que está siendo probado está bloqueado de la alimentación antes de comenzar la prueba del megóhmetro.

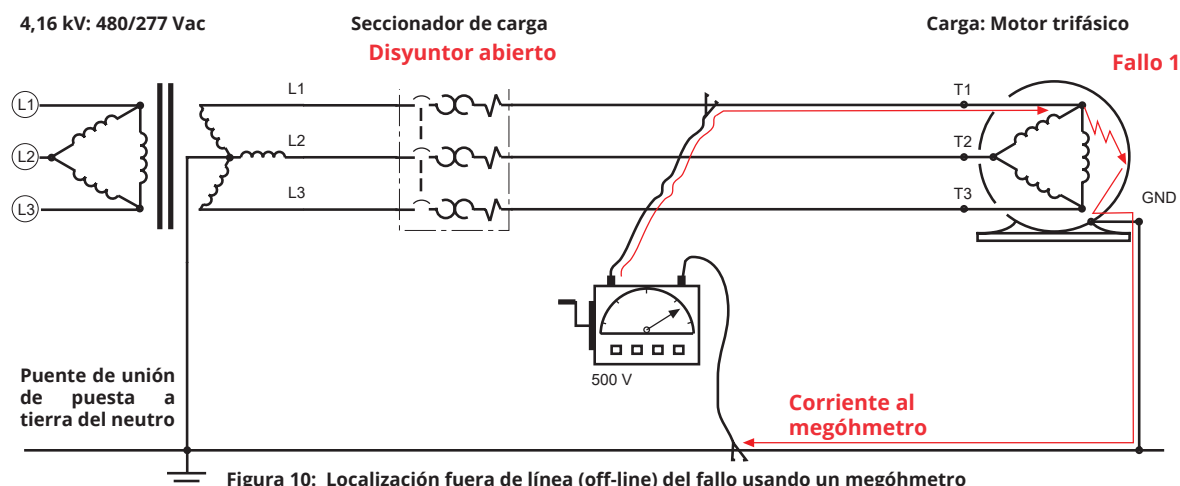


Figura 10: Localización fuera de línea (off-line) del fallo usando un megóhmetro



# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## Localización de fallos a tierra con una pieza de corriente Localización de fallos en sistemas activos (búsqueda on-line)

Los relés de fallo a tierra que trabajan con base en transformador de corriente son similares a un amperímetro sensible con punto de ajuste. El habitual amperímetro tipo pinza se usa para medir corrientes de carga cerrando la pinza sobre un solo conductor. El mismo amperímetro en un sistema seguro dará una lectura de cero si la pinza está alrededor de todos los conductores (incluso el neutro, si está presente). Este es el principio de secuencia cero descrito anteriormente en la sección del sistema puesto a tierra AC 60 Hz en la página 7. Un sistema seguro revelará corriente cero, pero en caso de existir una corriente de fallo a tierra esta aparecerá en la pinza. Nota: no incluir el conductor a tierra al situar la pinza alrededor de los cables de alimentación. El fallo a tierra puede ser encontrado al colocar la pinza alrededor de los conductores que primero parten de la fuente de alimentación. A partir de ahí se miden las salidas de alimentación individuales. Una vez que la salida de alimentación está localizada, el fallo puede seguir siendo rastreado al medir cada carga (p.ej. se pueden medir los circuitos de cada disyuntor de un panel de distribución). Se deben tener en cuenta los procedimientos de seguridad y el equipamiento de protección personal cuando se utilice este método.

El amperímetro de pinza diseñado para la medida de corrientes de carga sirve para localizar fallos si la magnitud de la corriente de fallos a tierra excede algunos amperios. Si el fallo a tierra tiene una magnitud menor de un amperio se deberá usar un amperímetro de mayor sensibilidad. La ilustración 1 a continuación muestra un amperímetro capaz de detectar fallos por debajo de 10 mA. Nota: el tamaño de la pinza puede limitar la aplicación en varios circuitos. Hay que tener en cuenta que no resulta efectivo usar un medidor de pinza para encontrar una falla franca en un sistema sólidamente puesto a tierra, ya que los equipos de sobrecorriente habrán disparado mucho antes que el amperímetro manual haya podido ser usado. Los métodos descritos anteriormente funcionarán para fallos a tierra por debajo del nivel de disparo del disyuntor de carga que protege al alimentador, el cual en sistemas puestos a tierra a través de alta resistencia son todos fallos a tierra. La corriente de carga de los alimentadores sin falla en el sistema fluye hacia al fallo a tierra a través de la capacitancia del sistema, lo cual puede hacer difícil reconocer la corriente de fallo real. Como regla de oro para la estimación de la corriente de carga del sistema, es  $\frac{1}{2}$  A por 1,000 kVA de carga para sistemas de baja tensión y 1 A por 1,000 kVA para sistemas de media tensión. La corriente de carga puede ser medida o calculada de manera más precisa.

Efecto de la capacitancia de fuga: Un motor está formado por bobinas, cable y aislamiento cubiertos por un marco de metal. El aislamiento que separa al conductor de tierra actúa como un pequeño capacitor entre los dos. El aislamiento también tiene una cierta resistencia. La capacitancia suele ser extremadamente pequeña y la resistencia suele estar en un rango de megohmios. No obstante, se puede añadir corriente de fuga a través de esta combinación de caminos. En general cuanto mayor sea el sistema de alimentación, mayor será la fuga natural. Supongamos un motor en una planta de fabricación en la que se produce una fuga a tierra de una mínima fracción de corriente (p.ej.:  $1 \text{ mA} = 1/1000$  de un amperio). No parece que sea mucho y la decisión que se toma es utilizar un relé de fallo a tierra con un punto de ajuste de 10 mA. El relé de fallo a tierra dispara inmediatamente porque no se tuvo en cuenta que hay 15 motores similares conectados a ese circuito.  $15 \times 1 \text{ mA} = 15 \text{ mA}$  de fuga presente en el sistema. Esto ni siquiera tiene en cuenta la fuga capacitiva de los cables, supresor de transitorios de sobretensión o componentes de los drives tales como filtros.

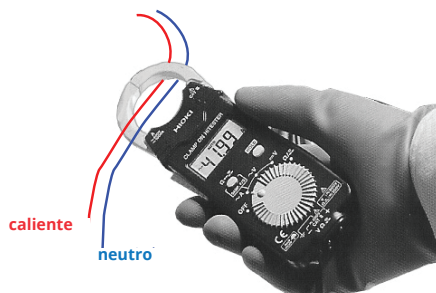


Ilustración 1: Medición de la corriente de falla y corriente de fuga mediante un amperímetro tipo pinza

# Sistemas sólidamente puestos a tierra

## Localización de fallos a tierra en sistemas de gran tamaño con equipamiento fijo

### Sistema online

Supongamos que hay un sistema trifásico de 208 VAC con 120 salidas de alimentación instaladas en un edificio. La dirección necesita saber en todo momento si el sistema se encuentra en buenas condiciones o si existe algún problema. Cualquier problema debe ser indicado de manera inmediata, identificado y reparado. La tecnología de medida del fallo a tierra de secuencia cero anteriormente mencionada puede ayudar. Un sistema de monitorización de fallo a tierra instalado de forma permanente puede monitorizar un número ilimitado de circuitos 24/7. En este caso, se instalará un TC en cada alimentador y en cada derivado. Los TC's se conectarán a monitores de corriente residual (RCMS) de 12 canales. Los RCMS pueden ser conectados a un completo sistema de procesamiento central con una unidad de visualización (CP700). La corriente de fallo a tierra fluye de la fuente al derivado con falla, a la carga con fallo y del fallo regresa a la fuente. Los TC's de secuencia cero en este circuito detectarán la corriente de fallo y el sistema de monitorización de corriente residual indicará el canal que representa el alimentador o la carga con fallo. La unidad central de procesamiento mostrará la cantidad de corriente de fallo y la localización del fallo. El circuito defectuoso se puede inactivar si está así configurado. La información del fallo a tierra puede ser mostrada de forma local o enviarla externamente a través de comunicación a una PC o por SMS a dispositivos móviles. Los sistemas fijos de localización de fallos a tierra son tremendamente beneficiosos para maximizar el tiempo de funcionamiento y localizar y reparar rápidamente el circuito o equipamiento defectuoso.

Se debe tener en cuenta que los TC's pueden medir niveles muy bajos de corriente de fallo a tierra y están diseñados para detectar fugas de corriente en una fase muy temprana. Los fallos a tierra que se desarrollan rápidamente, tales como fallos francos en un sistema sólidamente puesto a tierra, pueden disparar el equipo de sobre corriente antes de que el monitor de corriente residual localice el fallo. El RCMS en un sistema sólidamente puesto a tierra realizará su mejor desempeño si el nivel de fallo está por debajo de los niveles de disparo de la protección por sobre corriente. La protección de fallo a tierra debe estar destinada a ser una protección de bajo nivel de corriente y debe ser coordinada con la protección contra corrientes de mayor nivel.

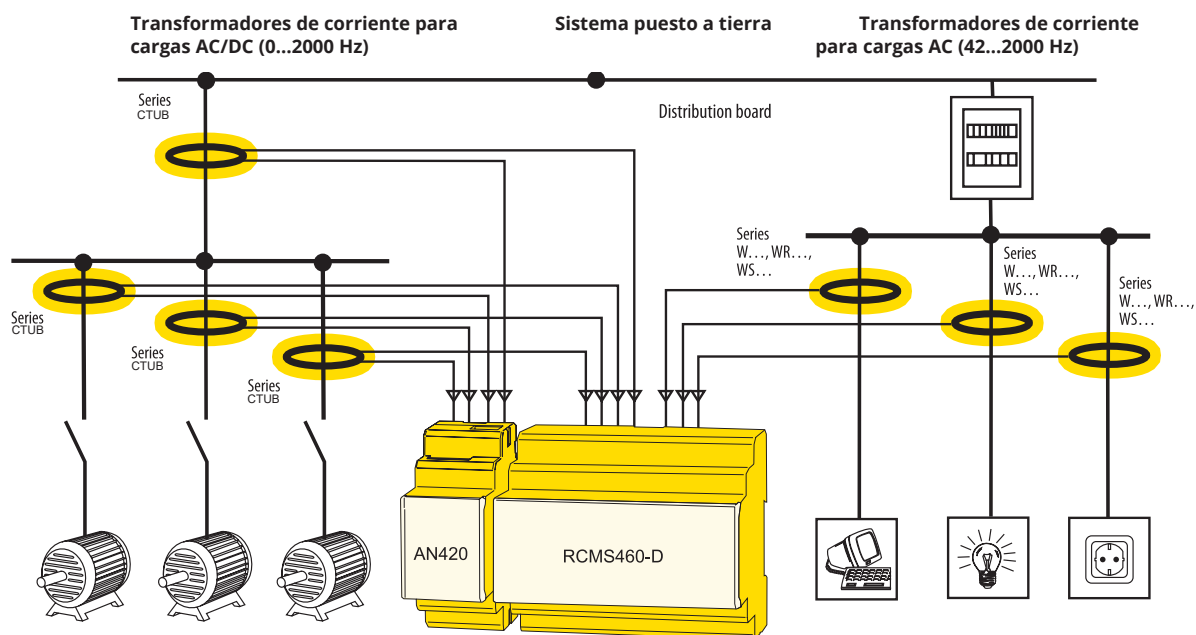


Ilustración 2: Aplicación de un monitor de corriente residual RCMS460-D en un sistema multiderivados

# Sistemas puestos a tierra a través de resistencia

## Sistemas de alimentación básicos - puestos a tierra a través de resistencia

Un sistema de alimentación puesto a tierra a través de resistencia, tiene una resistencia (NGR) instalada entre el neutro del sistema y tierra con el propósito de limitar la corriente de fallo, habitualmente están en sistemas trifásicos, configuración en estrella, tres hilos. Igual que en sistemas aislados de tierra, los sistemas puestos a tierra a través de alta resistencia (HRG) puedan funcionar con una fase con fallo a tierra, como a menudo sucede en plantas de fabricación donde la continuidad del servicio es crítica. En otro tipo de instalaciones, tales como en la minería, se usan sistemas puestos a tierra a través alta resistencia (HRG) que disparan en un fallo a tierra para una mayor seguridad. La ventaja principal del sistema de puesta a tierra a través de resistencia es que la resistencia limita la cantidad de corriente de la falla a tierra - siendo esta la diferencia principal comparado con los sistemas sólidamente puestos a tierra - y por lo tanto disminuyendo de forma significativa el daño en el punto de fallo y también la posibilidad de un arco eléctrico (arc flash), este sistema permite el disparo selectivo por fallo a tierra, que se consigue monitorizando todos los alimentadores y con retardos de tiempo ajustables en los relés en cascada.

La magnitud del fallo a tierra depende de la clasificación de la resistencia de puesta a tierra del neutro (NGR), del circuito de retorno y las impedancias de fallo a tierra. Las clasificaciones más comunes de HRG y NGR son 5, 10 ó 25 A y se clasifican para uso continuo cuando su aplicación es en sistemas sin disparo y habitualmente en los sistemas con disparo están clasificadas en 10 s.

$$I_F = \frac{V_{LG}}{R_{GF} + R_{GR} + R_{NGR}}$$

(3)

$I_F$  = Corriente de fallo

$V_{LG}$  = Tensión entre fase con fallo y tierra

$R_{GF}$  = Valor de resistencia en el punto de fallo

$R_{GR}$  = Valor de resistencia de circuito de retorno a tierra

$R_{NGR}$  = Valor de resistencia de NGR

**Ejemplo de cálculo:**

$$I_F = \frac{277 V}{0.1 \Omega + 0.2 \Omega + 55 \Omega} = 5 A$$

La potencia disipada en el punto de fallo es:  $P = I^2 R = 5^2 * 0.1 = 2.5 W$

La corriente de fallo máxima se limitará, por eso la maquinaria vital se puede mantener en funcionamiento hasta que el proceso haya finalizado. Otra opción en caso de fallo es disparar desconectando la carga no crítica y solo indicar alarma para aquellas cargas críticas.

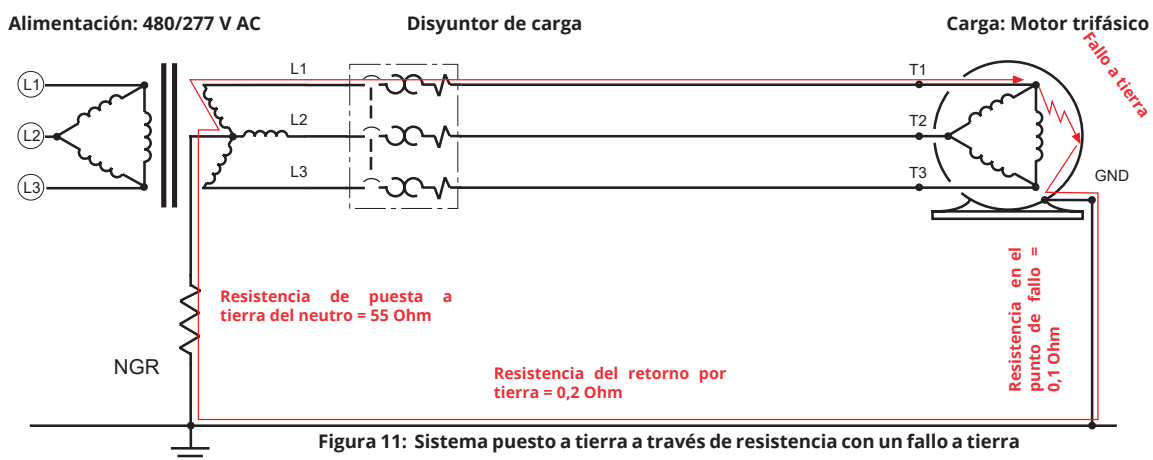


Figura 11: Sistema puesto a tierra a través de resistencia con un fallo a tierra

# Sistemas puestos a tierra a través de resistencia

## Sistemas AC puestos a tierra a través de resistencia

### Monitoreo falla a tierra (GF) y comprobación de continuidad del conductor a tierra (GC)

Una NGR abierta deja el sistema aislado de tierra y por tanto sin detección de fallo a tierra. De forma similar, el fallo de la conexión de unión a tierra en un alimentador o una parte del equipo deja una parte del sistema desprotegida. Como resultado, puede darse una tensión de contacto peligrosa. Este problema resulta de especial importancia para cargas móviles que dependen del cable de tierra como circuito de retorno a tierra. Los monitores de comprobación de tierra (GC) protegen contra una condición de circuito a tierra abierto, monitorizando la continuidad del circuito formado por un conductor de comprobación a tierra (hilo piloto) y el conductor a tierra en el cable, este circuito termina en la carga en un dispositivo reconocido por el monitor. La condición de fallo en la comprobación a tierra está relacionada directamente con un riesgo de fallo a tierra, es por eso, que el Monitor RC48C de Bender combina las funciones de monitor de falla a tierra (GF) y Monitor de comprobación de continuidad del conductor a tierra (GC).

Si la corriente de fallo a tierra excede el valor de respuesta, el led de "alarma de fallo a tierra" se ilumina y los relés de alarma cambian su estado después del tiempo de retardo seleccionado. La alarma permanecerá hasta que se presione el botón restablecer (RESET). El circuito de comprobación a tierra monitoriza la resistencia del bucle de comprobación de tierra (hilo piloto, conductor a tierra y dispositivo de terminación), con tal propósito, el relé inyecta una pequeña corriente DC al hilo piloto que luego pasa por el cable de arrastre hasta el dispositivo de terminación. El dispositivo de terminación está conectado entre el conductor de comprobación de tierra y tierra de la carga móvil. El circuito de comprobación de tierra detecta y dispara cuando el bucle o circuito de comprobación de tierra está en circuito corto, abierto o la resistencia máxima se excede.

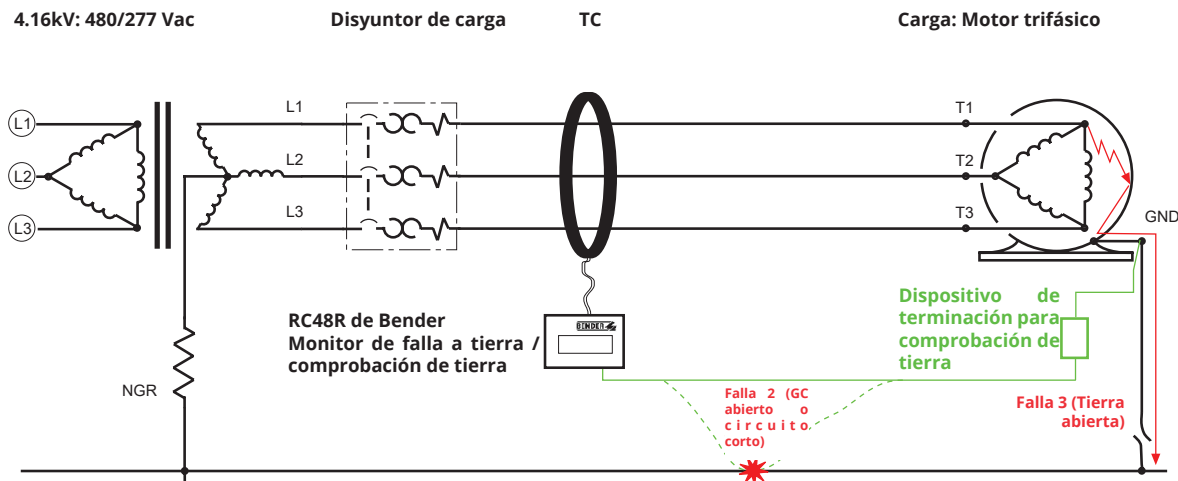


Figura 12: Sistema puesto a tierra a través de resistencia con monitorización de fallo a tierra y comprobación de tierra



# Sistemas puestos a tierra a través de resistencia

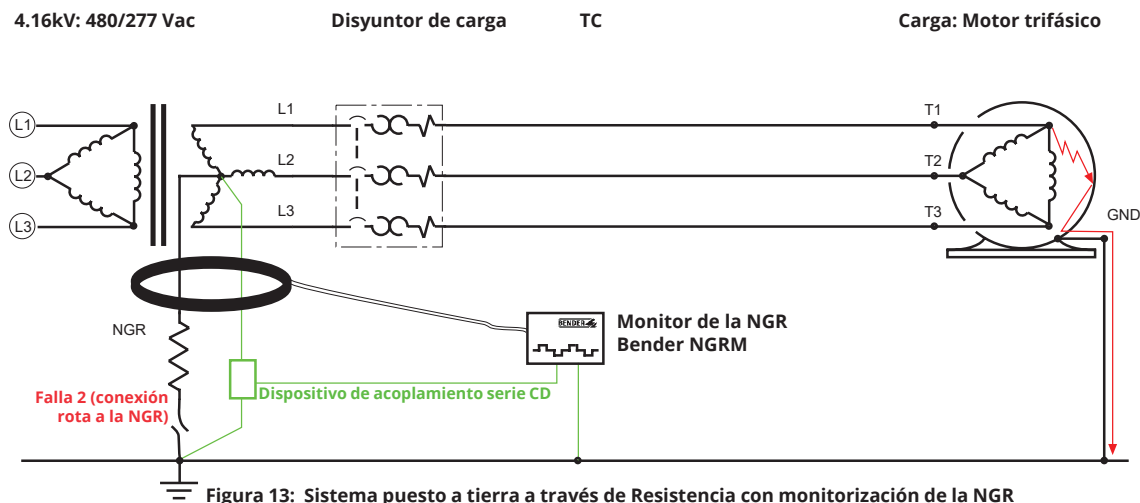
## Sistemas AC puestos a tierra a través de resistencia

### Fallo a tierra - Monitorización de la NGR

La resistencia de puesta a tierra del neutro (NGR) utilizada en los sistemas de alimentación puestos a tierra a través de resistencia está sujeta a estrés térmico, degradación medioambiental, errores de mantenimiento y daños causados por animales salvajes. Si una NGR o el circuito del neutro a tierra están abiertos, el sistema de alimentación está aislado de tierra y los detectores de fallo a tierra no funcionarán. Si la resistencia de puesta a tierra del neutro está en corto, el sistema está sólidamente puesto a tierra y por tanto la corriente de fallo a tierra será muy grande. Por estas razones, se deben monitorizar constantemente el buen estado de la resistencia de puesta a tierra del neutro y su conexión al sistema.

La monitorización de la NGR debe ser realizada con un equipo que pueda detectar fallos en la resistencia de puesta a tierra del neutro esté o no activado el sistema de alimentación y haya o no un fallo a tierra, esto se logra eficazmente con los monitores NGRM, RC48N y NGR de Bender. Ni el uso de un monitor de fallo a tierra sensible a la corriente ni un relé de sobretensión conectado al neutro puesto a tierra, o la combinación de ambos, puede detectar un fallo en la NGR.

En la figura 13, un monitor de resistencia de puesta a tierra de Bender de la serie NGRM detecta fallos a tierra con un TC y detectará una NGR abierta o corta calculando la resistencia mediante la medición de la tensión en el dispositivo de acoplamiento (CD). Si la corriente de fallo a tierra o la tensión del neutro excede su punto de ajuste, el led de fallo a tierra se ilumina y las salidas del relé modifican su estado. Si el valor de la resistencia de puesta a tierra del neutro se encuentra fuera de los ajustes, el led de fallo de la resistencia se ilumina y las salidas del relé modifican su estado. El circuito de monitorización de la NGR mide la resistencia de la puesta a tierra del neutro, las conexiones al neutro del transformador y la conexión a tierra. La resistencia de puesta a tierra y su caída de tensión se miden usando el dispositivo de acoplamiento el cual también aísla de forma segura al monitor de la NGR de la tensión del sistema. Si así lo requiere la aplicación, el monitor de la NGR se puede configurar para mandar señal de disparo para interrumpir la alimentación.



# Sistemas puestos a tierra a través de resistencia

## Localización de fallos a tierra

Los sistemas de alimentación puestos a tierra a través de resistencia pueden usar las mismas técnicas de localización de fallos basados en corriente, como en los sistemas sólidamente puestos a tierra. La diferencia principal es que la potencial corriente de fallo a tierra está limitada a la clasificación de la resistencia de puesta a tierra del neutro y que las corrientes de fallo a tierra habitualmente no serán lo suficientemente altas para disparar un equipo de sobrecorriente.



Ilustración 3: Panel de control de una HRG con monitores NGRM700 y RCMS490 en su interior

# Sistemas aislados de tierra

## Sistemas básicos de alimentación - Aislados de tierra (flotantes o de neutro flotante)

Los sistemas flotantes consisten en una fuente de alimentación sin una conexión a tierra. Los transformadores 480V AC configurados como delta son la alimentación habitual para un sistema flotante. La industria minera utiliza sistemas delta aislados de tierra en aplicaciones de grúas. El sistema en delta 480V AC tienen amplio uso para alimentar circuitos principales de 1,000-2,000 Amp. Los sistemas aislados de tierra se usan a menudo en áreas que no se pueden quedar fuera de servicio, como unidades de cuidados intensivos en hospitales, circuitos de señalización y sistemas de respaldo de emergencia.

### El fallo a tierra

La magnitud de la corriente de fallo a tierra en un sistema aislado de tierra es muy pequeña, depende de la tensión del sistema, de la impedancia del fallo a tierra y de la capacitancia del sistema.

Ejemplo: si un objeto a tierra con baja resistencia toca un conductor vivo, el flujo de corriente resultante será muy bajo. El bucle de fallo a tierra no estará completo porque el circuito de retorno a la fuente sólo se hace a través de la capacidad del sistema. La corriente resultante también es conocida como corriente de fuga. Nunca se debe suponer que resulta seguro tocar un conductor desnudo en un sistema flotante. La corriente de fuga puede ser extremadamente peligrosa. El ejemplo que se muestra a continuación refleja solo valores resistivos. La capacitancia, aunque es importante, no está presente en la ecuación.

$$I_F = \frac{V_{3G}}{R_{GF} + R_{GR} + R_{NG}}$$

$I_F$  = Corriente de fallo

$V_{3G}$  = Tensión entre fase de fallo y tierra

$R_{GF}$  = Valor de resistencia en un punto de falla

$R_{GR}$  = Resistencia del circuito a tierra

$R_{NG}$  = Resistencia del puente de unión del neutro a tierra [en este caso: MΩ a través del aire]

$$I_F = \frac{277V}{0.1\Omega + 0.2\Omega + 1M\Omega} = 0.00027mA = 0.27mA$$

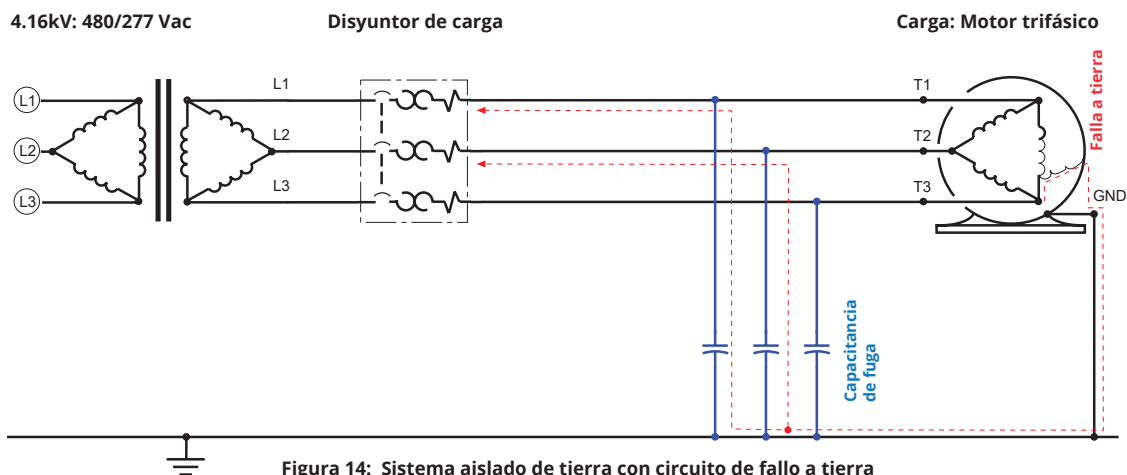


Figura 14: Sistema aislado de tierra con circuito de fallo a tierra

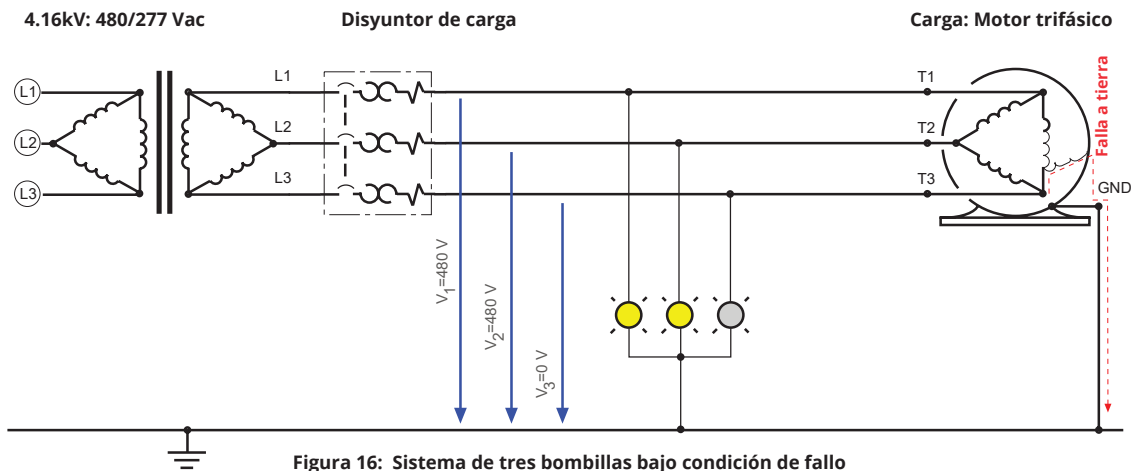
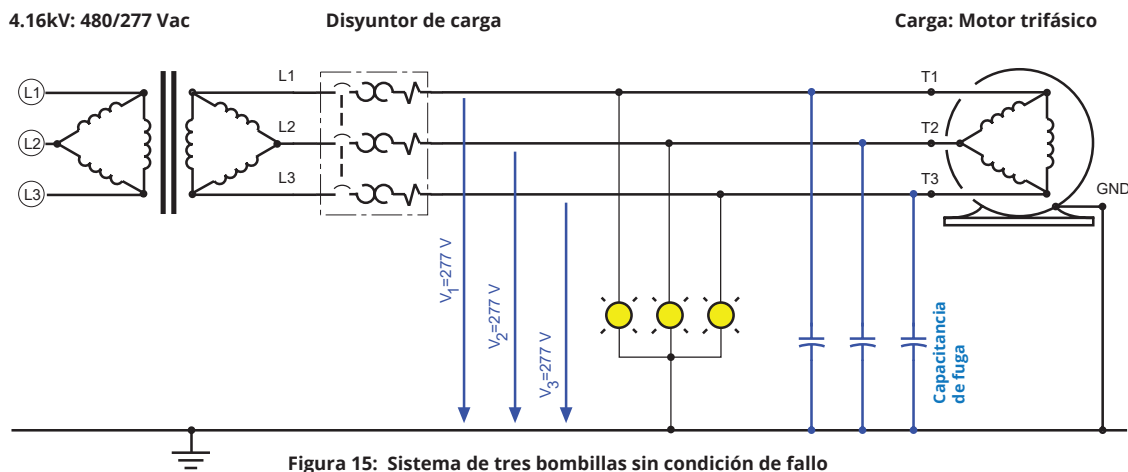
# Sistemas aislados de tierra

## Vigilantes de aislamiento (IMD, iso685, isoPV)

Los sistemas aislados de tierra no producen la cantidad necesaria de corriente de fallo para disparar un relé de fallo a tierra común. El mejor método para detectar fallos a tierra en sistemas aislados es la monitorización de la resistencia de aislamiento con un vigilante de aislamiento.

## Protección de fallo a tierra con monitorización de la tensión

El dispositivo pasivo más común es el sistema de tres bombillas en sistemas en delta industriales a 480 V. Esta tecnología se usaba antes de que se inventaran los vigilantes de aislamiento y tiene varios inconvenientes. La teoría de funcionamiento se explica minuciosamente pero no se recomienda. Son 3 bombillas conectadas de fase a tierra (en estrella o configuración Y). En un sistema en buenas condiciones, las tres luces se iluminarán con la misma intensidad. En caso de un fallo a tierra, la fase de fallo asumirá un valor cercano al potencial de tierra. La luz respectiva disminuirá, mientras que las otras dos se volverán más brillantes. El sistema de bombillas no suele proporcionar indicadores de disparo adicionales para alarmas remotas. También necesita experimentar una condición de fallo severa antes de que la indicación se visualice. La misma elevación de tensión que causa la iluminación más brillante en las fases sin falla, también genera estrés en el aislamiento, esto puede llevar a un fallo de fase a fase, o aún peor, los fallos a tierra simétricos no se detectarán (un fallo equilibrado en las tres fases).





# Sistemas aislados de tierra

## Vigilantes de aislamiento IMD

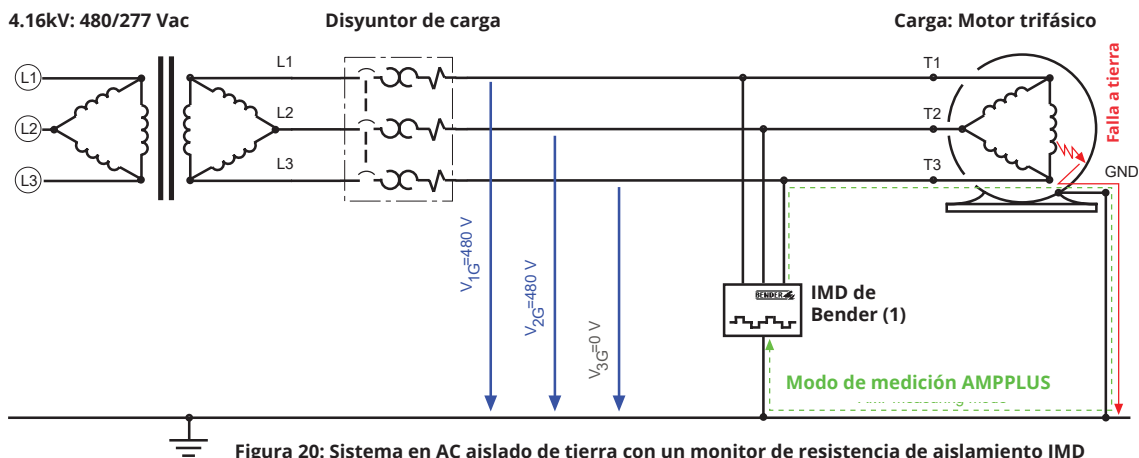
### Vigilantes de aislamiento activos (IMD's activos)

Los vigilantes de aislamiento activos son como megóhmetros en línea. Están conectados entre los conductores de fase de sistema y tierra. El IMD aplica constantemente una señal de medida a los conductores de fase y detectará un fallo de aislamiento en cualquier parte del sistema desde el secundario del transformador de alimentación hasta las cargas conectadas. Si la señal encuentra un camino a tierra, retornará al monitor, entonces el circuito electrónico del vigilante de aislamiento procesa la señal de retorno y dispara un conjunto de indicadores cuando se excede el punto de ajuste. Los IMD's miden en Ohmios (resistencia) y no en amperios (corriente). Un fallo a tierra se indica como "avería de aislamiento".

Gran aislamiento = sistema en óptimas condiciones = múltiples k $\Omega$  o M $\Omega$   
Aislamiento defectuoso = fallo a tierra = menos de un k $\Omega$  o bajo rango óhmico

En general la resistencia de aislamiento de un sistema de alimentación depende del número de cargas, el tipo de aislamiento utilizado, la edad de la instalación, condiciones medioambientales, etc. Una pregunta común sobre los sistemas en delta siempre es: "¿Dónde debe estar mi nivel de disparo?" La cifra habitual estimada para aplicaciones industriales es 100 k $\Omega$  por voltio.

Ejemplo: un IMD monitorizando un sistema en delta 480 V se ajustaría para el disparo en  $480 \times 100 = 48 \text{ k}\Omega$ . Sin embargo, este cálculo no se puede usar para todas las situaciones. Ejemplo: Un cliente ha aplicado el megóhmetro a un motor y determina que el sistema tiene una resistencia de aislamiento de 1 M $\Omega$ . Sin embargo, el vigilante de aislamiento instalado permanece indicando la alarma e indica niveles más bajos que los anteriormente supuestos. Respuesta: se ignoró que había 10 de esos motores conectados al mismo sistema. El IMD mide e indica la resistencia del sistema en general. Aquí, tratamos con 10 resistencias en paralelo de 1 M $\Omega$  cada una, por lo que la resistencia general en este caso es menor de 100 k $\Omega$ .



Sistemas monofásicos puros de AC	=>	Monitor IR420
Sistemas monofásicos en AC, DC o mixtos	=>	Monitor IR425
Sistemas trifásicos en AC, DC o mixtos	=>	Monitor iso685
Para tensiones superiores a 1,000VDC, 690VAC	=>	se requiere utilizar acopladores AGH

# Sistemas DC aislados de tierra

## Vigilantes de aislamiento activos (IMD's activos)

El IMD activo es la opción que más se elige para detectar fallos a tierra en sistemas DC aislados de tierra. Igual que en sistemas AC de neutro flotante, un vigilante de aislamiento en DC se conecta al los buses positivo y negativo del sistema y a tierra. Algunos de los vigilantes de aislamiento de Bender funcionan en sistemas AC y DC. El IMD aplica al sistema de alimentación una señal de medida constante, con ello se puede detectar un fallo a tierra en cualquier parte del lado secundario de la alimentación (p.ej.: batería) y las cargas conectadas. Si la señal encuentra una ruptura del aislamiento en el circuito y se va a tierra, retornará al monitor. Esa señal será procesada por el monitor y disparará un conjunto de indicadores cuando se exceda el punto de ajuste.

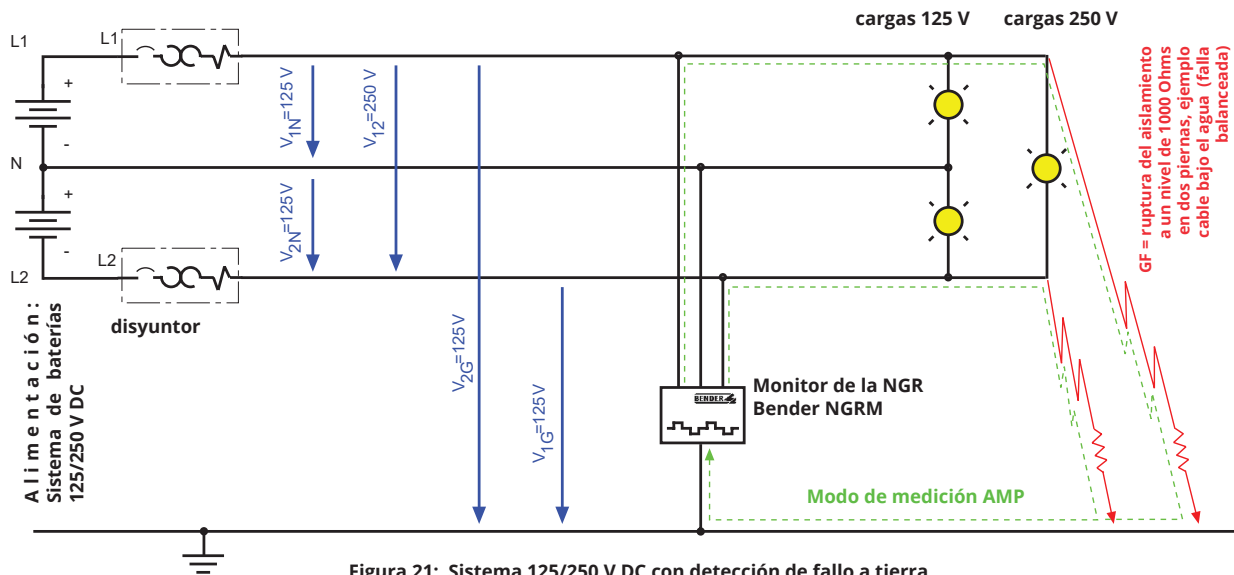


Figura 21: Sistema 125/250 V DC con detección de fallo a tierra

# Sistemas aislados de tierra

## Sistemas aislados de tierra - Localización de fallos a tierra con equipo portátil

La localización de fallos en sistemas aislados de tierra es diferente a los sistemas puestos a tierra. Una pinza de corriente de fuga habitual no resulta efectiva. Según lo mencionado anteriormente, en sistemas no puestos a tierra o de neutro flotante, incluso en un fallo a tierra franco no se generará grandes corrientes y puesto que no hay una corriente de fallo a tierra medible, no se puede usar un detector de corriente de fallo estándar. La solución es medir la resistencia de aislamiento con una señal de bajo nivel enviada desde un generador de pulsos al sistema defectuoso. La señal seguirá el circuito de fallo a tierra y retornará al generador de pulsos. Esta señal se puede rastrear con un dispositivo evaluador y una pinza de mano de alta sensibilidad, el evaluador rastreará el pulso no la corriente de fallo a tierra. El evaluador de pulsos, la pinza y el generador de pulsos trabajan en conjunto – el generador envía el pulso al sistema y el evaluador con la pinza localiza el fallo gracias a la detección del pulso. Este equipo se puede usar tanto sistemas AC como DC, activos o inactivos.

Kit de localización de fallos a tierra EDS 3091PG, para sistemas AC/DC menores a 300 V

Kit de localización de fallos a tierra EDS 3090PG, para sistemas AC/DC arriba de 300 V



Ilustración 06: Kit de localización de fallos a tierra



Ilustración 07: Uso del dispositivo evaluador y la pinza de alta sensibilidad

# Sistemas aislados de tierra

## Localización de fallos a tierra en un sistema de alimentación en delta 480V

Una planta de fabricación experimentó una disminución del valor de aislamiento en su sistema de alimentación de 480-V. La resistencia de aislamiento medida disminuyó de 45k $\Omega$  a menos de 5k $\Omega$ . El abrir los interruptores no mostró ninguna mejora entonces se seleccionó el localizador de fallos EDS3090, ya que estábamos trabajando con un sistema trifásico a 480V (2,000 A bus principal, 42 derivados).



Ilustración 06: Localización I

El generador de pulsos PGH fue conectado al circuito, la señal inyectada se detectó con el evaluador de fallos EDS165 en combinación con la pinza de alta sensibilidad. Hay 12 derivados en este panel, en cada uno de ellos se verificó la señal del pulso, tomando aproximadamente 30 segundos por cada uno de ellos, la señal se detectó en el derivado 2F7.

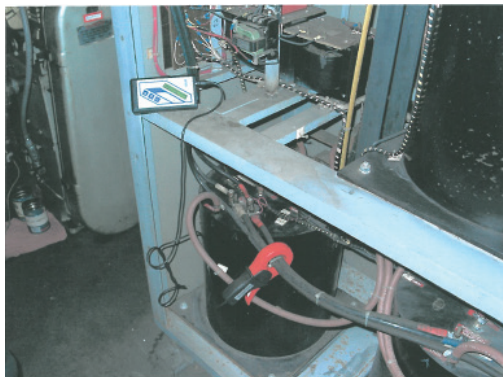


Ilustración 10: Localización III

El evaluador mostró 15 MA yéndose a tierra por estos transformadores. Las especificaciones del transformador y los electricistas de la planta verificaron que se trataba de una situación normal. Pero seguían desapareciendo 10 mA pasando este punto. La búsqueda continúa.



Ilustración 09: Localización II

El circuito derivado 2F7 conduce al área de fabricación. El pulso era aún fuerte. Es increíble la precisión del equipo, si tenemos en cuenta que sólo se envían 25 mA al sistema. Llegamos a un sub-panel que alimenta varias máquinas y transformadores sumergidos en líquido aislante con enfriamiento por agua.



Ilustración 11: Localización IV

Se encontró al culpable. Los 10 mA restantes condujeron a este transformador que estaba bien escondido en una máquina dobladora de metal. Fue necesario una pieza de repuesto.

# Sistemas aislados de tierra

## Sistemas aislados de tierra - Localización de fallos a tierra con equipamiento fijo

Se puede instalar un sistema de localización de fallos a tierra como una instalación fija, si se requiere una monitorización 24/7 y una localización inmediata del fallo. La completa detección del fallo a tierra así como su localización en un sistema aislado de tierra incorpora: IMD Insulation Monitoring device (iso685 and iso1685 series)

**Función:** Detecta el fallo y muestra una alarma cuando se alcanza el punto de ajuste. Los vigilantes de aislamiento se mencionan con detalle en las páginas 23 y 24

### Generador de pulsos (opción "P" para iso685 e iso1685)

**Función:** Envía el pulso de localización a los cables de alimentación una vez que se ha detectado el fallo.

### Unidad de control central (incorporado en los iso685 e iso1685)

**Función:** Obtiene la información de los evaluadores y muestra las alarmas

### Evaluadores EDS (serie EDS440)

**Función:** Localización de fallo por medio de TC's e informar al vigilante de aislamiento

### Transformadores de corriente TC's

**Función:** Especialmente diseñado para detectar el pulso de localización y para enviar la información al evaluador EDS.

### Comunicaciones de red (incluidas en series iso685 e iso1685)

**Función:** Conexión a red de comunicación industrial con Modbus RTU o Modbus TCP/IP. Con la pasarela de comunicación de Bender es posible tener protocolos adicionales.

Los sistemas de localización y detección de fallos a tierra de Bender instalados de manera permanente, resultan herramientas excelentes para el mantenimiento de grandes instalaciones con sistemas de distribución de energía aislados de tierra. Los fallos se pueden localizar de manera automática durante su funcionamiento habitual. No se requiere el apagado del sistema. Tampoco es necesario el seguimiento manual y/o el acceso en el interior de paneles eléctricos. Si en el caso de estudio de la página 25 se hubiera equipado con un sistema de localización fijo, el derivado defectuoso y la máquina conectada hubieran sido identificadas en los primeros 120 segundos después de la primera alarma. En un sistema aislado de tierra hay que eliminar rápidamente un fallo a tierra, si no, las tensiones en aumento de línea a tierra en las fases sin fallo pueden llevar a un segundo fallo a tierra en otra fase – un fallo potencialmente peligroso y catastrófico de fase-tierra-fase.

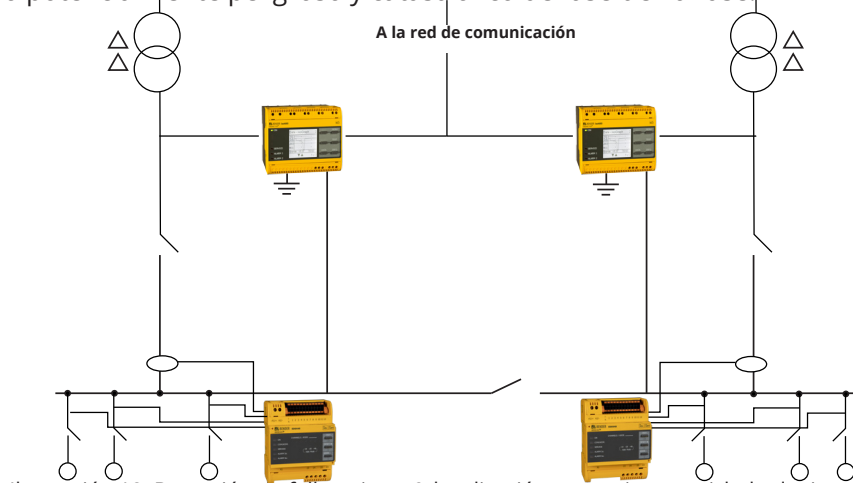


Ilustración 12: Detección de fallo a tierra & localización en un sistema aislado de tierra principal – enlace - principal



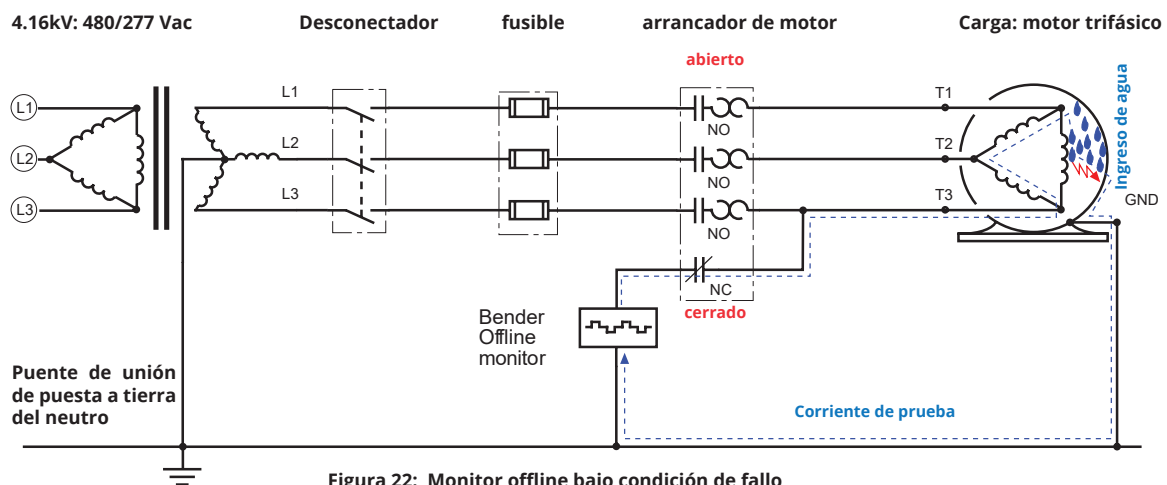
# Monitorización fuera de línea (off-line)

## Monitorización off line con el IR 420-D6 de Bender

La monitorización off-line permite la detección de fallos a tierra antes de la activación de un circuito. Esto puede prevenir el cierre de un circuito que se encuentra en un fallo, prevenir daños y puede evitar una situación peligrosa.

El monitor off-line es un relé de control instalado de manera fija, que reemplaza la función de un técnico que aplica el megóhmetro al devanado de un motor, generador o una carga para comprobar los fallos a tierra o la disminución del nivel de aislamiento. Estas cargas pueden ser bombas de desagüe, bombas de incendio, motores o cualquier otro equipo eléctrico que no funcione de manera continua. En numerosas instalaciones, incluso el equipo de funcionamiento continuo se desconectará a ciertos intervalos para realizar una prueba de alta tensión de línea a tierra. La prueba del megóhmetro implica desconectar la carga del sistema de alimentación, conectar el equipo de alta tensión o el megóhmetro y aplicar voltaje en los cables y devanados por un instante, durante el cual los técnicos miden la fuga de corriente como indicador del fallo de aislamiento. Este proceso conlleva un tiempo considerable, en ocasiones las áreas de trabajo se encuentran en zonas remotas y además las labores de cableado y de desconexión deben ser realizados con las normas de seguridad correspondiente. Esta tarea manual se puede automatizar completamente usando un relé de bajo costo.

Los vigilantes de aislamiento fuera de línea superponen una señal de medida DC al sistema que está siendo monitorizado, la alarma del relé se activa si la señal superpuesta encuentra un fallo de aislamiento que pueda permitir una elevada fuga de corriente a tierra.



Los vigilantes de aislamiento off-line proporcionan un buen retorno de la inversión. Se amortizan durante el primer año de funcionamiento. Un motor de bomba común de 100 hp cuyas juntas hayan fallado se pueden volver a poner en funcionamiento reparando las juntas y secando los bobinados del estator, el motor funcionará si el monitor off-line previene de una “puesta en marcha húmeda”, es decir si los niveles del aislamiento están dentro de los parámetros adecuados. Si no se tuviera el monitor off-line pudiera ponerse en marcha el motor, con un alto riesgo de falla y daño al motor lo que se traduciría en un alto costo por rebobinar el estator y un tiempo de parada innecesario.



## A

Acoplador AGH 21  
Alta tensión 12

## B

Batería 22  
Búsqueda en línea (on-line) 20  
Búsqueda fuera de línea (off-line) 12

## C

Configuración en Delta 19  
Cuerpo humano 6

## D

Derivación 7  
Disminución del aislamiento  
2, 21

## E

Equilibrio 20  
Equipamiento fijo 14, 25  
Equipo portátil 12,23  
Evaluador 24, 25

## F

Filtro EMI 10  
Frecuencia del portador 10  
Fuga 13

## G

GC 16  
Generador de pulsos 23  
GFCI 5  
GFGC 16  
GFI disyuntor 13  
GFR 4  
GF interruptor  
- Contactor 9  
- Disyuntor derivado de disparo 8

## H

Hospital 19

## I

ICU 19  
IMD 4, 20  
IR420 21  
IR425 21

## L

Localización de fallos a tierra  
12, 13, 14, 24

## M

Megóhmetro 26  
Minería 15, 19  
Mixtos AC/DC 11  
Monitor NGR 17

## N

NG 5  
Norma básica 7

## P

Personal 10  
Pinza 13  
Protección 10  
Punto central o neutro 5  
Puente 4  
Puesta a tierra a través de  
resistencia 15

## R

RCMA 11  
RCMS 14  
RCM420 7, 10  
RC48C 16  
RC48N 17  
Relé de control 26

## S

Sistemas DC 11  
Sistemas de alimentación 4  
Sistemas de seguridad 19  
Sistemas de respaldo 19  
Sistema activo 13  
Sistema de bombilla 20  
Sólidamente puesto a tierra 5

## T

Termination 16  
Three phase 4, 5

## U

Unidad de control 25

## V

VFD 7, 10  
Vigilantes de aislamiento  
activos 21,22  
Vigilantes de aislamiento  
pasivos 20, 21

## Z

Zona húmeda 7

# Sistemas sólidamente puestos a tierra y puestos a tierra a través de resistencia

Modelo Serie	Fallos a tierra AC	Fallos a tierra AC&DC	NGR abierto	NGR corto	Monitor de tensión	Continuidad de tierra	Monitor de bucle	Cargadores EV	Clasificada Entrada de servicio
CMGF420	✓								✓
COM465									
CP700									
GM420							✓		
IR420-D6									
NGRM500	✓	✓	✓	✓					
NGRM700	✓	✓	✓	✓	✓				
RCM420	✓								
RCMA420		✓							
RCMA423		✓							
RCMB20-500-01; RCMB35-500-01		✓							
RCMB104		✓						✓	
RCMB121; RCMB131; RCMB132		✓							
RCMB300		✓							
RCMS150		✓							
RCMS460, RCMS490	✓	✓							
RC48C	✓					✓			
RC48N	✓		✓						

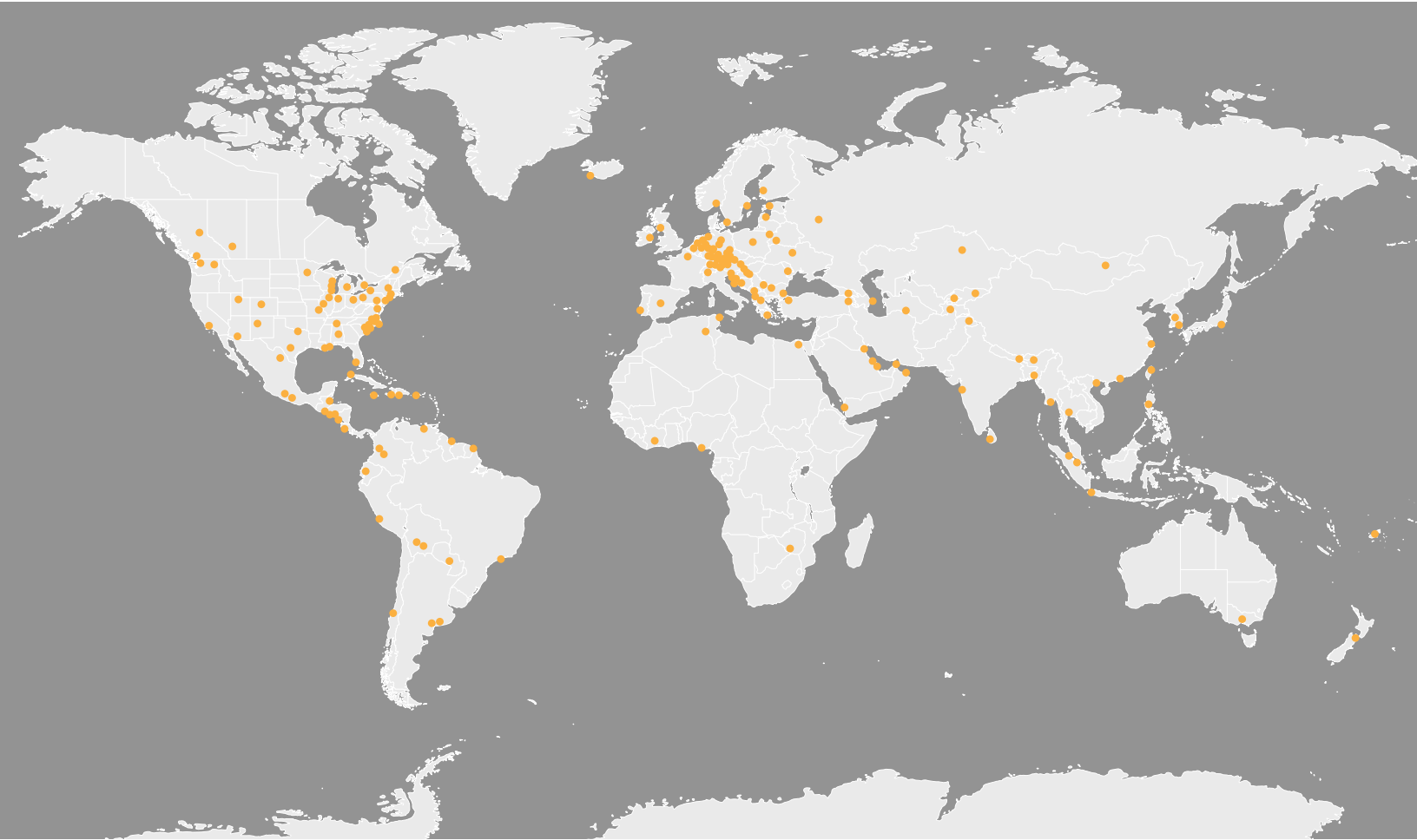
Comuni- cación con pasarela	Comuni- cación sin pasarela	Pantalla alfanu- mérica	Relé (s) de salida	Salida analógica	Un canal de entrada	Entrada multicanal	TC inte- grado	Monitor de aislamiento off-line
		✓	✓		✓			
	✓							
	✓	✓						
		✓	✓					
		✓	✓					✓
✓		✓	✓	✓	✓			
✓		✓	✓	✓	✓			
		✓	✓		✓			
		✓	✓		✓			
				✓			✓	
			✓		✓			
✓			✓				✓	
✓			✓		✓		✓	
✓						✓	✓	
		✓	✓			✓		
			✓		✓			
			✓		✓			

## Sistemas eléctricos aislados de tierra

Modelo serie	Monitor de aislamiento	Localizador de fallos	Monitor de bucle	Portátil	Sistemas AC	Sistemas DC	Sistemas AC/DC	Señal para localización de fallo	Monitor de sistema PV	Monitor de generador
COM465										
CP700										
EDS3090	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		
EDS440		✓								
IR155	✓					✓				
IR420-D6			✓		✓	✓	✓			
isoGEN423	✓									✓
IR420-D4	✓				✓					
IR420-D6	✓				✓	✓	✓			
isoLR275	✓				✓	✓	✓			
isoPV	✓				✓	✓	✓		✓	
iso165C	✓					✓				
iso1685	✓				✓	✓	✓	✓	✓	
iso685	✓				✓	✓	✓	✓		
iso425	✓				✓	✓	✓		✓	

Monitor EV	Monitor cargador VE	Aplicaciones ferroviarias	Monitor off-line	Comunicación de red con pasarela	Comunicación de red sin pasarela	Pasarela de comunicaciones	Pantalla alfanumérica	Relé (s) de salida	Salida analógica
						✓			
						✓	✓		
							✓		
✓									
							✓	✓	
				✓				✓	
							✓	✓	
			✓						
				✓			✓	✓	✓
				✓			✓	✓	✓
✓					✓				
		✓		✓	✓		✓		
				✓	✓		✓	✓	✓
	✓	✓		✓	✓		✓	✓	

## Bender está presente en 70 países



**USA • Exton, PA**

+1 800.356.4266 • [info@benderinc.com](mailto:info@benderinc.com)  
[www.benderinc.com](http://www.benderinc.com)

**Canada • Mississauga, ON**

+1 800.243.2438 • [info@bender-ca.com](mailto:info@bender-ca.com)  
[www.bender-ca.com](http://www.bender-ca.com)

**México • Ciudad de México**

+55 7916.2799 • [info@bender.com.mx](mailto:info@bender.com.mx)  
[www.bender.com.mx](http://www.bender.com.mx)

**South America, Central America, Caribbean**

+1 484.288.7434 • [info@bender-latinamerica.com](mailto:info@bender-latinamerica.com)  
[www.bender-latinamerica.com](http://www.bender-latinamerica.com)

**Chile • Santiago de Chile**

+56 2.2933.4211 • [info@bender-cl.com](mailto:info@bender-cl.com)  
[www.bender-cl.com](http://www.bender-cl.com)

**Spain • San Sebastián de los Reyes**

+34 913751202 • [info@bender.es](mailto:info@bender.es)  
[www.bender.es](http://www.bender.es)