

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

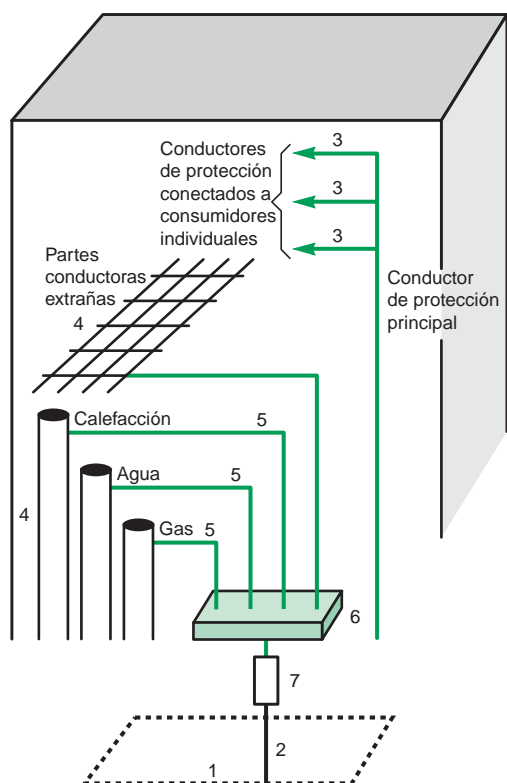


Fig. E22: Ejemplo de un bloque de pisos en el que el terminal principal de conexión a tierra (6) proporciona la conexión equipotencial principal; la conexión removible (7) permite comprobar la resistencia de la toma de tierra.

2.1 Conexiones a tierra

Definiciones

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

■ Toma de tierra (1): un conductor o un grupo de conductores que se encuentran en estrecho contacto con tierra y proporcionan una conexión a tierra (véanse los detalles en el subapartado 2.6 del capítulo E).

■ Tierra: masa conductora de tierra, cuyo potencial eléctrico en cada punto se toma por convenio igual a cero.

■ Electrodo de tierra eléctricamente independientes: electrodos de tierra separados entre sí una distancia tal, que la corriente máxima probable que puede fluir a través de uno de ellos no afecta significativamente al potencial de los demás.

■ Resistencia de la toma de tierra: la resistencia de contacto de una toma de tierra con la tierra.

■ Conductor de tierra (2): un conductor de protección que conecta el terminal principal de conexión a tierra (6) de una instalación a una toma de tierra (1) o a otro medio de conexión a tierra (p. ej., esquemas TN).

■ Masa, parte conductora accesible: parte conductora de los equipos que se puede tocar y que no se encuentra en tensión, pero que puede estarlo en condiciones de defecto.

■ Conductor de protección (3): conductor obligatorio para determinadas medidas de protección contra los choques eléctricos y destinado a conectar eléctricamente algunas de las partes que se indican a continuación:

- Masas.
- Conductores.
- El terminal principal de conexión a tierra.
- Electrodo de tierra.
- El punto conectado a tierra de la fuente o de un conductor neutro artificial.

■ Parte conductora extraña: una parte conductora que puede introducir un potencial, por lo general un potencial de tierra, y que no forma parte de la instalación eléctrica (4). Por ejemplo:

- Suelos o paredes no aislados, estructuras metálicas de edificios.
- Conductos y tuberías de metal (que no forman parte de la instalación eléctrica) utilizados para la canalización de agua, gas, calefacción, aire comprimido, etc., y los materiales metálicos asociados a los mismos.

■ Conductor de conexión (5): un conductor de protección que proporciona una conexión equipotencial.

■ Terminal principal de conexión a tierra (6): el terminal o la barra que se utiliza para conectar al medio de conexión a tierra la conexión de los conductores de protección, incluidos los conductores de conexión equipotencial, y los conductores de conexión a tierra funcional, si los hubiera.

Conexiones

El sistema principal de conexión equipotencial

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

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

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

Conexiones equipotenciales suplementarias

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

Conexión de las partes conductoras accesibles a los electrodos de tierra

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

Componentes (véase la Fig. E23)

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

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

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

2.2 Definición de los esquemas de conexión a tierra normalizados

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

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

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

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

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

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

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

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

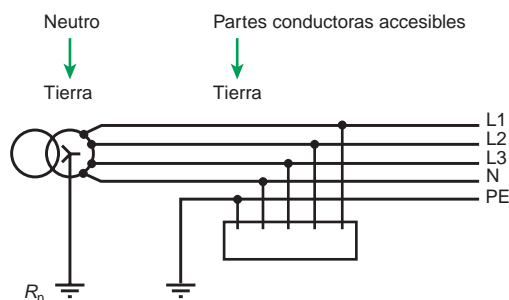


Fig. E24: Esquema TT.

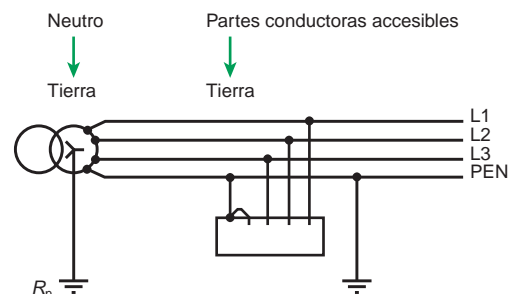


Fig. E25: Esquema TN-C.

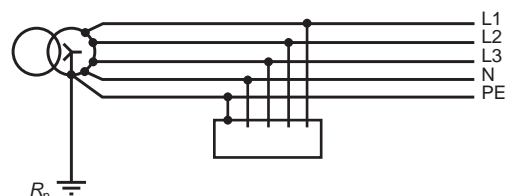


Fig. E26: Esquema TN-S.

Esquema TT (conductor neutro conectado a tierra)

(véase la **Figura E24**)

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

Esquemas TN (partes conductoras accesibles conectadas al conductor neutro)

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

Esquema TN-C (véase la **Figura E25**)

El conductor neutro también se utiliza como un conductor de protección y se denomina conductor PEN (neutro y puesta a tierra de protección). Este sistema no está permitido para conductores de menos de 10 mm² ni para equipos portátiles. El esquema TN-C requiere un entorno equipotencial eficaz en la instalación, con electrodos de tierra dispersos y separados a intervalos que sean lo más regulares posible, puesto que el conductor PEN es el conductor neutro y también conduce corrientes con desequilibrios de fases, así como corrientes armónicas de tercer orden (y sus múltiplos).

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

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

Esquema TN-S (véase la **Figura E26**)

El esquema TN-S (5 hilos) es obligatorio para los equipos portátiles con circuitos con secciones transversales inferiores a 10 mm².

El conductor de protección y el conductor neutro son independientes. En los sistemas de cables subterráneos en los que existen cables forrados de plomo, el conductor de protección es por lo general el revestimiento de plomo. El uso de conductores PE y N independientes (5 hilos) es obligatorio para los equipos portátiles con circuitos con secciones transversales inferiores a 10 mm².

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

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

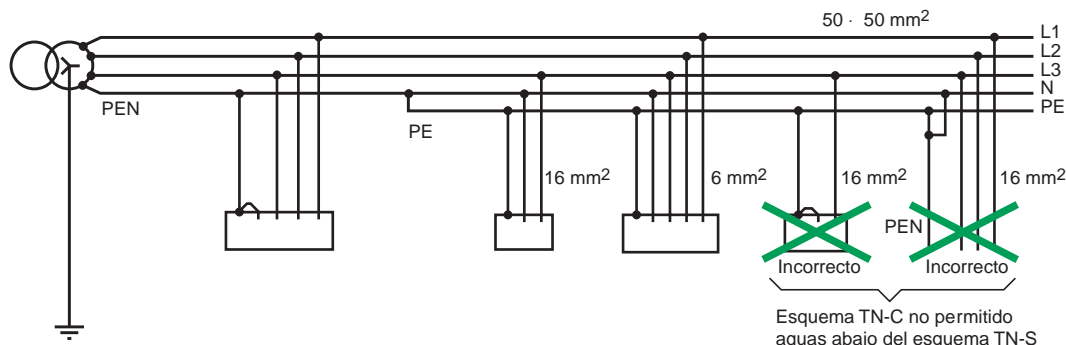


Fig. E27: Esquema TN-C-S.

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

E20

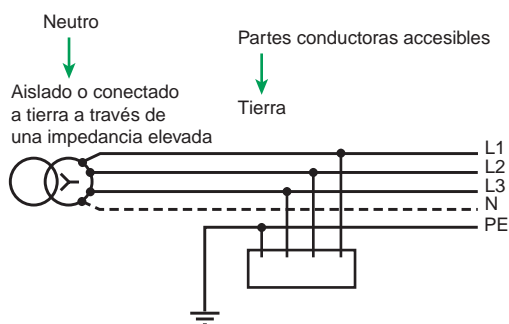


Fig. E29: Esquema IT (neutro aislado).

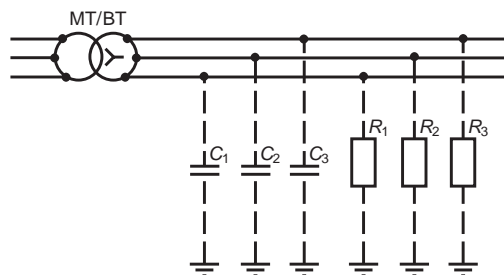


Fig. E30: Esquema IT (neutro aislado).

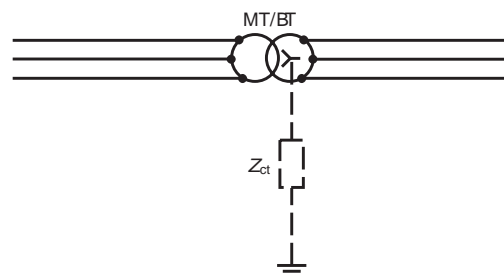


Fig. E31: Impedancia equivalente a las impedancias de fuga en un esquema IT.

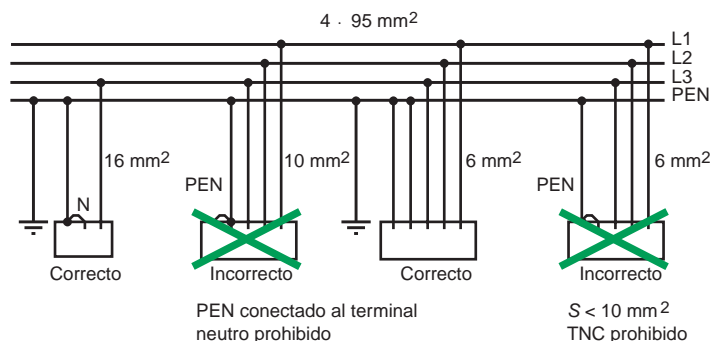


Fig. E28: Conexión del conductor PEN en el esquema TN-C.

Esquema IT (neutro aislado o neutro impedante)

Esquema IT (neutro aislado)

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

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

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

Ejemplo (véase la [Figura E31](#))

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

Esquema IT (neutro con conexión a tierra de impedancia)

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

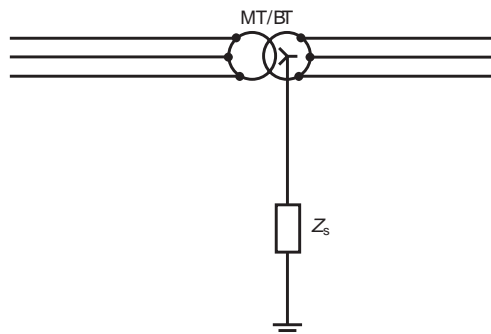
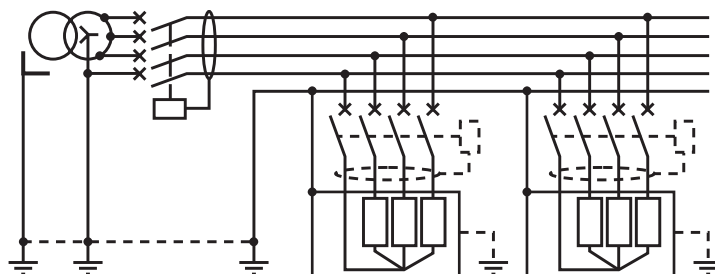


Fig. E32: Esquema IT (neutro impedante: conectado a tierra a través de una impedancia elevada).

El esquema TT:

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

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

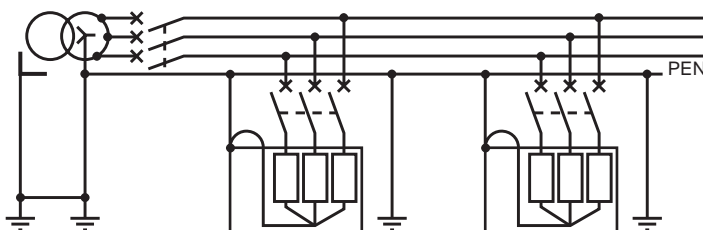
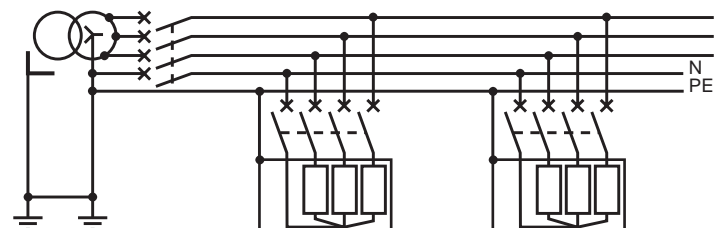
Nota: Si las partes conductoras accesibles están conectadas a tierra en una serie de puntos, deberá instalarse un DDR para cada conjunto de circuitos conectado a una determinada toma de tierra.

Características principales:

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

El esquema TN:

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

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

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

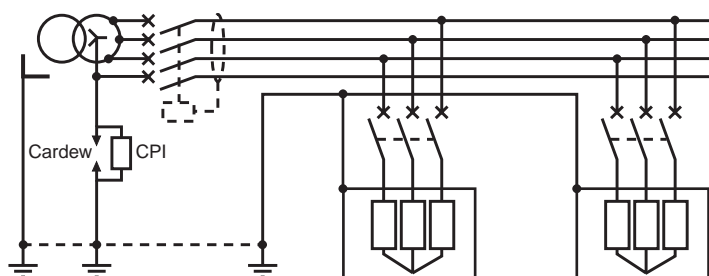
- Interconexión y conexión a tierra de las partes conductoras accesibles.
- Indicación de primer defecto mediante un controlador permanente de aislamiento (CPI).
- Interrupción en caso de segundo defecto, utilizando protección contra sobretensiones (interruptores automáticos o fusibles).

■ **Técnica de funcionamiento:**

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

Características principales

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

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

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

La selección no depende de criterios de seguridad.

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

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

2.4 Criterios de selección de esquemas TT, TN e IT

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

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

La selección viene determinada por los siguientes factores:

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

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

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

En las conversaciones deben abordarse las siguientes cuestiones:

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

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

E23

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

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

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

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

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

(3) Riesgo de disparo intempestivo del DDR.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(17) Posible sin personal de mantenimiento altamente cualificado.

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

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

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

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

2.5 Elección del método de conexión a tierra - implementación

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

División de la fuente

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

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

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

Islas en la red

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

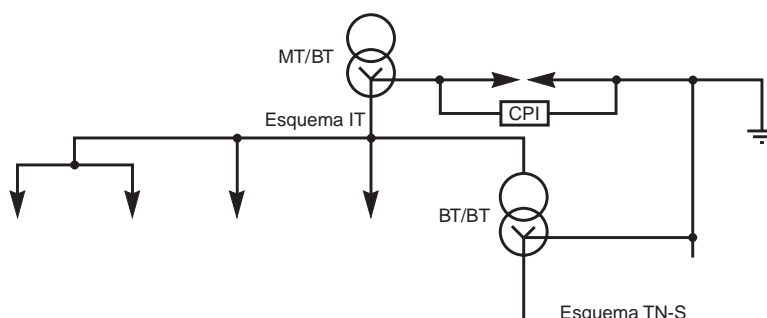


Fig. E39: Isla TN-S en un esquema IT.

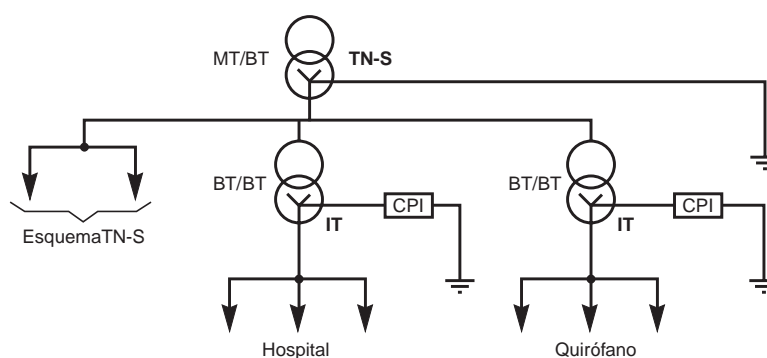


Fig. E40: Islas IT en un esquema TN-S.

Conclusión

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

Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

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

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

E26

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

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

L = longitud del conductor enterrado en metros.

ρ = resistividad de la tierra en ohmios-metros.

2.6 Instalación y mediciones de los electrodos de tierra

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

- Método de instalación.
- Tipo de suelo.

Métodos de instalación

Se tratarán tres métodos de instalación habituales:

Anillo enterrado (véase la Figura E41)

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

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

Los conductores pueden ser de:

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

La resistencia R aproximada del electrodo en ohmios es:

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

donde

L = longitud del conductor en metros.

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

Barras de conexión a tierra (véase la Figura E42)

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

Las barras pueden ser de:

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

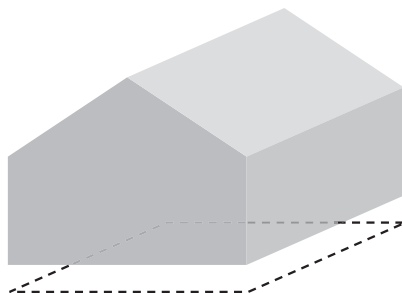


Fig. E41: Conductor enterrado debajo del nivel de los cimientos, es decir, no en hormigón.

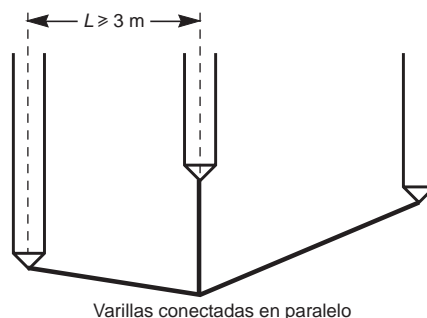


Fig. E42: Barras de conexión a tierra.

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

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

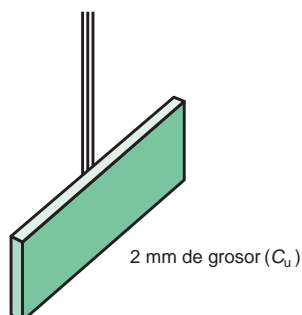


Fig. E43: Placa vertical.

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

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

donde

L = la longitud de la barra en metros.

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

n = el número de barras.

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

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

Las placas pueden ser de:

- Cobre con un grosor de 2 mm.
- Acero galvanizado⁽¹⁾ con un grosor de 3 mm.

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

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

L = el perímetro de la placa en metros.

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

Influencia del tipo de tierra

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

Fig. E44: Resistividad (Ωm) de diferentes tipos de suelos.

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

Fig. E45: Valores de resistividad media (Ωm) aproximados para cada tipo de suelo.

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

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

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

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

■ Humedad del suelo.

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

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

■ Heladas.

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

■ Envejecimiento.

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

□ Reacciones químicas (en suelos ácidos o alcalinos).

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

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

■ Oxidación.

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

Medición de la resistencia tierra-electrodo

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

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

■ Método del amperímetro (véase la Figura E46).

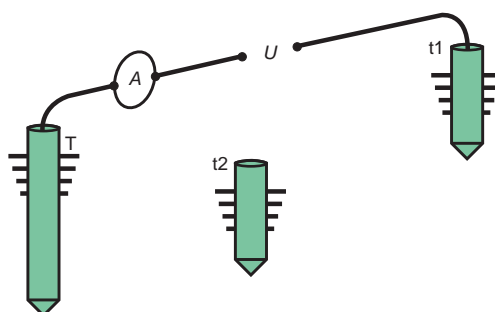


Fig. E46: Medición de la resistencia a tierra de la toma de tierra de una instalación mediante un amperímetro.

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

$$B = R_{Tt1} + R_{t2} = \frac{U_{t1t2}}{i_2}$$

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

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

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

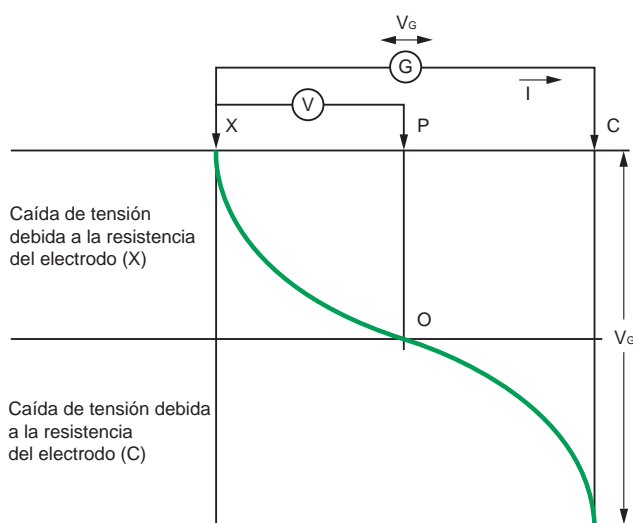
Con el fin de evitar errores debidos a corrientes de fuga de tierra (corrientes galvánicas de CC o de fuga procedentes de las redes eléctricas y de comunicaciones, etc.), la corriente de prueba debe ser de CA, pero a una frecuencia distinta de la del sistema de alimentación o cualquiera de sus armónicos.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

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

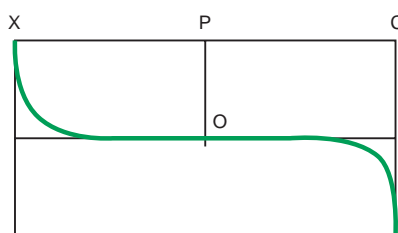
■ Uso de un ohmímetro de lectura directa para medir la resistencia de la conexión a tierra.

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

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



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



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

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