



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**

**Consecuencias de los robos de las puestas a  
tierras en las redes de distribución de media y  
baja tensión**

**Francesc Girbau Llistuella  
Andreas Sumper  
Mònica Aragüés Peñalba**

**Departamento de Ingeniería Eléctrica  
de la Universitat Politècnica de Catalunya**

11 de Febrero de 2015

## INDICE

Autores.....	3
Terminología .....	4
1. Introducción al sistema.....	8
2. Puestas a tierra .....	10
3. Instalaciones de puesta a tierra en la red eléctrica de distribución .....	13
4. Choques eléctricos.....	16
5. Consecuencias y conclusiones de los efectos de los robos de las puestas a tierra en la redes de distribución. ....	21
Anexo .....	23
Anexo A.....	23
Anexo B.....	25
Anexo C.....	26
Anexo D.....	28
Anexo E.....	29
Anexo F.....	30
Anexo G.....	31

## Autores

**Francesc Girbau Llistuella**, Ingeniero Industrial por la Escuela Tècnica Superior Enginyeria Industrial de Barcelona (UPC).

**Andreas Sumper**, Ingeniero Eléctrico por parte de la Universidad Técnica de Graz, Doctor por la UPC y Profesor Agregado del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UPC.

**Mònica Aragüés Peñalba**, Ingeniera industrial por la Escuela Tècnica Superior Enginyeria Industrial de Barcelona (UPC).

## Terminología

- **Aislante:** Sustancia o cuerpo cuya conductividad es nula o, en la práctica, muy débil.
- **Aparamenta:** Equipo, aparato o material previsto para ser conectado a un circuito eléctrico con el fin de asegurar una o varias de las siguientes funciones: protección, control, seccionamiento, conexión.
- **Centro de transformación:** Instalación provista de uno o varios transformadores reductores de Alta a Baja tensión con la aparamenta y obra complementaria precisas.
- **Circuito:** Conjunto de materiales eléctricos (conductores, aparamenta, etc.) alimentados por la misma fuente de energía y protegidos contra las sobrintensidades por el o los mismos dispositivos de protección. No quedan incluidos en esta definición los circuitos que forman parte de los aparatos de utilización o receptores.
- **Compatibilidad electromagnética (CEM o EMC):** designa, en primer lugar, la propiedad que poseen las instalaciones o aparatos electrónicos, eléctricos o informáticos y que hace estén funcionando correctamente, en un contexto dado, en presencia de otros aparatos o perturbaciones provenientes del exterior. Además por extensión designa igualmente el conjunto de técnicas que tratan de esta propiedad. Estas técnicas consideran que todas las perturbaciones son de origen electromagnético. Por tanto, las técnicas se orientan a evitar los efectos indeseables que las perturbaciones electromagnéticas son susceptibles de provocar.
- **Conductor de protección (PE):** prescrito como medida de protección contra los contactos indirectos para la conexión de alguna de las siguientes partes:
  - piezas conductoras expuestas;
  - nudo de tierra principal;
  - electrodo de tierra;
  - puesta a tierra de la fuente o neutro artificial
- **Conductor PEN:** conductor que combina las funciones de un conductor de protección y un conductor de neutro.
- **Conexión equipotencial:** conexión que une dos partes conductoras de manera que la corriente que pueda pasar por ella no produzca una diferencia de potencial sensible entre ambas.
- **Corriente o intensidad eléctrica:** es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en amperios (A) y en los sistemas de corriente alterna se expresará por su valor eficaz.

- **Cortacircuito fusible:** Aparato cuyo cometido es el de interrumpir el circuito en el que está intercalado, por fusión de uno de sus elementos, cuando la intensidad que recorre el elemento sobrepasa, durante un tiempo determinado, un cierto valor.
- **Electrodo de tierra:** conductor, o conjunto de conductores, enterrados que sirven para establecer una conexión con tierra. Los conductores no aislados, colocados en contacto con tierra para la conexión al electrodo, se considerarán parte de éste.
- **Fase:** designación de cualquier conductor, haz de conductores, terminales o cualquier otro sistema polifásico, que está destinado a estar energizado en condiciones normales. Usualmente por ellos circula una corriente eléctrica y están a un determinado potencial.
- **Impedancia:** Cociente de la tensión en los bornes de un circuito por la corriente que fluye por ellos. Esta definición sólo es aplicable a corrientes sinusoidales.
- **Impedancia del circuito de defecto:** Impedancia total ofrecida al paso de una corriente de defecto.
- **Instalación de puesta general:** es la instalación de tierra resultante de la interconexión de todas las puestas a tierra de protección y de servicio de una instalación.
- **Instalaciones de tierra independientes:** dos instalaciones de tierra se consideran independientes entre sí cuando tienen electros de tierra separados y cuando el paso de la corriente a tierra por una de ellas, la otra no adquiere respecto a una tierra de referencia una tensión superior a 50V.
- **Intensidad de defecto:** Valor que alcanza una corriente de defecto.
- **Interruptor automático:** Interruptor capaz de establecer, mantener e interrumpir las intensidades de corriente de servicio, o de establecer e interrumpir automáticamente, en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente anormalmente elevadas, tales como las corrientes de cortocircuito.
- **Interruptor de control de potencia y magnetotérmico:** Aparato de conexión que integra todos los dispositivos necesarios para asegurar de forma coordinada:
  - Mando.
  - Protección contra sobrecargas.
  - Protección contra cortocircuitos.
- **Interruptor diferencial:** Aparato electromecánico o asociación de aparatos destinados a provocar la apertura de los contactos cuando la corriente diferencial alcanza un valor dado.

- **Poder de cierre:** El poder de cierre de un dispositivo se expresa por la intensidad de corriente que este aparato es capaz de establecer, bajo una tensión dada, en las condiciones prescritas de empleo y de funcionamiento.
- **Poder de corte:** El poder de corte de un aparato se expresa por la intensidad de corriente que este dispositivo es capaz de cortar, bajo una tensión de restablecimiento determinada, y en las condiciones prescritas de funcionamiento.
- **Punto neutro:** es el punto de un sistema polifásico que en las condiciones de funcionamiento previstas, presenta la misma diferencia de potencial con relación a cada uno de los polos o fases del sistema.
- **Relé:** es un dispositivo diseñado para producir cambios predeterminados en uno o más circuitos eléctricos, cuando se cumplen ciertas condiciones en los circuitos de entrada que controlan el dispositivo.
- **Selectividad de una protección:** the ability of a protection to identify the faulty section and/or phase(s) of a power system.
- **Sobretensión:** Tensión anormal existente entre dos puntos de una instalación eléctrica, superior al valor máximo que puede existir entre ellos en servicio normal.
- **Subestación:** conjunto situado en un mismo lugar, de la aparamenta eléctrica y de los edificios necesarios para realizar alguna de las funciones siguientes: transformación de la tensión, de la frecuencia, del número de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión de dos o más circuitos. Notar que quedan excluidos de esta definición los Centros de Transformación.
- **Tensión:** es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas. Se puede medir con un voltímetro. Se puede medir con un voltímetro. En los sistemas de corriente alterna se expresará por su valor eficaz y su unidad de medida es el voltio (V).
- **Tensión de contacto:** es la fracción de la tensión de puesta a tierra que puede ser puentada por una persona entre la mano y el pie (considerando un metro) o entre ambas manos.
- **Tensión de contacto aplicada:** es la parte de la tensión de contacto que resulta directamente aplicada entre dos puntos cuerpo humano considerando todas las resistencias que intervienen en el circuito y estimándose la del cuerpo humano en 1000 ohmios.

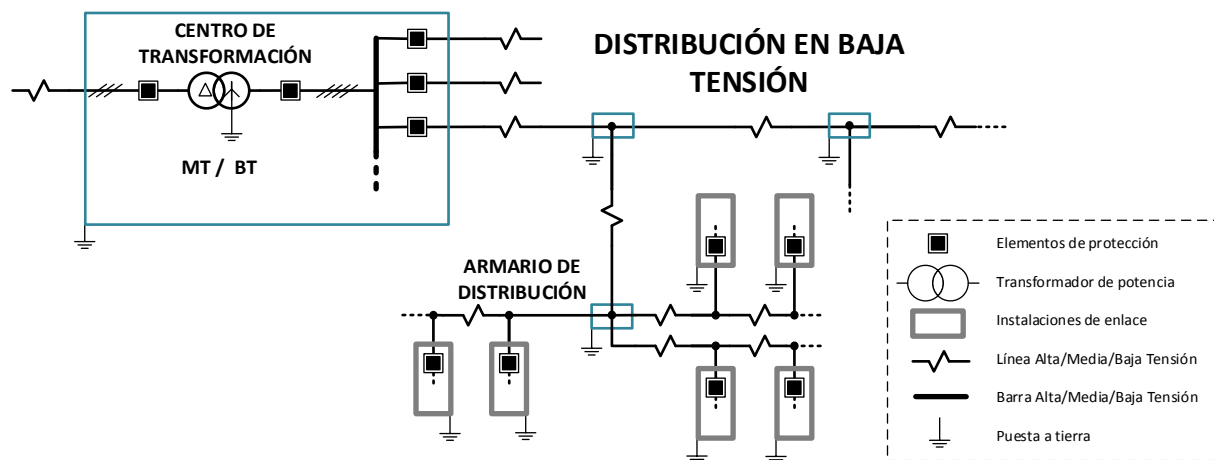
- 
- **Tensión de defecto:** tensión que aparece a causa de un defecto de aislamiento, entre dos masas, entre una masa y un elemento conductor, o entre una masa y tierra.
  - **Tensión de paso aplicada:** es la parte de la tensión de paso que resulta directamente aplicada entre los pies de un hombre, teniendo en cuenta todas las resistencias que intervienen en el circuito y estimándose la del cuerpo humano en 1000 ohmios.

## 1. Introducción al sistema

Este documento analiza las consecuencias en las redes de distribución de baja tensión de la ausencia de las puestas a tierra, en los sistemas de distribución de media y baja tensión, como resultado de los robos de las mismas.

En primer lugar, es necesaria una descripción de la red de distribución de energía eléctrica. La función de ésta es suministrar energía desde la **subestación de transformación** hasta las **instalaciones interiores** de los consumidores. A su vez la **subestación de transformación** está conectada a la red de transporte o de distribución en alta tensión. La **subestación de transformación** transforma la alta tensión en media tensión y ramifica la salida de media tensión en líneas de media tensión hasta los **centros de transformación**, que a su vez transforman una línea de media tensión y ramifica la salida de baja tensión hasta **las instalaciones de enlace**. En la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, se definen los derechos y las obligaciones de las empresas distribuidoras, es decir aquellas sociedades mercantiles que tienen la función de distribuir la energía eléctrica, así como la forma de construir, mantener y operar las instalaciones de la red de distribución (Anexo A).

En la siguiente figura se presenta un sistema típico de una red de distribución de energía eléctrica en baja tensión.



Según la figura, en la red de distribución se pueden identificar los siguientes elementos:

- **Elementos de protección:** son un conjunto de dispositivos destinados salvaguardar la integridad de las personas e instalaciones. Las protecciones, en general, están diseñadas de tal manera que la seguridad de las personas prevalece por encima de otros criterios. Estos identifican y actúan sobre faltas y otras situaciones anormales dentro de una red eléctrica, como por ejemplo los cortocircuitos, las sobrecargas, las sobretensiones, etc. Este conjunto de dispositivos suelen ser **relés de protección** junto a un **interruptor automático**, **interruptores diferenciales**, **interruptores magnetotérmicos** y **fusibles**. Los elementos de protección suelen colocarse en el sistema de distribución respetando los criterios de selectividad. Además, junto con los elementos de protección, también se instalan elementos que permiten operar y maniobrar la red de distribución.



- **Transformadores de potencia:** son un dispositivo eléctrico sin partes móviles que permite cambiar las tensiones y corrientes asociadas de un circuito de corriente alterna sin cambiar la frecuencia. Cabe destacar que los niveles de alta y media tensión (más habituales) en los transformadores de potencia de redes trifásicas están recogidos en el apartado: Tensiones nominales normalizadas en redes trifásicas de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 06 del Real Decreto 223/2008 (Anexo B). Y los niveles de baja tensión usualmente utilizadas en las distribuciones de corriente alterna (en monofásico o trifásico) se recogen en el artículo 4 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Anexo B).
- **Instalaciones de enlace:** son las que unen la caja general de protección o cajas generales de protección con las instalaciones interiores o receptoras del usuario. Cabe destacar que estas instalaciones se situarán y discurrirán siempre por lugares de uso común y **quedarán de propiedad del usuario**, el cual se responsabilizará de su conservación y mantenimiento. Las partes que constituyen las instalaciones de enlace son la caja general de protección, la línea general de alimentación, los elementos para la ubicación de contadores, la derivación individual, la caja para el interruptor de control de potencia y los dispositivos generales de mando y protección. Por último, las instalaciones interiores o receptoras de usuario deben seguir unas instrucciones recogidas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (de la ITC-BT-19 hasta la ITC-BT-51).
- **Líneas de distribución:** son las que distribuyen la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación hasta centros de transformación, y a su vez hasta las instalaciones de enlace. Además se suelen operar de forma radial, sin formar mallas, al contrario de las redes de transporte.
- **Barras:** son conductores de baja impedancia en el cual se conectan separadamente varios circuitos eléctricos, es decir de donde se interconectan las líneas de distribución con el transformador de potencia. Las barras se instalan en subestaciones de transformación y algunos centros de transformación.
- **Puesta a tierra:** son conductores, que unen directamente los elementos o partes de una instalación con un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con el objeto de conseguir que en el conjunto de las masas metálicas de los elementos de la instalación eléctrica no existan diferencias de potencial superior a tensión admisible, y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de defecto.

Este documento está estructurado de la siguiente forma: exposición de las **puestas a tierra** en el sistema eléctrico, presentación de la necesidad de las tierras en **instalaciones de la red eléctrica de distribución**, descripción de los **choques eléctricos** en individuos y finalmente **consecuencias y conclusiones de los efectos de los robos de las puestas a tierra en las redes de distribución**.

## 2. Puestas a tierra

Como anteriormente se ha mencionado, las puestas a tierra son conductores, que unen directamente las partes de una instalación con electrodos enterrados en el suelo. Según el punto 2 de la ITC-BT 18, una puesta o conexión a tierra se caracteriza por ser:

*(...) la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo. (...)*

Cabe destacar que además de los electrodos enterrados también deben considerarse como elementos de la instalación de puesta a tierra:

- Los puntos de conexión de puesta a tierra
- Las líneas de enlace con el electrodo de tierra

Asimismo, las puestas a tierra son requeridas por la legislación actual, en particular en el punto 3.7 de la ITC-BT 06 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, que establece las peculiaridades de las **redes aéreas de distribución en baja tensión** y el punto 2.3 de la ITC-BT 07, que establece las peculiaridades de las **redes subterráneas de distribución en baja tensión**:

*El conductor neutro de las líneas aéreas de redes de distribución de las compañías eléctricas se conectará a tierra en el centro de transformación o central generadora de alimentación, en la forma prevista en el **Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación**. Además, en los esquemas de distribución tipo TT y TN, el conductor neutro y el de protección para el esquema TN-S, deberán estar puestos a tierra en otros puntos, y como mínimo una vez cada 500 metros de longitud de línea. Para efectuar ésta puesta a tierra se elegirán, con preferencia, los puntos de donde partan las derivaciones importantes. (...)*

Además, el punto 1.1 de la ITC MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación también señala la necesidad de las puestas de tierra en otras instalaciones de media y alta tensión.

***Toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que, en cualquier punto normalmente accesible del interior o exterior de la misma donde las personas puedan circular o permanecer, éstas queden sometidas como máximo a las tensiones de paso y contacto (durante cualquier defecto en la instalación eléctrica o en la red unida a ella) (...)***

Asimismo, en el punto 1 de la ITC-BT 18 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establecen los principales objetivos de las puestas a tierra:

*Las puestas a tierra se establecen principalmente con objeto de **limitar la tensión** que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado **las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo** que supone una **avería** en los materiales eléctricos utilizados. (...)*

En definitiva, una puesta a tierra es la unión directa por medio de conductores, sin fusibles ni protección alguna, entre las masas, carcasas, o partes de una instalación y un electrodo o

grupo de electrodos enterrados en el suelo. La instalación de puesta a tierra fuerza la derivación de las intensidades de cualquier naturaleza que se puedan originar, des de corrientes de defecto, bajo frecuencia industrial a debidas a descargas atmosféricas al terreno, lográndose que no existan diferencias de potencial peligrosas en todo el conjunto de masas metálicas de la instalación y garantizando la correcta funcionalidad del sistema. En resumen, sus funcionalidades son <sup>1,2</sup>:

- **Ser un salvoconductor** que permita derivar a tierra cualquier corriente de fuga antes de que el individuo sufra el accidente.
- **Posibilitar y asegurar** que los sistemas de protección puedan **actuar, localizar** el defecto y **desconectar** de la parte afectada de la instalación, reduciendo así el riesgo para la instalación y personas.
- **Limitar la diferencia de potencial** que, en un momento dado, puede presentarse entre estructuras metálicas y tierra, según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión ésta es debe ser inferior a 50 V o en ciertas condiciones inferiores a 24 V.
- **Limitar la tensión que puede aparecer entre dos puntos de la superficie del terreno**, es decir limitar la tensión de paso. Ésta es la diferencia de tensión que pueden experimentar los dos pies de un individuo a una distancia de un metro.
- **Limitar sobretensiones internas** (de maniobras transitorias o temporales) que puedan aparecer en la red eléctrica, en determinadas condiciones de explotación.
- **Evitar** que las tensiones que originan las descargas de los rayos provoquen **cebados inversos**, en el caso de instalaciones de exterior y, particularmente, en líneas aéreas.

Tal y como se indica en el punto 3 de prescripciones generales del Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría (1 kV < 3ª Cat ≤ 30 kV) de UNESA, **cuando se produce un defecto a tierra** ya sea en una instalación de alta, media o baja tensión, **se provoca una elevación del potencial de la puesta a tierra**, es decir, del electrodo por el cual circula la corriente de defecto.

Del mismo modo, es importante tener en cuenta que no existe una única forma de enlazar las diferentes masas, carcasas o partes de una instalación con los electrodos. Dependiendo los esquemas de distribución, son necesarios un número u otro de puestas que obedecerán a unas prescripciones en particular. En el marco español **es obligatorio** que las redes de distribución pública se realicen siguiendo las directrices del esquema TT, así lo indica punto 1.4 de la ITC-BT-08 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

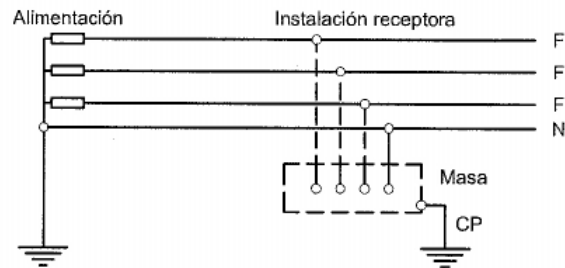
- a) ***Las redes de distribución pública de baja tensión tienen un punto puesto directamente a tierra por prescripción reglamentaria. Este punto es el punto neutro de la red. El esquema de distribución para instalaciones receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión es el esquema TT. (...)***

Sin embargo, la elección de uno de los tres tipos de esquemas debe hacerse en función de las características técnicas y económicas de cada instalación. Por lo tanto los esquemas TN y IT también suelen usarse en el ámbito privado, todos ellos descritos en el Anexo C. En general, tal y como se especifica en el punto 1.2 de la ITC-BT-08:

<sup>1</sup> García Márquez, Rogelio, "La puesta a tierra de instalaciones eléctricas de y el R.A.T.", 1990, Marcombo, Barcelona

<sup>2</sup> Boix i Aragonès, Oriol et al. "Tecnología Eléctrica", 2002, CEYSA, Barcelona

*El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación (...).*



(...)

Por lo tanto en el esquema TT, las masas de las instalaciones están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación, es decir la del neutro.

### 3. Instalaciones de puesta a tierra en la red eléctrica de distribución

En esta sección se detallan qué elementos de las instalaciones receptoras propias de la red eléctrica de distribución deben disponer de puesta a tierra. Según el elemento de la instalación las puestas a tierra cumplen con motivos de protección y/o servicio. En general, las puestas a tierras de servicio son aquellas donde se conectan el punto neutro de los transformadores o de máquinas eléctricas y las puestas a tierra de protección son aquellas donde se conectan todas las partes metálicas de los equipos que conforman el sistema eléctrico. Es común usar la misma puesta a tierra para motivos de protección y servicio.

El apartado 6 instrucciones generales de la ITC MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación cita los elementos y partes de la instalación que deben ser puestos a tierra por motivos de protección y servicio. En particular, en el punto 6.1 de la ITC MIE-RAT 13 se nombran qué partes metálicas de las instalaciones que normalmente no están en tensión, puedan estarlo como consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones. Deben estar puestas a tierra por motivos de **protección** (enumeradas desde a) hasta j)):

- a) *Los chasis y bastidores de aparatos de maniobra.*
- b) *Los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos (...).* En particular para los conjuntos protegidos por envoltorio metálica se deberá de disponer una línea de tierra común para la envoltorio, dispuesta a la largo de toda la apartamentada. (...)
- c) *Las puertas metálicas de los locales (...).*En los edificios de estructura metálica los elementos metálicos, en particular en las edificaciones que alberguen instalaciones de alta tensión, deberán ser puestos a tierra cuando pudieran ser accesibles y ponerse en tensión por causa de defectos o averías. Por otro lado, cuando la construcción estuviera realizada con materiales no metálicos no será necesario conectar a tierra los elementos metálicos, a no ser que dichos elementos pudieran ponerse en tensión por causa de defecto o averías, y además pudieran ser alcanzados por personas situadas del exterior. (...).
- d) *Las vallas y cercas metálicas (...).*En función de la dimensión y las características del las puestas a tierra pueden ser incluidas dentro de la instalación de tierra general interconectadas, pueden situarse distantes de la instalación de tierra general y conectarse a una instalación de tierra separada e independiente o bien pueden situarse distantes de la instalación de tierra general y no necesitar instalación de tierra para mantener los valores fijados para las tensiones de paso y contacto. (...)
- e) *Las columnas, soportes, pórticos, etc.*
- f) *Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que contengan instalaciones de alta tensión (...).* Los elementos metálicos de la construcción en edificaciones que alberguen instalaciones en alta tensión deberán conectarse a tierra de acuerdo lo especificado anteriormente en el punto c) Las puertas metálicas de los locales. (...)
- g) *Los blindajes metálicos de cables (...).* Los elementos que salen fuera del recinto de la instalación deberán estar conectados a la instalación de tierra general y además

será necesario comprobar que estos elementos no pueden transferir al exterior tensiones peligrosas.

- h) *Las tuberías y conductores metálicos (...).* De la misma manera que en el punto anterior g) los elementos que salen fuera del recinto deberán estar conectados y comprobados. (...)
- i) *Las carcasas de transformadores, generadores, motores y otras máquinas.*
- j) *Hilos de guarda o cables de tierra de las líneas aéreas.*

Y en el apartado 6.2 de la ITC MIE-RAT 13 se detallan los elementos de las instalaciones que deben estar puestos a tierra por motivos de **servicio** (enumeradas desde a) hasta e)):

- a) *Los neutros de los transformadores, que lo precisen en instalaciones o redes con neutro a tierra de forma directa o a través de resistencias o bobinas.*
- b) *El neutro de los alternadores y otros aparatos o equipos que lo precisen.*
- c) *Los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida.*
- d) *Los limitadores, descargadores, autoválvulas, pararrayos para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas. (...)* Es importante que estos elementos posean una puesta a tierra propia y que el recorrido de ésta sea el mínimo y sin cambios bruscos de dirección, ya que es importante que las sobretensiones tipo rayo o maniobra sean conducidas rápidamente a tierra. (...)
- e) *Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra. (...)* Es importante que existan seccionadores de puesta a tierra en las instalaciones en las que haya líneas aéreas de salida, sin cable de tierra, para evitar la posible transferencia a la línea de tensiones de contacto peligrosas durante los trabajos de mantenimiento

Conviene destacar el gran número de elementos que deben estar puestos a tierra, por razones de seguridad o protección, para garantizar la actuación correcta de las protecciones, para que sean un salvoconducto de las corrientes de defecto y para que limiten la tensión de paso de las corrientes de defecto; o bien por razones de funcionalidad, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y de las protecciones.

En ciertas instalaciones pueden coexistir puesta a tierra por motivos de protección y servicio. Tal como se indica en el punto 6.3 del Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, las puestas a tierra de protección y servicio de una instalación, deberán interconectarse, constituyendo una instalación de tierra general, salvo las excepciones señaladas en las que algún punto pudieran presentar tensiones peligrosas para las personas, bienes o instalaciones, a continuación se identifican los siguientes casos:

- *Los señalados en la presente Instrucción para Centros de Transformación.*
- *Los casos en que fuera conveniente separar de la instalación de tierra general los puntos neutros de los devanados de los transformadores,*
- *Los limitadores de tensión de las líneas de corriente débil (telefónicas, telegráficas, etc.) que se extiendan fuera de la instalación.*

En referencia a los centros de transformación, el punto 3.2 del Método de cálculo y proyecto de instalaciones de tierra para centros de transformación de conectados a redes de tercera categoría de UNESA, indica que: para **evitar que la sobretensión** que aparece al producirse un defecto en el aislamiento del circuito de alta tensión, deteriore los elementos de baja tensión del centro **el electrodo de puesta a tierra debe tener un efecto limitador**, de forma que la tensión de defecto sea inferior a la que soportan dichas instalaciones.

Por lo tanto, en el reglamento de Centrales Eléctricas Subestaciones y Centros de Transformación se establece que en determinados casos las tierras de servicio y de protección deberán ser independientes para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema de distribución y la seguridad de los individuos. En estos casos, se tomarán medidas para **evitar el contacto simultáneo** inadvertido con elementos conectados a instalaciones de tierra diferente, así como la transferencia de tensiones peligrosas de una a otra instalación.

En particular, **en los centros de transformación se suelen separar las tierras, de protección y servicio, para evitar tensiones peligrosas provocadas por los defectos en la red de alta tensión y evitar tensiones peligrosas en los neutros de baja tensión**. En el punto 7.7 de la ITC MIE-RAT 13, (Anexo D) se recogen las disposiciones particulares de las puestas a tierra en los centros de transformación.

Además del carácter de obligatoriedad o necesidad de puesta a tierra en las instalaciones de distribución eléctrica, las puestas a tierra deben de cumplir **unas prescripciones generales para garantizar la seguridad de las personas y cosas**, especificadas en el punto 2.1 de la MIE RAT 13.

Por último, según la ITC MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación y el artículo 163 del Real Decreto 1955/2000 (en anexo E), **todas las instalaciones de tierra serán revisadas**, al menos, **una vez cada tres años** a fin de comprobar el estado de las mismas.

## 4. Choques eléctricos

En esta sección se estudian los choques eléctricos. Se entiende que se produce un choque eléctrico cuando un individuo experimenta un contacto con cualquier parte en tensión de una instalación eléctrica. En general, los choques eléctricos se clasifican en choques directos o indirectos:

- Como se muestra en la figura de la izquierda, se produce un **choque o contacto directo** cuando el cuerpo humano toca directamente a un conductor.
- Como se muestra en la figura de la derecha, se produce un **choque o contacto indirecto** cuando el cuerpo humano toca la masa de un receptor con algún fallo de aislamiento. Es decir debido a un fallo de aislamiento en una fase del sistema, dicha fase entra en contacto con la carcasa de un aparato, con un armario metálico, con una valla, etc.



En primer lugar, destacar que existe normativa internacional (UNE-IEC/TS 60479-1:2005) en la cual se recogen los efectos de la corriente sobre el hombre, a fin de utilizarlos para establecer los requisitos de seguridad eléctrica. Ésta está basada en los datos relativos a los efectos de la corriente eléctrica a la frecuencia industrial, es decir a 50 Hz.

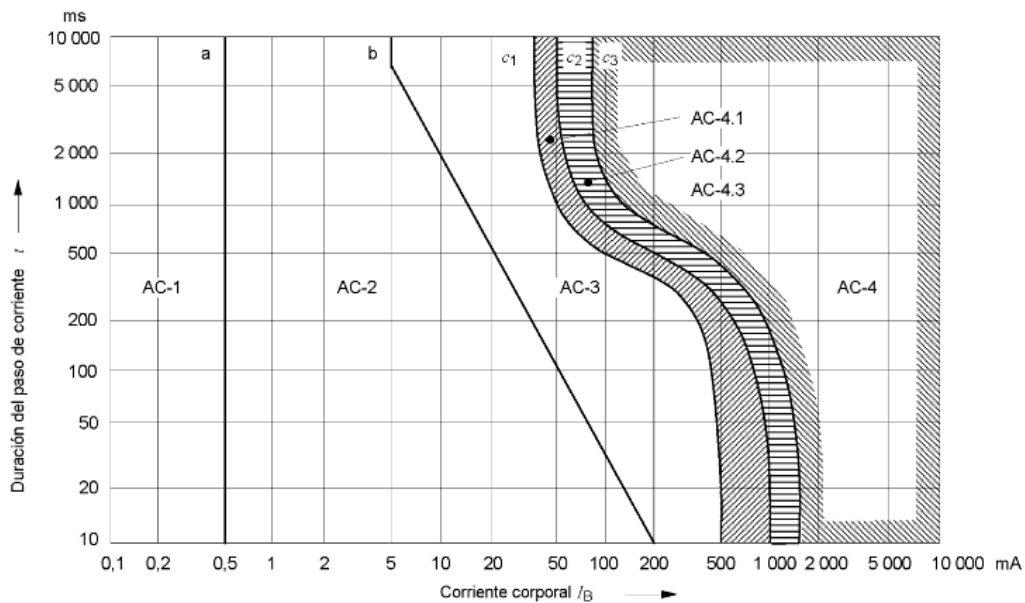
A modo introductorio, para una misma trayectoria de la corriente a través del cuerpo humano, el riesgo que corren las personas depende esencialmente de la intensidad y la duración de paso de la corriente. Asimismo, la relación entre la intensidad y la tensión no es lineal debido a que la impedancia del cuerpo humano varía con la tensión de contacto.

Se debe recordar que la UNE-IEC/TS 60479-1:2005 considera que el principal mecanismo por el que se produce la muerte en los accidentes eléctricos es la fibrilación ventricular del corazón, considerando que el umbral de fibrilación ventricular depende tanto de **parámetros fisiológicos** (anatomía del cuerpo, estado de las funciones cardíacas, etc.), como de **parámetros eléctricos** (duración y recorrido de la corriente, característica de la corriente, etc.). La fibrilación ventricular es mortal porque impide el paso de la sangre transportando el oxígeno.

La UNE-IEC/TS 60479-1:2005 presenta la siguiente figura, en la una serie de curvas reflejan las probabilidades de que ocurra fibrilación ventricular en función de la corriente que va **de la mano izquierda a los dos pies** y de la duración del paso de esta corriente. A modo de resumen, por debajo de la curva  $c_1$ , el fenómeno de fibrilación no es susceptible de producirse; por debajo de las curvas  $c_2$  y  $c_3$  las probabilidades aproximadamente de fibrilación son del 5% y del 50% respectivamente. En la siguiente tabla se detallan los efectos fisiológicos más comunes de las áreas definidas en la figura. Finalmente, en el Anexo F se presenta el factor de corriente del corazón: éste permite calcular las corrientes



equivalentes para recorridos distintos (de la mano izquierda a la mano derecha, de pie a pie, etc.).



Zonas	Limites	Efectos fisiológicos
AC-1	Hasta 0,5 mA curva a	Posible percepción pero habitualmente no hay reacción al choque
AC-2	De 0,5 mA hasta la curva b	Percepción y eventuales contracciones musculares involuntarias pero habitualmente sin efectos fisiológicos eléctricos nocivos
AC-3	Curva b y por encima	Fuertes contracciones musculares involuntarias. Dificultades de respiración. Perturbaciones reversibles de las funciones del corazón. Puede producirse una inmovilización. Aumento de los efectos con la magnitud de la corriente. Habitualmente sin daños orgánicos
AC-4 <sup>1)</sup>	Por encima de la curva c <sub>1</sub>  c <sub>1</sub> – c <sub>2</sub>  c <sub>2</sub> – c <sub>3</sub>  Por encima de la curva c <sub>3</sub>	Efectos patofisiológicos tales como parada de corazón, parada de la respiración y quemaduras graves u otros daños celulares. Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando con la intensidad de la corriente y el tiempo  AC-4.1 Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando hasta alrededor del 5%  AC-4.2 Probabilidad de fibrilación ventricular hasta alrededor del 50%  AC-4.3 Probabilidad de fibrilación ventricular superior al 50%

1) Para duraciones de paso de corriente por debajo de 200 ms, la fibrilación ventricular no se puede iniciar más que durante el periodo vulnerable si se superan los umbrales. En cuanto a la fibrilación ventricular, esta figura describe los efectos de la corriente pasando de la mano izquierda a los pies. Para otros recorridos, debe considerarse el factor de corriente del corazón.

Además la UNE-IEC/TS 60479-1:2005 también cita otros efectos, que **generalmente no son mortales**, como las contracciones musculares, la elevación de la presión de la sangre, perturbaciones de la formación y de la conductividad de los impulsos cardíacos, etc. Es más, corrientes de varios amperios que duran varios segundos, pueden provocar quemaduras profundas y superficiales y otras lesiones internas. Sin embargo, dichos accidentes eléctricos que no implican fibrilación ventricular pueden acabar siendo ser mortales, ya que pueden afectar a la respiración e impedir a la persona requerir ayuda.

En la norma internacional UNE-EN 61140:2002 destinada a la protección de las personas y de los animales contra los choques eléctricos, se fijan los principios fundamentales y los

requisitos comunes de las instalaciones eléctricas. En particular, en la sección 4 se presenta la regla fundamental de protección contra los choques eléctricos:

***Las partes activas peligrosas no deben hacerse accesibles y las partes conductoras accesibles no deben hacerse peligrosas (...)***

En la UNE-EN 61140:2002 también establece la protección en las condiciones normales y de defecto único.

*(...) La protección en las **condiciones normales** (...) está garantizada por una **protección principal**, y la protección en las **condiciones de defecto único** (...) está garantizada por una **protección en caso de defecto**. (...)*

*(...) Para las instalaciones, sistemas y equipos de baja tensión, el término "protección principal" corresponde generalmente en la Norma CEI 60364-4-41 a la **protección contra los contactos directos**. (...)*

*(...) Los defectos únicos deben ser considerados si:*

- una parte activa accesible no peligrosa se convierte en una parte activa peligrosa (por ejemplo, en razón de un fallo de la limitación de la corriente de contacto en régimen permanente y de la carga eléctrica) o si*
- una parte conductora accesible que no está en tensión en condiciones normales se convierte en activa (por ejemplo, debido a un fallo entre el aislamiento principal y las masas), o si*
- una parte activa peligrosa se hace accesible (por ejemplo; por fallo mecánico de una envolvente. (...))*

*(...) Para las instalaciones, sistemas y equipos de baja tensión, el término 'protección en caso de defecto' corresponde generalmente en la Norma CEI 60364-4-41 a la protección contra los contactos indirectos, esencialmente cuando se trata de un fallo de aislamiento principal. (...)*

A modo de resumen, para las instalaciones, sistemas y equipos de baja tensión, tanto para las protecciones principales como para las protecciones en caso de defecto único hay que seguir las instrucciones de la UNE-HD 60364-4-41:2007. Ésta trata la protección contra choques eléctricos en las instalaciones eléctricas. En particular, en el punto 410.3 de la UNE-HD 60364-4-41:2007 se establecen los requisitos generales de las protecciones para garantizar la seguridad contra choques eléctricos

*(...) Una medida de protección debe incluir*

- una combinación apropiada de una disposición de protección principal y de una disposición independiente de protección en caso de falta; o*
- una disposición de protección reforzada que garantiza a la vez una protección principal y una protección en caso de falta. (...)*

*(...) En cada parte de instalación, deben tomarse una o varias medidas de protección, teniendo en cuenta las condiciones de influencias externas.*

Se permiten generalmente las siguientes medidas de protección:

- corte automático de la alimentación (...);
- aislamiento doble o reforzado (...);
- separación eléctrica para alimentación de un solo equipo (...);
- MBTS o MBTP (...);

(...)En las instalaciones eléctricas, **la medida de protección más a menudo utilizada es el corte automático de alimentación.** (...)

Por lo tanto como se indica en dicha normativa la protección más habitual en sistemas eléctricos **es el corte de alimentación** para proteger contra los choques eléctricos. En el capítulo 411 de la UNE-HD 60364-4-41:2007 es detallada dicha medida de protección.

(...) La protección por corte automático de la alimentación es una medida de protección en la que:

- la protección principal está garantizada por el aislamiento principal de las partes activas, por barreras o envolventes (...)
- (...) la protección en caso de falta está garantizada por **una conexión equipotencial de protección** y el corte automático de la alimentación (...)

A modo de resumen, la protección por corte automático de la alimentación, está constituida por una protección principal, contra los choques directos, a través del aislamiento de las partes activas por barreras o envolventes; y una protección en caso de falta, contra choques indirectos, a través de la conexión equipotencial de protección y el corte automático de la alimentación.

Por lo tanto, los requisitos para la protección en caso de falta son las puestas a tierra y la conexión equipotencial de protección. En referencia a **las puestas a tierra**, las masas deben estar conectadas a un conductor de protección según las condiciones especificadas en el esquema de conexiones a tierra. Es más, las masas simultáneamente accesibles deben estar conectadas a la misma toma de tierra, individualmente, en grupos o colectivamente. Por otro lado, el conductor de tierra, el borne principal de tierra y los elementos conductores como las canalizaciones de alimentación interior (agua, gas), los elementos conductores de la estructura si son accesibles en uso normal y en refuerzos metálicos de la construcción en hormigón armado cuando sean accesibles y estén interconectados de forma segura, deben estar unidos a la conexión equipotencial principal en cada edificio.

Finalmente, en el punto 411.5 de la UNE-HD 60364-4-41:2007 se presentan las particularidades del **esquema TT**.

*Todas las masas protegidas colectivamente por un mismo dispositivo de protección deben estar conectadas a los conductores de protección y unidas a una misma toma de tierra. Si varios dispositivos de protección están montados en serie, este requisito se aplica separadamente a todas las masas protegidas por el mismo dispositivo.*

*El neutro o el punto medio de la alimentación debe estar puesto a tierra. (...)*

*(...) En general, para el esquema TT, los dispositivos diferenciales (...) deben ser utilizados para la protección en caso de falta. De otro modo, los dispositivos de protección contra las sobrecorrientes pueden ser utilizados para la protección en caso de falta si está garantizado, de forma permanente y fiable, un valor pequeño apropiado de  $Z_s$  (...)*

*(...) donde*

*$Z_s$  es la impedancia en  $\Omega$  del bucle de falta que comprende*

- la fuente;*
- el conductor activo hasta el punto de falta;*
- el conductor de protección de puesta a tierra de las masas;*
- el conductor de tierra;*
- la toma de tierra de la instalación y*
- la toma de tierra de la fuente;*

## 5. Consecuencias y conclusiones de los efectos de los robos de las puestas a tierra en la redes de distribución.

Comúnmente, una puesta a tierra es la unión directa por medio de conductores, sin protección alguna, entre las masas de la instalación y un electrodo enterrado en el suelo, lográndose que no existan diferencias de potencial peligrosas en todo el conjunto de masas metálicas de la instalación y garantizándose la correcta funcionalidad del sistema y de las protecciones. En este documento se exponen los principales objetivos de las puestas a tierra: ser un salvoconducto para evacuar las corrientes de fuga y ser las limitadoras tanto de la tensión de contacto como de la tensión entre dos puntos de la superficie del terreno.

Es más, toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección eléctrica e instalación de tierra diseñada para que cualquier punto normalmente accesible por personas que circulen o permanezcan en la instalación no quede sometido a tensiones de paso y contacto superiores a las admisibles, en caso que se produzca un defecto en la instalación eléctrica o en un equipo.

Existen un gran número de elementos metálicos de las instalaciones del sistema de distribución que deben estar puestas a tierra, ya sea por motivos de protección, o bien por motivos de servicio como los neutros de los transformadores en los centros de transformación. Es más, elementos como los descargadores de sobretensiones y seccionadores de puesta a tierra en instalaciones para líneas aéreas son imprescindibles en la red de distribución, ya que sin estas puestas a tierra, tanto las personas como las instalaciones del sistema están en riesgo de sufrir serios daños.

En ciertas instalaciones pueden coexistir puestas a tierra interconectadas por motivos de protección y por motivos de servicio. Un ejemplo de puestas a tierra no interconectadas se da en los centros de transformación.

Una falta a tierra en la red de distribución provocará una elevación del potencial de la instalación de puesta a tierra. Si la instalación de puesta a tierra se encuentra en perfecto estado, la elevación del potencial estará dentro de los límites establecidos. Sin embargo, en el caso de que dicha instalación se encuentre incompleta o dañada, como consecuencia de un robo, no se podrá garantizar que la instalación de puesta a tierra sea un salvoconducto y a los sistemas de protección actuar correctamente, no se podrá acotar la diferencia de potencial y la tensión de paso. Por lo tanto, podrá causar un daño a las instalaciones, los equipos y las personas.

Como se ha presentado anteriormente, los contactos o choques eléctricos pueden ser directos, cuando el cuerpo humano toca directamente a un conductor, o bien indirectos, cuando el cuerpo humano toca una masa o carcasa metálica de un equipo o armario en tensión. En general, los contactos más habituales son los indirectos y se originan como consecuencia de un fallo de aislamiento entre una fase y la carcasa de un aparato o armario metálico.

En caso de producirse un contacto eléctrico, sea directo o indirecto, cabe la posibilidad de que se produzca el fenómeno de fibrilación ventricular del corazón. Este fenómeno es mortal porque impide el paso de la sangre transportando el oxígeno. No se puede negar que otros accidentes eléctricos que no implican fibrilación ventricular también pueden ser mortales. Se sabe que la gravedad del accidente dependerá tanto de parámetros fisiológicos como son la

anatomía del cuerpo, estado de las funciones cardíacas, etc. como de parámetros eléctricos tales como la duración y recorrido de la corriente, tensión de contacto, etc.

Como regla general, para evitar dichos accidentes es importante que las partes activas (conductores) peligrosas no sean accesibles y que las partes metálicas accesibles estén debidamente puestas a tierra (para que no sean peligrosas). Por último, concluir que un requisito para la protección en caso de falta contra contactos indirectos, es la existencia de puestas a tierra y de la conexión equipotencial.

Por todo lo expuesto anteriormente, las puestas a tierra en la red de distribución son obligatorias y contempladas por la legislación actual, con la finalidad de proteger a los individuos de contactos indirectos y de tensiones de contacto elevadas, así como para garantizar el funcionamiento correcto de la red distribución y salvaguardar equipos e instalaciones de las tensiones elevadas. Sin la presencia de las puestas a tierra, la capacidad de actuación de las protecciones podría quedar anulada, poniendo en riesgo la vida de los individuos que puedan experimentar un contacto fortuito con una carcasa metálica de un armario público, o bien con alguna parte metálica de la instalación. En ausencia de puestas a tierra, también se ponen en riesgo las instalaciones y bienes del sistema. De todo lo anterior se concluye que las instalaciones de puestas a tierra son parte fundamental del sistema para el servicio y la protección, por ello es necesario que se encuentren en perfectas condiciones.

**Por todo ello, la ausencia de tierras en las instalaciones eléctricas podría suponer serios riesgos tanto para la vida de las personas, y además, poner en peligro las instalaciones eléctricas y los bienes, como el funcionamiento correcto del sistema eléctrico de distribución.**

## Anexo

### Anexo A

Artículo 41. Obligaciones y derechos de las empresas distribuidoras de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

1. Serán obligaciones de las empresas distribuidoras:

- a) *Realizar sus actividades en la forma autorizada y conforme a las disposiciones aplicables, prestando el servicio de distribución de forma regular y continua, y con los niveles de calidad que se determinen, manteniendo las redes de distribución eléctrica en las adecuadas condiciones de conservación e idoneidad técnica.*
- b) *Proceder a la ampliación de las instalaciones de distribución cuando así sea necesario para atender nuevas demandas de suministro eléctrico, sin perjuicio de lo que resulte de la aplicación del régimen que reglamentariamente se establezca para las acometidas eléctricas.*  
*Todas las instalaciones destinadas a más de un consumidor tendrán la consideración de red de distribución y deberán ser cedidas a la empresa distribuidora de la zona, la cual responderá de la seguridad y calidad del suministro. Dicha infraestructura quedará abierta al uso de terceros.*  
*Cuando existan varios distribuidores en la zona a los cuales pudieran ser cedidas las instalaciones, la Administración competente determinará a cuál de dichos distribuidores deberán ser cedidas, siguiendo criterios de mínimo coste.*
- c) *Comunicar al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio las autorizaciones de instalación que les concedan otras Administraciones, así como las modificaciones relevantes de su actividad, a efectos del reconocimiento de sus costes en la determinación de la tarifa y la fijación de su régimen de retribución.*
- d) *Comunicar al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y a la Administración competente la información que se determine sobre peajes de acceso, así como cualquier información relacionada con la actividad que desarrollen dentro del sector eléctrico.*
- e) *Atender en condiciones de igualdad las solicitudes de acceso y conexión a sus redes y formalizar los contratos de acceso de acuerdo con lo establecido por la Administración.*  
*Reglamentariamente, previa audiencia a las Comunidades Autónomas, se regularán las condiciones y procedimientos para el establecimiento de acometidas eléctricas y el enganche de nuevos usuarios a las redes de distribución.*
- f) *Proceder a la medición de los suministros en la forma que reglamentariamente se determine, preservándose, en todo caso, la exactitud de la misma y la accesibilidad a los correspondientes aparatos, facilitando el control de las Administraciones competentes.*

- g) *Aplicar a los usuarios los peajes de acceso que, conforme a lo dispuesto reglamentariamente, les correspondan.*
- h) *Desglosar en la facturación al usuario, en la forma que reglamentariamente se determine, al menos los importes correspondientes a la imputación de los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento y permanentes del sistema y los tributos que graven el consumo de electricidad, así como los suplementos territoriales cuando correspondan.*
- i) *Poner en práctica los programas de gestión de la demanda aprobados por la Administración.*
- j) *Procurar un uso racional de la energía.*
- k) *Asegurar el nivel de calidad del servicio que, de acuerdo con los criterios de diferenciación por áreas y tipología del consumo a que se refiere el siguiente capítulo, se establezca reglamentariamente.*
- l) *Aplicar las medidas adecuadas de protección del consumidor de acuerdo con lo establecido reglamentariamente.*
- m) *Mantener actualizada su base de datos de puntos de suministro, y facilitar a la Oficina de Cambios de Suministrador la información que se determine reglamentariamente.*
- n) *Preservar el carácter confidencial de la información de la que tenga conocimiento en el desempeño de su actividad, cuando de su divulgación puedan derivarse problemas de índole comercial, sin perjuicio de la obligación de información a las Administraciones públicas.*
- o) *Proporcionar al gestor de la red de transporte información suficiente para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente, el desarrollo coordinado y la interoperabilidad de la red interconectada.*
- p) *Los titulares de redes de distribución de energía eléctrica, antes del 15 de octubre de cada año, deberán presentar sus planes de inversiones anuales y plurianuales a las Comunidades Autónomas en las que dichas inversiones vayan a realizarse. En los planes de inversión anuales figurarán como mínimo los datos de los proyectos, sus principales características técnicas, presupuesto y calendario de ejecución.*
- q) *Cumplir los plazos que se establezcan reglamentariamente para las actuaciones que les corresponden en relación con los cambios de suministrador.*

2. *Serán derechos de las empresas distribuidoras:*

- a) *El reconocimiento por parte de la Administración de una retribución por el ejercicio de su actividad dentro del sistema eléctrico en los términos establecidos en el Título III de esta Ley y la percepción de la retribución que les corresponda por el ejercicio de la actividad de distribución.*
- b) *Contratar, facturar y cobrar los peajes de acceso de los clientes conectados a sus redes.*
- c) *Exigir garantías a los sujetos que contraten el acceso a sus redes de distribución en los términos que se establezcan reglamentariamente.*



- d) *Exigir que las instalaciones y aparatos receptores de los usuarios que se conecten a sus redes reúnan las condiciones técnicas y de construcción que se determinen, así como el buen uso de las mismas y el cumplimiento de las condiciones establecidas para que el suministro se produzca sin deterioro o degradación de su calidad para otros usuarios.*
- e) *Recibir la información de la Oficina de Cambios de Suministrador que se determine reglamentariamente relativa a los cambios de suministrador.*
- f) *Determinar, en el ejercicio de la función de gestor de su red de distribución, los criterios de la explotación y mantenimiento de las redes garantizando la seguridad, la fiabilidad y la eficacia de las mismas, de acuerdo con la normativa medioambiental que les sea aplicable.*

## Anexo B

En la ITC-LAT 06 del Real Decreto 223/2008 se especifican las tensiones normalizadas para distribución y transporte.

### 1.2 (...) **Tensiones nominales normalizadas**

En la tabla siguiente se indican las tensiones nominales normalizadas en redes trifásicas.

**Tabla 1. Tensiones nominales normalizadas**

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED ( $U_n$ ) kV	TENSIÓN MAS ELEVADA DE LA RED ( $U_s$ ) kV
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5
20*	24
25	30
30	36
45	52
66*	72,5
110	123
132*	145
150	170
220*	245
400*	420

\* Tensiones de uso preferente en redes eléctricas de transporte y distribución.

(...)

En el Artículo 4 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión se especifican los niveles de baja tensión:

- 2. (...) *Las tensiones nominales usualmente utilizadas en las distribuciones de corriente alterna serán:*

- a) *230 V entre fases para las redes trifásicas de tres conductores.*

- b) 230 V entre fase y neutro, y 400 V entre fases, para las redes trifásicas de 4 conductores. (...)

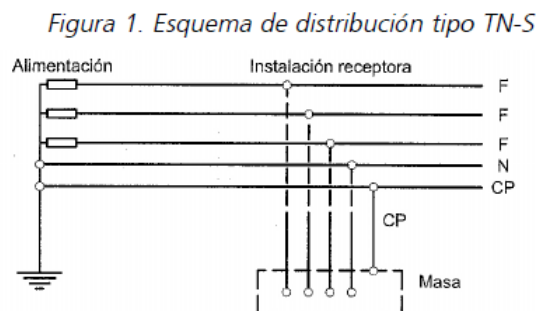
## Anexo C

Esquemas de distribución de la ITC BT-08 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, recogidos en los puntos 1.1, 1.2 y 1.3.

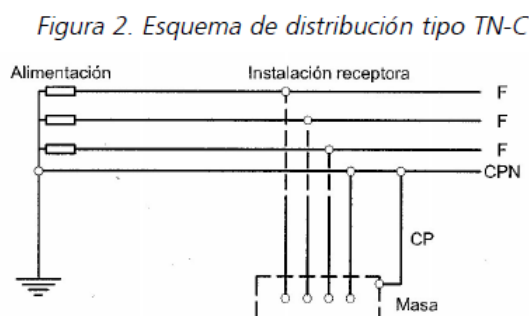
### 1.1 Esquema TN

Los esquemas TN tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. Se distinguen tres tipos de esquemas TN según la disposición relativa del conductor neutro y del conductor de protección:

*Esquema TN-S:* En el que el conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema (figura 1).

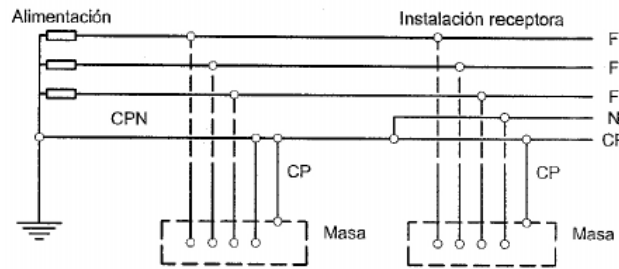


*Esquema TN-C:* En el que las funciones de neutro y protección están combinados en un solo conductor en todo el esquema (figura 2).



*Esquema TN-C-S:* En el que las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en una parte del esquema (figura 3).

Figura 3. Esquema de distribución tipo TN-C-S

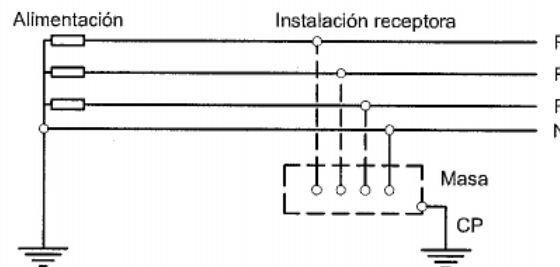


En los esquemas TN cualquier intensidad de defecto franco fase-masa es una intensidad de cortocircuito. El bucle de defecto está constituido exclusivamente por elementos conductores metálicos.

### 1.2 Esquema TT

El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación (figura 4).

Figura 4. Esquema de distribución tipo TT



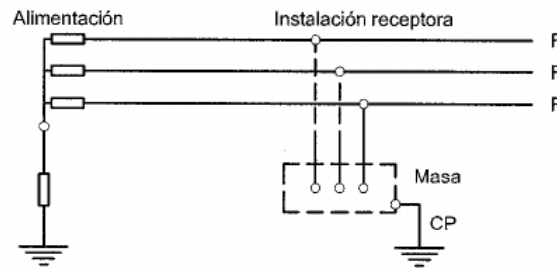
En este esquema las intensidades de defecto fase-masa o fase-tierra pueden tener valores inferiores a los de cortocircuito, pero pueden ser suficientes para provocar la aparición de tensiones peligrosas.

En general, el bucle de defecto incluye resistencia de paso a tierra en alguna parte del circuito de defecto, lo que no excluye la posibilidad de conexiones eléctricas voluntarias o no, entre la zona de la toma de tierra de las masas de la instalación y la de la alimentación. Aunque ambas tomas de tierra no sean independientes, el esquema sigue siendo un esquema TT si no se cumplen todas las condiciones del esquema TN. Dicho de otra forma, no se tienen en cuenta las posibles conexiones entre ambas zonas de toma de tierra para la determinación de las condiciones de protección.

### 1.3 Esquema IT

El esquema IT no tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra (figura 5).

Figura 5. Esquema de distribución tipo IT



En este esquema la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra, tiene un valor lo suficientemente reducido como para no provocar la aparición de tensiones de contacto peligrosas.

La limitación del valor de la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra se obtiene bien por la ausencia de conexión a tierra en la alimentación, o bien por la inserción de una impedancia suficiente entre un punto de la alimentación (generalmente el neutro) y tierra. A este efecto puede resultar necesario limitar la extensión de la instalación para disminuir el efecto capacitivo de los cables con respecto a tierra.

En este tipo de esquema se recomienda no distribuir el neutro.

## Anexo D

En el punto de 7.7 Centros de transformación de las disposiciones particulares de puestas a tierra de la ITC MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación se establece que:

(...) Para evitar tensiones peligrosas provocadas por defectos en la red de alta tensión, los neutros de baja tensión de las líneas que salen fuera de la instalación general, pueden conectarse a una tierra separada. (...)

(...) Cuando, de acuerdo con lo dicho en el apartado anterior, se conecten los neutros de baja tensión a una tierra separada de la tierra general del centro, se cumplirán las siguientes prescripciones:

- Las instalaciones de tierra deberán aislarse entre sí para la diferencia de tensiones que pueda aparecer entre ambas.
- El conductor de conexión entre el neutro de baja tensión del transformador y su electrodo de tierra ha de quedar aislado dentro de la zona de influencia de la tierra general. Dicha conexión podrá realizarse conectando al electrodo directamente, un punto del conductor neutro y estableciendo los aislamientos necesarios.
- Las instalaciones de baja tensión en el interior de los centros de transformación poseerán, con respecto a tierra, a un aislamiento correspondiente a la tensión señalada en el punto a).

En el caso de que el aislamiento propio del equipo de baja tensión alcance este valor, todos los elementos conductores del mismo que deban ponerse a tierra como

*canalizaciones, armazón de cuadros, carcasas de aparatos, etc., se conectarán a la tierra general del centro, uniéndose a la tierra separada solamente los neutros de baja tensión.*

*Cuando el equipo de baja tensión no presente el aislamiento indicado anteriormente los elementos conductores del mismo que deban conectarse a tierra como canalizaciones, armazón de cuadros, carcasas de aparatos, etc., deberán montarse sobre aislados de un nivel de aislamiento correspondiente a la tensión señalada en el punto a). En este caso, dichos elementos conductores se conectarán a la tierra del neutro de baja tensión; teniendo entonces especial cuidado con las tensiones de contacto que puedan aparecer.*

*d) Las líneas de salida de baja tensión deberán aislarse dentro de la zona de la influencia de la tierra general teniendo en cuenta las tensiones señaladas en el punto a).*

*Cuando las líneas de salida sean en cable aislado con envolventes conductoras, deberá tenerse en cuenta la posible transferencia al exterior de tensiones a través de dichas envolventes. (...)*

*(...) Cuando en la parte de baja tensión el neutro del transformador esté aislado o conectado a una tierra a través de una impedancia de alto valor, se deberá disponer de un limitador de tensión entre dicho neutro y tierra o entre una fase y tierra, si el neutro no es accesible. (...)*

*(...) En los centros de transformación alimentados en alta tensión por cables subterráneos provistos de envolventes conductoras, unidas eléctricamente entre sí, se conectarán todas las tierras en una tierra general en los dos casos siguientes:*

*a) Cuando la alimentación en alta tensión forma parte de una red de cables subterráneos con envolventes conductoras, de suficiente conductibilidad.*

*b) Cuando la alimentación en alta tensión forma parte de una red mixta de líneas aéreas y cables subterráneos con envolventes conductoras y en ella existen dos o más tramos de cable subterráneo con una longitud total mínima de 3 km con trazados diferentes y con una longitud cada uno de ellos de más de 1 km.*

*En las instalaciones conectadas a redes constituidas por cables subterráneos con envolventes conductoras de suficiente sección, se puede utilizar como electrodos de tierra dichas envolventes, incluso sin la adicción de otros electros de tierra.*

## **Anexo E**

En el artículo 163 del Real Decreto 1955/2000 se establece la frecuencia de las revisiones periódicas en instalaciones eléctricas.

*1. Las instalaciones de producción, transporte y distribución de energía eléctrica, a que se hace referencia en el artículo 111, deberán ser revisadas, al menos cada tres años, por técnicos titulados, libremente designados por el titular de la instalación.*

*Los profesionales que las revisen estarán obligados a cumplimentar los boletines, en los que habrán de consignar y certificar expresamente los datos de los reconocimientos. En ellos, además, se especificará el cumplimiento de las*

*condiciones reglamentarias o, alternativamente, la propuesta de las medidas correctoras necesarias.*

2. *Los citados boletines se mantendrán en poder del titular de las instalaciones, quien deberá enviar copia a la Administración competente.*

## **Anexo F**

Aplicación del factor de corriente del corazón (F) de la UNE-IEC/TS 60479-1

*El factor de corriente del corazón permite calcular las corrientes  $I_h$  para recorridos distintos de la mano izquierda a los pies, que representan el mismo riesgo de fibrilación ventricular que los correspondientes a la corriente de referencia  $I_{ref}$  entre la mano izquierda y los pies, indicada en la figura 20:*

$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

donde

$I_{ref}$  es la corriente que pasa de la mano izquierda a los pies indicado en la figura 20;

$I_h$  es la corriente que pasa por el cuerpo para las trayectorias indicadas en la tabla 12;

F es el factor de corriente del corazón indicado en la tabla 12.

NOTA El factor de corriente del corazón se debe considerar como una estimación aproximada de los riesgos correspondiente a las diferentes trayectorias de la corriente, desde el punto de vista de fibrilación ventricular.

Para las diferentes trayectorias de la corriente, el factor de corriente del corazón es el valor indicado en la tabla 12.

**Tabla 12 – Factor de corriente del corazón F para diferentes trayectorias de la corriente**

Trayectoria de la corriente	Factor de corriente del corazón F
Mano izquierda al pie izquierdo, al pie derecho o a los dos pies	1,0
Ambas manos a los dos pies	1,0
Mano izquierda a mano derecha	0,4
Mano derecha al pie izquierdo, al pie derecho o a los dos pies	0,8
Espalda a la mano derecha	0,3
Espalda a la mano izquierda	0,7
Pecho a la mano izquierda	1,3
Pecho a la mano derecha	1,5
Posaderas a la mano izquierda, a la mano derecha o a las dos manos	0,7
Pie izquierdo a pie derecho	0,04

(...)

## Anexo G

A continuación se presenta un ejemplo didáctico, donde se determinará la corriente de defecto que atraviesa el cuerpo, en un contacto directo e indirecto, para una instalación trifásica de 400 V de tensión entre conductores activos. En primer lugar, se calcula la tensión entre cualquiera de los conductores activo y la tierra y esta debería corresponderse con a la tensión entre cualquier fase y neutro si el sistema funciona con normalidad.

$$U_{F-T} = U_{F-N} = \frac{400}{\sqrt{3}} \approx 230 \text{ V}$$

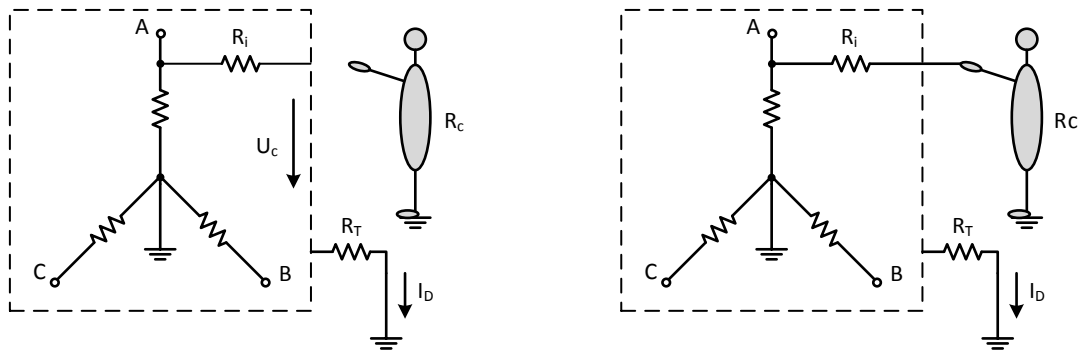
En caso de producirse un **contacto directo**, es decir un individuo sufre un contacto con un conductor activo, la tensión de contacto ( $U_c$ ) sería de unos 230 V. Cabe destacar que en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 de la UNE-IEC/TS 60479-1 se muestran los valores de la resistencia que ofrece la persona al paso de la intensidad ( $R_c$ ) en función de la tensión de contacto, las condiciones ambientales y el tamaño de la superficie. A que la impedancia interna del cuerpo humano puede ser considerada esencialmente resistiva y su valor depende principalmente de la trayectoria de la corriente y, en menor medida, de la superficie de contacto. Tomando un valor habitual de 1000  $\Omega$  la corriente de contacto sería de:

$$I_d = \frac{U_c}{R_c} = \frac{230}{1000} = 0,23 \text{ A}$$



Por otro lado cuando se produce un contacto indirecto la tensión de contacto ( $U_c$ ).

$$U_c = R_T \cdot \frac{230}{R_T + R_i}$$



Donde  $R_T$  es la resistencia de puesta a tierra y  $R_i$  es la resistencia interna del aparato debido a la pintura, al material etc.

Como se observa en la fórmula anterior que cuanto menor es la resistencia  $R_T$  menor es la tensión de contacto  $U_c$ . Además en este caso se puede detectar el defecto a partir de la intensidad  $I_d$  que circula por la puesta a tierra mediante los dispositivos de protección, antes de que se produzca un contacto indirecto. Además en caso de que esto no sucediese así (los dispositivos de protección actuaran), la corriente de contacto que circularía a través del cuerpo será muy inferior, siempre que la resistencia de puesta a tierra sea la adecuada y garantice que la tensión de contacto sea inferior a la tensión de contacto admisible. La tensión de contacto admisible especificada la ITC-BT 24 es de 50 V, en condiciones normales y de 24 V, en ciertas condiciones específicas.

Por ejemplo tomando como resistencia de puesta a tierra 20  $\Omega$  y la resistencia interna del aparato de 100  $\Omega$  la tensión de contacto quedaría.

$$U_c = 20 \cdot \frac{230}{20 + 100} = 38,33 \text{ V}$$

En primer lugar se observa que la tensión de contacto es inferior a la tensión de contacto admisible de 50 V y por lo tanto la intensidad de contacto y defecto serían  $I_c$  y  $I_d$  (admitiendo que la tensión de contacto no se ve afectada por la resistencia del cuerpo). Véase que la mayor parte de la intensidad de defecto circulará por la puesta a tierra.

$$I_c = \frac{38,33}{1000} = 0,038 \text{ A}$$

$$I_d = \frac{38,33}{20} = 1,92 \text{ A}$$

Por otro lado en caso de que no existiese la resistencia  $R_T$  la persona que sufriese el contacto indirecto se encontraría otra vez con una tensión de contacto,  $U_c = 230 \text{ V}$ . La intensidad de contacto sería:

$$I_c = \frac{230}{1000 + 100} = 0,209 \text{ A}$$

Notar que la corriente de contacto es prácticamente igual que a la de contacto directo, por lo tanto la presencia de la puesta a tierra, garantiza que la corriente de contacto indirecto sea inferior a la corriente de defecto.