

**DISEÑO DE PUESTAS A TIERRA EN CENTROS DE
TRANSFORMACIÓN EN EDIFICIO DE OTROS USOS,
DE TENSIÓN NOMINAL ≤ 30 kV**

DISEÑO DE PUESTAS A TIERRA EN CENTROS DE TRANSFORMACIÓN EN EDIFICIO DE OTROS USOS, DE TENSION NOMINAL ≤ 30 KV

ÍNDICE

	Pág.
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	2
2 UTILIZACIÓN	2
3 REGLAMENTACIÓN	2
4 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	2
5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	2
5.1 Generalidades.....	2
5.2 Elementos de los sistemas de puesta a tierra y condiciones de montaje.....	3
5.3 Dimensionamiento a frecuencia industrial del sistema de puesta a tierra de protección..	7
6 MEDICIÓN DE LA TENSIÓN CONTACTO Y DE PASO APLICADA	21
7 PROTOCOLO DE VALIDACIÓN EN CAMPO DE LAS MEDIDAS REALIZADAS EN LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN	22
ANEXO 1. TABLAS.....	29
ANEXO 2. HOJA DE TOMA DE DATOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	30
ANEXO 3. DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES DESDE EL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA AL EDIFICIO	31
ANEXO 4. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROCEDIMIENTO	36

Preparado

Aprobado

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

El presente Manual Técnico (en adelante MT) establece y justifica las configuraciones de electrodos y medidas adoptadas, para las puestas a tierra que han de emplearse en los centros de transformación ubicados en edificios de otros usos, que garantizan la seguridad para las personas, atendiendo a las exigencias establecidas en el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, en adelante RCE. Así mismo se dan los criterios para el diseño, instalación y ensayo de los sistemas de puesta a tierra de manera que sean eficaces en todas las circunstancias y mantengan las tensiones de paso y contacto dentro de niveles aceptables.

2 UTILIZACIÓN

Este documento se utilizará como referencia en los Proyectos Tipo de centros de transformación en edificios de otros usos de Iberdrola Distribución Eléctrica (En adelante Iberdrola), como son el [MT 2.11.03](#) y [MT 2.11.32](#)

3 REGLAMENTACIÓN

En la redacción de este MT se han tenido en cuenta todas las especificaciones relativas a centros de transformación contenidas en el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, aprobado por el Real Decreto de 12-11-82 y publicado en el B.O.E. núm. 288 del 1-12-82 y las Instrucciones Técnicas Complementarias aprobadas por Orden de 6-7-84, y publicado en el B.O.E. núm. 183 del 1-8-84, y su posterior modificación, Orden de 10 de Marzo de 2000 publicada asimismo en el B.O.E. núm. 72 del 24 de Marzo de 2000.

Además se han aplicado las normas internas de Iberdrola, y en su defecto las normas UNE, EN y documentos de Armonización HD. Se tendrán en cuenta las Ordenanzas Municipales y los condicionados impuestos por los Organismos públicos afectados.

4 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

La ejecución de las instalaciones a que se refiere el presente documento, se ajustarán a todo lo indicado en el Capítulo IV “Ejecución de las Instalaciones”, del [MT 2.03.20](#).

5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

5.1 Generalidades

Los sistemas de puesta a tierra especificados en este manual técnico, cumplen los requisitos siguientes:

- Resistir los esfuerzos mecánicos y la corrosión.
- Resistir, desde un punto de vista térmico, la corriente de falta más elevada determinada en el cálculo.
- Garantizar la seguridad de las personas con respecto a tensiones que aparezcan durante una falta a tierra en los sistemas de puesta a tierra.
- Proteger de daños a propiedades y equipos y garantizar la fiabilidad del Centro de Transformación.

Estos requisitos dependen fundamentalmente de:

- Método de puesta a tierra del neutro de la red: neutro aislado, neutro puesto a tierra mediante impedancia o neutro rígido a tierra.
- Conexión del sistema de puesta a tierra a través de las pantallas de cables. Se pueden distinguir 2 casos:
 - a. CT al que se conectan al menos una línea subterránea cuyas pantallas estén conectadas a tierra en el otro extremo (otro centro de transformación, subestación o apoyo con puesta a tierra). En adelante este caso se referirá como CT con **pantallas conectadas**.
 - b. Cualquier otra situación que no se ajuste al primer caso. En adelante este caso se referirá como CT con **pantallas desconectadas**. Este caso no se contempla para los sistemas de puesta a tierra especificados en este manual técnico para los CT ubicados en edificios de otros usos.

En todo centro de transformación cabe distinguir dos sistemas de puesta a tierra:

- Sistema de puesta a tierra de protección, constituido por las líneas de tierra y los correspondientes electrodos de puesta a tierra que conexionan directamente a tierra las partes conductoras de los elementos de la instalación no sometidos normalmente a tensión eléctrica, pero que pudieran ser puestos en tensión por averías o contactos accidentales, a fin de proteger a las personas contra contactos con tensiones peligrosas.
- Sistema de puesta a tierra de servicio, constituido por la línea de tierra y los correspondientes electrodos de puesta a tierra que conexionan directamente a tierra el neutro de baja tensión.

5.2 Elementos de los sistemas de puesta a tierra y condiciones de montaje

5.2.1 Generalidades. Un sistema de puesta a tierra, de forma general, está constituido por uno o varios electrodos de puesta a tierra enterrados en el suelo y por las líneas (líneas de enlace con el electrodo de puesta a tierra y líneas de tierra) que conectan dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra.

Los electrodos de puesta a tierra empleados son de material, diseño, dimensiones, colocación en el terreno y número apropiados para la naturaleza y condiciones del terreno, de modo que garanticen una tensión de contacto dentro de los niveles aceptables.

El tipo o modelo, dimensiones y colocación (bajo la superficie del terreno) de los electrodos de puesta a tierra, que se incluyen en el presente MT, figurarán claramente en un plano que formará parte del MT de ejecución del centro de transformación, de modo que pueda ser aprobado por el órgano competente de la Administración.

5.2.2 Electrodo de puesta a tierra. Los electrodos de puesta a tierra se dispondrán de las siguientes formas, combinándolas entre ellas si es necesario:

- Electrodo horizontal de puesta a tierra constituido por cables enterrados, desnudos, de cobre de 50 mm², según NI 54.10.01 “Conductores desnudos de cobre para líneas eléctricas aéreas y subestaciones de alta tensión”.
- Picas de tierra verticales, de acero cobrizado de 14 mm de diámetro, y de 2 metros de longitud, del tipo PL 14-2000, según NI 50.26.01 “Picas cilíndricas de acero-cobre”, que podrán estar formadas por elementos empalmables.

5.2.2.1 Instalación de electrodos horizontales de puesta a tierra.

El electrodo de puesta a tierra estará situado a una profundidad suficiente para evitar el efecto de la congelación del agua ocluida en el terreno. Los electrodos horizontales de puesta a tierra se situarán a una profundidad mínima de 0,5 m (habitualmente entre 0,5 m y 1 m). Esta medida garantiza una cierta protección mecánica.

Los electrodos horizontales de puesta a tierra se colocarán en el fondo de una zanja de forma que:

- Se rodeen con tierra ligeramente apisonada.
- Las piedras o grava no estén directamente en contacto con los electrodos de puesta a tierra enterrados.
- Cuando el suelo natural sea corrosivo para el tipo de metal que constituye el electrodo, el suelo se reemplace por un relleno adecuado.

5.2.2.2 Instalación de picas de tierra verticales.

Las picas verticales son particularmente ventajosas cuando la resistividad del suelo decrece mucho con la profundidad. Se clavarán en el suelo empleando herramientas apropiadas para evitar que los electrodos se dañen durante su hincado.

La parte superior de cada pica siempre quedará situada debajo del nivel de tierra a 0,5 m, como mínimo.

5.2.2.3 Unión de los electrodos de puesta a tierra.

Las uniones utilizadas para conectar las partes conductoras de una red de tierras, con los electrodos de puesta a tierra dentro de la propia red, tendrán las dimensiones adecuadas para asegurar una conducción eléctrica y un esfuerzo térmico y mecánico equivalente a los de los propios electrodos.

Los electrodos de puesta a tierra serán resistentes a la corrosión y no deben ser susceptibles de crear pares galvánicos.

Las uniones usadas para el ensamblaje de picas deben tener el mismo esfuerzo mecánico que las picas mismas y deben resistir fatigas mecánicas durante su colocación. Cuando se tengan que conectar metales diferentes, que creen pares galvánicos, pudiendo causar una corrosión galvánica, las uniones se realizarán mediante piezas de conexión bimetálica apropiadas para limitar estos efectos.

5.2.3 Líneas de tierra y líneas de enlace con el electrodo de puesta a tierra. Las líneas de puesta a tierra están constituidas por conductores con una resistencia mecánica adecuada y ofrecerán una elevada resistencia a la corrosión.

Para las líneas de tierra pertenecientes al sistema de puesta a tierra de protección, se emplearán conductores de cobre o aluminio, con las siguientes características:

- Conductor de cobre de 50 mm² de sección especificado en la [NI 54.10.01](#) “Conductores desnudos de cobre para líneas eléctricas aéreas y subestaciones de alta tensión”.
- Conductor de aluminio-acero tipo 47-AL1/8-ST1A para instalaciones con tensiones de red menor o igual a 20 kV, y tipo 100-AL1/17-ST1A para tensiones menores o iguales a 30 kV, especificados en la [NI 54.63.01](#) “Conductores desnudos de aluminio-acero para líneas eléctricas de alta tensión”, hasta la caja de seccionamiento de tierra de protección.
- Conductor de aluminio tipo L 56 para instalaciones con tensiones de red menor o igual a 20 kV, y tipo L 110 para tensiones menores o iguales a 30 kV, especificados en la [NI 54.60.01](#) “Conductores desnudos de aluminio para líneas eléctricas aéreas de alta tensión”, hasta la caja de seccionamiento de tierra de protección.

Para las líneas de tierra pertenecientes al sistema de puesta a tierra de servicio, se podrán emplear los siguientes conductores, con las siguientes características:

- - Cables unipolares de cobre, aislados, de 50 mm² de sección, tipo DN-RA 0,6/1 kV, especificado en la [NI 56.31.71](#) “Cable unipolar DN-RA con conductor de cobre para redes subterráneas de baja tensión 0,6/1 kV”.
- - Cables unipolares de aluminio, aislados, de 50 mm² de sección, tipo XZ1 0,6/1 kV, especificado en la [NI 56.37.01](#) “Cables unipolares XZ1-Al con conductores de aluminio para redes subterráneas de baja tensión 0,6/1 kV”.

5.2.3.1 **Instalación**

Los conductores de las líneas de tierra deberán instalarse procurando que su recorrido sea lo más corto posible, evitando trazados tortuosos y curvas de poco radio. Con carácter general los conductores serán desnudos instalados al exterior de forma visible. Caso de que fuese conveniente realizar la instalación de forma cubierta, deberá serlo de forma que pueda comprobarse el mantenimiento de sus características.

Conviene prestar especial atención para evitar la corrosión donde los conductores desnudos de las líneas de enlace con el electrodo de puesta a tierra entran en el suelo o en el hormigón. En este sentido, cuando bajo el centro de transformación exista macizo de hormigón el conductor no debe tenderse por encima de él sino atravesarlo, protegido con un tubo aislante o similar.

Se cuidará la protección de los conductores de las líneas de tierra en las zonas inmediatamente superior e inferior al terreno, de modo que queden defendidos contra golpes, etc.

En las líneas de tierra no se insertarán fusibles ni interruptores.

5.2.3.2 **Conexiones**

Las conexiones deben tener una buena continuidad eléctrica, para prevenir cualquier aumento de temperatura inaceptable bajo condiciones de corriente de falta.

Las piezas de conexión serán de las siguientes características:

- Conexión conductor-conductor: Grapa de latón tipo GCP/C16 o GCPD/C16 para conductor de cobre y grapa de aleación de aluminio GCPD/A16 para conductor de aluminio-acero, según [NI 58.26.04](#) “Herraje y accesorios para líneas de alta tensión. Grapa de conexión paralela y sencilla”.
- Conexión Conductor-Pica: Grapa de conexión para pica cilíndrica de acero cobrizado, tipo GC-P 14,6/C-50, según [NI 58.26.03](#) “Grapa de conexión para pica cilíndrica acero-cobre”.

Las uniones no deberán poder soltarse y estarán protegidas contra la corrosión. Cuando se tengan que conectar metales diferentes que creen pares galvánicos, pudiendo causar una corrosión galvánica, las uniones se realizarán mediante piezas de conexión bimetálicas apropiadas para limitar estos efectos.

Deben utilizarse los elementos apropiados para conectar los conductores de las líneas de tierra al electrodo de puesta a tierra, al terminal principal de tierra y a cualquier parte metálica. En el caso de utilizarse línea de tierra de aluminio-acero, la conexión de dicha línea con cualquier elemento de cobre de los equipos se realizara mediante los terminales especificados en la NI 58.51.11 “Terminales a compresión, de aluminio estañado, para conductores de aluminio-acero”.

Deberá ser imposible desmontar las uniones sin herramientas.

La línea de tierra perteneciente al sistema de puesta a tierra de Protección deberá conectar los siguientes elementos:

- Cuba del transformador/res.
- Envolvente metálica del cuadro B.T.
- Envolventes de las celdas de alta tensión (en dos puntos).
- Pantallas del cable (extremos de líneas de llegada y líneas de salida de celdas y ambos extremos de línea de conexión al transformador).
- Cualquier armario metálico instalado en el centro de transformación.

Las puertas y rejillas metálicas que den al exterior del centro estarán aisladas, no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión.

La salida del neutro del cuadro de Baja tensión se conectará a la línea de tierra de la puesta a tierra de Servicio (neutro).

5.2.3.3 Cajas de seccionamiento

Cada uno de los dos sistemas de puesta a tierra estará conectado a una caja de seccionamiento independiente. En el caso de haya dos transformadores, cada neutro del cuadro de baja tensión se conectará a su correspondiente caja de seccionamiento.

Las cajas de seccionamiento de tierras de servicio y tierras de protección se componen de una envolvente y contienen en su interior un puente de tierras fabricado con pletinas de cobre o aluminio, según proceda, de 20x3 mm. Las cajas dispondrán de una pletina seccionable accionada por dos tornillos. El citado puente de tierra descansará en un zócalo aislante de poliéster con fibra de vidrio. La tapa será transparente. El conjunto deberá poseer un grado de protección IP 54 e IK 08, según las normas UNE 20324 y UNE-EN 50102 respectivamente y deberá soportar el siguiente ensayo:

- Nivel de aislamiento: 20 kV cresta a onda de impulso tipo rayo y 10 kV eficaces en ensayo de corta duración a frecuencia industrial, en posición de montaje.

La caja de seccionamiento de tierra de protección se colocará de tal forma que el recorrido de la línea de tierra desde la caja de seccionamiento al electrodo de puesta a tierra sea lo más corta posible.

Además, se instalara una caja de unión de tierras, que permita unir o separar los electrodos de protección y servicio y señalar la posición habitual. El esquema de interconexión de la caja de unión de tierras, se da en la [figura 1](#).

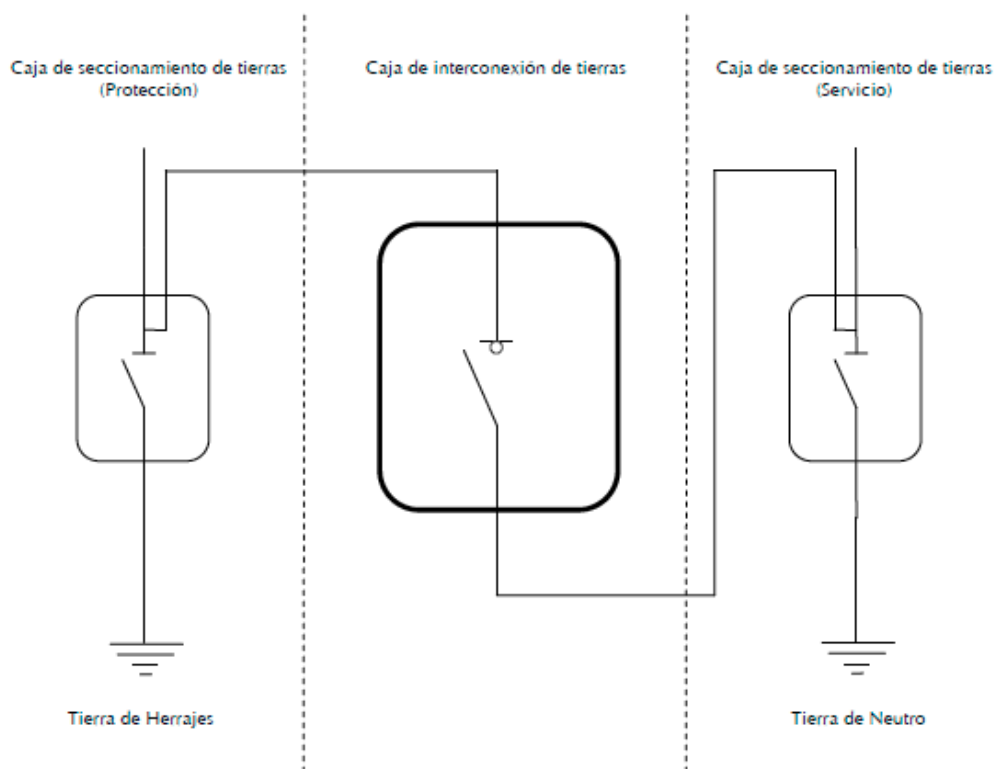


Figura 1. Esquema de interconexión de la caja de unión de tierras.

Para unir los dos sistemas de puesta a tierra con la caja de unión de tierras, se emplearán cables unipolares de cobre o aluminio, aislados, de 16 mm² de sección como mínimo.

El conjunto de cajas de seccionamiento de tierra (protección-servicio) y caja de interconexión de tierras antes descrito, podrá ir ubicado en una única envolvente, conteniendo dos o las tres partes del conjunto, en función de las características de la instalación. El conjunto cumplirá las mismas características eléctricas y mecánicas que a nivel individual y las especificaciones necesarias para las instalaciones de Iberdrola.

5.3 Dimensionamiento a frecuencia industrial del sistema de puesta a tierra de protección.

5.3.1 Generalidades. Los parámetros pertinentes para el dimensionamiento de los sistemas de puesta a tierra son:

- Valor de la corriente de falta*.
- Duración de la falta*.
- Valor Características del suelo.
- Tensión soportada a frecuencia industrial por las instalaciones de baja tensión del interior del CT (por ejemplo para el cuadro de BT, sería la tensión soportada a frecuencia industrial entre las partes activas y su envolvente).

* Estos dos parámetros dependen principalmente del método de la puesta a tierra del neutro de la red.

5.3.2 Dimensionamiento con respecto a la corrosión y a la resistencia mecánica. Para el dimensionamiento con respecto a la corrosión y a la resistencia mecánica de los electrodos se seguirán los criterios indicados en el apartado 3 de la MIE-RAT 13 del RCE.

Los electrodos de tierra que están directamente en contacto con el suelo (cables desnudos de cobre y picas de acero cobrizado) serán de materiales capaces de resistir, de forma general, la corrosión (ataque químico o biológico, oxidación, formación de un par electrolítico, electrólisis, etc.). Así mismo resistirán, generalmente, las tensiones mecánicas durante su instalación, así como aquellas que ocurren durante el servicio normal.

5.3.3 Dimensionamiento con respecto a la resistencia térmica. Para el dimensionamiento con respecto a la resistencia térmica de los electrodos se seguirán los criterios indicados en el [apartado 3](#) de la MIE-RAT 13 del RCE.

5.3.3.1 Generalidades.

La máxima intensidad de corriente de defecto a tierra depende de la red eléctrica. Sus valores máximos son los proporcionados en el [punto 3](#) del [apartado 5.3.4.3](#) de este MT.

5.3.3.2 Cálculo de la corriente.

El cálculo de la sección de los electrodos de puesta a tierra depende del valor y la duración de la corriente de falta, por lo que tendrán una sección tal que puedan soportar, sin un calentamiento peligroso, la máxima corriente de fallo a tierra prevista, durante un tiempo de un segundo, no pudiendo superar para el cobre los 160 A/mm^2 o para el aluminio los 100 A/mm^2 .

Se respetarán las dimensiones y secciones mínimas indicadas en el [apartado 5.2.2](#).

5.3.4 Dimensionamiento con respecto a la seguridad de las personas.

5.3.4.1 Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada.

Cuando se produce una falta a tierra, partes de la instalación se pueden poner en tensión, y en el caso de que una persona o animal estuviese tocándolas, podría circular a través de él una corriente peligrosa.

Los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada, U_{ca} , a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies, en función de la duración de la corriente de falta, se dan en la [figura 2](#):

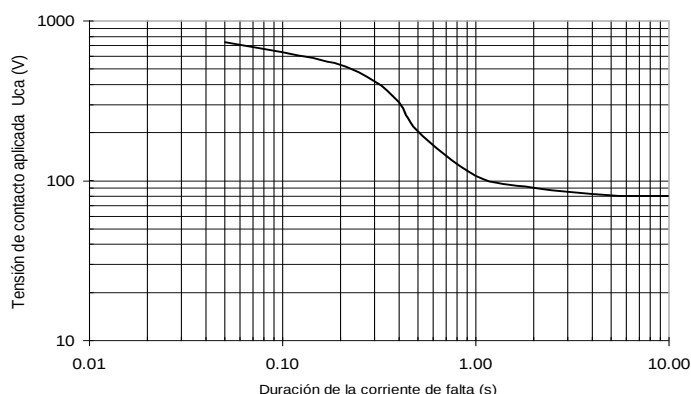


Figura 2. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta.

En la [tabla 1](#) se muestran valores de algunos de los puntos de la curva anterior:

Duración de la corriente de falta, t_F (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, U_{ca} (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
0.60	185
0.70	165
0.80	146
0.9	126
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

Tabla 1. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta t_F

Salvo casos excepcionales justificados, no se considerarán tiempos de duración de la corriente de falta inferiores a 0,1 segundos.

Para las tensiones de paso no es necesario definir valores admisibles, ya que los valores admisibles de las tensiones de paso aplicadas son mayores que los valores admisibles en las tensiones de contacto aplicadas. Cuando las tensiones de contacto calculadas sean superiores a los valores máximos admisibles, se recurrirá al empleo de medidas adicionales de seguridad a fin de reducir el riesgo de las personas y de los bienes, en cuyo caso será necesario cumplir los valores máximos admisibles de las tensiones de paso aplicadas.

Los valores admisibles de la tensión de paso aplicada entre los dos pies de una persona, considerando únicamente la propia impedancia del cuerpo humano sin resistencias adicionales, como las de contacto con el terreno o las del calzado, se define como diez veces el valor admisible de la tensión de contacto aplicada.

$$U_{pa} = 10U_{ca} \quad (1)$$

5.3.4.2 Valores de las tensiones máximas de contacto y de paso, admisibles para la instalación

El [apartado 1.1](#) de la MIE-RAT 13 establece las máximas tensiones de contacto y de paso admisibles en la instalación, U_c y U_p respectivamente.

Para determinar las máximas tensiones de contacto admisibles en la instalación, U_c , se emplea la siguiente expresión:

$$U_c = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2Z_B} \right] \quad (V) \quad (2)$$

Donde:

U_c , es la máxima tensión de contacto admisible en la instalación en V.

U_{ca} , es la tensión de contacto aplicada admisible, tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre una mano y los pies (tabla 1).

R_{a1} , es la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2000 Ω .

R_{a2} , es, la resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie. $R_{a2} = 3 \cdot \rho_s$, siendo ρ_s la resistividad del suelo cerca de la superficie.

Z_B = Impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1000 Ω .

Para determinar las máximas tensiones de paso admisibles en la instalación, U_p , se emplea la siguiente expresión:

$$U_p = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_b} \right] \quad (V) \quad (3)$$

En el caso de que una persona pudiera estar pisando zonas de diferentes resistividades con cada pie, por ejemplo en el caso de un centro de transformación con acera perimetral, con un pie en la acera y otro en el terreno, la tensión de paso de acceso máxima admisible tiene como valor:

$$U_{p,acceso} = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s + 3\rho_s^*}{Z_b} \right] \quad (V) \quad (4)$$

Dónde:

ρ_s^* , es la resistividad de la capa superficial (material constituyente de la acera perimetral, normalmente de hormigón). El valor considerado para el hormigón es de 3000 $\Omega \cdot m$.

5.3.4.3 Verificación del diseño del sistema de puesta a tierra de protección.

La verificación de los sistemas de puesta a tierra empleados para los centros de transformación ubicados en edificio de otros usos, sigue el procedimiento que se describe a continuación:

5.3.4.3.1 **Establecimiento de las características del suelo**

El establecimiento de las características del suelo significa obtener la resistividad del terreno. Este valor puede ser obtenido de dos formas:

- Según se especifica en la MIE-RAT 13 del RCE., en función de la naturaleza del terreno, para el caso de instalaciones de tercera categoría y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 1000 A.
- Utilizando alguno de los métodos sancionados por la práctica para su medida, como es el método de Wenner.

El valor máximo de resistividad del terreno considerado para los diferentes sistemas de puesta a tierra propuestos en el presente MT es de 1000 $\Omega \cdot m$.

5.3.4.3.2 **Elección del sistema de puesta a tierra, cálculo de la separación entre los electrodos de tierra y cálculo de la resistencia de tierra.**

En los centros de transformación que puedan ubicarse en entornos urbanos, con redes de distribución en media tensión con cables apantallados subterráneos, puede presentarse una topología de red en la que todas las pantallas de los cables de alta tensión de interconexión entre los diferentes centros estén conectadas a la tierra de protección de los Centros de Transformación y a la puesta a tierra de la subestación, donde la resistencia de difusión a tierra global (p.a.t. subestación + pantallas de cables + p.a. t. de protección de CT) alcance valores muy pequeños.

Aunque en entornos rurales o pequeñas poblaciones, la distribución en media tensión suele ser aérea en parte de su recorrido, se considera que la conexión a la red de los CT ubicados en edificios de otros usos se realiza mediante cables con las pantallas conectadas a tierra en sus extremos.

Se considerará siempre un CT con pantallas conectadas, según se ha visto en el [apartado 5.1](#) de este MT, considerándose la relación entre la corriente por el electrodo y la corriente de defecto, r_E .

El electrodo correspondiente al sistema de puesta a tierra de protección será distinto según la tensión nominal de la red, distinguiéndose dos casos:

a) Tensión nominal de la red, ≤ 20 kV

5 picas de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 2 metros de longitud, unidas por cable de cobre desnudo de cobre de 50 mm², siendo la distancia entre picas de 3 m. La parte superior de las picas y el cable estarán enterrados a una profundidad de 0.5 m como mínimo. La conexión entre el electrodo de puesta a tierra de protección y el punto de puesta a tierra del centro de transformación se efectuará con cable de cobre de 50 mm², aislado a 0,6/ 1 kV. La primera pica se colocará en el comienzo del cable desnudo de cobre (Véase [figura 3](#))

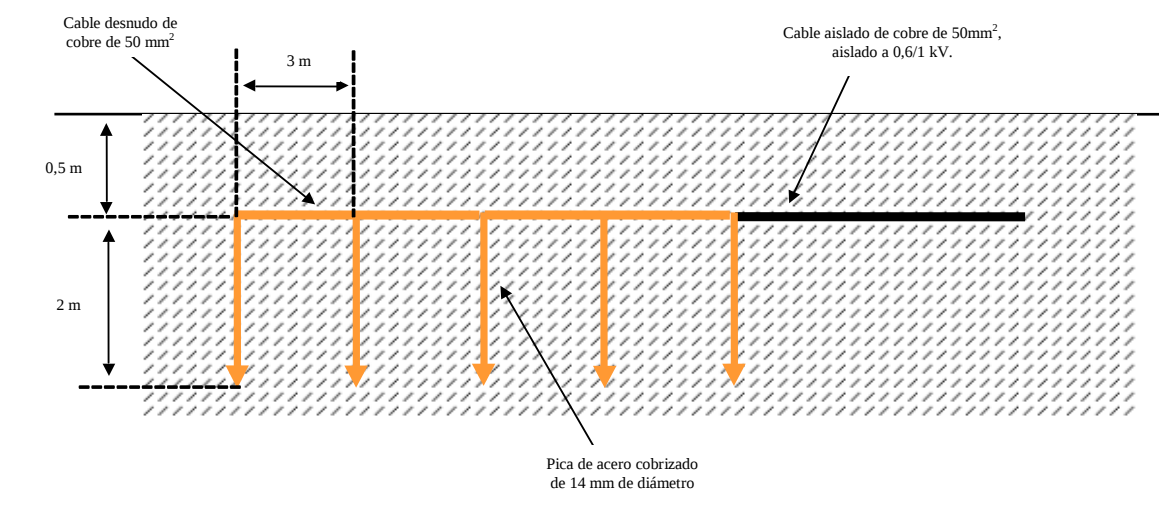


Figura 3.- Configuración CPT – CTL – 5P, ($U_n \leq 20$ kV)

b) Tensión nominal de la red, 30 kV

8 picas de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 2 metros de longitud, unidas por cable de cobre desnudo de cobre de 50 mm², siendo la distancia entre picas de 3 m. La parte superior de las picas y el cable estarán enterrados a una profundidad de 0.8 m como mínimo. La conexión entre el electrodo de puesta a tierra de protección y el punto de puesta a tierra del centro de transformación se efectuará con cable de cobre de 50 mm², aislado a 0,6/ 1 kV. La primera pica se colocará en el comienzo del cable desnudo de cobre (Véase [figura 4](#))

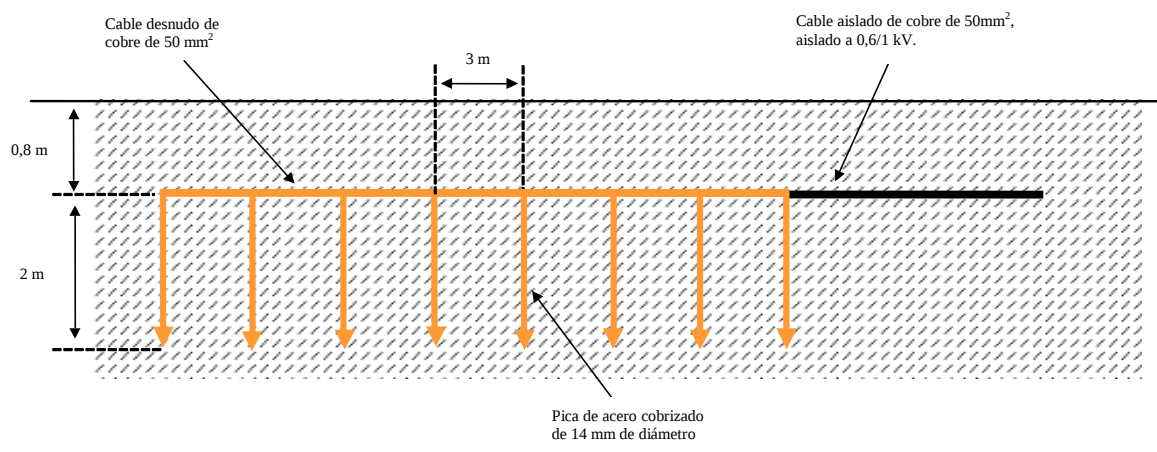


Figura 4.- Configuración CPT – CTL – 8P, ($U_n = 30$ kV)

En ambos casos, el emplazamiento de dicho electrodo se realizará en el exterior del edificio que contiene al centro de transformación, aprovechando para su instalación, las zanjas de la red de distribución de alta tensión que acometen al edificio, y deberá estar lo más alejado posible de vallas, farolas, señales de tráfico, o cualquier elemento metálico que este clavado en el suelo.

En el presente MT se indica el procedimiento a seguir para la justificación del cumplimiento del electrodo indicado anteriormente con el RCE.

Las configuraciones de electrodos que se utilizan en el presente MT se designan tal como se indica en la [tabla 2](#).

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Configuración del electrodo de puesta a tierra
≤ 20 kV	CPT – CTL – 5P
30 kV	CPT – CTL – 8P

Tabla 2. Designación de los electrodos en función de la tensión nominal de la red.

Dónde:

CPT: Configuración de Puesta a Tierra

CTL: Centro de Transformación tipo Lonja

5·P: N° de picas, en este caso, 5.

Para los centros de transformación correspondientes a este MT, el valor máximo de la resistencia de puesta a tierra, en función de la tensión de red, será la indicada en la [tabla 3](#).

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Máximo valor de la resistencia de puesta a tierra (Ω)
≤ 20 kV	100
30 kV	60

Tabla 3. Valores máximos de la resistencia a tierra en centros de transformación, considerándose las pantallas de los cables conectadas.

Los valores de resistencia indicados anteriormente deben de confirmarse con medidas en el terreno sin recurrir a rellenos diferentes del propio terreno.

El valor de la resistencia de puesta a tierra correspondiente a la configuración establecida en este MT se puede obtener multiplicando el coeficiente K_r , por el valor de la resistividad del terreno en $\Omega.m$.

Para las configuraciones anteriormente descritas, el valor del coeficiente K_r , se indica en la [tabla 4](#).

Designación del electrodo	K_r $\left(\frac{\Omega}{\Omega.m} \right)$
CPT-CTL-5P	0,0852
CPT-CTL-8P	0,0556

Tabla 4. Coeficiente de resistencia de puesta a tierra K_r , para los electrodos de puesta a tierra.

Las condiciones de resistividad máxima, número (N) de CT adicionales al proyectado, conectados a través de las pantallas e intensidades máximas de defecto a tierra, que permiten el empleo de estos electrodos en redes de distribución ≤ 30 kV, se indican en el [Anexo 1](#). Para otros casos especiales no incluidos en las tablas del [Anexo 1](#) el proyectista debería hacer un estudio específico.

Las distancias mínimas de separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección, de las masas de utilización de BT del edificio, y la p.a.t. de servicio, se indican en las tablas del [Anexo 3](#), en función de la resistividad superficial del terreno, para el 50 % de circulación de la corriente de falta a tierra por las pantallas de los cables de alta tensión, de acuerdo al [apartado 11](#) del RBT (ITC 18).

El cálculo de dichas distancias se ha efectuado considerando que:

- El edificio donde se va a ubicar el centro de transformación, tiene unas dimensiones mínimas de 15 m de largo por 15 metros de ancho y que dicho edificio, tal como describe la ITC-BT-26 del REBT, cumple con lo descrito en el apartado 3 de la ITC-BT-26, donde se indica que “En toda nueva edificación se establecerá una toma de tierra de protección, según el siguiente sistema: Instalando en el fondo de las zanjas de cimentación de los edificios, y antes de empezar ésta, un cable rígido de cobre desnudo de una sección mínima según se indica en la ITC-BT-18, formando un anillo cerrado que interese a todo el perímetro del edificio.”
- La superficie del terreno, formada por una franja perimetral de al menos 1 metro de anchura alrededor del edificio, tendrá una resistividad superficial, ρ_s de 3000 $\Omega.m$.

Para el cálculo de las tensiones de paso en los extremos del electrodo (flagelo), se ha considerado que el electrodo está enterrado en un terreno de resistividad propia y superficial hasta 1000 $\Omega.m$.

Para garantizar que los sistemas de puesta a tierra de protección y masas de usuarios de BT, son independientes, se cumplirán las condiciones siguientes:

- No existirá canalización metálica conductora (cubierta metálica de cable no aislada especialmente, canalización de agua, gas, etc.) que una la zona de tierras del centro de transformación con la zona en donde se encuentran los aparatos de utilización externos al centro de transformación.
- El centro de transformación estará situado en un recinto aislado de los locales de utilización o bien, si está contiguo a los locales de utilización, o en el interior de los mismos, se establecerá de tal manera que sus elementos metálicos no estén unidos eléctricamente a los elementos metálicos constructivos de los locales de utilización.

El electrodo correspondiente a la puesta a tierra de servicio se unirá al electrodo de la puesta a tierra de protección cuando el potencial absoluto del electrodo de puesta a tierra de protección, al ser atravesado por la corriente de falta a tierra, adquiera un valor inferior o igual a 1000 V.

5.3.4.3.3 Cálculo de las intensidades máximas de corriente de defecto a tierra

Para el cálculo de las intensidades máximas de corriente de defecto a tierra se tiene en cuenta que el tipo de defecto a tierra es monofásico, tomando las intensidades máximas en los distintos niveles de tensión existentes en la instalación.

La intensidad de defecto a tierra depende, entre otros parámetros, de:

- La impedancia de puesta a tierra de servicio de la subestación (en adelante ST).
- La tolerancia de la impedancia de puesta a tierra de servicio de la ST.
- La impedancia del transformador de la ST.
- La tensión más elevada para cada nivel de tensión nominal
- La propia impedancia de puesta a tierra de protección en el Centro de Transformación.
- La corriente que se deriva por las pantallas de los cables subterráneos.

Para el diseño de la instalación de puesta a tierra de un Centro de Transformación, se parte de la intensidad máxima de defecto a tierra, sin considerar el valor de la impedancia de la puesta a tierra de protección, puesto que, inicialmente, se desconoce.

Para calcular la intensidad máxima de defecto a tierra, teniendo en cuenta la impedancia de puesta a tierra de servicio de la subestación y del Centro de Transformación, es necesario conocer el equivalente Thévenin para fallo monofásico de la red.

Se considerará que la corriente de puesta a tierra es igual a la corriente de defecto multiplicada por el factor r_E , relación entre la corriente por el electrodo y la corriente de defecto.

Equivalentes Thévenin para fallo monofásico a tierra

Los distintos sistemas de puesta a tierra de servicio en la red de distribución de Media Tensión de Iberdrola, dan lugar a un circuito equivalente Thévenin para el fallo monofásico. A continuación se representan los circuitos trifilares y los circuitos equivalentes Thévenin.

El circuito trifilar del lado de Media Tensión del transformador de la ST para los distintos sistemas de puesta a tierra de Iberdrola se puede unificar en el representado en la figura 5.

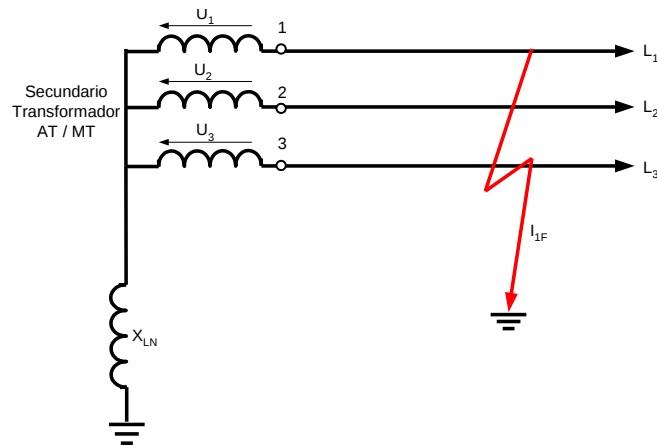


Figura 5.- Esquema trifilar con estrella puesta a tierra por reactancia, lado de MT de ST.

El equivalente Thévenin correspondiente a un fallo monofásico se representa en la [figura 6](#). Se considera el factor de tensión $c = 1,1$, según Norma UNE-EN 60909-1. Este factor tiene en cuenta:

- La variación de la tensión en el espacio y en el tiempo.
- Tolerancia “negativa” de la impedancia de puesta a tierra, etc.
- Los cambios eventuales en las conexiones de los transformadores.
- El comportamiento subtransitorio de los alternadores y motores.

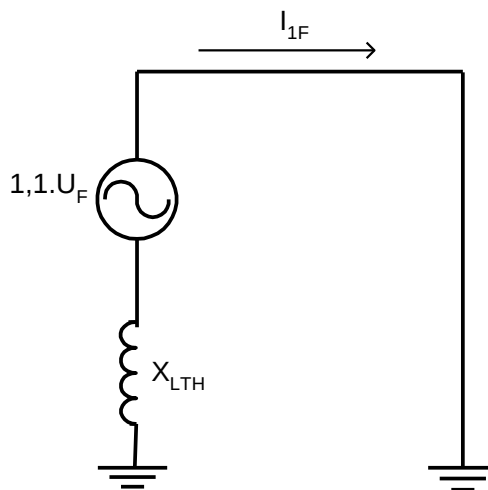


Figura 6.- Equivalente Thévenin para el cálculo de la intensidad de falta a tierra máxima con neutro puesto a tierra por reactancia.

A continuación se definen, en la [tabla 5](#), para los diferentes sistemas de puesta a tierra adoptados por Iberdrola en cada una de las subestaciones, los valores adoptados para la corriente máxima de defecto a tierra, empleados para la verificación de las configuraciones tipo de los sistemas de puesta a tierra descritos anteriormente.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Tipo de puesta a tierra	Reactancia equivalente X_{LTH} (Ω)	Intensidad máxima de corriente de defecto a tierra* (A)
13,2	Rígido	1,863	4500
13,2	Reactancia 4 Ω	4,5	1863
15	Rígido	2,117	4500
15	Reactancia 4 Ω	4,5	2117
20	Zig-Zag 500 A	25,4	500
20	Zig-Zag 1000 A	12,7	1000
20	Reactancia 5,2 Ω	5,7	2228
30	Zig-Zag 1000 A	2,117	9000

Tabla 5.-Intensidades máximas de puesta a tierra e impedancias equivalentes para cada nivel de tensión y tipo de puesta a tierra de la ST.

* Intensidades máximas que se pueden dar en la red. Los diseños de puesta a tierra descritos en este MT son válidos para la mayoría de las situaciones descritas en la tabla 5. No obstante, en algunos casos en los que se den una o varias de las condiciones siguientes, intensidades de defecto a tierra elevadas, resistividades del terreno altas o un número pequeño de centros de transformación conectados a través de las pantallas de los cables subterráneos, pueden ser necesarios diseños específicos para la configuración de los electrodos. Para concretar estas situaciones véase el Anexo 1.

5.3.4.3.4 Cálculo de la intensidad de la corriente de puesta a tierra en el Centro de Transformación

Para el cálculo de las intensidades de las corrientes de defecto a tierra y de puesta a tierra, se ha de tener en cuenta la forma de conexión del neutro a tierra en la ST, la configuración y características de la red durante el período subtransitorio, la resistencia de puesta a tierra del electrodo considerado, R_T , y la resistencia de puesta a tierra de las pantallas de los cables subterráneos de alta tensión, R_{pant} . La R_{pant} variará dependiendo del número (N) de CT conectados a través de las pantallas de los cables. Véase [figura 7](#).

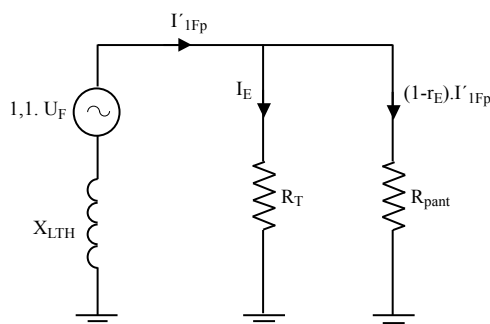


Figura 7.- Equivalente Thévenin para el cálculo de la intensidad máxima de defecto a tierra en redes con puesta a tierra por reactancia, teniendo en cuenta la resistencia de puesta a tierra de protección del centro de transformación R_T y la resistencia equivalente de las pantallas de los cables subterráneos de alta tensión y de sus puestas a tierra, R_{pant} .

Siendo

$$r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T}$$

Siendo R_{TOT} el paralelo de las resistencias del CT y del resto de CT conectados a través de las pantallas de los cables.

$$R_{TOT} = \frac{R_T \cdot R_{pant}}{R_T + R_{pant}}$$

Se ha considerado como caso más desfavorable, que no existe continuidad entre las pantallas de los cables y la malla de la subestación, por lo que no se tiene en cuenta la parte de la corriente que retorna por las pantallas de los cables hasta la malla de la subestación.

Los [puntos 5 a 11](#), que a continuación se describen dentro de este [apartado 5.3.4.3](#) “Verificación del diseño del sistema de puesta a tierra”, se utilizarán para verificar los sistemas de puesta a tierra empleados en Centros de Transformación en edificios para otros usos.

La característica de actuación de las protecciones, para el caso de faltas a tierra, para las instalaciones de Iberdrola, en función de la tensión nominal de la red, cumple con las relaciones indicadas en la [tabla 6](#).

Característica de actuación de las protecciones	U_n (kV)
$I'_{1Fp} \cdot t = 400$	≤ 20 kV
$I'_{1Fp} \cdot t = 2200$	30 kV

Tabla 6.- Característica de actuación de las protecciones en función de la tensión nominal de la red.

siendo I'_{1Fp} , la intensidad de la corriente de defecto a tierra, en el caso de considerar conexiones de pantalla, en amperios y t , el tiempo de actuación de las protecciones en segundos, siendo

$$I'_{1Fp} = \frac{1,1 \cdot U_n}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E} \right)^2}} \quad (A)$$

Donde r_E es la relación entre la corriente que circula por el electrodo y la corriente de defecto a tierra.

5.3.4.3.5 Consideraciones sobre la tensión de contacto máxima aplicada para las personas

Para cumplir con el requisito de la tensión de contacto aplicada a las personas, establecidas en la MIE-RAT 13 del RCE, se adoptarán las medidas adicionales siguientes, que hacen que dicha tensión de contacto sea cero:

- Las puertas y rejillas metálicas que den al exterior del centro estarán aisladas, no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión, debido a defectos o averías.

- En el piso del centro de transformación se instalará un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm, formando una retícula no superior a 0,30 x 0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos preferentemente opuestos a la puesta a tierra de protección del centro. Con esta disposición se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, esté sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm de espesor como mínimo. Véase [figura 8](#).
- No deberá haber partes metálicas puestas a tierra dentro del centro de transformación, que se puedan tocar teniendo los pies en el exterior del centro.
- Para centros de transformación, alimentados por una red de 30 kV, el primer metro de suelo dentro del centro de transformación, deberá ser aislante, para evitar la consideración de tensión de paso en el acceso.

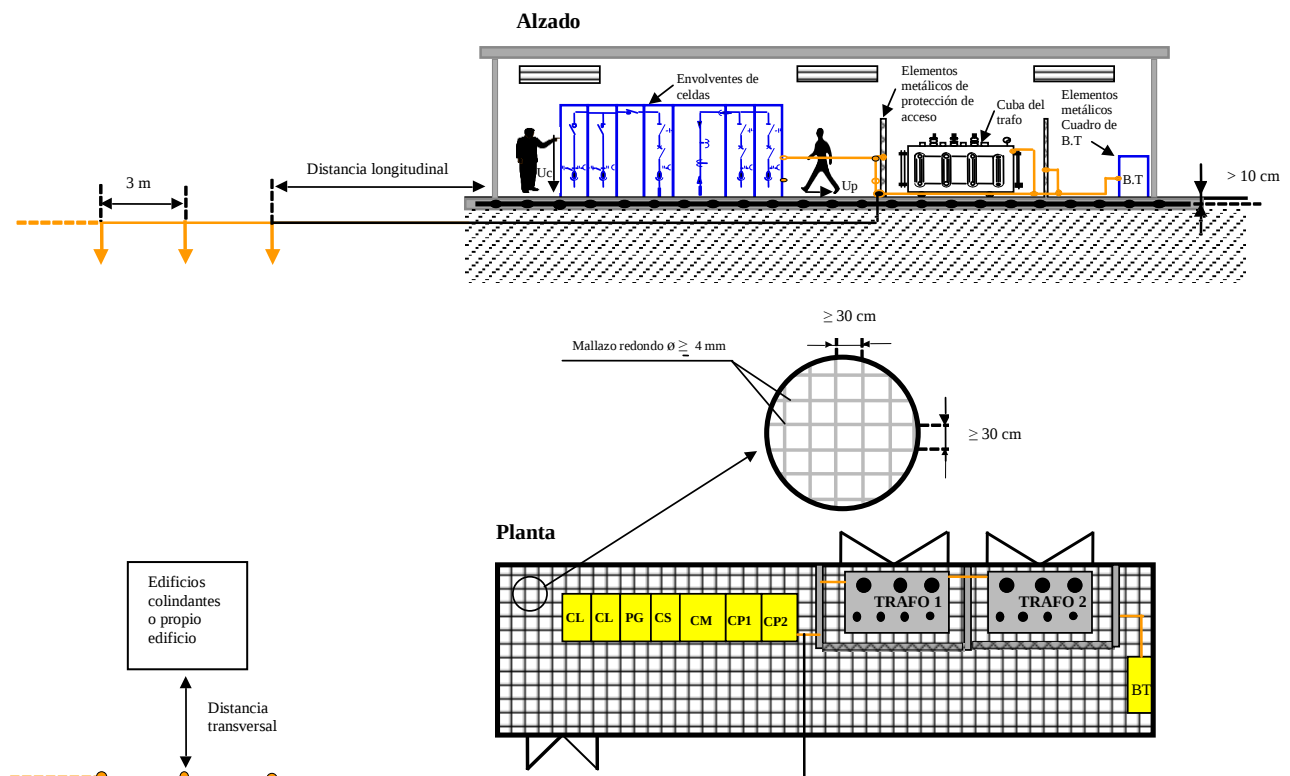


Figura 8.-Detalle de superficie equipotencial en el interior del centro de transformación

5.3.4.3.6 Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento de la MIE-RAT 13 del RCE, para la tensión de contacto.

Se han adoptado las medidas de seguridad establecidas en el [punto 5](#) de este apartado, y se realizarán las mediciones indicadas en el [apartado 6](#) y medidas correctoras en su caso.

5.3.4.3.7 Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento de la MIE-RAT 13 del RCE, para la tensión de paso en las proximidades del electrodo.

Aplicando el método de Howe, se determina la tensión de paso máxima que aparece en la instalación.

Se determinará el valor de la tensión de paso máxima en la prolongación del electrodo, con los pies separados 1 m.

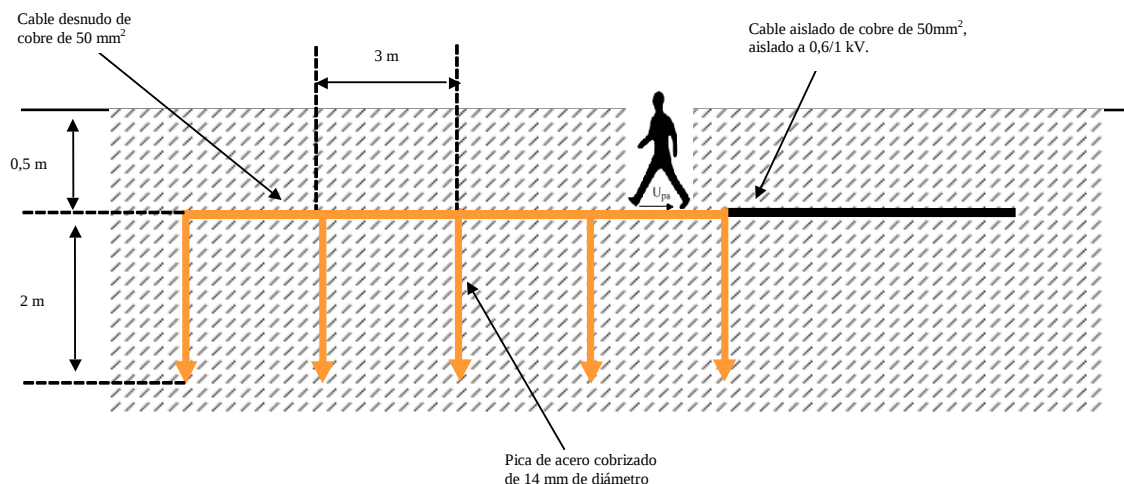


Figura 9.-Detalle donde se obtiene la tensión de paso máxima

El valor máximo de la tensión de paso, en voltios, para la configuración establecida en este MT, se puede obtener multiplicando el coeficiente K_p , indicado en la [tabla 7](#), por el valor de la resistividad del terreno en $\Omega.m$ y por el valor de la intensidad de defecto a tierra, I_E , que circule por el electrodo, en amperios.

$$U_{p.máx} = K_p \cdot I_E \cdot \rho_s$$

El valor de I_E , viene dado por la relación:

$$I_E = I'_{1Fp} \cdot r_E$$

El valor de r_E se estimará según lo indicado en el apartado 5.3.4.3.4

Designación del electrodo	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A} \right)$
CPT-CTL-5P	0,01455
CPT-CTL-8P	0,00621

Tabla 7.- Coeficiente de la tensión de paso, K_p , para los electrodos de puesta a tierra.

5.3.4.3.8 Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento de la tensión de paso, de acceso al Centro de Transformación.

Al ser el piso del centro de transformación de hormigón, con mallazo equipotencial, unido al sistema de puesta a tierra de protección, y el piso de la zona exterior de dicho centro, también de hormigón (salvo en el caso de red de 30 kV, que será aislante), al acceder una persona al centro de transformación, aparecerá una tensión de paso entre sus pies, al estar un pie al potencial del electrodo, y en el caso más desfavorable, el otro pie a potencial cero.

La tensión máxima, de paso de acceso, en este caso, viene dada por la expresión:

$$U_{p.máx.acc} = I_E \cdot R_T$$

siendo I_E , el valor de la corriente de falta a tierra que discurre por el electrodo, cuyo valor es:

$$I_E = I'_{1Fp} \cdot r_E$$

La determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones en caso de falta a tierra), que garantiza el cumplimiento de la tensión de paso, en el acceso, es función de la tensión máxima de paso aplicada, según indica la MIE-RAT 13 del RCE, siendo su valor:

$$U'_{pa} = \frac{U_{p.máx.acc}}{1 + \frac{3\rho_s + 3\rho_s^*}{Z_b}} \quad (V)$$

En función del valor de U'_{pa} , $U'_{pa} = 10U_{ca}$ se puede calcular la duración máxima admisible de la falta, t , utilizando para ello la curva U'_{pa} en función del tiempo.

5.3.4.3.9 Determinación de la distancia entre el electrodo de la puesta a tierra de protección y los elementos conectados a la puesta a tierra de las masas de utilización (edificio)

Para el caso de falta a tierra en el lado de alta tensión del centro de transformación, el electrodo de puesta a tierra de protección, debe situarse a una distancia de las masas metálicas enterradas conectadas a la puesta a tierra de utilización, de modo que, cualquiera de las masas metálicas, accesibles desde el exterior del edificio, conectadas a dicha puesta a tierra, no pueden estar a un potencial más elevado que la tensión de contacto admisible en la instalación.

En las tablas del [Anexo 3](#) se indican los valores de las distancias longitudinales y transversales desde el electrodo de puesta a tierra de protección, al edificio situado en las proximidades del electrodo de puesta a tierra de protección, que cumplen con los requisitos anteriores.

5.3.4.3.10 Verificación del nivel de aislamiento de los materiales de BT

Se verificará que la tensión que aparece en la instalación en caso de falta sea inferior a la tensión de aislamiento de los cuadros de BT del CT, en este caso 10 kV.

$$V = I'_{1Fp} \cdot R_{TOT} \quad \text{Siendo;} \quad I'_{1Fp} = \frac{1,1 \cdot U_n}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E}\right)^2}}$$

$$R_{TOT} = \frac{R_T \cdot R_{pant}}{R_T + R_{pant}} \quad r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} \quad R_T = \rho \cdot K_r \quad R_{pant} = \frac{\rho \cdot K_r}{N}$$

Donde K_r es el coeficiente de resistencia de puesta a tierra más desfavorable de los CT adicionales conectados a través de las pantallas, y N el número de CT adicionales.

5.3.4.3.11 Verificación del sistema de puesta a tierra elegido.

El sistema de puesta a tierra elegido, será válido siempre y cuando el tiempo de actuación de las protecciones instaladas en la red de distribución, para el caso de faltas a tierra, sea inferior al tiempo obtenido en los [puntos 7 y 8 de este apartado](#).

Las características de actuación de las protecciones, para el caso de faltas a tierra, instaladas en los sistemas de Iberdrola, se indican en la [tabla 6](#).

Las configuraciones adoptadas en el presente MT, para las condiciones de red (intensidad máxima de falta a tierra y tiempo) y resistividades del terreno especificadas, cumplen, adoptando las medidas descritas en el [punto 5](#) de este apartado, con los requisitos establecidos en la MIE-RAT 13 del RCE. Cuando las condiciones no fueran las que figuran en el presente MT, el proyectista deberá realizar el cálculo o justificación correspondiente.

6 MEDICIÓN DE LA Tensión CONTACTO Y DE PASO APLICADA

Para la medición de la tensión de contacto y de paso aplicada deberá usarse un método por inyección de corriente, debiéndose medir en distintos puntos del edificio donde va alojado el centro de transformación, incluyendo los más alejados al CT y en elementos metálicos que estén en la proximidad del electrodo.

Se emplearán fuentes de alimentación de potencia adecuada para simular el defecto, de forma que la corriente inyectada sea suficientemente alta, a fin de evitar que las medidas queden falseadas como consecuencia de corrientes vagabundas o parásitas circulantes por el terreno.

Consecuentemente, y a menos que se emplee un método de ensayo que elimine el efecto de dichas corrientes parásitas, por ejemplo, método de inversión de la polaridad, la intensidad inyectada no será inferior a 5 A.

Los cálculos se harán suponiendo que para determinar las tensiones de paso y de contacto posibles máximas existe proporcionalidad entre la intensidad inyectada y la intensidad de puesta a tierra.

Los electrodos de medición para la simulación de los pies, con una resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de cada pié de valor $R_{a2}=3\rho_s$, donde ρ_s es la resistividad superficial del suelo, deberán tener cada uno un área de 200 cm^2 y estarán presionando sobre la tierra con una fuerza mínima de 250 N.

- Para la medición de la tensión de contacto en cualquier parte de la instalación, los electrodos deberán estar situados juntos y a una distancia de un metro de la parte expuesta de la instalación. Para la simulación de la mano se empleará un electrodo capaz de perforar el recubrimiento de las partes metálicas para que no actúe como aislante.
- Para la medición de la tensión de paso en cualquier parte de la instalación, los electrodos deberán estar situados, sobre el terreno, a una distancia de un metro.

En ambos casos, para suelo seco u hormigón conviene colocar entre el suelo y los electrodos un paño húmedo o una película de agua.

Las mediciones se realizarán en general con un voltímetro de resistencia interna $1000\ \Omega$, que representa la impedancia del cuerpo humano, Z_B .

- Para la medida de la tensión de contacto aplicada, un terminal del voltímetro será conectado al electrodo que simula la mano y el otro terminal a los electrodos que simulan los pies. De esta forma, el voltímetro indicará directamente el valor de la medición de la tensión de contacto aplicada. $U'_{ca} = U_{\text{Voltmetro}}$, siempre que la intensidad inyectada sea igual a la intensidad de puesta a tierra. Para obtener la tensión de contacto aplicada, en el caso de considerarse calzado, se insertarán en el circuito de medida resistencias en serie que sumen $1000\ \Omega$, que simulará la resistencia del calzado de los pies de la persona. Para obtener la tensión de contacto aplicada, en el caso de no considerarse calzado, no será necesaria la inserción de la mencionada resistencia.

- Para la medida de la tensión de paso aplicada, un terminal del voltímetro será conectado a un electrodo que simula un pie y el otro terminal al electrodo que simula el otro pie. De esta forma, el voltímetro indicará directamente el valor de la medición de la tensión de paso aplicada. $U_{pa}' = U_{Voltmetro}$, siempre que la intensidad inyectada sea igual a la intensidad de puesta a tierra. . Para obtener la tensión de paso aplicada, en el caso de considerarse calzado, se insertarán en el circuito de medida resistencias en serie que sumen 4000 Ω , que simulará la resistencia del calzado de los pies de la persona. Para obtener la tensión de paso aplicada, en el caso de no considerarse calzado, no será necesaria la inserción de la mencionada resistencia.

En el caso de utilizar un voltímetro cuya resistencia interna incluya la resistencia del calzado, el valor de la medición de la tensión aplicada, vendrá determinado por:

- Para la medida de la tensión de contacto aplicada, con resistencia interna de 2000 Ω :

$$U_{cam} = \frac{U_{Voltmetro}}{2}$$

- Para la medida de la tensión de paso aplicada, con resistencia interna de 5000 Ω :

$$U_{pam} = \frac{U_{Voltmetro}}{5}$$

En caso de que los valores medidos estén por encima de los límites admisibles, se tomarán las medidas correctoras necesarias hasta que se verifique con nuevas mediciones el cumplimiento de los límites admisibles.

En caso de que haya elementos, tales como vallas, farolas, señales de tráfico, o cualquier elemento metálico que este clavado en el suelo, se deberán tener en cuenta en las mediciones de tensiones de paso y contacto.

7 PROTOCOLO DE VALIDACIÓN EN CAMPO DE LAS MEDIDAS REALIZADAS EN LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

- 1) Se comprobará que la tensión de contacto exterior es prácticamente nula y en cualquier caso inferior a 50 V.

Para ello, se realizará la medida de la tensión de contacto entre las partes metálicas accesibles desde el exterior al centro de transformación y el suelo, véase [figura 10](#). Caso de no ser nula, el diseño de la puesta a tierra del centro de transformación no es adecuado.

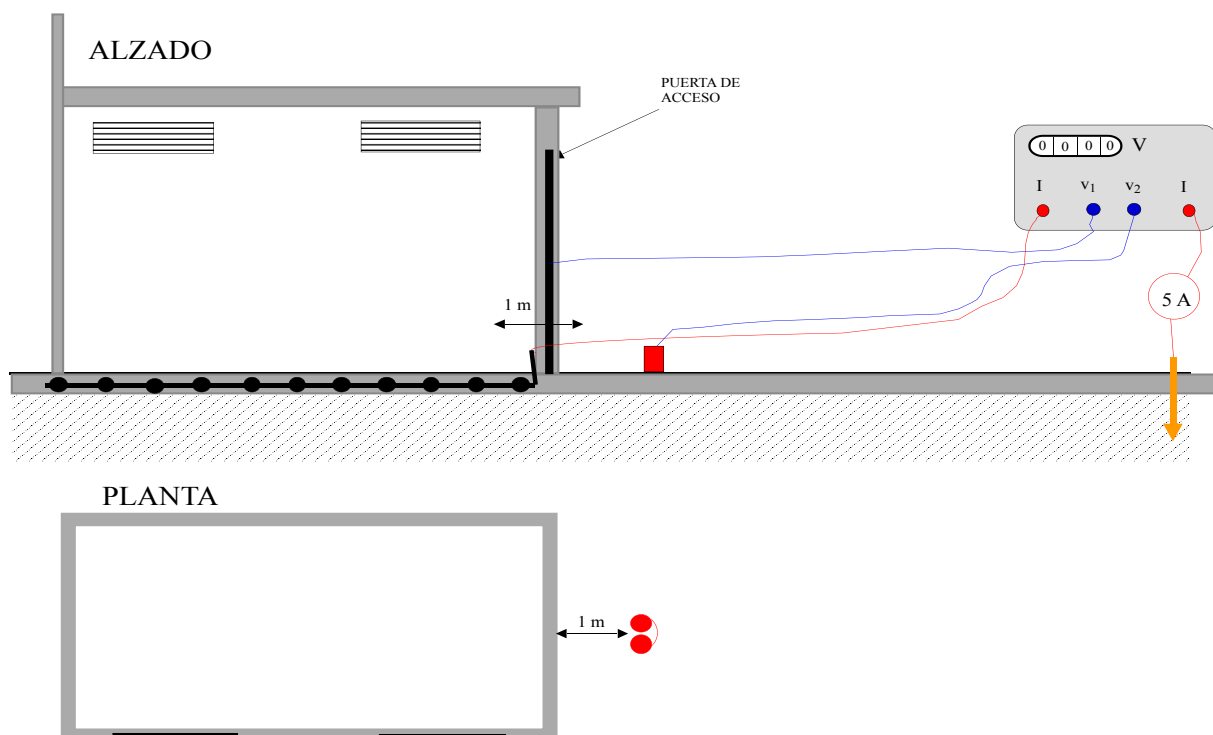


Figura 10.- Medida de la tensión de contacto exterior del propio centro de transformación.

Los electrodos de medición para la simulación de los pies con una resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de valor $R_{a2}=1,5\rho_s$, donde ρ_s es la resistividad superficial del suelo, deberán tener cada uno un área de 200 cm^2 y estarán presionando sobre el suelo con una fuerza mínima de 250 N. Para la medición de la tensión de contacto en cualquier parte de la instalación, dichos electrodos, situados en el suelo, deberán estar juntos y eléctricamente unidos entre sí. Para suelo seco u hormigón conviene colocar entre el suelo y los electrodos un paño húmedo o una película de agua.

Las mediciones se realizarán con un voltímetro con resistencias que representen la impedancia del cuerpo humano, y en su caso del calzado.

La tensión de contacto aplicada será:

$$U_{cam} = U_{\text{Voltmetro}},$$

siempre que la intensidad inyectada, I_m , sea igual a la intensidad de puesta a tierra, I_E .

Cuando la intensidad inyectada, I_m , sea sólo una fracción de la intensidad de puesta a tierra, I_E , la tensión de contacto aplicada se calculará como:

$$U_{cam} = U_{\text{Voltmetro}} \cdot \frac{I_E}{I_m}$$

La mayoría de los medidores de tensiones de contacto aplicada indican la tensión corregida según la fórmula anterior, es decir multiplicando la tensión de medida con el voltímetro por el factor, I_E/I_m . Para ello el valor de I_E , se debe de introducir mediante el teclado en la memoria del medidor de tensión de contacto.

Para obtener la tensión de contacto aplicada, en el caso de considerarse calzado, utilizando un voltímetro de resistencia interna 2000Ω , el valor de la medición de la tensión de contacto aplicada, U_{ca} , vendrá determinado por:

$$U_{cam} = \frac{U_{Voltmetro}}{2}$$

En este último caso, si además la intensidad inyectada, I_m , es sólo una fracción de la intensidad de puesta a tierra, I_E , la tensión de contacto aplicada se calculará como:

$$U_{cam} = \frac{U_{Voltmetro}}{2} \cdot \frac{I_E}{I_m}$$

El valor de $I_E = r_E \cdot I'F$, se puede determinar obteniendo el valor de r_E , por la relación:

- $r_E = 1$, para centros de transformación con pantallas desconectadas.

- $r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T}$, para centros de transformación con pantallas conectadas

Siendo $R_T (\Omega)$, el valor medido de la resistencia de puesta a tierra de protección, habiendo desconectado las pantallas de los cables subterráneos de A.T.

- 2) Se medirá la resistencia del sistema de puesta a tierra de protección, $R_{TOT} (\Omega)$, incluida la pantalla de los cables subterráneos.
- 3) Se medirá la resistencia del sistema de puesta a tierra de protección, $R_T (\Omega)$, desconectado del centro de transformación.
- 4) Se calculará el valor de r_E .

$$r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T}$$

- 5) Se calculará el valor de la intensidad de defecto a tierra existente en la instalación, mediante la expresión:

$$I'_{1Fp} = \frac{1,1 \cdot U_n}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E} \right)^2}}$$

Siendo los valores de U_n y X_{LTH} , los indicados en la [tabla 5](#).

- 6) Se calculará el tiempo de actuación de las protecciones en caso de defecto a tierra mediante las expresiones:

$$t = \frac{400}{I'_{1Fp}} \quad (s), \quad \text{para } U_n \leq 20 \text{ kV.}$$

$$t = \frac{2200}{I'_{1Fp}} \quad (s), \quad \text{para } U_n = 30 \text{ kV.}$$

- 7) Se determinarán los valores máximos de la tensión de contacto y de paso aplicada a la persona, en función del tiempo t .
- 8) Se medirá la tensión de contacto en el exterior del edificio ($U_{ca.m}$), sobre las partes metálicas del edificio destinado a otros usos (puertas, rejas, vallas, etc.), incluso sobre las que se encuentren más alejadas del CT (véase [figura 10](#)). También se medirán las tensiones de paso en las proximidades del electrodo ($U_{pa.m}$) y de paso en el acceso ($U_{pacc.m}$), tal como indica la [figura 11](#).

Para ello, con el equipo de medida correspondiente, se inyectará una intensidad de valor I_m (A), preferentemente de 5 A. Se anotará el valor de la intensidad inyectada I_m , en amperios.

La medida de la tensión de contacto exterior, (U_{cam}) (V), se efectuará entre una parte metálica accesible en el exterior del edificio y entre los electrodos del equipo de medida que simulan los pies de la persona, colocados juntos encima de la acera perimetral del edificio (Véase [figura 11](#)).

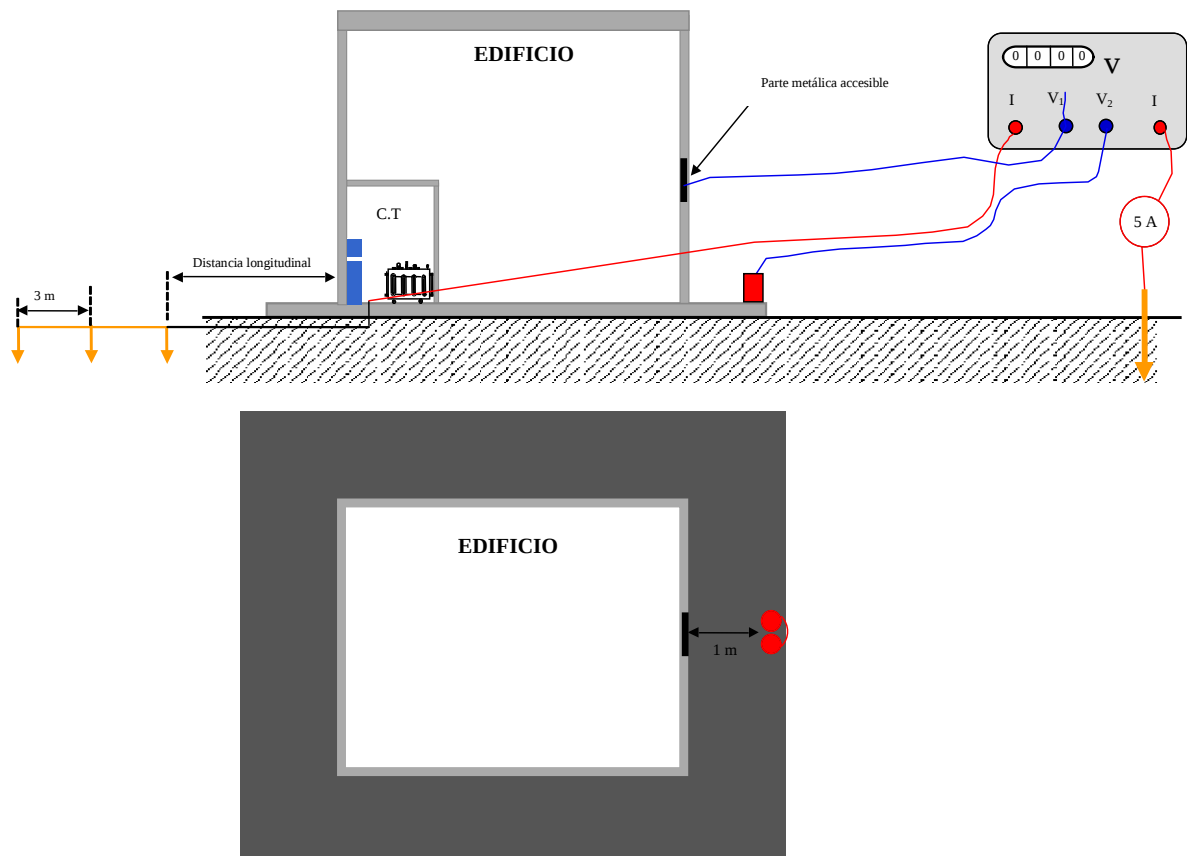


Figura 11.- Medida de la tensión de contacto exterior, U_{cam}

La medida de la tensión de paso, U_{pam} (V), se efectuará sobre el terreno situado encima del electrodo de puesta a tierra, colocando los electrodos que simulan los pies de la persona, distanciados a 1 m (Véase [figura 12](#)).

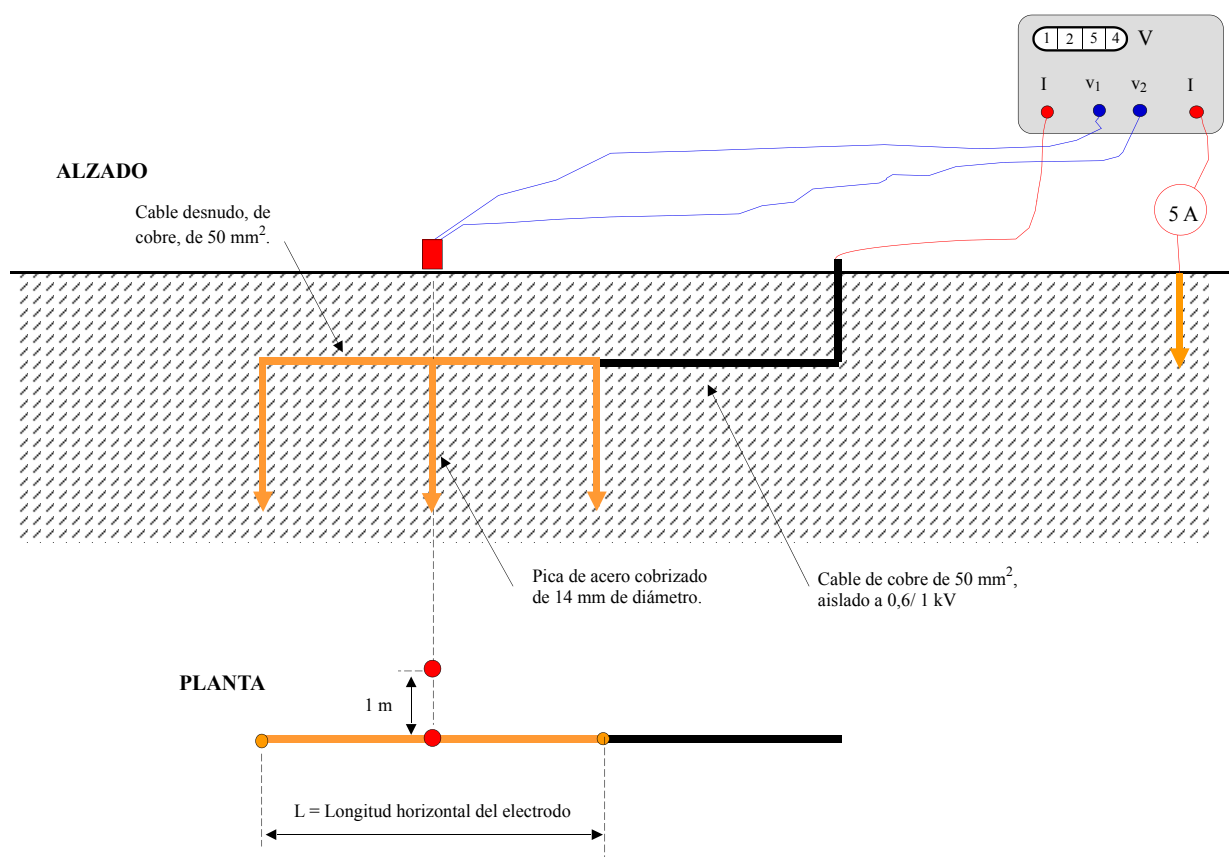


Figura 12.- Medida de la tensión de paso, U_{pam} , con los dos pies en el terreno.

La medida de la tensión de paso en el acceso, U_{pacm} (V), para centros de transformación conectados a una red de tensión nominal ≤ 30 kV, se efectuará colocando los electrodos que simulan los pies de la persona distanciados a 1 m, uno dentro del centro de transformación y otro fuera del mismo (Véase [figura 13](#)).

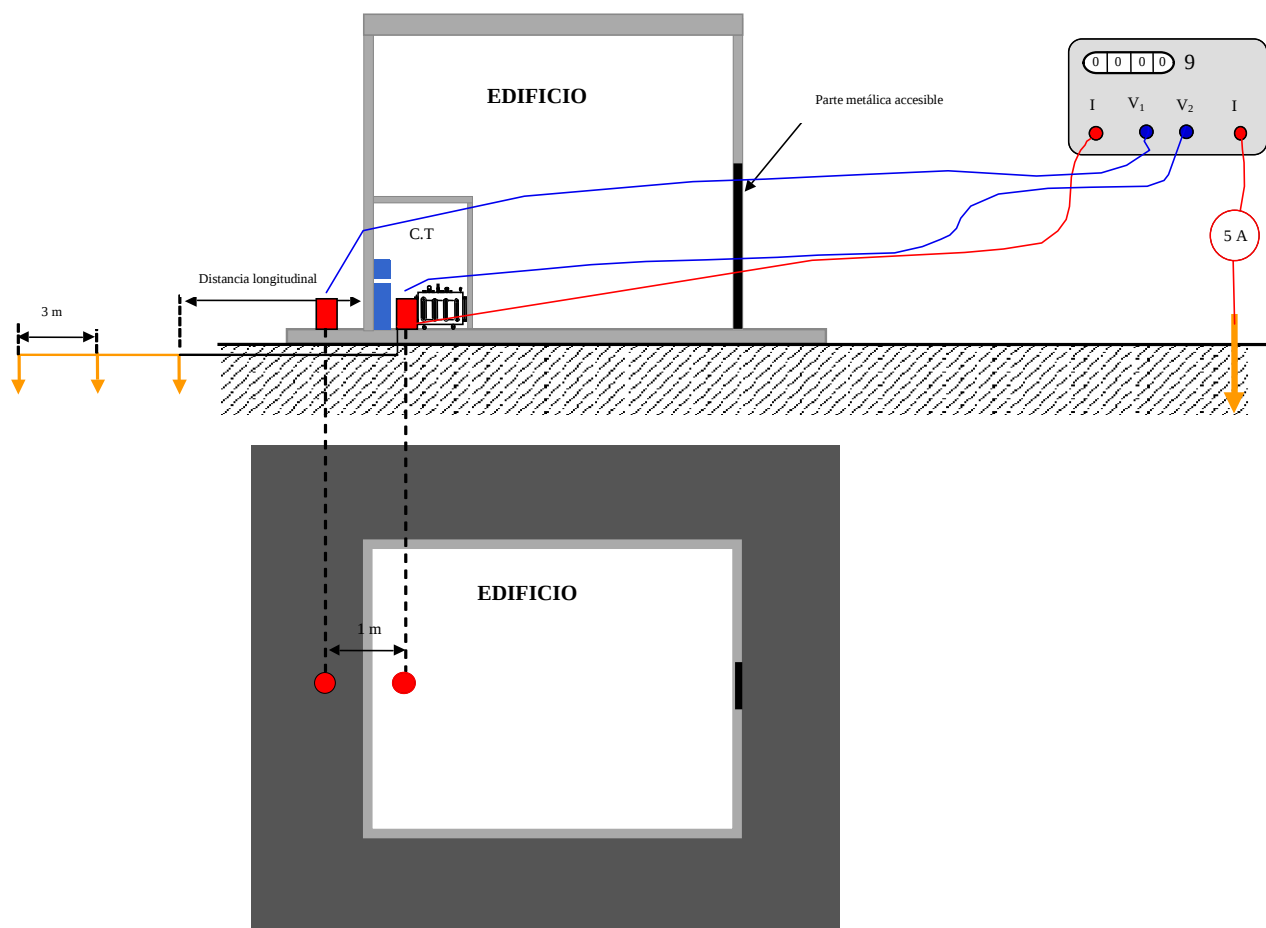


Figura 13.- Medida de la tensión de paso en el acceso, $U_{pacc.m}$.

$(U_{ca.m}, U_{pa.m}, U_{pacc.m}) = U_{Volumetro}$, siempre que la intensidad inyectada, I_m , sea igual a la intensidad de puesta a tierra, I_E .

Cuando la intensidad inyectada, I_m , sea sólo una fracción de la intensidad de puesta a tierra, I_E , la tensión de paso aplicada se calculará como:

$$U_{paml} = U_{Volumetro} \cdot \frac{I_E}{I_m}$$

La mayoría de los medidores de tensiones de paso aplicada indican la tensión corregida según la fórmula anterior, es decir multiplicando la tensión de medida con el voltímetro por el factor, I_E/I_m . Para ello el valor de I_E , se debe de introducir mediante el teclado en la memoria del medidor de tensión de paso.

Para obtener la tensión de paso aplicada, en el caso de considerarse calzado, utilizando un voltímetro de resistencia interna 5000 Ω , el valor de la medición de la tensión de paso aplicada, U_{pa} , vendrá determinado por:

$$U_{paml} = \frac{U_{Volumetro}}{5}$$

En este último caso, si además la intensidad inyectada, I_m , es sólo una fracción de la intensidad de puesta a tierra, I_E , la tensión de contacto aplicada se calculará como:

$$U_{pa.m} = \frac{U_{\text{Voltmetro}}}{5} \cdot \frac{I_E}{I_m}$$

Siendo $I_E = r_E \cdot I'_{1Fp}$,

- 9) Si el valor obtenido para $U_{ca.m}$, $U_{pa.m}$, $U_{pacc.m}$, es menor o igual que el valor admisible de la tensión de contacto aplicada, $U_{máx.ca}$, paso aplicada, $U_{máx.pa}$ o paso en el acceso aplicada, $U_{máx.pacc}$ respectivamente, calculada en el [punto 7](#), el diseño de la puesta a tierra del centro de transformación es adecuado, cumpliendo con los requisitos establecidos en la MIE- RAT 13 del RCE.
- 10) Adicionalmente, se deberá medir la elevación de tensión de la tierra de protección, para el caso de defectos a tierra en la parte de alta tensión del centro de transformación. Para ello se multiplicará el valor medido de la resistencia en paralelo de todos los CT por la intensidad ($r_E \cdot I'_{1F}$) calculada anteriormente. Si la tensión obtenida es menor de 1000 V, se dejarán las dos tierras conectadas en la caja de unión de tierras y se marcará esta posición como habitual en dicha caja. En caso de que sea igual o superior a 1000 V, se dejarán desconectadas, y se marcará esta posición como habitual en la caja de unión de tierras.

ANEXO 1. TABLAS

En las siguientes tablas se muestran las resistividades máximas para los cuales el electrodo es válido, dependiendo nivel de tensión y del número (N) de CT conectados a través de las pantallas de los cables:

- $\rho_{\max}$: resistividad del terreno máxima para la cual es válido y se puede utilizar cada electrodo. Para resistividades mayores a las indicadas en las tablas se añadirá flagelo.
- N: Mínimo número de CT adicionales conectados a través de las pantallas.
- K_r : coeficiente de resistencia de puesta a tierra.
- K_r' : coeficiente de resistencia de puesta a tierra más desfavorable de los CT adicionales

$$\frac{\Omega}{\text{conectados a través de las pantallas } (0.088 \frac{\Omega.m}{\Omega})}$$
- K_p : coeficiente de tensión de paso.

Para la red de 30 kV se ha considerado una Intensidad máxima de falta a tierra de 5000 A.

Para instalaciones cuya Intensidad de falta puedan ser superiores a 5000 A será necesario un proyecto específico para calcular el electrodo necesario.

La tensión que aparece en la instalación debe ser menor a 10 kV.

Tensión de red ≤ 20 kV

Designación del electrodo	$\rho_{\max}$ ($\Omega.m$)								$<20\text{ kV}$ N=1	K_r $\left(\frac{\Omega}{\Omega.m}\right)$	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
	20 kV con $I'_{1Fp}=2228\text{ A}$			20 kV con $I'_{1Fp}=1000\text{ A}$			20 kV con $I'_{1Fp}=500\text{ A}$				
	N=2	N=4	N=10	N=1	N=2	N=4	N=1	N=2			
CPT-CTL-5P	200	400	900	300	500	900	700	1000	1000	0,0852	0,01455

Tensión de red: 30 kV, con $I'_{1Fp} < 5000$ A

Designación del electrodo	$\rho_{\max}$ ($\Omega.m$)				K_r $\left(\frac{\Omega}{\Omega.m}\right)$	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
	N=3	N=6	N=14	N=21		
CPT-CTL-8P	100	200	400	600	0,0556	0,00621

ANEXO 2. HOJA DE TOMA DE DATOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN Nº	Valor medido de la resistencia de puesta a tierra con pantallas $R_{TOT}(\Omega)$	Valor medido de la resistencia de puesta a tierra sin pantallas $R_T(\Omega)$	$r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T}$	Tensión nominal de la red $U_n(V)$	Valor considerado de la reactancia $X_{LTH}(\Omega)$	Intensidad calculada de defecto a tierra $I'_{1F}(A)$	Tiempo calculado de actuación de la protección $t(s)$	Intensidad calculada de puesta a tierra $I_E(A)$

Valor de la tensión de contacto aplicada admisible $U_{m\acute{a}x.ca}(V)$	Intensidad inyectada con el medidor $I_m(A)$	Valor medido de la tensión de contacto aplicada $U_{cam}(V)$	Valor de la tensión de paso obtenida, corregida (*) $U_{ca} = U_{cam} \cdot \frac{I_E}{I_m}(V)$	$U_{ca} \leq U_{m\acute{a}x.ca}$ SI --- CUMPLE NO—NO CUMPLE

Valor de la tensión de paso aplicada admisible $U_{m\acute{a}x.pa}(V)$	Intensidad inyectada con el medidor $I_m(A)$	Valor medido de la tensión de paso aplicada $U_{pam1}(V)$	Valor mayor de la tensión de paso obtenida, corregida (*) $U_{pa} = U_{pam1} \cdot \frac{I_E}{I_m}(V)$	$U_{pa} \leq U_{m\acute{a}x.pa}$ SI --- CUMPLE NO—NO CUMPLE

Valor de la tensión de paso en el acceso aplicada admisible $U_{m\acute{a}x.pacc}(V)$	Intensidad inyectada con el medidor $I_m(A)$	Valor medido de la tensión de paso en el acceso aplicada $U_{pam2}(V)$	Valor mayor de la tensión de paso obtenida, corregida (*) $U_{pacc} = U_{pam2} \cdot \frac{I_E}{I_m}(V)$	$U_{pacc} \leq U_{m\acute{a}x.pacc}$ SI --- CUMPLE NO—NO CUMPLE

*Las formulas representadas corresponden al voltímetro de resistencia interna de 1000 Ω . En caso de utilizar voltímetros cuya resistencia interna incluya la resistencia del calzado, se aplicarán las formulas descritas en el apartado 6

ANEXO 3. DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES DESDE EL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA AL EDIFICIO

Nota: para calcular estas distancias se ha considerado una r_E de 0.5

U_n (kV)	Nº picas de 2 m	Resistividad superficial del suelo en la superficie perimetral, distanziata a 1 m del edificio ρ_s (Ω .m)	(%) de circulación de corriente de falta a tierra por las pantallas	DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES			DISTANCIAS MÍNIMAS TRANSVERSALES		Distancia mínima entre electrodo(flag elo) y tierra de servicio (m)
				Largo del edificio (m)	Resistivi dad del terreno ρ (Ω .m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	Ancho del edificio (m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	
≤ 20	5	3000 (*)	50	15	200	15	15	15	14,4
					300	15		15	16,3
					400	15		15,5	17,1
					500	15		18,1	17,5
					600	15,7		20,5	17,8
					700	17,1		21,9	17,9
					800	17,5		22,3	18,0
					900	17,8		22,6	18,1
					1000	18,1		23,0	18,1

U_n (kV)	Nº picas de 2 m	Resistividad superficial del suelo en la superficie perimetral, distanciada a 1 m del edificio ρ_s (Ω .m)	(%) de circulación de corriente de falta a tierra por las pantallas	DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES			DISTANCIAS MÍNIMAS TRANSVERSALES		Distancia mínima entre electrodo(flag elo) y tierra de servicio (m)
				Largo del edificio (m)	Resistivid ad del terreno ρ (Ω .m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	Ancho del edificio (m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	
≤ 20	5	3000 (*)	50	20	200	15	20	15	14,4
					300	15		15	16,3
					400	15		17,0	17,1
					500	15,2		19,9	17,5
					600	17,7		22,6	17,8
					700	19,3		24,2	17,9
					800	19,7		24,7	18,0
					900	20,1		25,1	18,1
					1000	20,4		25,4	18,1

U_n (kV)	Nº picas de 2 m	Resistividad superficial del suelo en la superficie perimetral, distanciada a 1 m del edificio ρ_s (Ω .m)	(%) de circulación de corriente de falta a tierra por las pantallas	DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES			DISTANCIAS MÍNIMAS TRANSVERSALES		Distancia mínima entre electrodo(flag elo) y tierra de servicio (m)
				Largo del edificio (m)	Resistivid ad del terreno ρ (Ω .m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	Ancho del edificio (m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	
≤ 20	5	3000 (*)	50	25	200	15	25	15	14,4
					300	15		15	16,3
					400	15		18,2	17,1
					500	16,6		21,4	17,5
					600	19,4		24,3	17,8
					700	21,1		26,2	17,9
					800	21,6		26,6	18,0
					900	22,0		27,1	18,1
					1000	22,4		27,5	18,1

U_n (kV)	Nº picas de 2 m	Resistividad superficial del suelo en la superficie perimetral, distanciada a 1 m del edificio ρ_s ($\Omega.m$)	(%) de circulación de corriente de falta a tierra por las pantallas	DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES			DISTANCIAS MÍNIMAS TRANSVERSALES		Distancia mínima entre electrodo(flag elo) y tierra de servicio (m)
				Largo del edificio (m)	Resistiv ad del terreno ρ ($\Omega.m$)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	Ancho del edificio (m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	
≤ 20	5	3000 (*)	50	100	200	15	100	15	14,4
					300	15		19,7	16,3
					400	20,2		25,3	17,1
					500	25,3		30,5	17,5
					600	30,1		35,4	17,8
					700	33,1		38,5	17,9
					800	33,9		39,3	18,0
					900	34,6		40,1	18,1
					1000	35,3		40,7	18,1

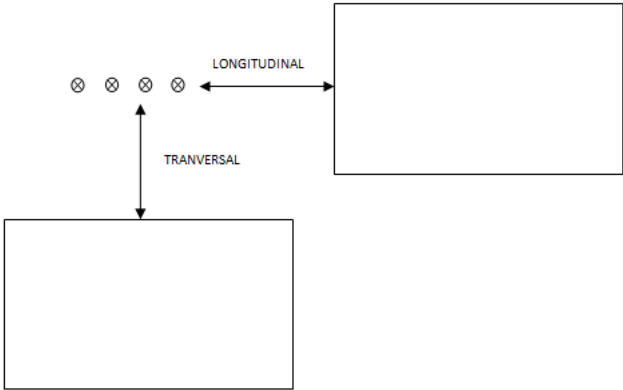
U_n (kV)	Nº picas de 2 m	Resistividad superficial del suelo en la superficie perimetral, distanciada a 1 m del edificio ρ_s ($\Omega.m$)	(%) de circulación de corriente de falta a tierra por las pantallas	DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES			DISTANCIAS MÍNIMAS TRANSVERSALES		Distancia mínima entre electrodo(flag elo) y tierra de servicio (m)
				Largo del edificio (m)	Resistiv ad del terreno ρ ($\Omega.m$)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	Ancho del edificio (m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	
30	8	3000 (*)	50	15	200	21,6	15	29,6	41,3
					300	27,8		36,2	43,1
					400	29,2		37,6	43,8
					500	30,2		38,7	44,2
					600	31,0		39,5	44,4
					700	31,7		40,2	44,5
					800	32,3		40,8	44,6
					900	32,8		41,4	44,6
					1000	33,1		41,7	44,6

U _n (kV)	Nº picas de 2 m	Resistividad superficial del suelo en la superficie perimetral, distanciada a 1 m del edificio ρ_s (Ω .m)	(%) de circulación de corriente de falta a tierra por las pantallas	DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES			DISTANCIAS MÍNIMAS TRANSVERSALES		Distancia mínima entre electrodo(flag elo) y tierra de servicio (m)
				Largo del edificio (m)	Resistivid ad del terreno ρ (Ω .m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	Ancho del edificio (m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	
30	8	3000 (*)	50	20	200	24,8	20	33,1	41,3
					300	32,0		40,6	43,1
					400	33,5		42,2	43,8
					500	34,7		43,4	44,2
					600	35,6		44,4	44,4
					700	36,4		45,2	44,5
					800	37,0		45,9	44,6
					900	37,6		46,5	44,6
					1000	38,0		46,8	44,6

U _n (kV)	Nº picas de 2 m	Resistividad superficial del suelo en la superficie perimetral, distanciada a 1 m del edificio ρ_s (Ω .m)	(%) de circulación de corriente de falta a tierra por las pantallas	DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES			DISTANCIAS MÍNIMAS TRANSVERSALES		Distancia mínima entre electrodo(flag elo) y tierra de servicio (m)
				Largo del edificio (m)	Resistivid ad del terreno ρ (Ω .m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	Ancho del edificio (m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	
30	8	3000 (*)	50	25	200	27,5	25	36,0	41,3
					300	35,5		44,3	43,1
					400	37,2		46,1	43,8
					500	38,5		47,4	44,2
					600	39,5		48,4	44,4
					700	40,4		49,3	44,5
					800	41,1		50,1	44,6
					900	41,8		50,8	44,6
					1000	42,2		51,2	44,6

U _n (kV)	Nº picas de 2 m	Resistividad superficial del suelo en la superficie perimetral, distanciada a 1 m del edificio ρ _s (Ω.m)	(%) de circulación de corriente de falta a tierra por las pantallas	DISTANCIAS MÍNIMAS LONGITUDINALES			DISTANCIAS MÍNIMAS TRANSVERSALES		Distancia máxima entre electrodo(flag elo) y tierra de servicio (m)
				Largo del edificio (m)	Resistivid ad del terreno ρ (Ω.m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	Ancho del edificio (m)	Separación del electrodo (flagelo) al edificio (m)	
30	8	3000 (*)	50	100	200	46,9	100	56,2	41,3
					300	61,7		71,3	43,1
					400	64,9		74,5	43,8
					500	67,3		76,9	44,2
					600	69,3		78,9	44,4
					700	70,9		80,5	44,5
					800	72,3		81,9	44,6
					900	73,5		83,2	44,6
					1000	74,3		84,0	44,6

(*) Esta consideración es para suponer que la persona cuando toca algún elemento metálico del edificio, se encuentra (sin calzado como contempla el RCE) pisando sobre un suelo de baldosa, adoquín, hormigón, etc., suelo típico urbano tanto fuera como dentro del edificio.



ANEXO 4. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROCEDIMIENTO**Datos de la red de distribución y ubicación.**

Diseñar el sistema de puesta a tierra de protección de un centro de transformación emplazado en el interior de un edificio.

Datos necesarios:

- Tensión nominal de la línea: $U_n = 20 \text{ kV}$
- Intensidad máxima de falta a tierra: $I_{1F} = 2228 \text{ A}$
- Resistividad del terreno: $\rho = 700 \text{ } \Omega.m$
- Características de actuación de las protecciones: $I'_{1F}.t = 400$
- Número de CT conectados a través de pantallas: $N=8$

Solución:

- Electrodo utilizado: CPT-CTL-5P

$$K_r = 0,0852 \frac{\Omega}{\Omega.m}$$

$$K_r' = 0,088 \frac{\Omega}{\Omega.m}$$

- Resistencia de tierra del CT

$$R_T = K_r \cdot \rho = 0,0852 \cdot 700 = 59,64 \Omega$$

- r_E

$$R_{pant} = \frac{\rho \cdot K_r'}{N} = \frac{700 \cdot 0,088}{8} = 7,7 \Omega$$

$$R_{TOT} = \frac{R_T \cdot R_{pant}}{R_T + R_{pant}} = \frac{59,6 \cdot 7,7}{59,6 + 7,7} = 6,81 \Omega$$

$$r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} = 0,114$$

- Reactancia equivalente de la subestación

$$X_{LTH} = 5,7 \Omega$$

- Cálculo de la intensidad de la corriente de defecto a tierra.

$$I'_{1Fp} = \frac{1,1 \cdot U_n}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E} \right)^2}} = \frac{1,1 \cdot 20000}{0,114 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{59,64^2 + \left(\frac{5,7}{0,114} \right)^2}} = 1429 \text{ A}$$

a) Cumplimiento del requisito correspondiente a la tensión de contacto interior y exterior del propio centro de transformación.

- Las puertas y rejillas metálicas que den al exterior del centro estarán aisladas, no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión, debido a defectos o averías.
- En el piso del centro de transformación se instalará un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm, formando una retícula no superior a 0,30 x 0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos preferentemente opuestos a la puesta a tierra de protección del centro. Con esta disposición se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, esté sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm de espesor como mínimo. Véase figura 8.
- No deberá haber partes metálicas puestas a tierra dentro del centro de transformación, que se puedan tocar teniendo los pies en el exterior del centro.

b) Cumplimiento del requisito correspondiente a la tensión de paso.

- Determinación de la tensión de paso máxima que aparece en la instalación.

$$K_p = 0,01455 \frac{V}{A(\Omega.m)}$$

$$U_{pa} = K_p \cdot \rho \cdot I_E = K_p \cdot \rho \cdot r_E \cdot I'_{1Fp} = 0,01455 \cdot 700 \cdot 0,114 \cdot 1429 = 1659 \text{ V}$$

- Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona.

$$U'_{pa} = \frac{U_{pa}}{1 + \frac{6\rho_s}{Z_b}} \quad (V)$$

$$U'_{pa} = \frac{1659}{1 + \frac{6 \cdot 700}{1000}} = 319 \text{ V}$$

- Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones).

$$t = \frac{400}{I'_{1F}} = \frac{400}{1429} = 0,28 \text{ s}$$

- Determinación de la tensión de paso admisible establecida por el RCE.

Según la [figura 2](#), como $U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$, el valor de la tensión de paso aplicada máxima admisible no será superior a 1146 V, para el tiempo especificado de 0,28 s.

- Verificación del cumplimiento con la tensión de paso.

Como, $U'_{pa} = 319 \text{ V} < 1146 \text{ V}$ el electrodo considerado, **CPT-CTL-5P**, **cumple con el requisito reglamentario.**

c) Cumplimiento del requisito correspondiente a la tensión de paso en el acceso.

Al ser el piso del centro de transformación de hormigón, con mallazo equipotencial, unido al sistema de puesta a tierra de protección, y el piso de la zona exterior de dicho centro, también de hormigón, al acceder una persona al centro de transformación, aparecerá una tensión de paso entre sus pies, al estar un pie al potencial del electrodo, y en el caso más desfavorable, el otro pie a potencial cero.

- Determinación de la tensión máxima de paso en acceso que aparece en la instalación.

$$U_{p.máx.acc} = I_E \cdot R_T = I'_{1Fp} \cdot r_E \cdot R_T = 1429 \cdot 0,114 \cdot 59,64 = 9715 \text{ V}$$

- Determinación de la tensión máxima de acceso aplicada a la persona.

$$U'_{pa} = \frac{U_{p.máx.acc}}{1 + \frac{6\rho_s^*}{Z_b}} = \frac{9715}{1 + \frac{6 \cdot 3000}{1000}} = 511 \text{ (V)}$$

- Determinación de la tensión de paso admisible establecida por el RCE.

Según la [figura 2](#), como $U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$, el valor de la tensión de paso aplicada máxima admisible no será superior a 1146 V, para el tiempo especificado de 0,28 s.

- Verificación del cumplimiento con la tensión de paso en el acceso.

Como, $U'_{pa} = 511 \text{ V} < 1146 \text{ V}$ el electrodo considerado, **CPT-CTL-5P, cumple con el requisito reglamentario.**

d) Cumplimiento del requisito correspondiente a la tensión que aparece en la instalación.

$$V = I'_{1Fp} \cdot R_{TOT} = 1429 \cdot 6,81 = 9731 \text{ V}$$

Como, $V = 9731 \text{ V} < 10000 \text{ V}$ el electrodo considerado, **CPT-CT-A-(4x5)+8P2, cumple con el requisito establecido por Iberdrola.**