

PUESTA A TIERRA DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

1. OBJETIVOS DE UNA PUESTA A TIERRA

Se ha visto al analizar el fenómeno del contacto directo e indirecto que en los circuitos es necesario mantener ciertos puntos de los mismos o de envolventes de sus equipos, conectados un potencial fijo y estable denominado “potencial de tierra”. Tal necesidad obedece principalmente a razones de seguridad y por ello los objetivos de una Puesta a Tierra o, más correctamente de un Sistema de Puesta a Tierra, los podemos definir como:

- Permitir la circulación (descarga) a tierra de corrientes de falla a tierra, de la naturaleza que sean.
- Mantener los potenciales producidos por las corrientes de falla dentro de los límites de seguridad.
- Contribuir a que la actuación de los sistemas de protección lo sea en el tiempo adecuado, para seguridad de las personas y del equipamiento.
- Mantener un potencial de referencia en algún punto, que por razones técnicas requiera un sistema eléctrico o electrónico.

Se puede concluir que la o las puestas a tierra se diseñan y ejecutan para cumplir con prescripciones de seguridad y requerimientos técnicos funcionales de las instalaciones eléctricas.

2. TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Conforme a ello se definen los siguientes tipos de Sistemas de Puesta a Tierra:

- **De protección:** Es la puesta a tierra que tiene por objetivo proteger a las personas y animales contra los riesgos derivados de contactos con partes conductoras que, estando no sometidas normalmente a tensión, puedan quedar sometidas a tensiones peligrosas como consecuencia de un defecto, generalmente por falla de aislamiento, en una instalación. Para lograr este objetivo todas las masas susceptibles de quedar bajo tensión deben ser conectadas al conductor de puesta a tierra de protección. Desde el punto de vista de la seguridad de las personas esta instalación tiene por objeto proteger a las mismas de los accidentes por contacto indirecto.
- **Funcional o de Servicio:** Es la puesta a tierra que tiene por objetivo asegurar el correcto funcionamiento del equipamiento eléctrico y permitir un funcionamiento confiable de la instalación. Dependiendo de las características de la instalación, la puesta a tierra de protección y la funcional pueden ser independientes o en una misma puesta a tierra combinarse ambas funciones. En este último caso, en el diseño de la puesta a tierra siempre se dará prioridad a lo prescripto por las regulaciones o reglamentos, para la puesta a tierra de protección.
- **De referencia:** Es la instalación destinada a brindar un potencial constante, que podrá ser empleado para tener una referencia, generalmente respecto del potencial de tierra, en la conexión de equipos. Se emplea para garantizar el funcionamiento

correcto, seguro y confiable de una instalación sobre todo del tipo de datos o comunicaciones (instalaciones de corrientes débiles).

- **De pararrayos:** Es un sistema especial destinado a proteger personas y bienes de las descargas atmosféricas (rayos). La instalación se diseña especialmente para conducir a tierra las corrientes y sobretensiones producidas por descargas atmosféricas sobre los pararrayos y descargadores de protección en líneas de energía. También cumplen el objetivo de limitar eventuales sobretensiones de maniobra producidas en las propias instalaciones. Por sus características, este sistema nunca debe ser asociado ni vinculado a cualquiera de los otros sistemas.

3. DEFINICIONES

Las definiciones expuestas a continuación son aplicables a cualquiera de los sistemas de puesta a tierra mencionados en 2.

Electrodo de puesta a tierra: Elemento conductor eléctrico de características físicas definidas, que es utilizado para establecer una Toma de Tierra.

Toma de tierra: Parte integrante de un Sistema de Puesta a tierra (SPAT), compuesto por uno o más electrodos de puesta a tierra, que, hincados o enterrados en el terreno e interconectados eléctricamente, permite establecer un contacto físico y eléctrico con el terreno (tierra).

Conductor de puesta a tierra: Conductor eléctrico de características especiales que vincula a la Toma de Tierra con el borne o barra principal del SPAT de una instalación eléctrica.

Borne principal de tierra: Borne o barra, previsto para la conexión al conductor de puesta a tierra, de los conductores de protección y conductores de conexión equipotencial.

Sistema de Puesta a Tierra (SPAT): Conjunto compuesto por la Toma de Tierra, el Conductor de Puesta a Tierra y el Borne Principal de Puesta a Tierra, diseñado y construido para cumplir con las normas de seguridad referentes a la protección de seres vivos y funcionamiento de dispositivos de protección.

Masa: Parte conductora de un equipamiento eléctrico que puede ser tocada y que normalmente no está bajo tensión pero que puede ser puesta bajo tensión en caso de falla del aislamiento principal. No se considera masa una parte conductora de un equipamiento eléctrico que solo puede ser puesta bajo tensión a través de otra masa.

Tierra local: Zona del suelo en contacto físico y eléctrico con una toma de tierra, y cuyo potencial eléctrico no es necesariamente igual a cero.

Tierra de referencia: Zona del suelo conductor cuyo potencial eléctrico es considerado, por convención, igual a cero. Para el cumplimiento de esa condición, esa zona de suelo no debe estar influenciada por instalación eléctrica. A la Tierra de Referencia también se la denomina "Tierra Lejana".

Resistencia de puesta a tierra: Valor de la resistencia eléctrica que presenta un Sistema de Puesta a Tierra entre el borne principal de tierra y la tierra de referencia. El valor resultante de su medición permite evaluar y predecir el estado y comportamiento de un Sistema de Puesta a Tierra.

4. INSTALACIONES QUE DEBEN SER CONECTADAS A UN SPAT

Al sistema de puesta a tierra que corresponda según su clasificación se conectarán,

- Los tomacorrientes y las masas metálicas de una instalación eléctrica del cualquiera sea su tipo.
- Las estructuras metálicas y las armaduras de columnas y muros de hormigón.
- Las instalaciones interiores ejecutadas con conducciones metálicas correspondientes a los servicios de agua y calefacción así como calderas, depósitos, instalaciones de ascensores y montacargas, y en general toda estructura metálica sea de índole fija, móvil o provisoria que pueda quedar accidentalmente bajo tensión.
- Las instalaciones de pararrayos
- Las instalaciones de radioeléctricas en general.

5. CONFIGURACION DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

5.1. Resistencia de puesta a tierra

Ante un accidente eléctrico, las protecciones eléctricas deben actuar desconectando la alimentación en tiempos que aseguren salvaguardar a la instalación como también limitar los efectos fisiológicos que sobre el cuerpo humano se pudieran producir; esta exigencia requiere entre otras cosas un comportamiento eficaz del sistema de puesta a tierra.

Para evaluar el comportamiento eficaz de un sistema de puesta a tierra se define el concepto de “Resistencia de Puesta a Tierra” que es el valor de resistencia que presentará el sistema a la corriente de falla que sea derivada hacia tierra; a efectos de no originar tensiones peligrosas, es necesario que el valor de la resistencia de puesta a tierra se mantenga lo más bajo posible.

Por ello las normas técnicas relativas a instalaciones eléctricas establecen los valores máximos admisibles de la Resistencia de Puesta a Tierra de una instalación, conforme al tipo de instalación que se trate.

Las normas también determinan que deben ponerse a tierra las partes metálicas de los aparatos e instalaciones que no pertenezcan al circuito de servicio, y que puedan entrar en contacto con partes sometidas a tensión en caso de avería o establecimiento de arcos.

Por tal motivo, es necesario disponer para los aparatos y otras partes de la instalación, de alguna una forma de conexión al sistema de tierra lo cual se logra

disponiendo a lo largo de la instalación de un conductor que permite conectar a él las partes a proteger con la toma de puesta a tierra; a ese conductor se lo denomina “conductor de protección”.

En las instalaciones de mediana y gran potencia como pueden ser ciertas instalaciones industriales, grandes edificios, etc. se implantan sistemas de puesta a tierra independientes para las masas metálicas de los aparatos eléctricos, para la conexión de los neutros de los transformadores de potencia y para la conexión de los pararrayos o descargadores.

Por ello, la concepción y diseño de un sistema de puesta a tierra debe contemplar los aspectos indicados.

5.2. Esquema simple de un sistema de puesta a tierra

En la figura 1. se presenta la instalación de un SPAT para una vivienda. En la misma se incluyen los aspectos más destacables de una instalación simple

Se indica a continuación la simbología utilizada en la ilustración:

- M - Masa
- C1 - Cañerías metálicas de agua, entrantes.
- C2 - Cañerías metálicas de gas, entrantes
- C3 - Conductos metálicos de aire acondicionado.
- C4 - Sistemas de calefacción.
- C5 - P.ej. cañerías de agua metálicas en el baño.
- C6 - Elementos conductores que pueden tocarse simultáneamente con las manos.
- BPT - Borne Principal de puesta a Tierra.
- T1 - Toma de tierra de protección.
- T2 - Toma de tierra del sistema de protección contra rayos.
- PE(CP) - Conductor de protección.
- CES - Conductor de conexión equipotencial para conexiones suplementarias.
- B-SPR - Conductores de Bajada del Sistema de Protección contra Rayos.
- CPAT - Conductor de Puesta a Tierra.

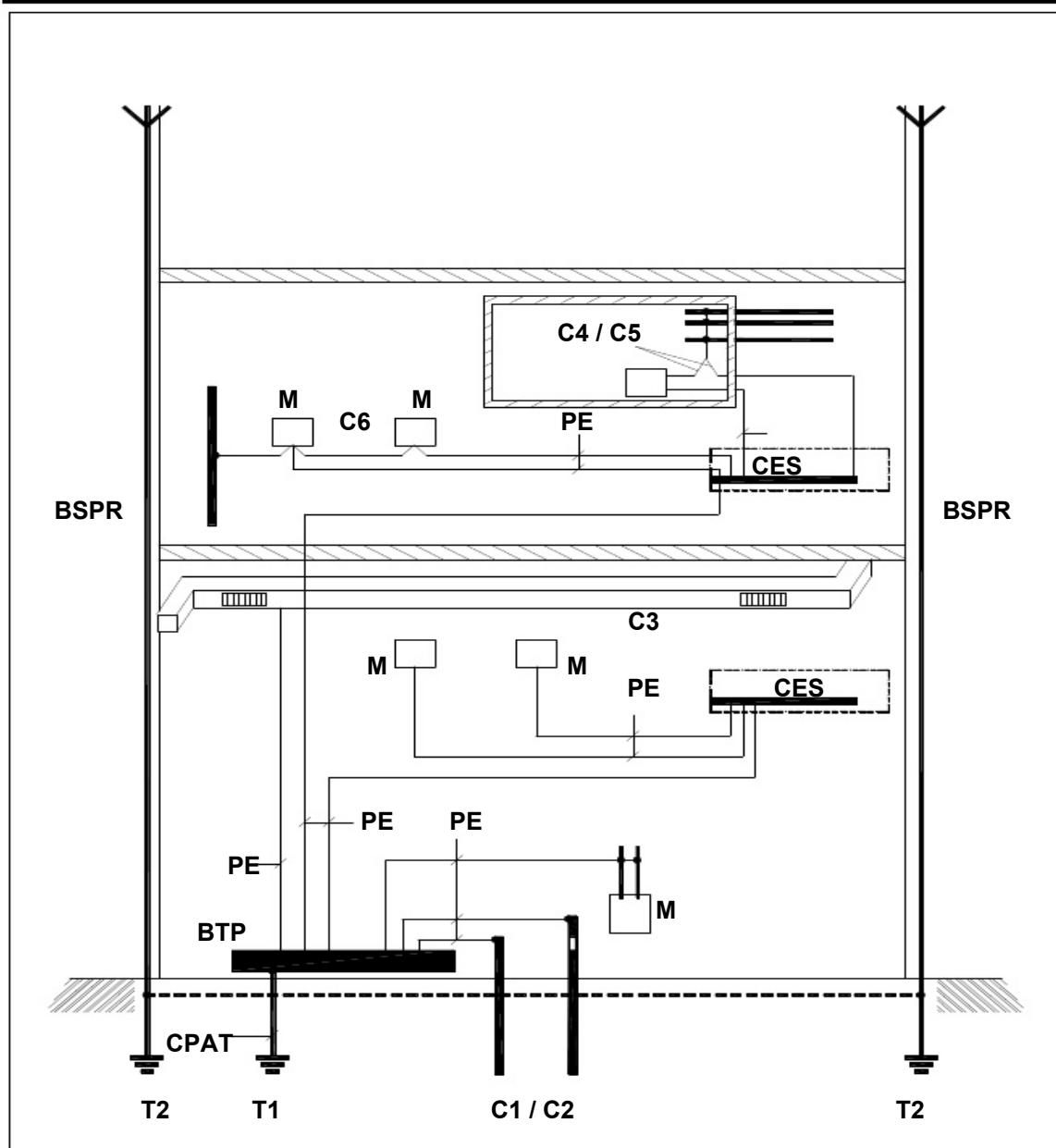


Fig. 1

La estructura básica de un sistema de puesta a tierra consiste en implantar en el terreno una masa metálica, denominada **electrodo**, de formas y dimensiones adecuadas.

El electrodo, es vinculado a la parte de la instalación a proteger mediante un conductor, denominado **conductor de puesta a tierra**.

El electrodo, puede ser materializado mediante jabalinas, perfiles, cables desnudos, cintas, etc. o por un conjunto de conductores en contacto con la tierra que garantizan un contacto íntimo con ella.

En muchas oportunidades es necesario implantar más de un electrodo. En ese caso los electrodos se instalan distanciados lo suficiente para no influenciarse entre sí; a este sistema se lo denomina de electrodos independientes.,

5.3. Conductor de puesta a tierra (CPAT)

Este conductor tiene por función conducir hacia el electrodo a la corriente que se quiere derivar a tierra y al igual que el electrodo se construye mediante planchuelas o conductores flexibles de cobre de calidad grado eléctrico. Físicamente une al electrodo con el borne principal de puesta a tierra (BTP - Borne de puesta a tierra) al cual se conectarán los diversos conductores de protección que disponga la instalación.

5.4. Conductores de protección (CP)

Estos conductores se conectan al borne principal de puesta a tierra y a partir de él recorren la instalación conjuntamente con los conductores de los distintos circuitos.

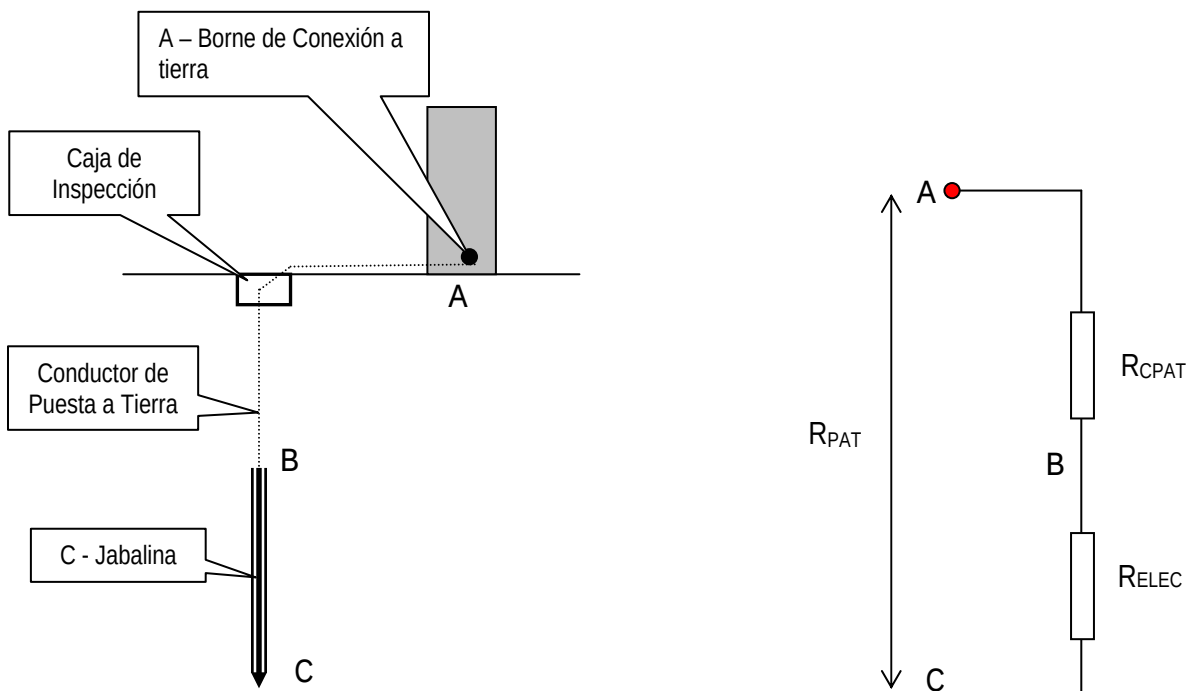


Fig. 2

En la instalación básica representada en la Fig.1 podemos reconocer, mediante el circuito equivalente, los siguientes componentes :

- La **resistencia del conductor de puesta a tierra R_{CPA}** (tramo A - B).
- La **resistencia de electrodo R_{ELEC}** presentada por la resistencia presentada por el electrodo en su contacto con la tierra.

La suma de estas dos resistencias configura la **Resistencia de Puesta a Tierra R_{PAT}** (A -C), medida desde el borne principal de puesta a tierra (BPT) de la instalación.

Las características principales de dos resistencias son:

- R_{CPA} está definida por la resistencia que presenta el conductor que vincula el borne de puesta a tierra con el borne de unión al electrodo.
- R_{ELEC} resulta de la resistencia presente el electrodo en su contacto con la tierra conjuntamente con el tramo de terreno comprendido entre la puesta a tierra local y la puesta a tierra de la alimentación. Este valor es dependiente de la configuración y disposición de o de los electrodos y de la característica conductiva del terreno evaluada por la “resistividad eléctrica del terreno” donde se instalan los electrodos. Este último valor, en muchos casos, es difícil de establecer debido a las variadas características y estados del terreno.

La Tabla I presenta valores de Resistencia R_{ELEC} - para un electrodo típico implantado en diversos tipos de terreno.

TABLA I

Tipo de suelo	R_{ELEC} (Ω) para una jabalina de 5/8" de diámetro y 1,5 m de longitud	Terreno de Resistividad ($\Omega.m$)
Húmedo, pantanoso	9	30
Arcillas y humus	30	100
Arcillas, humus con arena y grava	150	500
Grava, arena, piedras	300	1000

Como se observa la resistencia presentada por el mismo electrodo varía en función del tipo de terreno, lo cual es definido por el valor de Resistividad Eléctrica del mismo.

Adicionalmente los valores resultantes de resistencia resultan ser dependientes del grado de humedad y de la temperatura del mismo.

Para asegurar condiciones de seguridad aceptables, las normas de instalación limitan los valores de la resistencia de puesta a tierra, debiendo mantener un valor por debajo de 10 Ω .

Así mismo, y conforme el tipo de instalación, las normas establecen límites a la sección del conductor vinculado a la jabalina.

Manteniendo un valor lo más bajo posible de la resistencia de puesta a tierra, se asegura que una corriente, sea ella de cortocircuito o de falla, que circula por el sistema de puesta a tierra, genere un potencial no peligroso en las partes del circuito conectadas a tierra, evitando así tensiones peligrosas en caso de contactos indirectos, previniendo así choques eléctricos de gravedad o sobretensiones que pueden afectar el comportamiento de los componentes o daños a las personas.

6. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA PUESTA A TIERRA

6.1. Electrodos de puesta a tierra

Las características mecánicas y eléctricas de los materiales empleados para la construcción de los electrodos de puesta a tierra y sus características morfológicas deben ser tales que permitan asegurar la más larga vida útil de los mismos como también obtener una toma de tierra cuyo valor de resistencia de tierra resulte el menor posible.

Por ello es que se emplean materiales que sean aptos para soportar la corrosión, que presenten una adecuada resistencia mecánica como también una muy buena conductibilidad eléctrica.

Son de uso habitual los siguientes tipos de electrodos y materiales:

-Tipos de electrodos :

- Cintas (pletinas) o conductores desnudos flexibles multifilares.
- Caños o barras, fundamentalmente las llamadas jabalinas.
- Placas metálicas, generalmente de forma rectangular.

-Materiales empleados en su construcción:

- Cobre de alto grado de pureza (99,9% grado eléctrico)
- Acero galvanizado en caliente.
- Acero inoxidable.
- Acero con recubrimiento electrolítico de cobre.

Estos electrodos pueden utilizarse en forma individual o bien según la exigencia impuesta a la toma de tierra configurar un conjunto de electrodos eléctricamente interconectados.

En el segundo caso es recomendable utilizar electrodos confeccionados con el mismo material, con el objeto de evitar fenómenos de corrosión galvánica, que afecta a la vida útil del sistema y distanciados de manera tal que no se establezca una influencia entre los mismos, configurando un *sistema de electrodos independientes*.

Las dimensiones mínimas de los electrodos son establecidos por normas y reglamentaciones; en el caso de Argentina las normas IRAM y la Reglamentación de la AEA, regulan todo lo relacionado con materiales, componentes, diseño, ejecución y control de un sistema de puesta a tierra (ver normas y bibliografía).

Las canalizaciones metálicas de otros servicios (agua, gas, telefonía, combustibles, calefacción central, etc.) no deben ser utilizadas como electrodos de tierra, pero si deben ser conectados mediante una conexión equipotencial al borne o barra principal de tierra.

6.2. Conductores de puesta a tierra

En cuanto a los materiales y características de conductores de puesta a tierra, que unen el sistema de toma de tierra con el borne o barra principal de puesta a tierra, las normas y reglamentaciones mencionadas también regulan sus características.

En particular se destaca que para estos conductores se reglamenta una sección mínima 35 mm² en cobre, a menos que la línea de alimentación de energía sea de

menor sección, en cuyo caso el conductor deberá presentar una sección de valor igual al de los conductores de fase de la línea.

Antiguamente en las instalaciones para este fin se empleaba un conductor de cobre multiconductor pero no muy flexible y sin aislamiento (conductor desnudo) pero esa práctica ha sido reemplazada por el uso de un conductor de cobre, más flexible y con recubrimiento aislante.

En casos especiales todavía se sigue empleando conductores de cobre desnudos pero ello obedece fundamentalmente a razones constructivas.

Es fundamental que este conductor siempre se encuentre en perfectas condiciones pues, sea cual fuere el esquema de puesta a tierra adoptado, es la forma segura de garantizar la eficacia del sistema de puesta a tierra.

Es fundamental asegurar la continuidad de este conductor en forma permanente; por eso debe emplearse un conductor sin discontinuidad alguna ni intercalar en su recorrido elementos de seccionamiento.

También es importante asegurar la integridad mecánica y el evitar su hurto; por ello según las condiciones de instalación y recorrido se recurre a encamisarlo en una cañería especial.

6.3. Borne o barra principal de puesta a tierra

En toda instalación debe preverse un borne o barra principal de tierra, para la conexión de los siguientes conductores:

- Conductor o conductores de puesta a tierra.
- Conductores de protección (PE) que no estén conectados a este terminal o barra a través de otros conductores de protección.
- Conductores de conexión equipotencial principal.

La conexión al borne o barra principal de tierra, debe realizarse de forma tal que pueda ser desconectado individualmente cada conductor conectado al mismo.

Esta conexión además debe realizarse de forma que su desconexión solo debe ser posible mediante el empleo de una herramienta. En algún caso puede ser necesario instalar más de un borne o una barra principal de tierra para realizarlas conexiones indicadas. En este caso ambos bornes de conexión deben ser vinculados eléctricamente a la misma toma de tierra.

6.4. Caja de inspección de la puesta a tierra

A fin de permitir efectuar mediciones periódicas de la resistencia de puesta a tierra y eventualmente incorporar productos químicos mejoradores de la conductividad eléctrica del terreno, se interpone en el recorrido del cable de puesta a tierra y lo más cerca posible del electrodo, una caja de inspección.

6.5. Conductores de protección (PE)

Como se puede observar en la fig.1 del borne o barra principal de puesta a tierra parten una serie de conductores que recorren las diversas partes de la instalación.

Se trata de los Conductores de protección cuya función es permitir, a través de los mismos, vincular al sistema de puesta a tierra a todos los elementos metálicos (masas) susceptibles que quedar bajo tensión ante una falla eléctrica.

De manera estos conductores conducirán las corrientes de falla de aislación, entre un conductor de fase y una masa, a través del neutro de la fuente.

Los conductores de protección deben ser aislados e identificados con los colores verde/amarillo y deben estar protegidos contra daños mecánicos y químicos.

Como conductores de protección pueden utilizarse:

- Conductores aislados formando parte de cables multipolares.
- Conductores individuales tendidos conjuntamente otros conductores activos.

No se permite usar como conductores de protección, elementos conductores tales como:

- cañerías de agua
- cañerías que conduzcan gases o líquidos inflamables
- Soportes de canalizaciones.

Al igual que el conductor de puesta a tierra los conductores PE no deben incluir ningún medio de desconexión (interruptor, fusible o cualquier otro elemento de seccionamiento), para así asegurar la continuidad permanente del circuito de protección.

Las partes conductoras (masa) que se conecten al conductor PE, deben hacerlo en un único punto de conexión no pudiendo quedar conectadas en serie con dicho conductor, es decir que formen parte de la continuidad del conductor de protección.

En resumen cuando hablamos de conexión a tierra nos referimos a una conexión metálica directa, sin dispositivo de protección, de sección suficiente, entre determinados elementos de la instalación (masas), y uno o un grupo de electrodos enterrados en el suelo.

7. ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA EVALUACION o REALIZACION DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La base de un buen sistema de puesta a tierra comienza con la selección del mejor lugar de emplazamiento y el ensayo del suelo que rodeará a la toma, procurando localizar el área de más baja resistividad.

La forma de ejecución de la toma de tierra (con placas, jabalinas, etc.) dependerá generalmente de la resistividad eléctrica del terreno y de las dificultades de instalación para conseguir una baja resistencia de contacto a tierra. El tipo más empleado tanto doméstica como industrialmente es el que se hace con jabalinas hincadas verticalmente en el terreno.

Luego de su instalación, se debe medir el valor de resistencia de la toma de tierra propiamente dicha, para verificar que su valor se corresponde con el de diseño y a lo largo del tiempo se deberán realizar controles periódicos para detectar cambios respecto de los valores originales.

Previo al cálculo y construcción de una toma de tierra deben tenerse en cuenta algunas recomendaciones que surgen de la experiencia obtenida en terrenos homogéneos:

- ✓ *La máxima resistencia de puesta tierra está localizada en la zona de contacto del electrodo y su proximidad.*
- ✓ *La resistencia medida entre dos tubos hincados verticalmente en un terreno homogéneo se mantiene constante para distancias entre los tubos superiores a 2 o 3 metros. De ahí la conveniencia de favorecer la conductividad del terreno recurriendo a humidificar la zona próxima al electrodo mediante soluciones salinas.*
- ✓ *El agua, como medio para la toma de tierra, no contribuye en forma significativa a no ser por su poder humidificador. Resulta así poco trascendente sumergir el electrodo en un pozo o curso de napa de agua.*
- ✓ *La conductancia de dos o más puestas a tierra conectadas en paralelo es igual a la suma de las conductancias individuales a condición que las tomas estén distanciadas al menos 3 a 4 metros entre si. La puesta en paralelo de puestas a tierra muy cercanas no arroja resultados convenientes.*

y que, a efectos de prevenir valores de Tensión de Paso comprometedores se debe recurrir a :

- ✓ *Efectuar sistemas de puestas a tierra de valores inferiores a 10 ohm.*
- ✓ *Asegurar el mantenimiento del valor mediante la medición periódica y eventual corrección mediante la humidificación o agregado de otras puestas a tierra.*
- ✓ *Regular los tiempos de actuación de las protecciones para asegurar que las corrientes de fallas sean limitadas en magnitud y duración.*

El cálculo de una puesta a tierra es un cálculo que debe contemplar cuatro aspectos fundamentales:

- Valor de la resistencia de puesta a tierra deseada.
- El tipo de terreno donde se efectuará la toma de tierra.
- El tipo y cantidad de electrodos.
- Característica del conductor de vinculación al electrodo.

- Valor de la resistencia de puesta a tierra deseada

Como se dijo, el sistema de puesta a tierra tiene por objeto garantizar que no se produzcan tensiones peligrosas en caso de circulación de corrientes de falla a tierra. Por ello las normas y reglamentos definen dos valores de tensiones a los cuales se debe considerar al momento del diseño del sistema de puesta a tierra.

Esas son:

- Tensión de seguridad

Definida como “El valor de diferencia de potencial a la que puede quedar sometida por tiempo indefinido una persona sin que en ella produzca efectos fisiológicos”. En ambientes secos no debe superarse los 50 V para tensión alterna, en ambientes húmedos los 24 V y en ambientes sumergidos los 12 V.

-Tensión de contacto

Se define "Tensión de Contacto" como la diferencia de potencial a la que una persona puede quedar sometida al tocar simultáneamente un objeto colocado bajo tensión y otro elemento que se encuentre a un potencial diferente (generalmente la tierra).

La tensión de contacto límite que no resulta peligrosa para las personas es de 50 V, aunque se suele hablar de una menor que ella, denominada Muy Baja Tensión de Seguridad (conocida por sus siglas MBTS), establecida en 24 V.

Fijada una determinada tensión de contacto (V_c) se puede establecer el valor de la resistencia de puesta a tierra (R_t) que garantice la suficiente corriente I_t que produzca el accionamiento de la protección diferencial asociada.

El "Reglamento para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles" de la Asociación Electrotécnica Argentina establece que para el caso de usar interruptores diferenciales y para asegurar una tensión de contacto $V_c = 24$ V, la resistencia a tierra medida desde cualquier masa de la instalación, no debe superar los siguientes valores:

$R_t = 10 \Omega$ para viviendas unitarias, recomendándose valores inferiores a 5Ω .

$R_t = 2 \Omega$ para viviendas colectivas (Edificios o Complejos).

Cuando la instalación de puesta a tierra no contemple la instalación de un interruptor diferencial, el valor de la resistencia a tierra se calculará de manera de no superar los valores de tensión de seguridad indicados anteriormente (24 y 12 V según el caso).

- La característica del terreno

Para ello es necesario medir, la resistencia del terreno en el lugar donde se instalará la puesta a tierra, preferentemente aplicando el método del telurímetro descrito en la Norma IRAM 2281 parte I.

Alternativamente se podrá medir empleando una resistencia variable entre 20 y 100 Ohm, un amperímetro y un voltímetro con resistencia interna superior a 40.000 Ohm, apto para medir una tensión entre 0 y 5 V, y una sonda enterrada a una profundidad de 0,50 m y una distancia no menor de 20 m, de la puesta a tierra.

- Evaluación del tipo y cantidad de electrodos a utilizar

En primera instancia se puede realizar aplicando las expresiones que permiten calcular aproximadamente la resistencia de la puesta a tierra en función de la resistividad eléctrica del terreno ρ ($\Omega.m$) y el largo L de la jabalina supuesta de acero con recubrimiento de cobre.

$R_t = 0,33 * \rho$ para jabalinas de 3 m.

$R_t = 0,55 * \rho$ para jabalinas de 1,50 m.

$R_t = \rho / L$ para jabalinas de otras longitudes.

Cuando con una única jabalina no se alcanza a obtener el valor de R_t deseado se debe considerar el uso de varias jabalinas unidas entre sí por un conductor de Cu de 50 mm² y enterrado a 60 cm. de profundidad, y separadas a una distancia tal que no produzcan interferencias entre sí mismas.

La separación mínima de jabalinas que se suele emplear para tal fin es de 2,5 veces veces el largo de jabalina utilizada.

Para el caso en, que por la separación necesaria entre jabalinas no sea posible tener la superficie de terreno suficiente, se recomienda el uso de mallas de conductores.

Debemos recordar que, por la naturaleza de los terrenos y sus condiciones de humedad y temperatura, estos cálculos resultan con un cierto grado de incertidumbre, por lo cual si se quiere mejorar la precisión de los mismos se deben emplear expresiones de cálculo más complejas como las indicadas a continuación.

- Fórmulas para evaluar la resistencia de puesta a tierra de un electrodo

1 – Conductores enterrados horizontalmente

Se trata de conductores de cobre, desnudos, de sección 35 mm² o mayor.

También se puede emplear alambres de acero galvanizado de sección no inferior a 95 mm².

La Resistencia de la toma de tierra se puede calcular mediante:

$$R = 2 * \rho / L$$

Donde R es la resistencia de la toma de tierra (Ω)

ρ es la resistividad del terreno ($\Omega.m$)

L es la longitud del conductor enterrado (m)

2 – Jabalinas hincadas verticalmente

Normalmente se emplean barras de cobre o de acero con revestimiento de cobre, de sección circular o en cruz.

La resistencia de la toma de tierra se puede calcular mediante,

$$R = K * \rho / N * L$$

Donde R es la resistencia de la toma de tierra (Ω)

ρ es la resistividad del terreno ($\Omega.m$)

L es la longitud de la jabalina (m)

N es el número de jabalinas a hincar

K es un coeficiente que tiene en cuenta la disposición de las jabalinas dependiendo de la relación entre la separación de las jabalinas y el largo de las mismas.

En la siguiente tabla se dan valores de K, para distintas relaciones y disposiciones.

Relación (D/L) – (Dist. entre jabalinas / Longitud de jabalina)					
Número de jabalinas	0,5	1,0	1,5	2,0	3 ó más
1	1	1	1	1	1
2	1,38	1,20	1,10	1,06	1,04
3 en línea	1,5	1,29	1,16	1,10	1,06
3 en triángulo	1,66	1,35	1,21	1,15	1,09
4 en línea	1,79	1,43	1,25	1,17	1,11
4 en cuadrado	1,95	1,52	1,29	1,20	1,15

3 – Mallas de tierra

Las mallas de tierra normalmente se utilizan para obtener sistema de puesta a tierra de muy baja resistencia. Consiste en enterrar una malla de cobre o de acero galvanizado, a la mayor profundidad posible, distribuida en una superficie lo más grande posible.

El valor de la resistencia del sistema puede evaluarse mediante

$$R = 0,25 * \rho / (S/\pi)^{1/2} + \rho/L$$

Donde R es la resistencia de la toma de tierra (Ω)

P es la resistividad del terreno ($\Omega.m$)

S es la superficie de la malla utilizada (m^2)

L es la longitud total de los conductores que forman la malla (m)

4 – Pletinas enterradas

Normalmente se utiliza pletina de cobre de sección no menor a 35 mm^2 y de espesor no inferior de 2 mm. También se puede usar pletinas de acero galvanizado pero de sección no inferior de 100 mm^2 y espesor no menor a 3 mm.

Las pletinas pueden ser enterradas en forma superficial (menor a 1 m) o en forma profunda (mayor a 1 m) y para evitar influencia entre las mismas deben estar separadas como mínimo 3 metros.

La resistencia de la toma de tierra se puede evaluar empleando,

$$R = 1,6 * \rho * N / P \quad \text{para superficiales}$$

$$R = 0,8 * \rho * N / P \quad \text{para profundas}$$

Donde R es la resistencia de la toma de tierra (ohm)

ρ es la resistividad del terreno (ohm.m)

N es el número de pletinas

P es el perímetro de la pletina

Las normas IRAM 2309 / 2310 / 2317 y 2316 establecen las especificaciones técnicas de diversos tipos de jabalinas y sus accesorios.

- Resistividad de diferentes tipos de terreno

La tabla siguiente presenta valores medios de Resistividad de diversos terrenos ($\rho - \Omega.m$)

Tipo de terreno	Resistividad media ($\Omega.m$)
Pantanosos	Hasta 30
Fértiles	50
Poco fértiles	500
Pedregosos	3000
Humus	10 a 50
Turba húmeda	10 a 150
Arcilla plástica	50
Arcilla compacta	100 a 200
Arena arcillosa	50 a 200
Arena	200 a 300
Pedregoso	1500 a 3000
Rocoso	800 a 10000

- Característica del conductor de vinculación al electrodo.

Finalmente se debe considerar el tipo de conductor a emplear para unir el electrodo o conjunto de electrodos a la toma de tierra principal de la instalación.

Ese conductor queda definido por la sección del mismo y las reglamentaciones fijan los valores mínimos a utilizar en función de las corrientes máximas de descarga a tierra y el tiempo de actuación de las protecciones.

Otras consideraciones

El Reglamento de la A.E.A. establece las siguientes disposiciones generales:

- El conductor de protección (denominado comúnmente conductor de tierra) será eléctricamente continuo y no será eléctricamente seccionado en punto alguno de la instalación ni pasará por el disyuntor diferencial.
- Tendrá la capacidad de soportar la corriente de cortocircuito máxima coordinada con las protecciones instaladas en el circuito. Como conductores de protección en instalaciones domiciliarias deben utilizarse cables unipolares aislados, con sección no menor a 2,5 mm².
- En todos los casos deberá efectuarse la conexión a tierra de todas las masas de la instalación.

- Las masas que sean simultáneamente accesibles y pertenecientes a la misma instalación eléctrica estarán unidas al mismo sistema de puesta a tierra. La instalación se realizará de acuerdo a las directivas de la norma IRAM 2281 - parte III.

MEDICIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La evaluación de un sistema de puesta a tierra con el objeto de evaluar su calidad constructiva y su comportamiento frente a la circulación de corrientes de falla consta de dos etapas.

La primera consiste en controlar como está compuesto el sistema evaluando tipo y cantidad de electrodos, conductores de puesta a tierra y de protección, punto de conexión de puesta a tierra y todo lo relacionado con los aspectos constructivos y reglamentarios.

Habiendo lo anterior satisfecho las exigencias reglamentarias queda por evaluar cuantitativamente al sistema y ello se hace mediante la medición de la “ Resistencia de puesta a tierra”.

Aspectos a considerar en relación con las mediciones

Dada la característica de la medición los valores resultantes pueden ser influenciados por una serie de factores que impiden obtener resultados con gran exactitud. Entre los mismos podemos citar la posible existencia de corrientes vagabundas de CC y de CA, el carácter electrolítico del terreno y su eventual polarización, la aparición de potenciales galvánicos, el acoplamiento inductivo y/o capacitivo con otros sistemas, la ocurrencia de lluvias cercanas al momento en que se hace la medición, las irregularidades en la composición geológica del terreno y su grado de compactación, etc,

Como en algunos casos existen elementos metólicos enterrados, conductos de agua subterráneos y otros elementos que pueden distorsionar las mediciones, se recomienda realizar varios ensayos con diferentes orientaciones entre sí.

Por ello, los resultados de las mediciones deben someterse a un análisis crítico para identificar las posibles fuentes de error, y eventualmente replantear la forma de ejecución de los ensayos.

En algunos casos puede ser conveniente realizar una gran cantidad de mediciones utilizando distintos métodos y luego analizar las tendencias resultantes.

Si bien en teoría la influencia del dispensor de puesta a tierra (electrodo) se extiende hasta el infinito, debe considerarse que tal influencia varía inversamente con la distancia siguiendo una ley exponencial, pues la sección ofrecida a las trayectorias de corriente aumenta al alejarse del dicho dispensor. Por lo anterior, a los efectos prácticos dicha influencia se concentra en las cercanías del dispensor y se torna despreciable a distancias superiores a los 50 m en el caso de tomas de áreas reducidas o de simples jabalinas

En el caso de una red dispersora extensa (caso de mallas), puede aparecer una componente reactiva apreciable cuando la resistencia es menor que 0,5 Ohm. En

estos casos, también debe prestarse atención a la posibilidad de existencia de resistencias parásitas de conexión.

- Medición de la resistividad del terreno

La estimación de la resistividad del terreno a partir de la medición de la resistividad de una muestra extraída del mismo, se puede realizar en una caja prismática pequeña de sección transversal cuadrada, en la que se introduce el material extraído de la probeta respectiva. Como es de esperar, el valor de resistividad que se obtiene de esta manera resulta menos exacto que el que se obtendría en el terreno real, pero en algunas ocasiones es el único camino posible.

- Métodos de medición de la resistencia de puesta a tierra

El "Reglamento para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles" de la Asociación Electrotécnica Argentina, la norma IRAM 2281 y la Resolución 207/95 del ENRE establecen la forma y métodos a aplicar para realizar estas mediciones.

- Normas IRAM referentes a Sistemas de Puesta a Tierra de instalaciones

La norma *IRAM 2281 – Puesta a tierra de sistemas eléctricos*, es la norma que regula los aspectos técnicos de la construcción y ensayo de sistemas de puesta a tierra.

La misma se divide en cinco capítulos los que se listan a continuación;

- | | |
|---------------|---|
| IRAM 2281 – 1 | Puesta a tierra de sistemas eléctricos
<i>Consideraciones generales.
Código de práctica (1996)</i> |
| IRAM 2281 – 2 | Puesta a tierra de sistemas eléctricos
<i>Guía para la medición de magnitudes de puesta a tierra
Resistencia, resistividades y gradientes. (2002)</i> |
| IRAM 2281 – 3 | Puesta a tierra de sistemas eléctricos
<i>Instalaciones industriales y domiciliarias y redes de baja
tensión. Código de práctica (1996)</i> |
| IRAM 2281 – 4 | Puesta a tierra de sistemas eléctricos
<i>Centrales, subestaciones y redes.
Código de práctica (1989 – en revisión)</i> |
| IRAM 2281 – 5 | Puesta a tierra de sistemas eléctricos
<i>Código de práctica para puesta a tierra de sistemas de
telecomunicaciones (telefonía, telemedición y equipos de
procesamiento de datos) (1994- en revisión)</i> |

Bibliografía recomendada

PUESTA A TIERRA DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Rogelio García Márquez – AlfaOmega Marcombo – 127 pág