

IE-12pti – PUESTA A TIERRA Y PARARRAYOS

Condiciones de dimensionamiento

Los componentes de la puesta a tierra se dimensionan con distintos criterios según sea su función, los conductores se deben dimensionar con la mayor corriente que por ellos puede circular, y los dispersores para la mayor corriente que pueden drenar.

La corriente conducida por cada elemento de la red de tierra surge de determinar las distintas corrientes de falla, generalmente entre la corriente de cortocircuito trifásica y monofásica se encuentra el mayor valor.

La corriente drenada máxima se presenta entre la monofásica (a tierra) y la corriente de tierra de una falla bifásica a tierra, obsérvese la figura [is1202.jpg](#)

Es ciertos casos puede ser necesario considerar una falla bifásica que puede verse como dos fallas monofásicas a tierra en distintos puntos.

Puesta a tierra de servicio y seguridad

Puesta a tierra de servicio, es la conexión del neutro a tierra hecha en forma directa o a través de una impedancia (que limita las corrientes de falla monofásicas).

La puesta a tierra de servicio puede llevar permanentemente a tierra una cierta corriente, por ejemplo atribuida a que las capacitancias de líneas de distribución son distintas de una fase a otra (desequilibradas).

El objetivo de la puesta a tierra de seguridad es la protección de las personas de recibir una descarga eléctrica por fallas de aislamiento, o cortocircuitos.

Con esta finalidad todas las canalizaciones metálicas, soportes, estructuras, gabinetes, tableros y en general toda estructura metálica (conductora) que por accidente pueda quedar bajo tensión, debe ser conectada a tierra.

La puesta a tierra de seguridad, no presenta normalmente corrientes drenadas, solo cuando se presenta una falla, un ejemplo es la conexión a tierra de las carcasas de las maquinas eléctricas, para que en caso de falla de sus arrollamientos no presenten tensiones hacia tierra.

En la figura [is1202a.jpg](#) se destacan la puesta a tierra de servicio del neutro y la de seguridad de la caja.

Alrededor de los elementos puestos a tierra, y en el terreno próximo a la red que drena corriente a tierra se presentan tensiones que pueden ser peligrosas para los seres vivos, y que se llaman tensiones de paso (U_p) y tensiones de contacto (U_c), la tensión en el terreno depende del electrodo de puesta a tierra, que fija una función de la tensión que depende de la distancia del punto a los electrodos, como esquematiza la figura [is1203.jpg](#) nótese la tensión total que asume la red de tierra respecto de un punto muy alejado (referencia)

$U_T = R_T \cdot I_{kd}$, que depende de la resistencia de puesta a tierra R_T , y de la corriente drenada I_{kd} .

Se forma entonces un campo potencial alrededor del electrodo que drena y entre los pies de una persona que se acerca se presenta la diferencia de potencial llamada tensión de paso, y si una persona toca elementos conectados a la red de tierra entre sus pies y manos se presenta la tensión de contacto.

La tensión de paso aparece en la superficie del suelo entre dos puntos distantes 1 m (un paso convencional) cuando se inyecta corriente en el suelo a consecuencia de una falla a tierra.

La tensión de contacto se presenta sobre el cuerpo de una persona que toca una carcasa, estructura o tablero, entre sus manos y sus pies.

Ambas tensiones son causadas por la distribución de los potenciales de tierra al ocurrir una falla que es causa de la dispersión de corriente.

Para electrodos de formas simples [is1204.jpg](#), se presentan formulas que dan la resistencia de los mismos y describen el potencial a su alrededor,

Para electrodos compuestos, con formas complicadas, se desarrollan programas de calculo que aplicando distintos métodos (imágenes, superposición, etc.) determinan los potenciales en la superficie del terreno, y en base a ellos permiten encontrar los puntos más peligrosos del área, y mejorar las condiciones de seguridad.

El dato fundamental para la determinación de la resistencia de la red de tierra es la resistividad del terreno, [is1205.jpg](#) que es un valor muy variable de una zona a otra, e inclusive de un punto del terreno a otro, por lo que es importante realizar mediciones para evaluarlo correctamente.

Puesta a tierra de estaciones transformadoras

Las estaciones transformadores, involucran superficies grandes y presentan corrientes a drenar de valores importantes, el problema se resuelve materializando una red de puesta a tierra formada por mallas, como se observa en la figura [is1206.jpg](#) que corresponde a un campo de una estación eléctrica de 132 kV.

En la parte superior se observan los descargadores, unidos a la red de tierra y con una jabalina, luego el pórtico, sigue un seccionador con cuchillas de puesta a tierra (unidas entre si directamente en el bastidor), transformadores de medición, interruptor, y el transformador de potencia.

Obsérvese que el neutro del arrollamiento del transformador esta unido a la red de tierra y también tiene una jabalina, esta en particular es también una puesta a tierra funcional.

Las jabalinas tienen mejor comportamiento para drenar corrientes de impulso que se presentan en los descargadores, o en el neutro de los transformadores, en tensiones muy elevadas también se drenan impulsos a través de la capacitancia de los transformadores de medición, y se realizan mejoras locales de la red de tierra en correspondencia.

En el proyecto de la red de tierra se deben verificar: la tensión de paso (U_p) que en general es máxima en la periferia, y en los puntos interiores donde la red es poco densa, la tensión de contacto (U_c) en los puntos donde hay columnas (quizás de iluminación) conectadas a la red de tierra aunque no tengan nada que ver con la alta tensión, la tensión en la diagonal, cuando la red tiene forma rectangular presenta en los vértices valores máximos de paso o de contacto que deben ser controlados, la tensión de paso perimetral (U_{pp}) a veces por ser el área accesible al publico debe cumplir condiciones mas estrictas que el área interna, solo accesible a los que operan la estación.

La sección de los conductores debe ser verificada para que conduzcan la corriente de tierra o una parte de la misma (60%), y los conductores enterrados deben tener tamaños convenientes para soportar la corrosión, un punto que merece protección cuidadosa es el pasaje de los conductores del aire a la tierra, donde también se presentan fenómenos de corrosión.

Véase la tabla resumen [is1207.jpg](#)

Un valor importante de verificar es la resistencia total de la malla de tierra R_m , que puede ser evaluada con algunas formulas simples [is1208.jpg](#) en función del perímetro o del área, es inmediato observar que el aumento del área cubierta (y del perímetro) produce una reducción de la resistencia.

En ciertos casos la red mallada se complementa con jabalinas, se puede pensar en dos redes de tierra en paralelo, que pueden tener una parte de resistencia mutua, como indica la figura [is1209.jpg](#).

El tamaño del conductor de la malla se determina con las formulas incluidas en la figura [is1210.jpg](#) donde además se fijan algunos tamaños mínimos fijados por ciertas especificaciones de redes de tierra.

La sección mas comprometida de los conductores de puesta a tierra es el chicote de conexión de cada soporte a tierra, ya que por el pasa la máxima corriente, que luego se distribuye entre las ramas de la red dispersora, como se ve en la figura [is1210a.jpg](#).

Los datos usados para la determinación de la sección son los siguientes [is1211.jpg](#) y se presentan frecuentemente gráficos que ayudan a una rápida determinación de la sección [is1211a.jpg](#).

Algunas formulas simples permiten evaluar las tensiones de paso y de contacto [is1212.jpg](#) al aumentar la densidad de la malla se reducen las tensiones de paso y de contacto:

$$U_c = \rho \cdot k_c \cdot k_i \cdot I_E / L$$

$$U_p = \rho \cdot k_p \cdot k_i \cdot I_E / L$$

. k_c y k_p son factores geométricos de la red de mallas (ver anexo J – IRAM 2281 –1)

. k_i factor de irregularidad

. L longitud del conductor enterrado

. I_E corriente dispersada por la malla

la tensión de paso perimetral es:

$$U_{pp} = (4 \cdot \rho \cdot I_m) / D$$

. D diagonal de la malla

A veces la tensión perimetral es elevada, y es necesario poner electrodos de control del potencial [is1213.jpg](#) obsérvese como se reducen las tensiones de paso en el perímetro al agregar los electrodos.

Ya se ha citado que es necesario mejorar el comportamiento local de la red de tierra en los puntos donde se inyectan sobrecorrientes de alta frecuencia, veamos el comportamiento de la malla ante una descarga atmosférica o una sobre tensión de maniobra [is1214.jpg](#), al inyectar una sobrecorriente de alta frecuencia la impedancia que presenta una rama de la red es:

$$Z = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Al aumentar la frecuencia [is1215.jpg](#) (sobretensiones de maniobra o atmosféricas) aumenta la impedancia que ofrece la rama a la conducción, y en consecuencia la malla no es la mejor solución para las altas frecuencias, por esa razón se imponen las jabalinas.

Puesta a tierra en instalaciones industriales y en edificios comerciales

Las instalaciones industriales, y edificios comerciales, en la mayoría de los casos incluyen una cabina de transformación media a baja tensión. Pero la solución del sistema de puesta a tierra no es análoga a la utilizada en las estaciones transformadoras.

Cuando los distintos equipos involucrados se unen metálicamente, no se presentan tensiones de paso en el suelo ya que las corrientes retornan por los conductores metálicos y no hay derivación de corriente al suelo.

También cuando se presenta una falla en el sistema de baja tensión (servicios auxiliares) de una estación transformadora, la corriente retorna por la malla de tierra, y no se drena al suelo por lo que no se presentan tensiones de paso ni de contacto.

Trataremos el tema para instalaciones de baja tensión (menores de 1 kV), el primer punto es definir el sistema de puesta a tierra.

Normalmente es usado el sistema TN-S [is1216.jpg](#).

El sistema TN-C [is1216a.jpg](#) en cambio no es recomendado.

El sistema TT es el que se tiene cuando se recibe alimentación desde la red publica [is1217.jpg](#)

El sistema IT, aislado de tierra [is1218.jpg](#)

El sistema IT puede también ser con el neutro puesto a tierra a través de una impedancia (de valor elevado) y con electrodos de tierra separados como muestra la figura [is1219.jpg](#).

También se puede realizar el sistema IT con el neutro puesto a tierra a través de una impedancia (de valor elevado) y uniendo los electrodos de la fuente y las masas [is1220.jpg](#)

Según sea la tensión de contacto presunta se define la duración máxima admisible, en la tabla 1 [is1221.jpg](#) , en instalaciones particularmente resinosas los tiempos son menores, tabla 2 [is1221a.jpg](#)

Para los distintos sistemas de puesta a tierra se fijan tiempos máximos de desconexión tabla 4 [is1221b.jpg](#) .

La figura muestra [is1222.jpg](#) la falla de una línea de distribución de baja tensión.

Otra figura [is1222a.jpg](#) corresponde a la IRAM 2281 – 3 (puntos 5.4.5 y 5.4.6)

La figura [is1222b.jpg](#) corresponde a una instalación domiciliaria, con electrodomésticos, en la cual se distribuye el conductor de protección desde el centro de alimentación. La norma VDE fija un valor de UB < 65 Volt, mientras la norma IRAM 2281 fija un valor de UB < 50 Volt.

Si $R_B < 2 \text{ ohm}$, y suponiendo $R_E > 5 \text{ ohm}$ se tiene

$$UB = U_0 * R_B / (R_E + R_B) = 230 * 2 / 7 = 65 \text{ Volt}$$

El esquema muestra [is1223.jpg](#) la alimentación en 13.2 kV de una industria, el transformador (500 kVA) a baja tensión, el tablero de baja tensión y la distribución a motores e iluminación, obsérvense la puesta a tierra de servicio y las puestas a tierra de seguridad.

La figura [is1224.jpg](#) muestra la realización del sistema de puesta a tierra de una planta industrial, obsérvese la

jabalina, unida a un bloque de tierra donde llegan: el neutro de baja tensión (puesta a tierra de servicio), las conexiones a tierra de la celda de alta tensión, de la cuba del transformador, y de la barra de tierra del tablero de baja tensión (todas ellas puestas a tierra de seguridad).

Del tablero de baja tensión se hace la distribución a las cargas, un tablero auxiliar de iluminación se alimenta con un cable 3 fases + 1 neutro, y un cable de tierra (separado) que pone a tierra el tablero, al motor en cambio va un cable con solo las 3 fases y el cable de tierra (separado) que pone a tierra el motor y se une a las estructuras metálicas.

Del tablero de iluminación salen cables fase neutro, y cables de puesta a tierra de los artefactos (verde y amarillo)

Factor de trayectoria de la corriente

Cuando un hombre sufre una descarga eléctrica, el efecto no es el mismo si la corriente va de pie a pie, que si va de mano a pie, o de mano a mano. La tabla muestra los valores del factor propuestos

Trayectoria de la corriente	F	1 / F
Mano izquierda pie derecho, pie izquierdo, ambos pies, ambas manos, ambos pies	1	1.000
Mano derecha pie izquierdo, pie derecho, dos pies	0.8	1.250
Mano izquierda espalda, nalgas, mano derecha, nalgas, ambas manos	0.7	1.429
Mano izquierda pecho	1.5	0.667
Mano derecha pecho	1.3	0.769
Mano derecha mano izquierda	0.4	2.500
Mano derecha espalda	0.3	3.333
Pie derecho pie izquierdo	0.04	25.000

Pararrayos

Los daños causados a los equipos eléctricos y de telecomunicaciones de origen atmosférico, son debidos a descargas locales de rayos, las descargas directas en red y edificios por fortuna se consideran raras.

La tierra – visión general integradora

Hemos planteado la red de tierra como una instalación con una u otra función definida, con este planteo surge natural hacer distintas instalaciones de tierra cada una con una función y este es un planteo simplificado con el que se insiste, pero lleva a soluciones no aplicables a la realidad.

Este es un tema que se debe observar desde distintos puntos de vista se lo considera en general como un tema simple, a veces se les presta muy poca atención. El tema obliga a pensar, meditar, reflexionar que se busca con la puesta a tierra, y entonces buscar la solución que responde a dicha pregunta.

Las funciones de la puesta a tierra son distintas:

- Sistema de tierra de potencia eléctrica (sistema de tierra, sistema de protección de tierra)
- Tierra electrónica (tierra de referencia de señales de comunicaciones, conductores de retorno de señales, cuntermos)
- Tierra de protección de descargas atmosféricas

Distintos documentos de normalización y recomendaciones tratan estos temas y no siempre su enfoque es integrador.

Han surgido conceptos de tierra única y tierras separadas, y en ciertos casos se aconseja la separación de tierras, lo cual si no es imposible es muy difícil, no siendo en general finalmente la mejor solución. El problema se debe resolver por pasos, y el primero es el enfoque de potencia, y seguridad para las personas y las cosas.

La figura fpe-035 muestra la red de tierra de potencia, asociada a tierras electrónicas (sistemas de supervisión y control), y la tierra de protección contra descargas atmosféricas.

En el diseño de la red de tierra se debe tener en cuenta:

- la protección contra descargas atmosféricas
- la seguridad de las personas
- la protección del equipamiento
- la compatibilidad electromagnética (EMC)

Cada uno de estos cuatro aspectos, implica exigencias de diseño:

- Seguridad de las personas y protección contra descargas atmosféricas dictan requerimientos al diseño de los electrodos de tierra.
- La protección del equipamiento impone secciones a los conductores de tierra
- EMC fija exigencias del plano de tierra de la estructura.

La figura fpe-037 muestra configuración de la red de tierra para un grupo de edificios existentes, o un grupo de edificios nuevos.

La figura fpe-038 muestra el esquema de una red de tierra típica vista en planta que cubre cierta superficie, que incluye (1) armarios metálicos, (2) aparatos eléctricos, (3) edificios, (4) torres de MT o AT internas o (5) externas y próximas, (6) cerco.

La figura fpe-039 muestra la concepción equivocada de electrodos de tierra aislados, independientes o dedicados, este enfoque NO es adecuado para la compatibilidad electromagnética, ni la seguridad.

La figura fpe-040 muestra otra concepción no recomendada, aunque la solución es apropiada para frecuencia industrial, no lo es para EMC.

La figura fpe-050 muestra la concepción recomendable, para los electrodos de tierra y la red de tierra. Aunque esta representación es parecida a las anteriores implica una buena red de tierra, una buena conexión a tierra de los distintos elementos, y tiene un buen comportamiento para la EMC.

Las instalaciones electrónicas están sometidas a distintos tipos de interferencias originadas en:

- Descargas electrostáticas (ESD)
- Radiación externa (línea borne, aire borne, de alta frecuencia)
- Radiación interna de los equipos de la planta (señales continuas, campos magnéticos)
- Conducciones – línea borne (transitorios rápidos, impulsos, interrupciones de tensión, señales continuas)

Las interferencias se presentan por:

- Radiación y descarga.
- Acoples inductivos, campos magnéticos, líneas de equipos de potencia.
- Acoples capacitivos, que por interferencia afectan los cables.
- Conductividad, a través de la tierra o a través de la red.

Los cables de señales tienen pantalla electrostática, para protegerlos de los campos externos, y sus condiciones de instalación pueden ser distintas lográndose condiciones distintas.

Los cables de señales se pueden conectar a tierra en un solo punto, la [figura fpe-058](#) detalla los acoples capacitivos para este caso, frente a diferencias de potencial entre puntos de la red de tierra de potencia, esta conexión reduce la interferencia capacitiva, el potencial que aparece en la pantalla produce corrientes longitudinales I_s , y la tensión U_L , la tensión U_T transversal es debida al desbalance, presenta su máximo a cierta frecuencia.

Una incorrecta puesta a tierra como muestra la [figura fpe-059](#) implica una elevada interferencia en la carga, apareciendo señales falsas.

Doble puesta a tierra de las pantallas mostrada en la [figura fpe-060](#) implica U_L bajo debido a que los conductores están acoplados inductivamente a la pantalla, produciéndose similares potenciales.

El factor $r = U_L / E_s$ en función de la frecuencia decrece con la frecuencia presentando un mínimo para 10^6 Hz, como detalla la [figura fpe-061](#), mientras que U_T / E_s presenta un máximo para 10^4 presentando valores mayores para pantalla con doble puesta a tierra respecto de la simple puesta a tierra.

La [figura fpe-064](#) muestra la configuración ideal para equipamiento electrónico.

Bibliografía

- lectura recomendada: INDUSTRIAL POWER SYSTEMS HANDBOOK Donald Beeman (editor) capitulo 6 – PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS y capitulo 7 – PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS
- Norma IRAM 2281 Puesta a tierra de sistemas eléctricos
- IEEE 80 y 81 – Puesta a tierra de estaciones transformadoras, y medición
- NEC National Electric Code – Artículo 25
- Especificación Técnica N 75 de AYEE
- Especificación N 3 de SEGBA – Recomendaciones para la puesta a tierra de instalaciones Eléctricas de corriente industrial en suministros de Media y Baja tensión.
- Reglamento de instalaciones eléctricas en inmuebles AEA
- Manual de instalaciones eléctricas SPITTA
- Revista electrotecnica – setiembre octubre 1974
- Revista electrotecnica – enero febrero 1979
- Revista electrotecnica – marzo abril 1981
- Norma IEC 71 – ver la definición de factor de puesta a tierra
- Norma VDE 0141 puesta a tierra en instalaciones de tensión superior a 1 kV
- Norma VDE 0100 puesta a tierra de servicio en baja tensión
- ABB – Industrial Manual, pag 867 Plant earthing
- Rogelio Garcia Marquez – La puesta a tierra de instalaciones electricas – AlfaOmega Marcombo