

"PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DEL SUBSISTEMA DE ELECTRODOS DE TIERRA"

Elaborado por: Ing. Frank Amores Sánchez,
Especialista PCI, APCI.



El subsistema de electrodos de tierra es la parte del sistema de puesta a tierra que establece la conexión eléctrica con el terreno y permite el funcionamiento de las protecciones contra rayo y falla eléctrica de los equipos, garantiza la seguridad personal y la minimización del ruido. Tiene que diseñarse de acuerdo con las características del sitio y los requerimientos del edificio, tiene que ser instalado adecuadamente y deben tomarse las medidas necesarias para asegurar que ofrezca una conexión de baja resistencia a lo largo de toda la vida del edificio o estructura.

Para lograr estos los objetivos, la ejecución del subsistema de electrodos de tierra debe hacerse siguiendo los siguientes pasos:

1. Realizar un estudio de las propiedades eléctricas y físicas del lugar.

- 1.1. Medir la resistividad del suelo en varios puntos del área donde se prevé su instalación.
- 1.2. Identificar las características geológicas más importantes del sitio que ayuden a establecer:
 - Distribución de los tipos principales de suelo por estratos.
 - Formaciones rocosas importantes
 - Presencia de fuentes de agua subterráneas
 - Profundidad del manto freático
 - Tomar muestras de suelo mediante perforaciones practicadas en el lugar, estudiar los mapas locales y entrevistarse con empresas constructoras, perforadoras de pozos y otras personas con vistas a obtener toda la información deseada.
 - Evaluar a partir de la información obtenida cuales características pueden influir en el diseño e instalación del subsistema.
- 1.3. Identificar las características físicas que influyen en la ubicación del subsistema e indicarlas en el diagrama general del edificio (por ejemplo: ubicación de calles o carreteras pavimentadas, zonas de parqueo, drenajes naturales y artificiales y ubicación de objetos metálicos enterrados tales como tuberías y tanques).
- 1.4. Revisar la información de las condiciones climáticas locales y determinar la cantidad anual y distribución estacional de lluvias (a partir del servicio meteorológico local) y la incidencia de rayos (a partir del mapa de niveles isoceráunicos).

2. Diseñar el subsistema de electrodos de tierra.

- 2.1. Determinar que tipo de subsistema es más apropiado para la edificación.
- 2.2. Establecer los requerimientos primarios que debe cumplir:
 - Para una instalación ubicada en un área de alta incidencia de rayo, el subsistema tiene que ser capaz de disipar de manera segura la energía del rayo sin que ocurra fusión de los conductores o sobrecalentamiento del suelo. También deben minimizarse las tensiones de paso en las áreas donde pueda haber presencia de personas.
 - Si existe un sistema de radiocomunicaciones donde el plano de tierra de antena tiene que servir como subsistema de electrodos de tierra, éste debe tener una baja impedancia a radiofrecuencia.
 - Debe tener una resistencia a tierra inferior o igual a 10Ω .
- 2.3. Considerar las condiciones del sitio y su localización:
 - Determinar si la resistividad del suelo es baja ($< 50 \Omega.m$), media (50 a $200 \Omega.m$) o alta ($>200 \Omega.m$). Mientras mayor la resistividad del suelo más complejo y costoso será el subsistema de electrodos de tierra necesario para lograr la resistencia inferior a 10Ω .
 - Tener en cuenta ubicación del manto freático en la zona, pues es sumamente deseable alcanzarlo. Los factores a considerar son su profundidad con relación a la superficie y su disponibilidad respecto a grandes variaciones estacionales. El diseño será tal que haga y mantenga el contacto de los electrodos con un suelo que permanezca húmedo o mojado durante todo el año, si es posible.
 - Considerar las grandes formaciones rocosas cerca de la superficie pues éstas influyen considerablemente en el tipo y la disposición de los electrodos de tierra. En regiones donde el lecho rocoso es poco profundo, no deben usarse electrodos verticales sino horizontales como conductores, mallas o placas. Las grandes rocas salientes o los cantos sub-superficiales pueden obligar a la adopción de alternativas respecto al trazado de conductores o a la colocación de varillas. No es necesario incurrir en costosas perforaciones en roca para insertar varillas o cables debido a que la resistividad de la roca es tan alta que estos electrodos podrían no ser efectivos.
- 2.4. La localización del subsistema de electrodos de tierra tiene que ser tal que no sea perjudicado por los parapetos y aleros. La ubicación y trazado de los conductores de bajada frecuentemente son afectados por las consideraciones arquitectónicas. El diseño se ajustará a dichas consideraciones. El trazado de los cables de interconexión del subsistema de electrodos de tierra con los conductores de bajada deberá ser lo más corto posible para evitar extensiones prolongadas entre el conductor de bajada y el punto efectivo de tierra. Ubique el subsistema de electrodos de tierra de modo tal que sean posibles las

conexiones convenientes con los conductores de tierra de los sistemas eléctrico y de telecomunicaciones del edificio.

- 2.5. Sitúe los conductores de tierra preferiblemente en áreas húmedas o cubiertas con vegetación. La ubicación de los conductores deberá sacar máxima ventaja de los efectos del humedecimiento por saturación o del agua de drenajes de la cubierta, parqueos, etc. Evitar la ubicación de las principales partes de este subsistema de electrodos de tierra en extensas áreas pavimentadas bajo carreteras o zonas de parqueos.
- 2.6. Considerar las ventajas y desventajas relativas de los tipos de electrodos de tierra con vistas a seleccionar el más apropiado para satisfacer los requerimientos del edificio.
- 2.7. Estimar los costos relativos para satisfacer los objetivos con diferentes tipos de configuraciones. Incluir los costos de materiales, de instalación, de mantenimiento y de actualización.
- 2.8. Calcular la resistencia a tierra de la configuración seleccionada. Si esta cumple el objetivo de diseño, complete el subsistema con todas las interconexiones necesarias.
- 2.9. Frecuentemente se encontrarán sitios no ideales que requerirán alguna alternativa de configuración de electrodos de tierra. Por ejemplo, pueden existir grandes formaciones rocosas que impidan la colocación uniforme de los electrodos verticales alrededor del sitio, el lecho rocoso puede estar cerca de la superficie, el nivel del agua puede caer a varios metros por debajo de la superficie del suelo, la resistividad del suelo puede ser muy alta o las restricciones arquitectónicas y paisajísticas pueden impedir la ubicación de electrodos verticales en puntos específicos. En tales casos, se podrá modificar la configuración de electrodos de acuerdo con dichas restricciones mientras se logre la resistencia deseada. Las alternativas típicas son:
 - Variar la cantidad de electrodos.
 - Usar electrodos más grandes.
 - Disminuir la resistividad del suelo mediante tratamiento químico cuando no sean posibles o económicamente efectivas las medidas anteriores.

3. Instalar el subsistema de acuerdo a los procedimientos recomendados

4. Medir la resistencia a tierra del subsistema para verificar que cumple los objetivos recomendados o especificaciones de diseño.

Inspecciones.

Las inspecciones se realizarán como parte integrante de la instalación durante la construcción del edificio o estructura. Para asegurar que su ejecución sea realizada de manera apropiada, tienen que chequearse cuidadosamente los



APCI

trabajos de construcción desde el comienzo de la excavación hasta la terminación de la instalación. Antes de la aceptación del sistema, su instalación tiene que ser validada como aceptable. Esta servirá de ayuda para la inspección y verificación de la instalación.

- (1) Cumpla los requerimientos y recomendaciones. Verifique que los electrodos de tierra tienen las dimensiones especificadas. Si se utilizan electrodos verticales clavados en el lugar, prevea el uso de sufrideras que eviten el daño de las mismas. Cuide que no se doblen, rompan o deformen los acoples entre secciones. Los acoples seriamente debilitados o dañados tienen que ser remplazados antes queden por debajo del nivel del terreno.
- (2) Compruebe la resistencia de los electrodos verticales a medida que sean clavados. Use el método de caída de potencial para determinar la resistencia a tierra de éstos cuando alcancen la profundidad de diseño. Calcule la resistencia del total de electrodos verticales de la red. Este cálculo tiene que indicar si el subsistema de electrodos planificado alcanzará la resistencia de $10\ \Omega$ (o menos). En la medida que sean clavadas los electrodos verticales, continúe verificando las resistencias individuales de estos mediante medición. Este procedimiento le permitirá tomar la decisión sobre la necesidad de ajustar la cantidad de electrodos (adicionando o sustrayendo) hasta lograr la resistencia deseada.
- (3) Observe que los cables que interconectan los electrodos verticales sean del área de sección transversal correcta ($50\ \text{mm}^2$). Inspeccione todas las conexiones entre secciones de cable y entre cable y electrodos. Todas las conexiones que queden enterradas y posteriormente inaccesibles serán preferiblemente soldadas. Destine las abrazaderas o conexiones atornilladas para localizaciones que sean accesibles.
- (4) Verifique que se hayan tomado provisiones para la interconexión del subsistema de electrodos de tierra con las líneas metálicas de la edificación, los tanques soterrados y otras estructuras metálicas enterradas.
- (5) Verifique que se han instalado derivaciones o cables de las dimensiones apropiadas para las conexiones al conductor de bajada de pararrayos, tierra del sistema eléctrico y tierra de telecomunicaciones. Asegúrese que las derivaciones usadas para los conductores de bajada del pararrayos no se usan como parte de los subsistemas de referencia de señal y de protección contra falla.
- (6) Una vez que el sistema completo sea instalado, mida la resistencia a tierra del sistema usando el método de caída de potencial.



APCI

(7) Asegúrese que todos los cambios o modificaciones están adecuadamente indicadas en los diagramas de la instalación.

(8) Guarde copia de todos los diagramas, estudios iniciales del sitio, listas de verificación y datos de pruebas recolectados durante la construcción.

Pruebas.

Las pruebas serán realizadas por personal debidamente cualificado y entrenado.

(1) Cuando se mide el subsistema de electrodos de tierra deben velarse las siguientes precauciones de seguridad:

- Cuando se mida resistencia, tenga cuidado al realizar la conexión de los terminales de los cables al instrumento de medición y evite el contacto de las manos con los terminales y electrodos de referencia. Recuerde que durante las condiciones de falla pueden producirse tensiones peligrosas entre el subsistema de electrodos de tierra y el punto distante que está siendo probado.
- La mayor parte de la resistencia a tierra se desarrolla próxima a sistema de tierra debido al “efecto de semiesfera”. Alrededor de un electrodo de tierra semiesférico, la resistencia del suelo es la suma de las resistencias serie de las capas virtuales de suelo, localizadas progresivamente hacia afuera a partir del electrodo. La capa más cercana tiene el área de circunferencia o sección transversal más pequeña, de modo que tiene la mayor resistencia. Las capas exteriores que le suceden a ésta tienen áreas progresivamente más grandes y, por tanto, resistencias más bajas. En la medida que el radio del electrodo aumenta, el incremento de resistencia por unidad de radio disminuye hasta casi cero. Cuando ocurre una falla a tierra, la mayor parte de la caída de tensión se produce próxima al subsistema. Debe tomarse precaución cuando se aproxima a una tierra viva.
- En las estaciones donde el cercado no está conectado a la tierra de la misma, puede desarrollarse una tensión peligrosa bajo condiciones de falla entre ambas. No toque dichas partes simultáneamente.
- Las sobretensiones en las líneas de transmisión pueden inducir valores peligrosos en los terminales de prueba que descansan bajo las líneas. Debe tenerse cuidado al manipular dichos terminales.
- Las mediciones no deben efectuarse durante una tormenta eléctrica.



APCI

- Como medida de protección para el operador se recomienda el uso de guantes de goma y botas aislante capaces de protegerlo contra cualquier tensión peligrosa.
- (2) La red de electrodos de tierra completa se medirá en cada localización donde los documentos de proyecto de la instalación especifiquen un valor máximo de resistencia a tierra, en el terminal de tierra del panel de entrada de servicio y en las arquetas de inspección. Mida la resistencia a tierra luego de transcurridos 2 días completos después de la última lluvia y sin el suelo haber sido humedecido por algún otro medio de drenaje o escape natural, químicamente tratado o aplicado algún otro medio artificial de reducción de la resistividad natural.