

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA PROVISIÓN DE**

**SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

**COCHABAMBA - BOLIVIA**

**TABLA DE CONTENIDO**

[1. ALCANCE 3](#_Toc530067781)

[2. DISEÑO 3](#_Toc530067782)

[3. MEDIDA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO 3](#_Toc530067783)

[3.1 MÉTODO DE WENNER 4](#_Toc530067784)

[3.2 MÉTODO DE SCHLUMBERGER - PALMER 4](#_Toc530067785)

[4. MATERIALES 6](#_Toc530067786)

[5. EJECUCIÓN DEL TRABAJO 6](#_Toc530067787)

[6. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LAS CASETAS DE RELÉS Y EDIFICIOS DE CONTROL 13](#_Toc530067788)

[7. INSPECCIÓN FINAL Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA 14](#_Toc530067789)

[7.1 MÉTODO PARA REALIZAR LA MEDIDA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA 14](#_Toc530067790)

[7.2 RESULTADOS OBTENIDOS 16](#_Toc530067791)

[7.3 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA 16](#_Toc530067792)

# ALCANCE

Este documento especifica los requerimientos para el diseño y la instalación del sistema de puesta a tierra y apantallamiento para las subestaciones a construir.

# DISEÑO

El diseño de la malla de puesta a tierra y el apantallamiento se deberá realizar de acuerdo con lo estipulado en las siguientes normas:

Para el apantallamiento:

* IEEE Std 998 - Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations. New York, Usa: IEEE, 2012.
* ANSI/NFPA 780 - Standard for the Installation of Lightning Protection Systems. 2014.
* IEC 62305-1 - Protection against lightning – Part 1: General Principles. Geneva, Switzerland: IEC, 2010.
* IEC 62305-2 - Protection against lightning – Part 2: Risk management. Geneva, Switzerland: IEC, 2010.
* IEC 62305-3 - Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard. Geneva, Switzerland: IEC, 2010.
* IEC 60865-1 - Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1: Definitions and calculation methods. Geneva, Switzerland: IEC, 2008.
* IEEE Std 80 - Guide for Safety in A.C. Substation Grounding. New York, Usa: IEEE, 2013.

Para la malla de puesta a tierra:

* IEC 60909. - Short Circuit Currents in Three Phase A.C. Systems. Geneva, Switzerland, 2001.
* IEEE Std. 80 - Guide for Safety in A.C. Substation Grounding. New York, USA: IEEE, 2013.
* IEEE Std. 837 - IEEE Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substatin Grounding. New York, USA: IEEE, 2014.
* IEEE Std. 81 - IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System. New York, USA: IEEE, 2012.

# MEDIDA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La medida de resistividad deberá realizarse con un telurómetro, debidamente calibrado por un laboratorio acreditado para tal fin. El contratista adjudicado deberá presentar a ENDE CORPORACIÓN, los documentos que acrediten tanto la calibración del equipo como la acreditación del laboratorio donde se llevó a cabo dicha calibración.

La medición de resistividad se deberá realizarse con el método de Wenner o con el método de Schlumberger – Palmer, de acuerdo a la distancia a la cual se esté midiendo.

Los métodos empleados para la medida de resistividad del terreno son los siguientes:

## MÉTODO DE WENNER

En el método de Wenner o de los cuatro terminales, los electrodos se disponen en línea recta espaciados uniformemente, tal como se muestra en la Figura 1.

 

Figura 1. Método de Wenner para la medida de resistividad del suelo

La medida de la resistividad del suelo se hace inyectando corriente a través de dos electrodos externos dispuestos en línea recta y midiendo la tensión que aparece entre otros dos electrodos intermedios. La relación entre la tensión y la corriente proporciona el valor de resistencia mutua medida.

El espaciamiento (a) entre electrodos es uniforme y es de 2 m, 3 m, 5 m, 10m y 15m, la profundidad de enterramiento de los electrodos (b) es de 10 cm, que es menor al 5% de la separación entre electrodos, de esta forma los electrodos se consideran puntuales.

La resistividad aparente del suelo a una profundidad dada es la resistividad medida para un espaciamiento entre electrodos igual a dicha profundidad y está dada por la ecuación: (1)

**** Ecuación (1)

donde,

ρ: Resistividad del suelo [Ω·m]

R: Resistencia mutua medida [Ω]

a: Separación entre electrodos [m]

b: Profundidad de enterramiento de los electrodos [m]

## MÉTODO DE SCHLUMBERGER - PALMER

En el método de Schlumberger - Palmer los electrodos se disponen en línea recta espaciados en forma progresiva requiriéndose sólo que la separación entre los electrodos de potencial sea igual a la profundidad a la cual se mida la resistividad, esto es conveniente cuando se requiere medir la resistividad a grandes profundidades. En la se ilustra este método.

 

Figura 2. Método de Schlumberger -Palmer para la medida de la resistividad del suelo

Si la profundidad de enterramiento de los electrodos es despreciable con respecto a su separación, la resistividad aparente del suelo a una profundidad d (igual al espaciamiento entre los electrodos de potencial), se puede determinar como:

 Ecuación (2)

donde,

c: Separación entre los electrodo de tensión y corriente [m]

d: Separación entre electrodos de potencial [m]

Mientras sea posible, las medidas de la resistividad del terreno deben ser tomadas mínimo en dos ejes diferentes en zonas verdes aledañas a la zona a la cual se le hace el estudio. La profundidad de enterramiento de los electrodos es de 10 cm en todos los casos.

Cuando la resistencia es muy grande se puede emplear el método de Schumberger-Palmer para permitir una mejor circulación de corriente entre los electrodos para obtener mayor precisión en la medida.

Para profundidades más grandes (más de 32m) el método de Wenner no es ya confiable y se recomienda también usar el método de Schumberger – Palmer.

# MATERIALES

El Contratista será responsable del suministro, transporte, almacenamiento, custodia e inventario de cada uno de los materiales suministrados, por lo tanto, deberá disponer de un almacén adecuado y seguro en la obra.

El Contratista será el encargado de instalar y realizar todas las obras civiles necesarias para la construcción del sistema de puesta a tierra y del apantallamiento, así como de suministrar la herramienta necesaria para realizar todas las actividades.

# EJECUCIÓN DEL TRABAJO

El Contratista deberá instalar todos los elementos requeridos para la construcción de la malla de puesta a tierra y el apantallamiento, observando las mejores técnicas empleadas en instalaciones de este tipo.

Si durante la construcción del sistema de puesta a tierra se originan averías parciales o totales a las estructuras en concreto, tubería, filtros o cualquier otro elemento de la subestación, o las edificaciones, este deberá ser reemplazado o reparado por el Contratista sin ningún costo para ENDE CORPORACIÓN.

La construcción de la malla de puesta tierra comprende los siguientes ítems; para la aceptación de cada uno de ellos, se requiere la revisión y aceptación por parte de la Supervisión.

1. Excavación y profundidad de la red

El Contratista será el responsable de la correcta ejecución de todas las excavaciones.

La ejecución de esta actividad deberán tener presente todas y cada una de las siguientes indicaciones:

* Excavación en taludes, seguridad en construcción y otros fines se deberá ser considerada en el costo cotizado.
* El escarpe y despeje del área de excavación, donde fuese necesario éste material será acumulado de acuerdo a instrucción de la Supervisión.
* Se exigirá además, la provisión de banderilleros o señaleros permanentes, cuando así lo aconseje la Supervisión.
* Se contemplan como excavaciones del sistema de puesta a tierra todo lo diseñado en el plano de la planta general, aquellas que son dispuestas para la instalación de las colas enterradas a equipos, cárcamos y demás salidas necesarias para la puesta a tierra de equipos.
* Se debe contemplar las excavaciones para las interconexiones con los sistemas de puestas a tierras existentes de la subestación
* Cuando la excavación coincida con estructuras de concreto existentes u otros obstáculos, se debe realizar los desplazamientos convenientes de la malla de puesta a tierra, previa aprobación de la Supervisión, evitando que el cable quede enterrado directamente en concreto previendo los pasos necesarios o variando su trayectoria.
1. Tendido de cable.

Los conductores, deberán instalarse en las excavaciones realizadas para la instalación del sistema de puesta a tierra, procurando que su recorrido sea el más corto posible, evitando trazados inapropiados y curvas de poco radio. Así mismo, se debe evitar el deterioro de este y garantizar la limpieza, para su buen funcionamiento.

Así mismo, el Contratista deberá instalar el conductor del sistema de puesta a tierra en toda la longitud de los cárcamos dispuestos en las subestaciones y edificaciones del proyecto.

El Contratista hará el tendido de las colas previstas para conectar a los equipos, cárcamos y demás salidas, con sus respectivas longitudes teniendo en cuenta el nivel de piso acabado. Así mismo, deberán entregarse enrolladas y protegidas hasta cuando se efectúe el conexionado.

1. Instalación de electrodos de puesta a tierra

El electrodo diseñado para puesta a tierra será de cobre o de una combinación de otros materiales con cobre resistente a la corrosión, de tal forma que no afecte su capacidad de conducción bajo las condiciones existentes durante su vida útil.

Todas las superficies exteriores de los electrodos diseñados para puesta a tierra serán conductivas, esto es, no tendrán pintura, esmalte u otras coberturas de tipo aislante.

Los electrodos para puesta a tierra son varillas de puesta a tierra, en las dimensiones y formas de disposición mediante las cuales se obtienen los valores exigidos en esta sección.

Los electrodos donde sean accesibles (cajas de inspección), la parte superior del punto de unión de éste y el conductor debe quedar como mínimo a 15 cm de la superficie.

En cualquiera de las situaciones, el electrodo enterrado no debe estar en contacto directo con piedra o grava.

Las características de los electrodos a utilizar en la construcción de las mallas de puestas a tierra:

Tabla 1. Características de los electrodos de puesta a tierra

|  |  |
| --- | --- |
| **ÍTEM** | **DESCRIPCIÓN** |
| **Norma** | ANSI-UL-467 |
| **Sección** | Circular |
| **Longitud Total** | 2400 mm |
| **Diámetro** | 16 mm (5/8”) |
| **Material** | Cobre sólido, refinado de alta pureza y conductividad |

1. Ejecución de conexiones/empalmes

Las conexiones son uno de los componentes más representativos en un sistema de puesta a tierra y normalmente no reciben mantenimiento ni son inspeccionadas, por tanto deben construirse de tal manera que estén exentas de daños. Estas conexiones se realizarán de forma exotérmicas.

Los diferentes tipos de empalmes indicados en los planos serán efectuados por el Contratista con las herramientas necesarias para realizar adecuadamente la instalación de la malla de puesta a tierra.

Las conexiones/empalmes se realizarán con soldadura exotérmica, deberá tener suficiente relleno para cubrir completamente los conductores. La superficie de la conexión deberá estar razonablemente lisa, libre de depósitos mayores de escoria. Las conexiones exotérmicas, consiste en una reacción química en la que se reduce el óxido de cobre mediante aluminio en polvo de acuerdo a la siguiente aleación:

3CuO+Al=3Cu+Al2O3+calor

Al combinarse el aluminio con el oxígeno, se forma alúmina y se precipita cobre metálico en forma líquida debido al calor de la reacción. Se llama exotérmica por el desprendimiento de calor.

La soldadura no se debe realizar con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.) para evitar falsos contactos.

Deben cumplir con las normas IEEE-837 “Standard for qualifying permanent connections used in substation grounding” [11], así mismo debe garantizar una conductividad eléctrica adecuada, soportar los aumentos súbitos de temperatura causada por descargas atmosféricas, alta resistencia mecánica y evitar el deterioro con el tiempo.

Para el sistema de puesta a tierra que se implementará en este proyecto se requiere soldadura exotérmica de acuerdo a la conexión se tienen las siguientes cargas:

Tabla 2. Selección de carga para el tipo de conexiones exotérmicas

| **CONEXIÓN** | **CARGA** |
| --- | --- |
| Conexión fundida de varilla copperweld de Ø 5/8" y cable de cobre calibre 107 mm2 (4/0 AWG) | 115 gramos por fusión |
| Conexión fundida tipo "T" entre cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) y cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) | 150 gramos por fusión |
| Conexión fundida tipo "X" entre cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) y cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) | 250 gramos por fusión |
| Conexión fundida tipo "T" entre cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) y cable calibre 70 mm2 (2/0 AWG)  | 90 gramos por fusión |
| Conexión fundida tipo "Empalme" entre cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) y cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) | 90 gramos por fusión |
| Conexión fundida tipo “T” entre cable calibre 70 mm2 (2/0 AWG) y cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) | 115 gramos por fusión |

1. Moldes

Las especificaciones de los moldes para soldaduras exotérmicas con sus correspondientes accesorios, utilizadas en las conexiones y mallas de puesta a tierra, ya sea en derivación, “T”, “X” o empalme, será por fusión.

Cada molde llevara adosada una placa metálica en español, de fácil lectura con la siguiente información:

* Nombre del Fabricante
* Tipo de unión a soldar (T o X)
* Medidas de las piezas a soldar
* Cartucho a utilizar

El material de los moldes será de grafito o material similar aptos para realizar las conexiones mediante una reacción exotérmica, a una temperatura igual al punto de fusión del cobre. El calor desarrollado no debe alterar el buen funcionamiento de la unión en cuanto no aumente la resistencia eléctrica de los conductores o piezas que una y no disminuya su resistencia a la corrosión.

Las soldaduras no presentarán imperfecciones u otros defectos visibles que puedan comprometer la unión soldada. La sección transversal de la soldadura será mayor que la de las piezas que suelda. La longitud axial de la soldadura será la necesaria para cumplir con los requisitos mecánicos y eléctricos.

Los Moldes deberán tener además las siguientes características:

* Dimensión pequeña
* Resistencia mecánica adecuada
* Montaje fácil
* Poco mantenimiento
* Seguridad en la operación
* Cantidad de fusiones a realizar mínimo 40

El Proponente adjudicado, deberá presentar las pruebas de estos de acuerdo con:

* Copia completa de la norma de fabricación y ensayos
* Certificado de los ensayos tipo
* Recomendaciones de uso (Manual de mantenimiento y de almacenamiento)

Los moldes que se van a utilizar, se relacionan a continuación:

Tabla 3. Selección de molde para el tipo de conexión exotérmica

| **MOLDES** | **DISEÑO** |
| --- | --- |
| Molde para hacer conexión fundida de varilla copperweld de Ø 5/8" y cable de cobre calibre 185 mm2 (350 kCM) |  |
| Molde pata hacer conexión fundida tipo "T" entre cable calibre 185 mm2 (350 kCM) y cable calibre 185 mm2 (350 kCM) |
| Molde para hacer conexión fundida tipo "T" entre cable calibre 185 mm2 (350 kCM) y cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) |
| Molde para hacer conexión fundida tipo "T" entre cable calibre 185 mm2 (350 kCM) y cable calibre 70 mm2 (2/0 AWG) |
| Molde para hacer conexión fundida de varilla copperweld de Ø 5/8" y cable de cobre calibre107 mm2 (4/0 AWG) |
| Molde para hacer conexión fundida tipo "T" entre cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) y cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) |
| Molde para hacer conexión fundida tipo "X" entre cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) y cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) |
| Molde para hacer conexión fundida tipo "T" entre cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) y cable calibre 70 mm2 (2/0 AWG) |
| Molde para hacer conexión fundida tipo "Empalme" entre cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) y cable calibre 107 mm2 (4/0 AWG) |

Antes de realizar la conexión debe efectuarse previamente una buena limpieza y secado de los puntos a ser unidos y asegurar la utilización de los moldes apropiados, de acuerdo con el tamaño y forma de los elementos a conectar.

No se aceptará, una masa esponjosa o de grandes orificios profundos, ni imperfecciones. Debe verificarse después de la aplicación la rigidez mecánica de la conexión debiendo ser reemplazada cualquiera que resulte defectuosa.

Es importante tener presente las normas, manual y recomendaciones técnicas dadas por el fabricante para la ejecución de las conexiones/empalmes.

El personal encargado por el Contratista para el manejo de la soldadura exotérmica y otros elementos, deberá ser entrenado debidamente para la utilización adecuada de estas herramientas y la elaboración correcta de la conexión.

Los conectores son elaborados en una sola pieza, sin uniones, se recubren con una capa de estaño electrolítico brillante para evitar la corrosión, lo que permite a su vez aumentar más aún conductibilidad, llevan identificado bajo relieve el calibre del cable para el cual fueron fabricados.

Tabla 4. Selección del conector terminal

| **ÍTEM** | **DISEÑO** | **DIMENSIONES** |
| --- | --- | --- |
| Conector terminal tipo "OJO" de cobre para cable de cobre calibre 107 mm2 (4/0 AWG) |  | Largo terminal L (mm):  | 60 |
| Diámetro exterior De (mm):  | 17,4 |
| Diámetro interior Di (mm) | 13,9 |
| Diámetro perforación Dp (mm) | 13,5 |
| Largo paleta P (mm) | 25 |
| Largo caño Lc (mm) | 27 |
| Conector terminal tipo "OJO" de cobre para cable de cobre calibre 70 mm2 (2/0 AWG) | Largo terminal L (mm):  | 52 |
| Diámetro exterior De (mm):  | 14,2 |
| Diámetro interior Di (mm) | 11,2 |
| Diámetro perforación Dp (mm) | 10,5 |
| Largo paleta P (mm) | 22 |
| Largo caño Lc (mm) | 24 |

El suministro de los conectores descritos, debe incluir todos los tornillos, tuercas y arandelas requeridos para el correcto armado de las mismas.

En la fabricación de los tornillos el fabricante debe tener especial cuidado con el tratamiento térmico a que son sometidos para evitar las pérdidas de resistencia mecánica que ocasiona el proceso de fabricación, por esto, el fabricante debe garantizar por medio de certificados de pruebas de laboratorio que las propiedades mecánicas de estos elementos son las requeridas según la norma.

1. Cajas de inspección

Las cajas de inspección y las cajas de conexión para el sistema de puesta a tierra, se construirán en concreto o bloques de concreto con las dimensiones mínimas indicadas en los planos y con tapas de concreto reforzado, con la aprobación de la Supervisión.

1. Barras de cobre

Un barraje es una platina de cobre pre taladrada, con dimensiones y separación de pernos y hueco. Debe ser dimensionado de acuerdo con los requisitos inmediatos de aplicación y teniendo en consideración futuros crecimiento.

Es preferible pero no imprescindible que sea recubierto con níquel, si no lo es, debe limpiarse antes de unir a los conectores. Deben utilizarse conectores certificados de comprensión de dos huecos o soldadura exotérmica.

Se requiere de dos tipos de barras de cobre de acuerdo a las características presentadas en las tablas 13-7 y 13-8, la cuales se utilizarán para las casetas y edificio de control y para fosos respectivamente.

Tabla 5. Características de las barra de cobre

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ÍTEM** | **DIMENSIONES** | **DISEÑO** |
| Espesor | 5 mm |  |
| Ancho | 20 mm mínimo |
| Longitud | 600 mm |
| Separación entre conectores | 120 mm |

Tabla 6. Características de las barra de cobre para fosos.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ÍTEM** | **DIMENSIONES** | **DISEÑO** |
| Espesor | 5 mm |  |

1. Relleno y compactación excavación

Este ítem el Contratista debe considerar la provisión de equipos, herramientas y mano de obra necesaria para ejecutar los rellenos estructurales y la restitución de los pavimentos que en las labores de excavación hayan sido afectados.

Los rellenos solo deberán realizarse después que las excavaciones, fundaciones y demás componentes del sistema de puesta a tierra hayan sido revisadas y aprobadas por La Supervisión.

1. Sistema de puesta a tierra:

Ninguna brecha podrá ser tapada sin contar con la previa revisión y aprobación de que todos los elementos constitutivos de la misma se encuentran contenidos dentro de la misma e instalados de manera apropiada.

Todos los moldes, accesorios y demás elementos necesarios para la instalación de la malla de puesta a tierra, son considerados como herramienta y por tanto no serán objeto de pago alguno por parte del contratista.

Los moldes podrán ser utilizados un máximo de 40 ocasiones, o antes si se observa que las soldaduras obtenidas con el mismo no cumplen con las características mínimas aceptables. Toda soldadura defectuosa a juicio del Supervisor, deberá ser reemplazada por el Contratista sin que esto implique un costo adicional para ENDE CORPORACIÓN.

1. Apantallamiento:
* Se deberán instalar cables de guarda Alumoweld 7 No.8, entre los castilletes de los pórticos del patio de la subestación.
* Se deberán Instalar puntas captadoras tipo Franklin de 2 m de altura, y cable de cobre desnudo 2/0 AWG interconectado al sistema de malla de puesta a tierra de la nueva subestación,
* Se deberá unir el cable de guarda propuesto con las colas de conexión derivadas de la malla de puesta a tierra en los lugares indicados, empleando bajantes en cable Alumoweld 7 No.8 y conector bimetálico certificado para la unión con el cable de cobre. A su vez, se deberá unir el cable Alumoweld 7 No.8 a la estructura metálica del pórtico a través de conectores cable estructura de acuerdo al calibre del cable.

# SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LAS CASETAS DE RELÉS Y EDIFICIOS DE CONTROL

La actividad consiste en la construcción del sistema de puesta a tierra de las casetas de relés y de los edificios de control, la cual se realizará teniendo en cuenta las especificaciones de éste capítulo.

Adicional a estas actividades, se deben aterrizar las estructuras de las casetas y relés y del edificio de control. Para ello el contratista deberá suministrar el cable de cobre desnudo, el cual debe cumplir las disposiciones aplicables de las últimas versiones de las siguientes normas:

ASTM B-1: Standard Specification for Hard-Drawn Copper Wire.

ASTM B-2: Standard Specification for Medium-Hard-Drawn Copper Wire.

ASTM B-3: Standard Specification for Soft or Annealed Copper Wire.

ASTM B-8: Standard Specification For Concentric-Lay- Stranded Copper Conductors, hard, Medium-hard or soft.

El cable de cobre desnudo debe ser del tipo duro y electrolítico sin estañar. Adicionalmente, este debe ser de alta conductividad y ductilidad. Debido a su utilización enterrada, debe ser resistente a la tracción, fatiga y a la corrosión salobre.

Los materiales implementados en la fabricación del cable de cobre, deberán tener una pureza no menor al 99,9%. El cable será del tipo trenzado en capas concéntricas conformado por 1 alambre.

Para la aceptación de los cables se deben realizar las pruebas de rutina estipuladas en las norma ASTM B-8.

Las características del conductor a utilizar son las estipuladas en el documento PLCS-SE-ET-011 “Especificaciones técnicas para suministro de cables de alta, media y baja tensión”.

Los diferentes tipos de empalmes requeridos serán efectuados por el Contratista con las herramientas necesarias para realizar adecuadamente la instalación de la malla de puesta a tierra.

Las conexiones/empalmes en el tendido del cable de cobre desnudo a lo largo de las edificaciones se realizarán con soldadura de estaño, así como las conexiones de las puertas y ventanas.

# INSPECCIÓN FINAL Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Durante el progreso de la obra el Contratista debe mantener un juego completo de los planos de construcción en los que se indiquen las modificaciones efectuadas, que haya sido necesario efectuar durante la ejecución de las obras y previa aprobación del Supervisor. Este juego de planos debe ser entregado por el Contratista al Supervisor a la terminación de las obras marcándolos con la leyenda “tal como se construyó".

Una vez terminado la instalación del sistema de puesta a tierra para cada una de las subestaciones, el Contratista deberá realizar la medida de resistencia de puesta a tierra.

La medida de resistencia de malla a tierra debe ser ejecutada por personal capacitado suministrado por el Contratista, bajo las órdenes e indicaciones del Supervisor. Las pruebas se deben hacer con las debidas precauciones para proteger el personal y el equipo. El Contratista debe suministrar también todo el equipo e instrumentos necesarios para llevar a cabo las pruebas y debe contemplar el transporte de éstos donde sean necesarios.

No serán válidas las pruebas que se realicen sin la aprobación del Supervisor. Las instalaciones provisionales que sean necesarias para la ejecución de las pruebas, serán hechas por cuenta y bajo la total responsabilidad del Contratista.

## MÉTODO PARA REALIZAR LA MEDIDA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

La resistencia de puesta a tierra, deberá ser medida antes de la puesta en funcionamiento del sistema eléctrico. Para esta medida, se debe aplicar la técnica de Caída de Potencial (método del 62%), cuya disposición se muestra en la Figura 1.



**Figura 3. Método de la caída de potencial (método del 62%)**

El método consiste en desplazar el electrodo Y en la dirección XZ y elaborar la gráfica de la relación V/I = R en función de la distancia H como se aprecia en la Figura 4. Se observa en la curva una región plana que corresponde al valor de la resistencia de puesta a tierra de la malla medida; esta área plana por lo general se localiza cuando la distancia H equivale al 62% de la distancia D.



**Figura 4. Método de caída de potencial - Curva obtenida**

Se recomienda que la distancia de separación D esté entre los 50 y los 200 metros; una distancia menor a los 50 metros puede quedar dentro del área de influencia de la malla y una distancia superior a los 200 metros no es confiable debido a las características del equipo de medida.

La porción horizontal de la gráfica, representa una zona donde el efecto de la convergencia de corriente hacia los extremos del circuito de corriente es despreciable. Esta zona está por fuera del “área de influencia” de la malla y el electrodo de prueba. La resistencia sobre la porción plana, es la resistencia de puesta a tierra real de la malla.

Para obtener una porción plana en la curva, es necesario que el electrodo de corriente esté efectivamente por fuera del área de “influencia” de la malla. Esta influencia es llamada algunas veces “alcance” de la malla y puede considerarse como la distancia a partir de la cual el aumento de voltaje medido producido por una corriente en la tierra es despreciable. Teóricamente el alcance es infinito; pero prácticamente, existe un límite porque la influencia varía inversamente con la distancia a la malla.

Para mallas de tierra de gran extensión, la separación requerida puede no ser práctica o posible, porque los cables de guarda de las líneas de transmisión y los neutros conectados a la malla aumentan el área de influencia. Por esta razón es posible no obtener una porción horizontal de la curva y se hace necesario utilizar otros métodos de interpretación.

La ventaja principal del método de caída de potencial es que los electrodos de potencial y de corriente pueden tener, substancialmente, una mayor resistencia que el sistema de tierra a medir, sin afectar significativamente la precisión de las mediciones y que la impedancia de los cables del medidor no afecta la medida, dado que el circuito de corriente es independiente del circuito de tensión.

El valor de la medida de la resistencia de puesta a tierra no debe ser mayor a 25 ohms.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Todos los defectos u omisiones que se encuentren serán corregidos por el Contratista sin costo adicional para ENDE CORPORACIÓN.

El Contratista debe llevar un registro de los resultados de las pruebas, en formatos previamente aprobados por el Supervisor y debe entregar a ENDE CORPORACIÓN dos copias de los resultados finales para aprobación de esta última, como requisito indispensable para la recepción de las instalaciones eléctricas interiores y exteriores de la subestación.

## RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

Cuando se está haciendo la medición de la resistencia de puesta a tierra, se podría quedar expuesto a gradientes de potencial letales que pueden existir entre la tierra a medir y la tierra remota. Por ello, es importante cumplir las siguientes recomendaciones:

* Antes de proceder a la medición de resistencia debe medirse la tensión originada por corrientes espurias. Si supera los 30 V, no debe medirse la resistencia y debe localizarse la falla.
* Utilice guantes y calzado con suela dieléctrica
* Cuando se manipulen los cables de los electrodos de prueba, bajo ninguna circunstancia intente completar (cerrar) el circuito con las manos u otra parte del cuerpo entre puntos que podrían estar a diferencias de potencial altas.
* Se debe procurar que alrededor del electrodo de corriente no haya curiosos, ni animales durante la prueba.
* No debe realizarse las medidas en condiciones atmosféricas adversas.
* La puesta a tierra debe estar desconectada de las bajantes del apantallamiento, del neutro del sistema y de las tierras a equipos.