

1. OBJETO

Servir como documento de referencia para la medición de la resistencia de puesta a tierra (RPT) de sistemas de puesta a tierra instalados en la red de epm.

Conocer los aspectos básicos de seguridad que se deben tener en cuenta durante la medición de la RPT.

Orientar el cumplimiento de los requisitos técnicos estipulados por el Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.

2. ALCANCE

Establece los conceptos y procedimientos básicos para la medición de la resistencia de puesta a tierra (RPT) de los electrodos o mallas de puesta a tierra, instaladas en el sistema de distribución de las Empresas Públicas de Medellín (epm).

Esta norma cubre la evaluación de la resistencia de puesta a tierra de los equipos de transformación, maniobra y protección instalados en las redes de distribución de energía en media tensión (13.2 y 44 kV) y baja tensión, así como de las mallas de puestas a tierra para subestaciones industriales, comerciales, de instalaciones de servicios y residenciales conectadas a la red de las epm.

3. DEFINICIONES

Las definiciones están establecidas de acuerdo a las normas IEEE Std 81-1983 y ASTM G57-06.

Sistema de Puesta a Tierra (SPT) (Grounding System): Conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que unen los equipos eléctricos con el suelo o terreno. Comprende la puesta a tierra y todos los elementos puestos a tierra.

Suelo: Sistema natural, resultado de procesos físicos, químicos y biológicos, con componentes principalmente minerales y sólidos inertes que le dan estabilidad, en conjunto con líquidos y gases que definen su comportamiento eléctrico.

Electrodo de Puesta a Tierra (Grounding Electrode): Conductor en íntimo contacto con el suelo, para proporcionar una conexión eléctrica con el terreno. Puede ser una varilla, tubo, placa, cinta, o cable.

Puesta a tierra (Grounding): Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuyen las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende: Electrodos, conexiones y cables enterrados. También se le conoce como toma de tierra o conexión a tierra.

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 1 de 17

Puesto a Tierra (Grounded): Toda conexión intencional o accidental del sistema eléctrico con un elemento considerado como una puesta a tierra. Se aplica a todo equipo o parte de una instalación eléctrica (neutro, centro de estrella de transformadores o generadores, carcasas, incluso una fase para sistemas en delta, entre otros), que posee una conexión intencional o accidental con un elemento considerado como puesta a tierra.

Tierra (Ground o Earth): Para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a sistemas de puesta a tierra. En temas eléctricos se asocia a suelo, terreno, tierra, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura o tubería de agua. El término “masa” solo debe utilizarse para aquellos casos en que no es el suelo, como en los aviones, los barcos, los carros y otros.

Conductor del Electrodo de Puesta Tierra (Grounding Electrode Conductor): Conductor que es intencionalmente conectado a una puesta a tierra, sólidamente, para distribuir la tierra a diferentes sitios de una instalación.

Resistividad del Suelo: Representa la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, o de un estrato del suelo; se obtiene indirectamente al procesar un grupo de medidas de campo; su magnitud se expresa en (Ωm) o (Ωcm) y es inversa a la conductividad. La resistividad eléctrica (ρ): Es la relación entre el gradiente de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo. Es la resistencia específica de una sustancia. Numéricamente es la resistencia ofrecida por un cubo de 1m x 1m x 1m, medida entre dos caras opuestas.

Resistividad Aparente: Es la resistividad obtenida con una medida directa en el suelo natural, bajo el esquema geométrico especificado por el método de cuatro (4) electrodos, aplicado con circuitos independientes de corriente y potencial; en suelo estratificado es sólo un indicador de la resistividad global hasta cierta profundidad y se requieren varios valores con diferentes distancias entre los electrodos, para calcular las resistividades de cada estrato.

Resistencia Mutua de Electrodo: Fenómeno resistivo que aparece entre electrodos de puesta a tierra o puntos próximos en el suelo, mediante el cual, la corriente que se dispersa a través de uno de ellos, modifica el potencial del otro. Su unidad es el (Ω).

Potencial Eléctrico: Diferencia de potencial entre el punto y alguna superficie equipotencial, usualmente la superficie del suelo, a la cual arbitrariamente se le asigna potencial cero (tierra remota).

Tierra Remota: Es una zona lo suficientemente alejada con respecto a la puesta tierra considerada, en la cual se puede asumir que su potencial es cero y que no cambia aún habiendo inyección de corriente en la puesta a tierra bajo estudio.

Acero inoxidable martensítico: Aceros al cromo (11.5% a 18%) con alto contenido de carbón (0.15% a 1.2%). Presentan elevada dureza y resistencia mecánica, se endurecen por tratamiento térmico y son magnéticos.

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 2 de 17

Acero inoxidable Austenístico: Aceros al cromo-níquel (16% a 30% Cr y 6% a 22% Ni) con bajo contenido de carbón (0.20% máximo). Presentan elevada resistencia a la corrosión, ductilidad y gran facilidad de limpieza; se endurecen por trabajo en frío y no son magnéticos.

4. ASPECTOS TÉCNICOS

4.1. Generalidades

Se entiende que un equipo o componente de un sistema eléctrico está puesto a tierra, cuando se conecta a la tierra por medio de dispositivos conductores de electricidad adecuados. El término normalizado para designar la resistencia ofrecida al paso de una corriente eléctrica por el suelo desde una puesta a tierra, es “Resistencia de Puesta a Tierra”.

Una puesta a tierra presenta resistencia, capacitancia e inductancia, cada cual influyendo en la capacidad de conducción de corriente por la tierra. Por lo tanto, no se debe pensar solamente en una resistencia de puesta a tierra, sino más bien en una impedancia. Para bajas frecuencias, bajas densidades de corriente y valores de resistividad del suelo no muy elevados, son despreciables los efectos capacitivos y de ionización del suelo y el mismo se comporta prácticamente como una resistencia. En el caso de altas frecuencias, es necesario considerar también el efecto capacitivo, principalmente en suelos de altas resistividades. Las ondas tipo rayo sufren la oposición de la reactancia inductiva de las conexiones al penetrar el suelo.

4.1.1. Requisitos básicos de una puesta a tierra

Los objetivos principales de una puesta a tierra se pueden resumir en lo siguiente:

- Permitir la conducción a tierra de cargas estáticas o descargas eléctricas atmosféricas.
- Limitar a niveles seguros los valores de la tensión a tierra de equipos o estructuras accidentalmente energizados y mantener en valores determinados la tensión fase-tierra de sistemas eléctricos, fijando los niveles de aislamiento.
- Limitar las tensiones debidos a maniobras.
- Limitar la tensión debido a contacto no intencional con sistemas de mayor tensión.
- Permitir a los equipos de protección aislar rápidamente las fallas.

Ahora bien, para realizar adecuadamente estas funciones, una puesta a tierra debe presentar las siguientes características:

- Preferiblemente una baja resistencia
- Una suficiente capacidad de conducción de corriente.

En general se espera que una puesta a tierra tenga suficiente capacidad de dispersión de corriente en el suelo, y que a su vez limite los potenciales en su superficie (control de gradiente de potencial), de tal manera que no comprometan la seguridad de las personas por causa de una falla a tierra.

PRIMERA EDICIÓN: MAYO-1984	ELABORÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN	AUTORIZÓ: SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN
ÚLTIMA PUBLICACIÓN: MAYO-2008	REVISÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN	Página 3 de 17

4.1.2. Componentes de la resistencia de puesta a tierra

La resistencia ofrecida al paso de la corriente eléctrica a través de un electrodo hacia el suelo tiene tres componentes principales (ver figura 1):

1. Resistencia del electrodo (metal): La cual es despreciable en comparación con el ítem 3.
2. Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo. Se puede despreciar si el electrodo está exento de cualquier cubierta aislante como tintas, pinturas, grasa, etc; y si la tierra está bien compactada en la zona de contacto de sus paredes.
3. Resistencia de la tierra circundante: ésta es la componente que determina el valor de la resistencia de una puesta a tierra y depende básicamente de la resistividad del suelo y de la distribución de la corriente proveniente del electrodo.

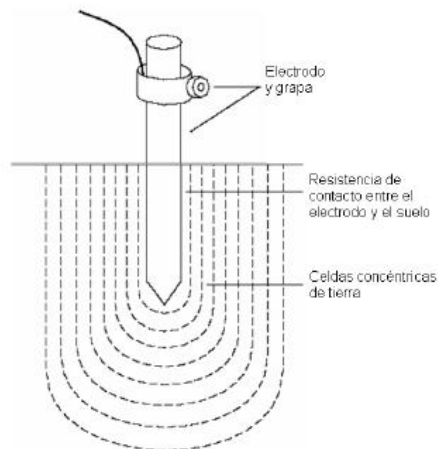


Figura 1. Elementos que constituyen una puesta a tierra.

Alrededor del electrodo de puesta a tierra, la resistencia del suelo es la suma de las resistencias serie de las celdas o capas coaxiales circundantes del suelo, localizadas progresivamente hacia fuera del electrodo. Como se ilustra en la figura 1, a medida que aumenta la distancia, las capas del suelo presentan una mayor área transversal a la corriente y por tanto una menor resistencia. Se sigue entonces que la resistencia de puesta a tierra reside esencialmente en las capas de suelo más próximas al electrodo. Normalmente para una varilla de 2.4 metros, el 90% del valor de la resistencia de puesta a tierra se encuentra dentro de un radio de 3.0 metros.

4.1.3. Resistividad del suelo

La resistividad del suelo varía con la profundidad, el tipo y concentración de sales solubles, el contenido de humedad y la temperatura del suelo. La presencia de agua superficial no necesariamente indica baja resistividad. Dado el impacto de este parámetro en el valor final de la

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 4 de 17

RPT, es necesario que la resistividad del suelo en el sitio donde será ubicada la puesta a tierra, sea medida en forma precisa. El procedimiento básico de medición y modelación del suelo puede consultarse en la norma RA6-014.

4.2 Requisitos específicos

4.2.1. Valores recomendados de Resistencia de Puesta a Tierra

Un buen diseño de puesta a tierra debe reflejarse en el control de las tensiones de paso, de contacto y transferidas; sin embargo, la limitación de las tensiones transferidas principalmente en subestaciones de media y alta tensión es igualmente importante. En razón a que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial y controla las tensiones transferidas, pueden tomarse como referencia los siguientes valores máximos de RPT adoptados de las normas técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050, NTC 4552:

Tabla 1.
Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra.

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras de líneas de transmisión	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 Ω
Subestaciones de media tensión	10 Ω
Protección contra rayos	10 Ω
Neutro de acometida en baja tensión	25 Ω

Cuando por valores altos de resistividad del terreno, de elevadas corrientes de falla a tierra o tiempos de despeje de la misma, o que por un balance técnico-económico no resulte práctico obtener los valores de la tabla de valores de resistencia a tierra, en todo caso se debe garantizar que las tensiones de paso, contacto y transferidas en caso de una falla a tierra no superen las máximas permitidas, incluso cuando se alcancen los valores señalados en la tabla 1.

5. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

5.1. Método de caída de potencial

La resistencia de puesta a tierra debe ser medida antes de la puesta en funcionamiento de un sistema eléctrico, como parte de la rutina de mantenimiento o excepcionalmente como parte de la verificación de un sistema de puesta a tierra. Para su medición se debe aplicar el método de Caída de Potencial, cuya disposición de montaje para medición se muestra en la Figura 2.

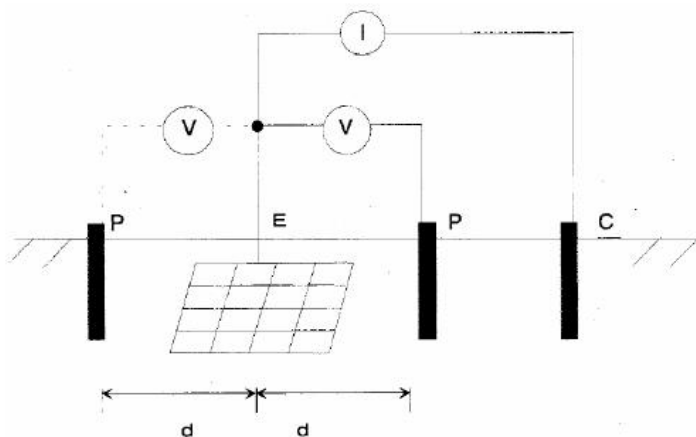


Figura 2. Método de la caída de potencial para medir la RPT.

El método consiste en pasar una corriente entre el electrodo o sistema de puesta a tierra a medir y un electrodo de corriente auxiliar (C) y medir la tensión entre la puesta a tierra bajo prueba y un electrodo de potencial auxiliar (P) como muestra la figura 2. Para minimizar la influencia entre electrodos, el electrodo de corriente, se coloca generalmente a una sustancial distancia del sistema de puesta a tierra. Típicamente ésta distancia debe ser mínimo 6.0 veces superior a la dimensión más grande de la puesta a tierra bajo estudio.

El electrodo de potencial debe ser colocado en la misma dirección del electrodo de corriente, pero también puede ser colocado en la dirección opuesta como lo ilustra la figura 2. En la práctica, la distancia "d" para el electrodo de potencial se elige aproximadamente al 62% de la distancia del electrodo de corriente. Esta distancia esta basada en la posición teóricamente correcta (61.8%) para medir la resistencia exacta del electrodo para un suelo de resistividad homogéneo.

La localización del electrodo de potencial es muy crítica para medir la resistencia de una puesta a tierra. La localización debe ser libre de cualquier influencia del sistema de puesta tierra bajo medida y del electrodo auxiliar de corriente. La manera más práctica de determinar si el electrodo de potencial está fuera de la zona de influencia de los electrodos, es obtener varias lecturas de resistencias moviendo el electrodo de potencial en varios puntos entre la puesta a tierra bajo prueba y el electrodo de corriente. Dos o tres lecturas consecutivas aproximadamente constantes pueden asumirse como representativas del valor de resistencia verdadera.

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 6 de 17

La figura 3 muestra una gráfica típica de resistencia contra distancia del electrodo de potencial (P). La curva muestra cómo la resistencia es cercana a cero cuando (P) se acerca al sistema de puesta a tierra, y se aproxima al infinito hacia la localización del electrodo de corriente (C). El punto de inflexión en la curva corresponderá a la resistencia de puesta a tierra del sistema bajo estudio.

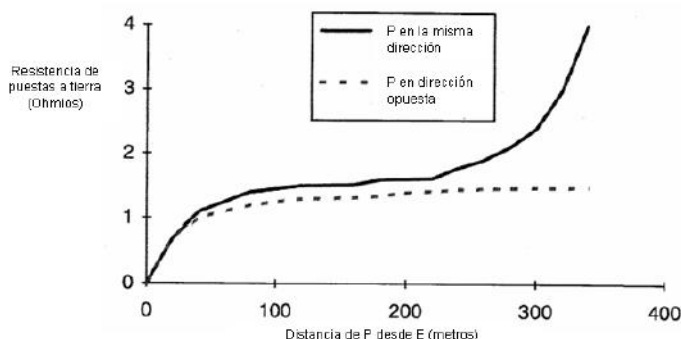


Figura 3. Resistencia de puesta a tierra versus distancia de (P).

Es aconsejable repetir el proceso de medición en una dirección distinta, lo que aumenta la confiabilidad de los resultados.

5.1.2. Gradientes de Potencial

La medición de la RPT por el método de Caída de Potencial genera gradientes de potencial en el terreno, producto de la inyección de corriente por tierra a través del electrodo de corriente. Por ello, si el electrodo de corriente, el de potencial y la puesta a tierra se encuentran muy cercanos entre sí, ocurrirá un solapamiento de los gradientes de potencial generados por cada electrodo, resultando una curva en la cual el valor de resistencia medida se incrementará con respecto a la distancia, tal como se muestra en la figura 4.

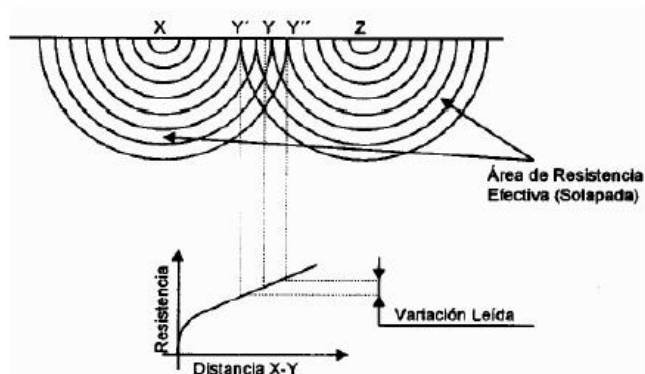


Figura 4. Solapamiento de los gradientes de potencial.

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Al ubicarse el electrodo de corriente a una distancia lo suficientemente lejana de la puesta a tierra a medir, la variación de posición del electrodo de potencial, desde la puesta a tierra hasta el electrodo de corriente, no producirá solapamiento entre los gradientes de cada electrodo, originándose entonces una curva como la mostrada en la figura 5.

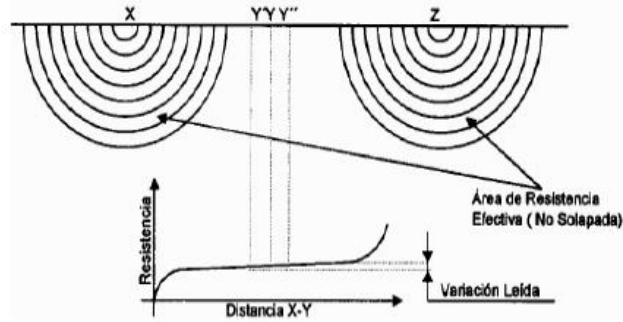


Figura 5. Curva de resistencia versus distancia sin solapamiento de gradientes de potencial.

En figura 5 puede observarse cómo existe una porción de la curva que permanece casi invariable, la cual será más prolongada o corta, dependiendo de la separación entre los electrodos de corriente (Z) y bajo prueba (X). El valor de resistencia asociada a este sector de la curva será el valor correcto de resistencia de puesta a tierra.

5.1.3. Método de la pendiente

Es el método sugerido para medir sistemas de puesta a tierra de tamaño considerable (cuya máxima longitud supera los 30 m), o cuando la posición del centro de la puesta a tierra no es conocido o es inaccesible (por ejemplo, el SPT esta por debajo de un edificio). También se puede utilizar cuando el área para colocar los electrodos de prueba esta restringida o es inaccesible.

La forma de conexión es como en el método de “caída de potencial”, la diferencia radica en que se toman medidas moviendo el electrodo de potencial (electrodo intermedio) al 20, 40 y 60 % de la distancia entre la malla a medir y el electrodo remoto (a una distancia C de la malla). Se mide la resistencia de puesta a tierra usando cada distancia, obteniéndose respectivamente los valores de R1, R2 y R3, para luego calcular el valor del cambio de la pendiente (μ) con respecto a la distancia así:

$$\mu = (R_3 - R_2) / (R_2 - R_1)$$

Con el valor de μ se va a la tabla 1, donde en una de las columnas se encuentra el valor correspondiente de k. El valor de k se multiplica entonces por la distancia C encontrando la distancia a la cual se debe colocar el electrodo intermedio (electrodo de potencial pt) con respecto a la malla a medir. Se mide la resistencia después de clavar el electrodo intermedio a la distancia antes calculada, el cual es el valor más aproximado de resistencia del sistema de puesta a tierra medido.

PRIMERA EDICIÓN: MAYO-1984	ELABORÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN	AUTORIZÓ: SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN
ÚLTIMA PUBLICACIÓN: MAYO-2008	REVISÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN	Página 8 de 17

Si el valor de μ obtenido no esta en la tabla, se debe colocar más lejos el electrodo de corriente
Debe aplicarse con mayor cuidado en suelos no homogéneos y con cambios bruscos de pendiente.

Tabla 1.

Valores de k en función de μ para el método de la pendiente

VALORES DE k EN FUNCION DE μ PARA EL METODO DE LA PENDIENTE									
u	k	u	k	u	k	u	k	u	k
0.01	0.6932	0.3900	0.6446	0.7700	0.5856	1.1500	0.5071	1.5300	0.3740
0.02	0.6921	0.4000	0.6432	0.7800	0.5838	1.1600	0.5046	1.5400	0.3688
0.03	0.6909	0.4100	0.6418	0.7900	0.5821	1.1700	0.5020	1.5500	0.3635
0.04	0.6898	0.4200	0.6404	0.8000	0.5803	1.1800	0.4994	1.5600	0.3580
0.05	0.6886	0.4300	0.6390	0.8100	0.5785	1.1900	0.4968	1.5700	0.3523
0.06	0.6874	0.4400	0.6375	0.8200	0.5767	1.2000	0.4941	1.5800	0.3465
0.07	0.6862	0.4500	0.6361	0.8300	0.5749	1.2100	0.4914	1.5900	0.3404
0.08	0.6850	0.4600	0.6346	0.8400	0.5731	1.2200	0.4887	1.6000	0.3342
0.09	0.6838	0.4700	0.6331	0.8500	0.5712	1.2300	0.4859	1.6100	0.3278
0.10	0.6826	0.4800	0.6317	0.8600	0.5693	1.2400	0.4831	1.6200	0.3211
0.11	0.6814	0.4900	0.6302	0.8700	0.5675	1.2500	0.4802	1.6300	0.3143
0.12	0.6801	0.5000	0.6287	0.8800	0.5656	1.2600	0.4773	1.6400	0.3071
0.13	0.6789	0.5100	0.6272	0.8900	0.5637	1.2700	0.4743	1.6500	0.2997
0.14	0.6777	0.5200	0.6258	0.9000	0.5618	1.2800	0.4713	1.6600	0.2920
0.15	0.6764	0.5300	0.6243	0.9100	0.5598	1.2900	0.4683	1.6700	0.2840
0.16	0.6752	0.5400	0.6228	0.9200	0.5579	1.3000	0.4652	1.6800	0.2758
0.17	0.6739	0.5500	0.6212	0.9300	0.5559	1.3100	0.4620	1.6900	0.2669
0.18	0.6727	0.5600	0.6197	0.9400	0.5539	1.3200	0.4588	1.7000	0.2578
0.19	0.6714	0.5700	0.6182	0.9500	0.5519	1.3300	0.4556	1.7100	0.2483
0.20	0.6701	0.5800	0.6167	0.9600	0.5499	1.3400	0.4522	1.7200	0.2383
0.21	0.6688	0.5900	0.6151	0.9700	0.5479	1.3500	0.4489	1.7300	0.2278
0.22	0.6675	0.6000	0.6136	0.9800	0.5458	1.3600	0.4454	1.7400	0.2167
0.23	0.6662	0.6100	0.6120	0.9900	0.5437	1.3700	0.4419	1.7500	0.2051
0.24	0.6649	0.6200	0.6104	1.0000	0.5416	1.3800	0.4383	1.7600	0.1928
0.25	0.6636	0.6300	0.6088	1.0100	0.5395	1.3900	0.4346	1.7700	0.1797
0.26	0.6623	0.6400	0.6072	1.0200	0.5373	1.4000	0.4309	1.7800	0.1658
0.27	0.6610	0.6500	0.6056	1.0300	0.5352	1.4100	0.4271	1.7900	0.1511
0.28	0.6597	0.6600	0.6040	1.0400	0.5330	1.4200	0.4232	1.8000	0.1352
0.29	0.6583	0.6700	0.6024	1.0500	0.5307	1.4300	0.4192	1.8100	0.1183
0.30	0.6570	0.6800	0.6008	1.0600	0.5285	1.4400	0.4152	1.8200	0.1000
0.31	0.6556	0.6900	0.5991	1.0700	0.5262	1.4500	0.4111	1.8300	0.0803
0.32	0.6543	0.7000	0.5975	1.0800	0.5239	1.4600	0.4068	1.8400	0.0588
0.33	0.6529	0.7100	0.5958	1.0900	0.5216	1.4700	0.4025	1.8500	0.0353
0.34	0.6516	0.7200	0.5941	1.1000	0.5193	1.4800	0.3980		
0.35	0.6502	0.7300	0.5924	1.1100	0.5169	1.4900	0.3935		
0.36	0.6488	0.7400	0.5907	1.1200	0.5144	1.5000	0.3888		
0.37	0.6474	0.7500	0.5890	1.1300	0.5121	1.5100	0.3840		
0.38	0.6460	0.7600	0.5873	1.1400	0.5096	1.5200	0.3791		

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 9 de 17

6. METODOLOGÍA PARA CASOS ESPECIALES

6.1. Medida de resistencia de puesta a tierra sobre pavimentos o suelos de concreto

Algunas veces la puesta a tierra se encuentra rodeada de suelos cubiertos por pavimentos, concreto o cemento y en los cuales no es fácil la colocación de los electrodos de prueba tipo varilla. En tales casos pueden usarse placas de cobre para reemplazar los electrodos auxiliares y agua para remojar el punto y disminuir la resistencia de contacto con el suelo, como se ilustra en la figura 6.

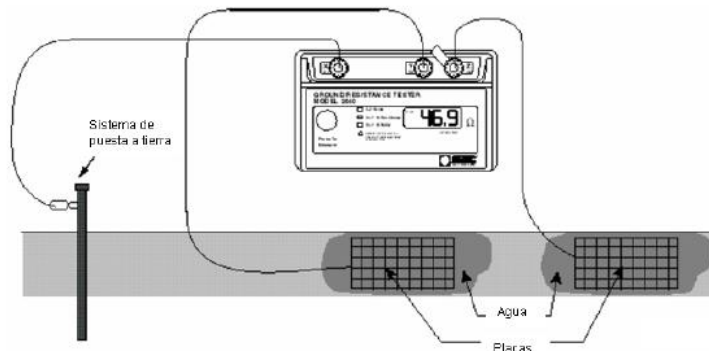


Figura 6. Medida de resistencia de puesta a tierra en suelos o pavimentos.

Los procedimientos y requerimientos para la implementación de este método de medición deberá estar acorde a lo indicado en la ASTM D 3633-98 “Standard Test Method For Electrical Resistivity Of Membrane- Pavement Systems”.

Las placas de cobre deberán ser dispuestas a la misma distancia en que se colocarían los electrodos auxiliares de acuerdo al método de la Caída de Potencial previamente descrito. Las dimensiones de la placa deberán ser de 30x30 cm y espesor de 3.8 cm Se debe verter agua sobre las placas y remojar el sitio donde serán ubicadas para mejorar el contacto con el suelo. Es necesario esperar un tiempo prudente para que el agua penetre y la lectura de la resistencia se haya estabilizado. El tiempo requerido para el proceso de penetración de la humedad variará dependiendo del espesor y de la permeabilidad de la capa del pavimento (30 minutos son normalmente suficientes). Se debe tener cuidado de que las áreas humedecidas no se traslapen. Las placas realizarán la misma función de los electrodos auxiliares.

6.2. Medida de la RPT mediante medidor tipo pinza

Este es un método práctico que viene siendo ampliamente usado para medir la puesta a tierra en sitios donde es imposible usar el método convencional de caída de potencial, como es el caso de lugares densamente poblados, celdas subterráneas, centros de grandes ciudades, etc.

PRIMERA EDICIÓN: MAYO-1984	ELABORÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN	AUTORIZÓ: SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN
ÚLTIMA PUBLICACIÓN: MAYO-2008	REVISÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN	Página 10 de 17

El medidor tipo pinza, mide la resistencia de puesta a tierra de una varilla o de una puesta a tierra de dimensiones pequeñas, simplemente abrazando el conductor de puesta a tierra o bajante como lo ilustra la figura 7.

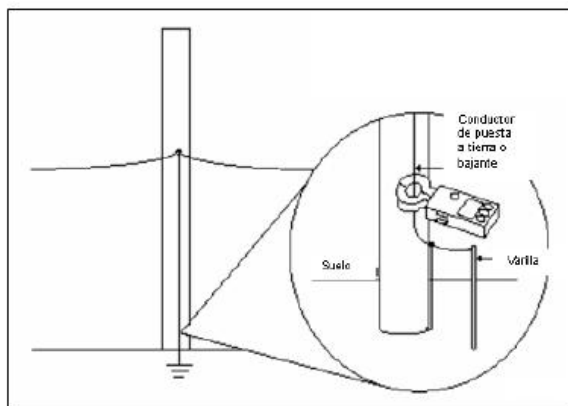


Figura 7. Medición de la RPT utilizando pinza.

El principio de operación es el siguiente:

El neutro de un sistema puesto a tierra en más de un punto, puede ser representado como un circuito simple de resistencias de puesta a tierra en paralelo (figura 8). Si una tensión “E” es aplicada al electrodo o sistema de puesta a tierra Rx, la corriente “I” resultante fluirá a través del circuito.

Típicamente los instrumentos poseen un oscilador de tensión a una frecuencia de 1.6 kHz, y la corriente a la frecuencia generada es recolectada por un receptor de corriente. Un filtro interno elimina las corrientes de tierra y ruido de alta frecuencia.

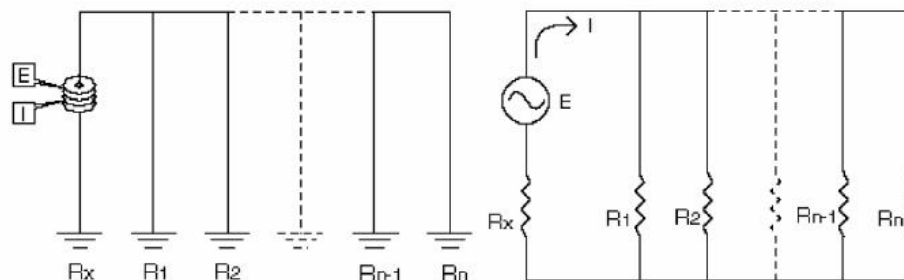


Figura 8. Circuito equivalente para un sistema puesto a tierra en más de un punto.

La relación entre la tensión y la corriente es determinada por el instrumento y desplegada en forma digital. El método está basado en la suposición de que la impedancia del neutro del sistema puesto a

<p>PRIMERA EDICIÓN: MAYO-1984</p>	<p>ELABORÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN</p>	<p>AUTORIZÓ: SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN</p>
<p>ÚLTIMA PUBLICACIÓN: MAYO-2008</p>	<p>REVISÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN</p>	<p>Página 11 de 17</p>

tierra en más de un punto, excluyendo el electrodo bajo medida, es muy pequeña y puede ser asumida igual a cero. La ecuación es la siguiente:

$$E/I = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$$

Donde usualmente,

$$R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$$

Con esta suposición, la lectura indicada representa la resistencia de puesta a tierra del electrodo que se está midiendo.

El método posee las siguientes limitaciones:

- La aplicación es limitada a electrodos conectados a sistemas puestos a tierra en más de un punto de baja impedancia.
- Las conexiones corroídas o partidas del neutro del sistema (o cable de guarda) pueden influenciar las lecturas.
- No es aplicable a los sistemas de puesta a tierra en los cuales la corriente inyectada pueda retornar por caminos diferentes a la tierra misma.
- La presencia de ruido de alta frecuencia o campos electromagnéticos altos en el sistema, podría influenciar las lecturas.
- La existencia de altas resistencias en las conexiones con el electrodo de puesta a tierra.
- Si el conductor de conexión con el electrodo está abierto no se tendría una medida confiable.

Es importante tener muy presente que si se está midiendo en postes donde no es accesible el conductor de puesta a tierra o donde se puede estar midiendo dos electrodos en paralelo, se debe usar un transformador de corriente de gran tamaño, ofrecido por algunos fabricantes (figura 9).

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 12 de 17



Figura 9. Transformador de corriente para abrazar todo el poste.

7. DISPOSITIVOS, EQUIPOS Y MATERIALES

7.1. Electrodo: Fabricados de acero estructural de bajo carbón o acero inoxidable tipo martensítico con un diámetro desde 0.475 a 0.635 cm y longitudes desde 30 hasta 60 cm. La varilla debe tener tratamiento térmico, con el fin de que tenga suficiente rigidez para poder ser hincada en suelos secos o gravilla. Los electrodos deben tener un mango, palanca u otro accesorio para ser hincados, y un conector terminal para conectar el cable o alambre. El electrodo varilla debe ser liso; los electrodos tipo roscado no son recomendados ya que dejan aire atrapado entre la varilla y el suelo, creando una alta resistencia de contacto.

7.2. Cableado: El calibre del cable va desde 18 hasta 22 AWG de cobre, conductor de cableado B normal según ASTM B8. Cuando el equipo viene para distancias normalizadas y fijas en su medición el cable puede ser multiconductor, apantallado y con terminales de conexión. Los terminales de conexión para el cable deberán ser de buena calidad y asegurar una baja resistencia de contacto de acuerdo con lo especificado en la UL-486 B. El aislamiento del cable debe ser para uso pesado, no se debe desgastar por roce o abrasión contra el piso. El cable debe estar empacado en carretes para su fácil transporte y manipulación.

7.3. Herramienta de Hincado: En suelos normales es recomendado un martillo de mano de 2 a 4 kg para hincar el electrodo tipo varilla en el suelo.

7.4. Calibración de la medida: Para una adecuada medición de resistencia de puesta a tierra, es de trascendental importancia que el equipo sea calibrado mínimo cada año o cada 100 mediciones (de las dos, la que ocurra primero) por un laboratorio acreditado, y además tener presente las recomendaciones del fabricante del equipo. El equipo debe ser bien seleccionado cuando se adquiere, para tener medidas de alta calidad; también los materiales auxiliares como los electrodos auxiliares, cables y conectores requieren verificar su aptitud en ensayos de laboratorio. El error del

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 13 de 17

medidor no debe exceder el 5% sobre el rango del instrumento; si el error del medidor excede este límite, se debe enviar el equipo a ajuste para recobrar la calibración perdida.

8. PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN

8.1. Consideraciones de Seguridad

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 puesta a tierra a medir y la tierra remota. Para ello es importante tener muy presente las siguientes recomendaciones:

- No deben ser realizadas mediciones en condiciones atmosféricas adversas.
- La puesta a tierra debe estar desconectada de las bajantes de los pararrayos, del neutro del sistema y de las tierras de los equipos.
- Antes de proceder a la medición, debe medirse la tensión originada por corrientes espurias. Si supera los 30 Voltios, no debe medirse la resistencia y debe localizarse la falla.
- Se deben utilizar guantes aislados y calzados con suela dieléctrica. Adicionalmente se deben conocer los requisitos de seguridad establecidos en la OSHA 1910.269.
- Uno de los objetivos de la medición es establecer la localización de la tierra remota, tanto para los electrodos de potencial como de corriente; Por tanto, las conexiones de estos electrodos deben ser tratadas como una fuente de posible potencial entre los cables de conexión y cualquier punto sobre la malla. Es importante tener precauciones en la manipulación de todas las conexiones.
- Bajo ninguna circunstancia se deben tener las dos manos o partes del cuerpo humano, dispuestas de forma que completen o cierren el circuito entre puntos de posible alta diferencia de potencial.
- Se debe procurar que alrededor del electrodo de corriente no haya curiosos ni animales durante la medida.
- Se deberán tener en cuenta además las recomendaciones dadas por el fabricante del equipo, y el equipo adecuado para la medición.

8.1.1. Medición de RPT en Descargadores de Sobretensión (DPS):

La medición de esta RPT es de especial cuidado, puesto que pueden aparecer, en el momento de la medida, corrientes extremadamente altas, de corta duración, debido a descargas eléctricas atmosféricas, por el funcionamiento propio del **DPS**. En un **DPS** aislado y puesto a tierra, la bajante o conductor de puesta a tierra nunca debe ser desconectada para realizar la medición, porque la base del **DPS** puede estar al potencial de la línea. La medición debe ser realizada una vez se tengan todas las precauciones de rigor.

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 14 de 17

8.1.2. Medición de RPT de Subestaciones:

Se debe tener presente la posibilidad de presencia de un potencial peligroso entre la malla de puesta a tierra y la tierra remota, si una falla en el sistema de potencia involucra la malla de puesta a tierra de la subestación durante la medida. El personal que realiza las medidas debe utilizar el equipo de protección personal adecuado.

En subestaciones de grandes dimensiones (lados superiores a 30m) deben aplicarse las técnicas establecidas en la norma IEEE 81.2.

8.2. Consideraciones de orden práctico

- Los electrodos y placas deben estar bien limpios y exentos de óxido para posibilitar el contacto con el suelo.
- Los electrodos de tensión y corriente deben estar firmemente clavados en el suelo y tener un buen contacto con tierra.
- Se recomienda realizar las medidas en días de suelo seco, para obtener el mayor valor de resistencia de puesta a tierra de la instalación.
- Desconectar todos los componentes del sistema de puesta a tierra en estudio.
- La puesta a tierra bajo estudio y los electrodos de prueba deben estar en línea recta.

8.3 Espaciamiento y dirección de la medidas (Método Wenner)

La distancia entre el sistema de puesta a tierra y el electrodo de corriente, debe ser superior a **6 veces** la mayor dimensión lineal del sistema de puesta a tierra bajo estudio. Esta distancia nunca debe ser inferior a 30 metros para un sólo electrodo o varilla, ni inferior a 100 metros en el caso de mallas de subestaciones.

El electrodo de potencial (**P**) debe ser colocado al 62% entre el sistema de puesta a tierra y el electrodo de corriente (**I**).

Se debe realizar varias mediciones de RPT para diferentes ubicaciones del electrodo de potencial (**P**), sin mover el electrodo de corriente (**C**). Para comprobar la exactitud de los resultados y asegurar que el electrodo bajo prueba está fuera del área de influencia del de corriente, se deberá cambiar de posición el electrodo de potencial (**P**) un metro ó más hacia el electrodo de corriente (**C**). Luego se corre el electrodo de potencial un metro o más (respecto al punto inicial) hacia el sistema de puesta a tierra bajo estudio y se toma una tercera medida.

Si hay un cambio significativo en el valor de la resistencia (mayor al 10%) se debe incrementar la distancia entre el electrodo de corriente (**C**) y la puesta a tierra repitiendo el procedimiento anterior, hasta que el valor de resistencia medido se mantenga casi invariable.

Es aconsejable repetir el proceso de medición en una dirección distinta lo que aumenta la confiabilidad de los resultados.

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 15 de 17

9. NORMAS DE REFERENCIAS

IEEE Std 80-2000 “Guide for Safety In AC Substation Grounding.”

IEEE Std 81-1983 “Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”.

IEEE Std 142 “Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems”.

IEEE Std 367 “Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage From a Power Fault”.

IEEE Std 1100-2000 “Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment”.

IEEE Std C62.92.4 “Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems, Part IV—Distribution”.

IEEE Std C62.92.1 “Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems-Part I: Introduction.”

ANSI/IEEE C62.92-1987 IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems Part I-Introduction

IEEE 1048 IEEE Guide for Protective Grounding of Power Lines.

IEEE 524A IEEE Guide to Grounding During the Installation of Overhead Transmission Line Conductors

ASTM G162 Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils.

ASTM G 162 -99 “Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils”.

ASTM G57-95a “Standard Test Method for Field measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four- Electrode Method”.

RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Res 180398 de 2004 y 180498 de 2005.

PRIMERA EDICIÓN:
MAYO-1984

ELABORÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

AUTORIZÓ:
SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN

ÚLTIMA PUBLICACIÓN:
MAYO-2008

REVISÓ:
ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN

Página 16 de 17

10. FORMATO PARA REGISTRO DE MEDICIONES DE RESISTENCIA

DATOS DEL SITIO

Fecha: _____ Subestación: _____ Circuito: _____
 Equipo aterrizado: _____
 Municipio: _____ Dirección _____ Barrio/Vereda: _____
 Proyecto: _____ Cliente: _____

DATOS COMPLEMENTARIOS

Responsable de la medida: _____
 Equipo de medida utilizado: _____
 Condiciones del terreno: Seco: _____ Húmedo: _____
 Observaciones del terreno: _____

REGISTROS DE LAS MEDIDAS

Método	Distancia (C) del electrodo de corriente al SPT (m)	Distancia (d) del electrodo de potencial al SPT (m)	Resistencia medida (Ohmios)
Caída de potencial	C :>=6 * Máx long SPT	d ₁ = d ₀ - 1.0 m	R ₁ =
		d ₀ = 0.62*C	R ₀ =
		d ₂ = d ₀ + 1.0 m	R ₂ =
Pendiente	C :>=6 * Máx long SPT	d ₁ = 0.2*C	R ₁ =
		d ₂ = 0.4*C	R ₂ =
		d ₃ =0.6*C ₃	R ₃ =
	Calcular $\mu = (R_3 - R_2) / (R_2 - R_1)$ De tabla 1 obtener k Calcular la distancia del electrodo de potencia como dp= k*C Con esta distancia se lee el valor real de R	R=	
Pinza			R=

NOTAS:

Para puestas a tierra en postes de distribución la distancia C puede ser asumida en 30 metros.
 Las resistencias medidas R₁ y R₂ no deben variar en más del 10% respecto a R₀ [Desviación (%) = [(R_{1,2}-R₀)/R₀*100]. Si hay un cambio significativo se debe incrementar la distancia C repitiendo el procedimiento anterior, hasta que el valor de resistencia medido se mantenga casi invariable.
 Se debe tener muy presente las consideraciones de seguridad y de orden práctico establecidas en la sección 8.1 y 8.2 de esta norma.
 El método de la pendiente puede emplearse en áreas inaccesibles o restringidas en lugar del método de caída de potencial..

PRIMERA EDICIÓN: MAYO-1984	ELABORÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN	AUTORIZÓ: SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN
ÚLTIMA PUBLICACIÓN: MAYO-2008	REVISÓ: ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN	Página 17 de 17