

ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LOS EDIFICIOS DE:  
MEDIO AMBIENTE, COMUNICACIONES, EDUCACIÓN, CAFETERIA  
CENTRAL, SISTEMAS, Y CIENCIAS BASICAS DE LA UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA DE PEREIRA

CRISTIAN CAMILO CARDONA VELEZ  
ALEJANDRO ROMERO SEPULVEDA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE TECNOLOGIA ELÉCTRICA  
PEREIRA  
2012

ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LOS EDIFICIOS DE: MEDIO  
AMBIENTE, COMUNICACIONES, EDUCACIÓN, CAFETERIA CENTRAL, SISTEMAS, Y  
CIENCIAS BASICAS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

CRISTIAN CAMILO CARDONA VELEZ  
ALEJANDRO ROMERO SEPULVEDA

Proyecto de grado  
Para optar al título de  
Tecnólogo Eléctrico

Director:  
Magister JORGE HUMBERTO SANZ ALZATE  
Docente Programa de Tecnología Eléctrica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE TECNOLOGIA ELÉCTRICA  
PEREIRA  
2012

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del director del programa

---

Firma del director del proyecto

---

Firma del jurado

Pereira, Septiembre de 2012

*A mi tía por la oportunidad que me ha dado para poder culminar esta carrera, y por enseñarme que para lograr el éxito se debe saber lo que se hace, amar lo que se hace y creer en lo que se hace.*

*A mis padres por enseñarme que las batallas de la vida no se dirigen al hombre más fuerte o más rápido, pero tarde o temprano, el hombre que gana es aquel que piensa que puede hacerlo.*

*A mis hermanos por confiar en mí y brindarme constantemente su apoyo y a mi compañero de trabajo por aguantarme y por el apoyo que me brindo.*

*Cristian Cardona*

*A mi madre por el amor y apoyo que me ha brindado durante toda la vida, por su preocupación y constancia que han hecho de mí una persona de valores y aspiraciones que me han permitido llegar hasta esta instancia.*

*A mi padre por sus consejos, por enseñarme que a cada día debo hacerle frente a todas las dificultades que se me presentan, que nunca debo dar un paso atrás porque siempre hay un camino para lograr nuestros objetivos.*

*A mi hermano por su cooperación y enseñanzas que han sido vitales en cada etapa de mi vida.*

*Y por último a mis compañeros Ana, Cristian y Andrés, de los cuales estoy inmensamente agradecido por colaboración y paciencia que han tenido conmigo en todo momento.*

*Alejandro Romero*

Dedicamos este trabajo a nuestras familias como muestra de agradecimiento por toda su dedicación y apoyo durante todos estos años de nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Inicialmente queremos agradecer a DIOS todo poderoso por habernos dado salud, sabiduría y fortaleza para poder alcanzar nuestros objetivos, por permitir que nos encontráramos para que juntos emprendiéramos el mismo camino, teniendo la certeza de que con confianza, honestidad y trabajo duro, los grandes sueños se pueden hacer realidad.

A nuestros padres que son la razón de existir, nuestros hermanos por depositar en nosotros todo su amor, confianza y fortalezas para afrontar todas las dificultades que se cruzan en el camino y por brindarnos la oportunidad de seguir afianzando nuestros conocimientos.

Les extendemos un sincero agradecimiento a todos los profesores del programa de Tecnología Eléctrica por su gran acompañamiento en la formación académica y personal a lo largo de toda la carrera.

Al ingeniero Jorge Humberto Sanz un inmenso agradecimiento por sus explicaciones que en todo momento fueron de vital importancia para realizar este trabajo.

Por último pero no menos importante un agradecimiento a todos los compañeros que compartieron y aportaron su granito para que esto fuera posible.

## GLOSARIO

**ALTO RIESGO:** Entiéndase como ALTO RIESGO aquel riesgo cuya frecuencia esperada de ocurrencia y gravedad de sus efectos puedan comprometer fisiológicamente el cuerpo humano, produciendo efectos como quemaduras, impactos, paro cardíaco, fibrilación; u otros efectos físicos que afectan el entorno de la instalación eléctrica, como contaminación, incendio o explosión. La condición de ALTO RIESGO se puede presentar por:

- Deficiencias en la instalación eléctrica.
- Práctica indebida de la electricidad.

**CARGA:** La potencia eléctrica requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos o la potencia que transporta un circuito.

**CONTACTO ELÉCTRICO:** Acción de unión de dos elementos con el fin de cerrar un circuito. Puede ser de frotamiento, de rodillo, líquido o de presión.

**CONTACTO INDIRECTO:** Es el contacto de personas o animales con elementos puestos accidentalmente bajo tensión o el contacto con cualquier parte activa a través de un medio conductor.

**CORROSIÓN:** Ataque a una materia y destrucción progresiva de la misma, mediante una acción química o electroquímica o bacteriana.

**ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA:** Es el conductor o conjunto de conductores enterrados que sirven para establecer una conexión con el suelo.

**EQUIPOTENCIALIZAR:** Es el proceso, práctica o acción de conectar partes conductivas de las instalaciones, equipos o sistemas entre sí o a un sistema de puesta a tierra, mediante una baja impedancia, para que la diferencia de potencial sea mínima entre los puntos interconectados.

**INSPECCIÓN:** Conjunto de actividades tales como medir, examinar, ensayar o comparar con requisitos establecidos, una o varias características de un producto o instalación eléctrica, para determinar su conformidad.

**PUESTA A TIERRA:** Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

**RETIE O Retie:** Acrónimo del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas adoptado por Colombia.

**RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA:** Es la relación entre el potencial del sistema de puesta a tierra a medir, respecto a una tierra remota y la corriente que fluye entre estos puntos.

**SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT):** Conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente.

**SOBRECARGA:** Funcionamiento de un elemento excediendo su capacidad nominal.

**SOBRETENSIÓN:** Tensión anormal existente entre dos puntos de una instalación eléctrica, superior a la tensión máxima de operación normal de un dispositivo, equipo o sistema.

**TENSIÓN:** La diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores, que hace que fluyan electrones por una resistencia. Tensión es una magnitud, cuya unidad es el voltio; un error frecuente es hablar de “voltaje”.

**TENSIÓN A TIERRA:** Para circuitos puestos a tierra, la tensión entre un conductor dado y el conductor del circuito puesto a tierra o a la puesta a tierra; para circuitos no puestos a tierra, la mayor tensión entre un conductor dado y algún otro conductor del circuito.

**TIERRA (Ground o earth):** Para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a conexiones con tierra. En temas eléctricos se asocia a suelo, terreno, tierra, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura ó tubería de agua. El término “masa” sólo debe utilizarse para aquellos casos en que no es el suelo, como en los aviones, los barcos y los carros [3].

## **RESUMEN**

La química del terreno, la cantidad y la calidad de las sales minerales en este pueden influir de modo notable en la resistividad del suelo, por otro lado la humedad y la temperatura afectan la resistividad del terreno, la cual está muy influenciada primordialmente por la humedad y en menor medida no menos importante por su temperatura, son tan significativos estos efectos, que la resistencia del terreno disminuye con el aumento de la humedad y con el incremento de la temperatura. Otro punto que se debe tener en cuenta, es que la varilla o varillas que conforman la puesta a tierra tienden a corroborarse con el tiempo.

Considerando lo anterior se desarrolla un estudio de los valores de resistividad y resistencia de las puestas a tierra de algunos edificios de la Universidad Tecnológica de Pereira, para ser comparados con el estudio hecho en el año 2003, en el cual se registraron los valores de resistividad del terreno y de resistencia de las puestas a tierra de los edificios que conforman la Universidad Tecnológica de Pereira, con lo cual se podrá determinar si dichas puestas a tierras a un son eficientes teniendo en cuenta el avance de la Universidad y la evolución del terreno.

## INDICE

1.	MÉTODOS PARA LA MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	13
1.1	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA. ....	13
1.1.1	Métodos geoelectricos. ....	14
2.0	MÉTODOS Y DISPOSITIVOS PARA LA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	16
2.1	Método de los cuatro electrodos. ....	16
2.2	Dispositivo simétrico de Wenner. ....	18
2.3	Dispositivo simétrico de Schlumberger.....	19
2.4	Dispositivo de Lee.....	20
2.5	Dispositivo rectilíneo. ....	20
2.6	Métodos dipolares.....	21
2.7	Método no rectilíneo.....	22
3.0	CONSIDERACIONES PRÁCTICAS SOBRE LA MEDICION DE RESISTIVIDAD DE SUELOS. ....	23
3.1	Planeación. ....	23
3.2	Protocolos de Medición. ....	23
3.3	CONCLUSIONES. ....	26
3.4	BIBLIOGRAFÍA. ....	26
4.0	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	27
4.1	LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	27
4.2	MÉTODOS DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	28
4.2.1	MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL (FALL OF POTENTIAL). ....	29
4.2.1.1	Distribución de potenciales en el suelo. ....	29
4.2.1.2	Posición de los electrodos de medición auxiliares.....	31
4.2.1.3	Consideraciones prácticas en la implementación.....	35
4.2.2	MÉTODO DE TRIANGULACIÓN O DE LOS TRES PUNTOS.....	37
4.2.2.1	Consideraciones prácticas en la implementación.....	38
4.2.3	MÉTODO DE LA INTERSECCIÓN DE CURVAS.....	38
4.2.3.1	Consideraciones prácticas en la implementación.....	41
4.2.4	MÉTODO DE LA PENDIENTE.....	42
4.2.4.1	Consideraciones prácticas en la implementación.....	43
4.3	CONSIDERACIONES PRÁCTICAS SOBRE LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA EN SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA. ....	46
4.3.1	Normas de seguridad.....	46
4.3.2	Aspectos de seguridad y preparación para las pruebas. ....	46
4.4	FACTORES QUE AFECTAN LAS MEDICIONES DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	47
4.5	Protocolos de certificación y medición de sistemas de puesta a tierra. ....	49
4.6	Protocolo de certificación de un sistema de puesta a tierra.....	49
4.7	Protocolo de medición de resistencia de puesta a tierra. ....	51

5.0	INFORMACION DE LOS SISTEMAS PARA CADA EDIFICION NOMBRADO	55
5.1	Sitio de estudio: CAFETERIA CENTRAL (GALPON) .....	56
5.2	Sitio de estudio: EDIFICIO DE CIENCIAS BÁSICAS. ....	58
5.3	Sitio de estudio: EDIFICIO DE COMUNICACIONES.....	60
5.4	Sitio de estudio: EDIFICIO FACULTAD DE EDUCACIÓN.....	62
5.5	Sitio de estudio: EDIFICIO DE MEDIO AMBIENTE .....	64
5.6	Sitio de estudio: EDIFICIO DE MEDIO AMBIENTE (Transformador) .....	65
5.7	Sitio de estudio: EDIFICIO DE SISTEMAS. ....	68
5.8	Sitio de estudio: EDIFICIO DE SISTEMAS (Transformador). ....	70
6.0	EQUIPO UTILIZADO EN EL ESTUDIO.....	72
7.0	BIBLIOGRAFIA .....	74

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DISTANCIAS DE UBICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE MEDICIÓN N Y EMISIÓN B EN FUNCIÓN DE LA MÁXIMA LONGITUD DEL SPT A MEDIR POR EL MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL Y APLICANDO LA REGLA DEL 61,8% ..	37
TABLA 2. VALORES DE $\frac{P_T}{C}$ PARA DIFERENTES VALORES DE M. ....	45

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DISPOSITIVO DE CUATRO ELECTRODOS. ....	16
FIGURA 2. ESQUEMA DEL DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE WENNER.....	18
FIGURA 3. ESQUEMA DEL DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE SCHLUMBERGER.....	19
FIGURA 4. ESQUEMA DEL DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE LEE.....	20
FIGURA 5. ESQUEMA DEL DISPOSITIVO RECTILÍNEO.....	21
FIGURA 6. ESQUEMA DEL DISPOSITIVO NO RECTILÍNEO.....	22
FIGURA 7: PRINCIPIO DE MEDICIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	28
FIGURA. 8. DISTRIBUCIÓN DE POTENCIALES EN EL SUELO.....	30
FIGURA 9. CURVAS DE RESISTENCIAS OBTENIDAS A PARTIR DE DIFERENTES DISTANCIAS ENTRE EL ELECTRODO DE EMISIÓN Y MEDICIÓN. ....	31
FIGURA 10.....	32
FIGURA 11.....	33
FIGURA 12. MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL APLICANDO LA REGLA DEL 61,8%.....	36
FIGURA 13. MÉTODO DE TRIANGULACIÓN O DE LOS TRES PUNTOS.....	37
FIGURA 13. MÉTODO DE INTERSECCIÓN DE CURVAS.....	40
FIGURA 14. A) MÉTODO DE LA INTERSECCIÓN DE CURVAS. B) CURVA DE RESISTENCIA PARA GRANDES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	42
FIGURA 15. PUNTOS DE LOCALIZACIÓN DEL ELECTRODO DE MEDICIÓN PARA EL MÉTODO DE LA PENDIENTE. ....	44

## **1. MÉTODOS PARA LA MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.**

Las puestas a tierra son sistemas que en la actualidad revierten gran importancia en la protección y normal operación de los diversos sistemas eléctricos y electrónicos, y principalmente en la seguridad de las personas que están en contacto o en áreas de influencia de sistemas eléctricos.

Para iniciar el diseño de un sistema de puesta a tierra es necesario conocer la resistividad del suelo donde se implementará el sistema de puesta a tierra. Este valor influye sustancialmente en el diseño, puesto que su valor determinará la utilización de mayor área para el sistema que permita obtener una baja de resistencia de puesta a tierra y tensiones de paso y de contacto dentro de los rangos permitidos.

Ilustraremos las diferentes técnicas de medición de resistividad de suelos más utilizadas, pero no se pretende únicamente explicar los diversos métodos de medición de este tipo, sino también la correcta aplicación de los mismos y una visión más amplia de lo que son las mediciones.

### **1.1 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.**

La geofísica, es la rama de la ciencia que aplica los principios físicos al estudio de la Tierra. La geofísica envuelve el estudio de aquellas partes de la tierra escondidas a primera vista, es decir que están dentro de la tierra. Estos estudios son hechos por mediciones de las propiedades físicas de la tierra con instrumentos apropiados, mediciones que se hacen sobre la superficie de la tierra, entre los más utilizados están:

- Gravimétrico.
- Magnético
- Eléctrico. El cual tiene las siguientes variantes.
  - Resistividad.
  - Autopotencial.
  - Polarización inducida
  - Magnetotelúrico
  - Sísmico (Reflexión y refracción)
  - Radiactivo.

Obviamente esto incluye la interpretación de las mediciones, para obtener la información útil sobre la estructura y composición de zonas encubiertas.

### **1.1.1 Métodos geoelectricos.**

Existen muchísimas modalidades en los métodos de exploración eléctrica del subsuelo, cada una de ellas con su propio campo de aplicación, sus ventajas y sus defectos. Como las características de cada procedimiento son múltiples y no es fácil establecer una clasificación de ellos.

Un criterio muy importante es el que clasifica los métodos según el campo electromagnético que en ellos se estudia, ya sea de origen natural, o creado artificialmente para la prospección.

Otro criterio es el que considera si la información recogida se refiere a la vertical de un punto o se distribuye a lo largo de un perfil, dentro de un margen de profundidades aproximadamente constante. Por analogía con las labores mecánicas mineras los métodos se llaman de Sondeo en el primer caso y de Calicata (o cartografía) eléctrica en el segundo. Estos métodos se complementan hasta cierto punto, pero la cartografía es más importante en la prospección minera.

En la mayoría de los casos, lo que se obtiene es la distribución de las resistividades en el subsuelo. Cuando tal distribución se representa gráficamente en forma de corte vertical, esta representación recibe el nombre de corte geoelectrico.

También es de interés conocer si en un método determinado el campo electromagnético es constante (corriente continua) o varía en el transcurso del tiempo (métodos de campos variables). Es costumbre muy extendida, aunque incorrecta, llamar "métodos eléctricos" a los primeros y "electromagnéticos" a los segundos. En conclusión todos son electromagnéticos.

Teniendo en cuenta lo anterior damos a continuación una clasificación de los métodos geoelectricos, que si bien no es completo, contiene los más importantes y difundidos.

Estos procedimientos prospectivos suelen aplicarse por medio de observaciones efectuadas en la superficie del terreno, pero algunos de ellos son susceptibles de ser empleados desde aviones o helicópteros, en la superficie del mar o de lagos, o en el interior de las minas.

La siguiente es una clasificación de los métodos:

#### **Métodos de campo natural.**

- Método de potencial espontáneo
- Método de corrientes telúricas.
- Método magneto – telúrico

### **Métodos de campo artificial.**

### **Métodos de campo constante C.C.**

- Método de las líneas equipotenciales y del cuerpo cargado.
- Sondeos eléctricos (Simétricos, dipolares, etc.)
- Calicatas eléctricas (Muchas modalidades).
- Medición magnética de resistividades.

### **Métodos de campo variable.**

- Sondeos de frecuencia.
- Sondeos por establecimiento de campo (Transitorios).
- Calicatas electromagnéticas (Métodos de Inclinación de campo, Turam, Slingram, etc.).
- Método "Radio - Kip"
- Método de Radiografía hertziana.

## 2.0 MÉTODOS Y DISPOSITIVOS PARA LA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO.

### 2.1 MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS.

Para trabajar por estos métodos, se crea un campo eléctrico mediante dos electrodos o puntos colocados a tierra A y B. A través de estos electrodos o tomas a tierra, se introduce en el terreno una corriente eléctrica de intensidad  $I$ , de cualquier fuente de corriente continua. Entre dos puntos del terreno y con ayuda de dos electrodos M y N de medición, situando en estos puntos un instrumento de medida (milivoltímetro, potenciómetro, etc.), el cual medirá las diferencias de potenciales  $\Delta V$ , que surgen. La disposición relativa de los electrodos A, B, M y N, que conforman el dispositivo, se determina el método empleado de acuerdo al carácter del problema geológico a resolver.

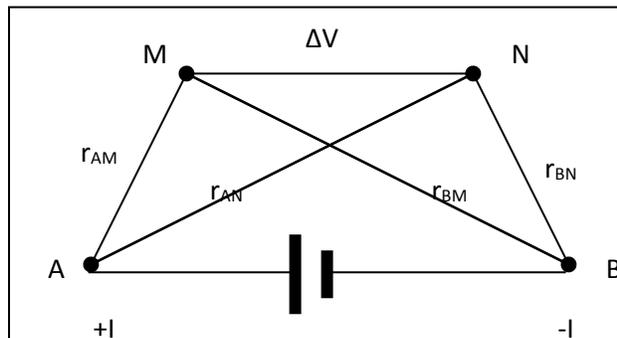


Figura 1. Dispositivo de cuatro electrodos.

Se puede demostrar que en un terreno suelo uniforme al cual se le ha hecho circular una corriente  $I$  por medio de una puesta a tierra el voltaje en cualquier punto “ $r$ ” alrededor de ésta es igual a:

$$V_{s-r} = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (1)$$

Cuando  $t$  tiende al infinito.

$$V_{A-M} = \frac{\rho I}{2\pi r_{A-M}}, \quad V_{B-M} = -\frac{\rho I}{2\pi r_{B-M}} \quad (2)$$

La tensión total en el punto M es igual a:

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{A-M}} - \frac{1}{r_{B-M}} \right) \quad (3)$$

De forma análoga para el punto N se tiene que:

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{A-N}} - \frac{1}{r_{B-N}} \right) \quad (4)$$

La diferencia de voltaje entre los puntos M y N es:

$$\Delta V = V_{M-N} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{A-M}} - \frac{1}{r_{B-M}} - \frac{1}{r_{A-N}} + \frac{1}{r_{B-N}} \right) \quad (5)$$

Finalmente el valor de la resistividad se puede expresar en función de la diferencia de voltaje leído entre los puntos M y N.

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{r_{A-M}} - \frac{1}{r_{B-M}} - \frac{1}{r_{A-N}} + \frac{1}{r_{B-N}} \right)} \quad (6)$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{r_{A-M}} - \frac{1}{r_{B-M}} - \frac{1}{r_{A-N}} + \frac{1}{r_{B-N}} \right)} \quad (8)$$

La magnitud K se determina por la distancia y la configuración o disposición de los electrodos o tomas de tierra del dispositivo, y se denomina coeficiente del dispositivo.

Obviamente el coeficiente del dispositivo tiene dimensiones de longitud; en este caso, en el resultado del cálculo tan solo obtenemos una cierta magnitud arbitraria que tiene las

dimensiones de una resistividad. A esta magnitud arbitraria se le denomina resistividad aparente y se designa por  $\rho_a$

## 2.2 DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE WENNER.

Este dispositivo consta de cuatro electrodos, A, B de emisión y M, N de medición, dispuestos en línea recta, cada electrodo está separado a una distancia "a", la cual es la misma entre todos electrodos. Para poder determinar la simetría entre los diferentes electrodos, se debe escoger un punto de referencia "0" del sistema, este punto también es denominado "punto de exploración", puesto que dependiendo de las condiciones del terreno, la distancia entre los electrodos de emisión, la frecuencia del equipo de medición, etc., este punto llegará a ser el punto de máxima exploración.

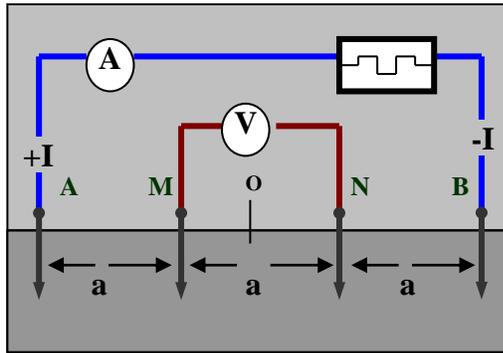


Figura 2. Esquema del dispositivo simétrico de Wenner

Para hallar el valor del coeficiente K del dispositivo, realizamos las siguientes operaciones y consideraciones:

Determinemos las distancias que hay entre los electrodos de emisión respecto a los de medición:

$$r_{AM} = a, r_{AN} = 2a, r_{BN} = a, r_{BM} = 2a.$$

Aplicando la ecuación 5 y simplificando se tiene:

$$\Delta V = V_{M-N} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left( \frac{1}{a} \right)$$

Se puede deducir que el valor de K es igual a:

$$K = \frac{1}{a}$$

Si se tiene en cuenta que:  $R = \frac{\Delta V}{I}$  ( Ley de Ohm) se puede escribir el valor de la resistividad medida como:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R \tag{9}$$

La formulación que originalmente hizo Wenner en 1915 de su método establece además de los espaciamientos entre electrodos ya mencionados las siguientes consideraciones:

1. El diámetro de los orificios donde se colocan los electrodos, no debe ser mayor del 10% de la distancia entre los electrodos.
2. La profundidad a la cual deben estar enterrados los electrodos debe ser la misma, y debe ser  $a/20$ .
3. El electrodo debe estar conectado con la tierra únicamente en el fondo del orificio.

Teniendo en cuenta la simetría del arreglo de Wenner podemos realizar cambios en la disposición de los electrodos de emisión y los electrodos de medición, el cambio de los electrodos se puede hacer sin alterar el valor de la medición de resistividad (siempre y cuando la porción del suelo bajo prueba sea completamente homogéneo) y teniendo en cuenta el coeficiente de dicho dispositivo el cual dependiendo de la disposición de los electrodos cambiará de valor, igualmente debemos tener en cuenta que el punto de referencia, en comparación con la formulación original de Wenner, en cada caso será la mitad de la distancia entre los electrodos exteriores, pero el punto de exploración deja de ser este mismo puesto que los electrodos de emisión están dispuestos en forma distinta, el punto de exploración como vemos depende de la ubicación de los electrodos de emisión y obviamente de los parámetros mencionados al iniciar el estudio de este método.

### 2.3 DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE SCHLUMBERGER.

En este dispositivo al igual que en el de Wenner, los electrodos de emisión y medición están situados en línea recta y ubicando un punto de referencia; la variante de este dispositivo esta en que la distancia entre los electrodos de medición M y N debe ser menor que un tercio de la distancia entre los electrodos de emisión A y B  $r_{AB} \lll \frac{r_{MN}}{3}$ , para mayor seguridad se adopta que la distancia entre los electrodos de medición M y N debe ser la quinta parte de la distancia entre los electrodos de emisión  $r_{AB} \lll \frac{r_{MN}}{5}$ .

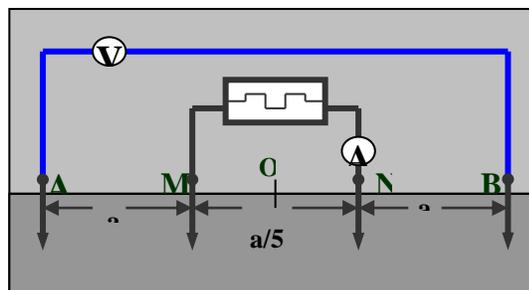


Figura 3. Esquema del dispositivo simétrico de Schlumberger.

La ecuación que define el valor de la resistividad es:

$$\rho = 6\pi a R \quad (10)$$

#### 2.4 DISPOSITIVO DE LEE.

Es una variante del dispositivo de Wenner, en la cual se dispone en el punto de referencia "O" del dispositivo un electrodo adicional de medición, en el cual el valor del potencial es cero. Las diferencias de potencial son medidas primero entre los electrodos M y O, y después entre los electrodos N y O.

Partiendo de las diferencias de potencial  $\Delta V_1$  y  $\Delta V_2$  entre el electrodo central y cada uno de los electrodos de medición, se obtienen dos resistividades aparentes, dadas por:

$$\rho_1 = 4\pi a \frac{\Delta_1}{I}, \quad \rho_2 = 4\pi a \frac{\Delta_2}{I} \quad (11)$$

Las cuales pertenecen a las respectivas mitades del espacio de ambos lados del plano medio. Obviamente si omitimos el electrodo del centro el valor de la resistividad será el mismo que obtuvimos en el método de Wenner (Ecuación 9). Si los resultados de las mediciones entre los electrodos M – O y N – O son diferentes podemos decir con seguridad que el área del suelo en estudio es no homogénea.

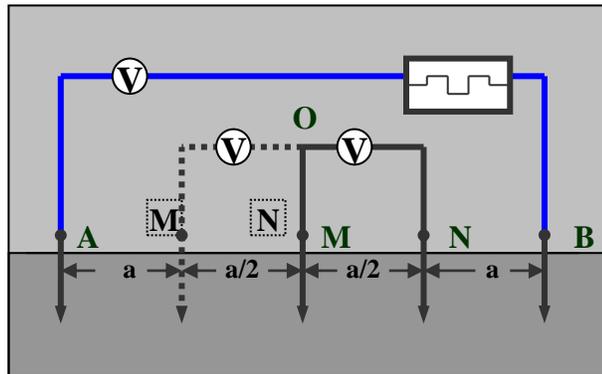


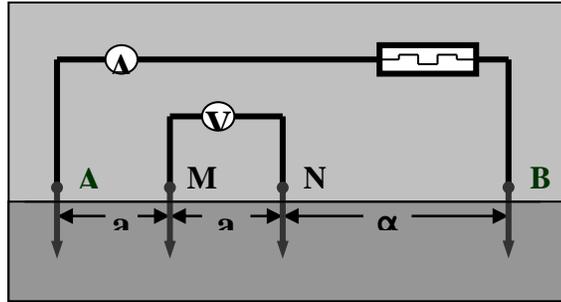
Figura 4. Esquema del dispositivo simétrico de Lee.

Con la ayuda de otros sondeos hechos espaciando más la distancia entre los electrodos, en este caso a, o por mover de sitio la localización de todo el sistema de electrodos, pueden ser hechas deducciones, como por ejemplo, para la posición y la naturaleza de la homogeneidad y no homogeneidad del suelo en estudio, y se puede deducir, por lo menos, la cantidad de capas no homogéneas y sus diferencias. En este método los resultados de las diferentes resistividades serán de las capas horizontales más no de las verticales

#### 2.5 DISPOSITIVO RECTILÍNEO.

En este dispositivo, llevamos uno de los electrodos de emisión (por ejemplo B) a una distancia tal que la diferencia de potencial creada por dicho electrodo entre los electrodos

de medición sea pequeña en comparación con la diferencia de potencial creada por el segundo electrodo de emisión. En este caso, el campo del electrodo alejado puede despreciarse. El dispositivo, en el que uno de los electrodos de emisión está alejado a gran distancia (traslado al infinito) se denomina trielectrónico.



**Figura 5. Esquema del dispositivo rectilíneo.**

La distancia hasta el electrodo de emisión que se proyecta al infinito se debe colocar a 15 veces la distancia entre el centro de la línea de medición y los electrodos A o B, según el electrodo elegido. Basándose en este concepto podemos determinar el valor de la resistividad aparente de la siguiente forma:

$$\rho = 4\pi a R, \quad \text{si } a > 20p \quad (12)$$

$$\rho = 8\pi a R, \quad \text{si } a < 20p \quad (13)$$

## 2.6 MÉTODOS DIPOLARES.

Los arreglos dipolares constituyen una familia muy importante, caracterizada porque en ellos los electrodos de emisión A y B están lo suficientemente próximos entre sí respecto a la distancia  $a$  que se miden sus efectos para que puedan considerarse como un dipolo. Tendremos, en estos arreglos dos dipolos, el AB de emisión y el MN de medición, cuya posición mutua puede ser en un principio cualquiera. Los diferentes arreglos que se pueden en dipolos son:

1. Arreglo paralelo, como indica su nombre los dipolos son paralelos.
2. Arreglo perpendicular, los dos dipolos forman un ángulo recto.
3. Arreglo radial, el dipolo MN se encuentra situado sobre una recta que une los centros de ambos dipolos.
4. Arreglo azimutal, el dipolo MN es perpendicular a la recta que une los centros de ambos dipolos.
5. Arreglo axial, en este arreglo los cuatro electrodos están en la misma recta. Este dispositivo es, simultáneamente paralelo y radial. En Norte América, este dispositivo se denomina a veces como "dispositivo Eltran" o "dipolo – dipolo". Esta última denominación es totalmente ambigua, pues aplicable a cualquier dispositivo dipolar.

6. Arreglo ecuatorial, es a un tiempo paralelo y azimutal, de modo que ambos dipolos son paralelos entre sí, y perpendiculares al eje que pasa por sus centros. El nombre de este arreglo, que puede parecer extraño, alude a que el centro del dipolo MN se encuentra en el plano ecuatorial de los dos polos A y B.

No obstante, de toda esta variedad de arreglos, las configuraciones dipolar axial y dipolar ecuatorial, por sus propiedades, merecen atención especial y son las más empleadas en la práctica.

En la aplicación práctica, del dispositivo dipolar axial las distancias entre dipolos de emisión y de medición no deben superar la quinta parte de la distancia "a", que es la distancia entre los dos centros de los dipolos; es decir:

$$AB \leq \frac{a}{5} \Rightarrow MN \leq \frac{a}{5} \quad (14)$$

En virtud de esto podemos determinar el valor del coeficiente del dispositivo como:

$$K = \frac{1}{24.a} \quad (15)$$

El valor de la resistividad aparente se calcula como:

$$\rho = 24.\pi.a.R \quad (16)$$

## 2.7 Método no rectilíneo.

En este método, los electrodos medición, se sitúan a lo largo de rectas paralelas a la línea AB, dentro de los límites de un cuadrado cuyo lado no debe exceder de AB/3. En la superficie limitada de esta forma, el campo normal de los electrodos A y B es prácticamente homogéneo. El coeficiente del dispositivo aunque tenga los electrodos de medición fuera de la línea creada por A y B es el mismo de Wenner y el valor de la resistividad es, por supuesto, el mismo hallado para Wenner.

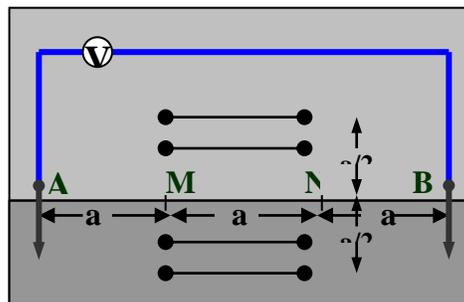


Figura 6. Esquema del dispositivo no rectilíneo.

El valor de la resistividad entonces se determina así:

$$\rho = 2.\pi.a.R$$

### **3.0 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS SOBRE LA MEDICION DE RESISTIVIDAD DE SUELOS.**

#### **3.1 PLANEACIÓN.**

En todas las etapas de un trabajo de mediciones, y aún más en las de este tipo, en ocasiones no son hechas en zonas urbanas, y debido a esto se deben tomar las precauciones necesarias para conseguir la máxima calidad en los resultados finales. Independientemente de esto debe procurarse, por motivos económicos, reducir al mínimo la duración y costos de una medición o campaña de mediciones.

Las etapas principales de que se compone una medición básica es:

1. Planteamiento del problema: Recopilación de datos geológicos que se obtienen en la zona.
2. Elección del modelo de medición: Esto se hace en función del objetivo que se quiere alcanzar y sus circunstancias.
3. Programación detallada del trabajo de campo.
4. Ejecución del trabajo de campo.
5. Recopilación y elaboración de los datos recopilados: Comprende la interpretación de los datos y resultados anteriores, seguida de las conclusiones y recomendaciones pertinentes.
6. Informe final y certificación de la medición.

#### **3.2 PROTOCOLOS DE MEDICIÓN.**

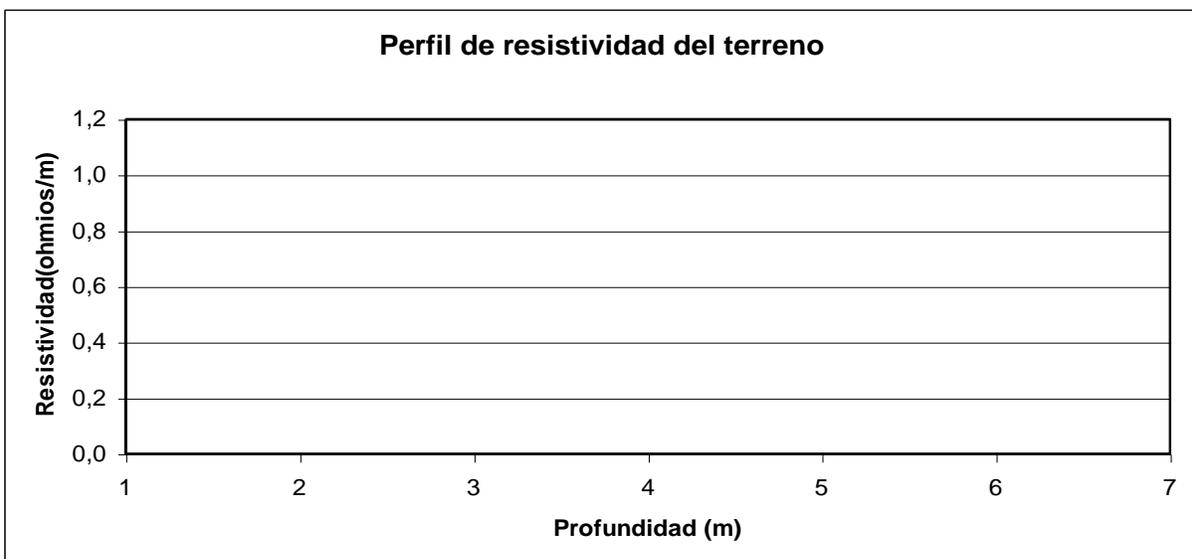
La correcta anotación de las observaciones del trabajo de campo es uno de los factores que más influyen en la calidad de los resultados finales.

La importancia del protocolo de mediciones se constituye en que es un documento fiel del trabajo de campo y en últimas en el quedan constatados los datos obtenidos de las mediciones en el terreno, de nada serviría realizar una gran campaña de mediciones o buenas mediciones si no quedan constatados para que puedan ser utilizados en el futuro.

Como debe ser obvio, la lectura de medición debe ser registrada fielmente, pero este solo es un eslabón en la cadena de datos que deben ser registrados, otros datos que a primera vista parecen secundarios, pero tienen gran importancia para la persona que interpreta los datos (si es que la persona que realiza las mediciones no elabora los documentos), especialmente cuando esté trabaja en una oficina alejada de la zona de trabajo, que es la tendencia actual. Tanto la persona que realiza las mediciones como el interpretador deben tener claro que los datos obtenidos de la medición son correctos o no, para poder así evitar errores y gastos innecesarios para la persona que diseña el sistema de puesta a tierra y luego la persona que aplica los trabajos de construcción de dicho sistema.

Los datos necesarios para un protocolo de medición de resistividad de suelos deben contener como mínimo los siguientes tal como lo muestra el siguiente formato:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA						
Estudio de Resistividad del suelo						
Empresa:				Datos		
Ciudad:				Color del suelo:		
Ubicación:				Estado del terreno:		
Departamento:				Fecha de medición:		
Responsable de la medida:				Método de medición:	Wenner	
Sentido de la medición	Ultimo día lluvioso	Tipo de Terreno	Profundidad de exploración (m)	Separación de los electrodos (m)	Resistencia medida	Resistividad (Ohmios/m)
N - S		Humus	0,8	1		
			1,5	2		
			2,3	3		
			3,0	4		
			3,8	5		
			4,5	6		
			5,3	7		
			6,0	8		
E - O			0,8	1		
			1,5	2		
			2,3	3		
			3,0	4		
			3,8	5		
			4,5	6		
			5,3	7		
			6,0	8		
VALORES PROMEDIOS			0,8	1		
			1,5	2		
			2,3	3		
			3,0	4		
			3,8	5		
			4,5	6		
			5,3	7		
			6,0	8		



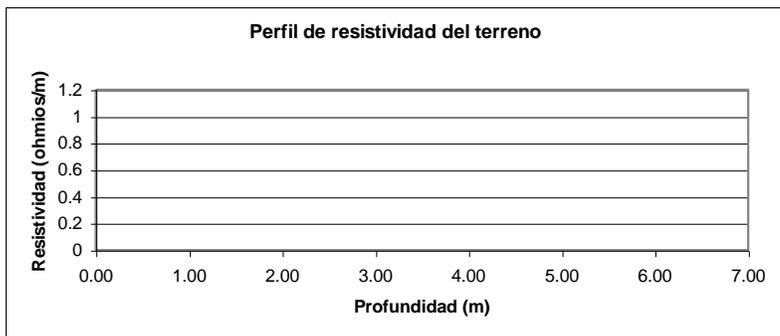
3.2.1 Modelo de formato que adopto el laboratorio:

<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA</b> <b>Estudio de Resistividad del suelo</b>	
<b>Datos del sitio</b>	<b>Condiciones del suelo</b>
Fecha de medición: _____	Color del suelo: _____
Empresa: _____	Tipo de terreno: _____
Ciudad: _____	Último día lluvioso: _____
Ubicación: _____	Temperatura: _____
Departamento: _____	pH: _____

<b>Datos del equipo de medición</b>	<b>Accesorios de medición</b>
Marca: _____	Electrodos: _____
Frecuencia : _____	Tipo de cable: _____

<b>Método de medición: WENNER</b>	<b>Observaciones</b>
	    Responsable de la medición _____

Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos a (m)	Corriente de prueba (mA)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad (Ω-m)
N-S	0.75	1				
	1.50	2				
	2.25	3				
	3.00	4				
	3.75	5				
	4.50	6				
	5.25	7				
	6.00	8				
E-O	0.75	1				
	1.50	2				
	2.25	3				
	3.00	4				
	3.75	5				
	4.50	6				
	5.25	7				
	6.00	8				



<b>Valores promedios</b>	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad (Ω-m)
0.75	
1.50	
2.25	
3.00	
3.75	
4.50	
5.25	
6.00	

### **3.3 CONCLUSIONES.**

Es importante tener un conocimiento de la aplicación de los métodos de medición de la resistividad del suelo, cuando se desea calcular en forma apropiada un buen sistema de puesta a tierra. El desconocimiento de estos nos puede conducir a una mala interpretación de los datos obtenidos, dando lugar a sobre costos en el diseño del mismo o cálculos erróneos que se traducen en un valor final por fuera de las reglamentaciones.

### **3.4 BIBLIOGRAFÍA.**

TIERRAS soporte de la seguridad eléctrica – Favio Casas  
Ospina Primera edición – 1998.

ANSI/IEEE Std 81 – 1983: Guide for measuring earth resistivity ground impedance.  
MANUAL DE TECNICAS EN MEDICIONES DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.- 2000-  
Tesis de grado. Universidad de la Salle, Santafé de Bogotá.  
WENNER, F. A Method of Measuring Earth Resistivity. Scientific Paper of the Bureau of  
Standards No. 258.(1915) pp. 469.

#### **4.0 RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.**

Luego del estudio de la resistividad del suelo del sitio en el cual se construirá el respectivo sistema de puesta a tierra, el paso siguiente es el diseño de dicho sistema teniendo en cuenta todos los parámetros que se necesitan para su construcción. Luego de todo esto se alcanza la etapa que ha de constituir la verdadera validación a cualquier instalación de puesta a tierra, la medición de la resistencia de puesta a tierra.

Sin la medición de resistencia ningún sistema de puesta a tierra tiene validez alguna, puesto que este valor de resistencia proporciona una buena referencia sobre la aproximación alcanzada, respecto a la realidad, como resultado de las consideraciones teóricas que se hayan utilizado en el cálculo del sistema de puesta a tierra y que condiciona los valores de las tensiones de paso y de contacto que puedan surgir cuando circule una corriente de falla. Solo así se tendrá una garantía razonable de que la instalación pueda ser considerada como segura, desde el punto de vista de su sistema de puesta a tierra.

Se ilustrarán algunos métodos que más se utilizan para la medida de la resistencia de puesta a tierra, como también la correcta aplicación de los mismos y una visión más amplia de lo que son las mediciones.

#### **4.1 LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.**

La resistencia de puesta a tierra o resistencia de dispersión de tierra se denomina generalmente como “la resistencia del suelo, o de una porción del suelo, al paso de una corriente de tipo eléctrico”. En la actualidad se reconoce que el suelo es un conductor de corriente eléctrica, pero comparado con diferentes tipos de metales la conducción de corriente que ofrece el suelo es pobre. Sin embargo, si el área del camino que toma la corriente es grande, la resistencia puede ser bastante baja y la tierra puede ser un camino de baja resistencia.

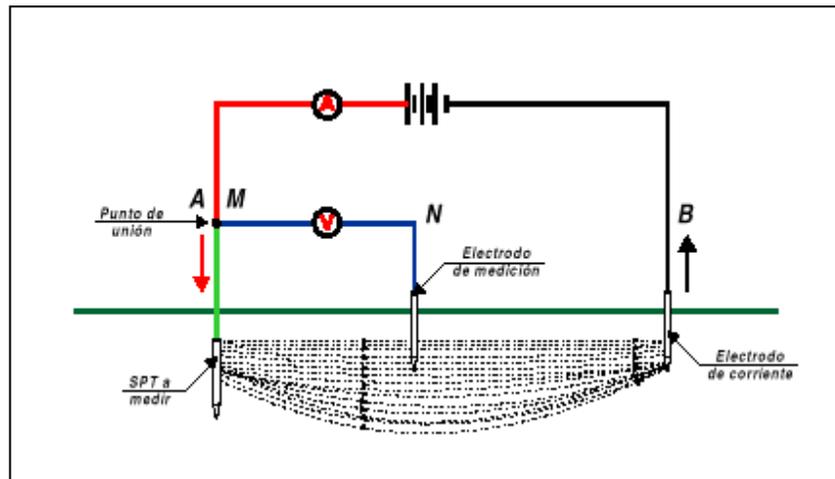
Las mediciones de resistencia de un sistema de puesta a tierra son hechas con dos fines básicos de uso:

1. Determinar la efectividad del sistema de puesta a tierra y las conexiones que son utilizadas en los sistemas eléctricos para proteger las personas y equipos eléctricos que dependen de las mismas.
2. Permitir detectar la elevación de potencial del sistema de puesta a tierra, la seguridad de la conexión a tierra y la variación de la composición y estado físico del suelo.

La resistencia de puesta a tierra se entiende como la razón entre el potencial del sistema de puesta a tierra que se desea medir, con relación a un punto teóricamente ubicado en el infinito, respecto al que se desea medir, el cual se denomina tierra remota y la corriente que se hace fluir entre estos puntos. En la práctica se sabe que casi todo este potencial (cerca del 98%) se localiza a una distancia no muy lejana de la puesta a tierra a medir y se puede considerar este punto aproximadamente como la tierra remota. Partiendo de esta simple teoría comienza la dificultad que representan las mediciones de la resistencia de puesta a tierra.

La impedancia de un sistema de puesta a tierra se reduce a su resistencia al no intervenir efectos inductivos y capacitivos más que para los frentes de ondas de corriente muy escarpados, de forma que en la práctica solamente se presentan efectos inductivos en el caso de conductores enterrados de grandes longitudes y capacitivos cuando se trata de terrenos rocosos, de resistividad demasiado alta.

#### 4.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.



**Figura 7: Principio de Medición de un sistema de puesta a tierra.**

Se han desarrollado muchos métodos para medir la resistencia de puesta a tierra, pero todos se basan en mismo principio, hacer circular una corriente por el suelo desde el sistema de puesta a tierra hasta un electrodo de emisión y leer la distribución del voltaje sobre la superficie del terreno por medio de otro electrodo auxiliar, el nombre de cada método cambia dependiendo de como se colocan los electrodos de emisión de corriente y los de lectura de voltaje.

Veamos algunos de ellos:

- Método de caída de potencial.
- Método de la triangulación o de los tres puntos
- Método de la intersección de curvas.
- Método de la pendiente.
- Método de los cuatro potenciales.
- Método estrella triángulo

Este documento pretende ilustrar algunos de ellos, en este caso los más usados por ser prácticos y brindar excelentes resultados.

#### **4.2.1 Método de la caída de potencial (fall of potential).**

Dentro de los diferentes métodos de medición de sistemas de puesta a tierra este método es el de mayor aplicación, puesto que se puede implementar en la medición de cualquier sistema de puesta a tierra, sin importar su configuración.

La implementación de este método se puede observar en la figura 7, el cual consiste en hacer circular una corriente  $I$  a través del sistema de puesta a tierra que se desea medir, ubicar el segundo electrodo de emisión  $B$  lo suficientemente lejos del sistema de puesta a tierra a medir, el cual se denominará tierra remota, en donde se hará el retorno de corriente emitida desde el sistema de puesta a tierra. Esta corriente produce una caída de potencial en el suelo, la cual es medida a diferentes distancias, en las cuales se coloca el electrodo de medición  $N$ , y la relación de la tensión medida respecto a la corriente inyectada en el suelo determinará el valor de la resistencia en los diferentes puntos en los que se localice el electrodo de medición  $N$ .

##### **4.2.1.1 Distribución de potenciales en el suelo.**

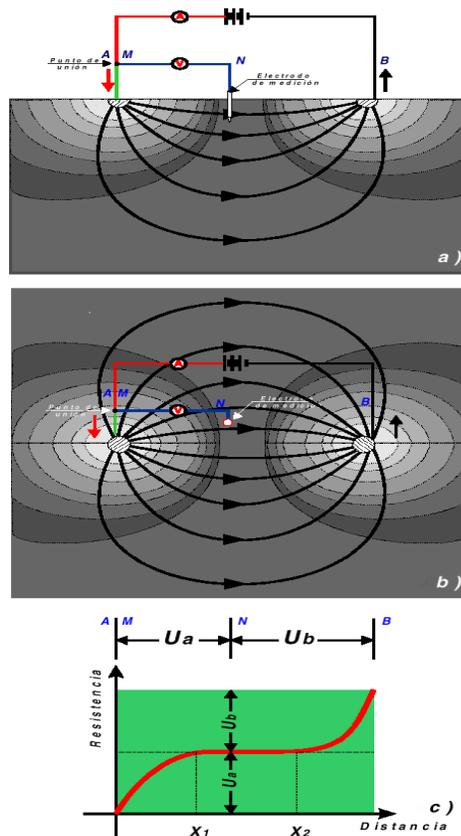
La configuración para la implementación de este método nos muestra el perfil del potencial en la superficie del suelo por medio de la recta que une los dos electrodos (figura 8<sup>a</sup>).

El desplazamiento del electrodo de medición  $N$  paralelo a la dirección de los electrodos  $A - B$ , permite tomar el potencial en el punto  $x$  donde está enterrado el electrodo de medición con relación al potencial del electrodo  $A$ . Trazando la curva de los potenciales medidos para las diversas distancias en las que se localiza  $x$  se obtiene una gráfica similar al presentado en la figura 8c), cuya explicación vemos a continuación:

En la parte inicial de la curva entre  $AM$  y  $B$ , el potencial es sensiblemente creciente, pero es necesario aclarar que la mayor parte de la resistencia de una puesta a tierra se localiza en la tierra más próxima a la misma. A medida que se aleja el electrodo de medición, el área de conducción de corriente se va ampliando y la resistencia correspondiente a esta superficie va haciendo más uniforme. Para puntos muy distantes y que están fuera del área de influencia de los electrodos de emisión y recepción, el valor de la resistencia puede llegar a ser despreciable.

Los puntos de la curva corresponden justamente a la sumatoria de las caídas de tensión que ocurren en la resistencia de cada elemento de volumen desde el punto  $A$  hasta el

punto  $x$  en consideración (el elemento de volumen está constituido por el producto del área de la superficie hemisférica centrada en  $A$  por un espesor elemental  $dx$ ). Se tienen elementos sucesivos en la medida que el punto  $x$  va siendo desplazado y la superficie hemisférica ampliada, ponderándose que la corriente que atraviesa cada superficie es la misma y que la resistencia de los volúmenes elementales va disminuyendo a medida que se aleja del sistema de puesta a tierra, se concluye que se tiene caídas de tensión cada vez menores para los volúmenes elementales, aunque la sumatoria de estas caídas sea aun creciente. Esto justifica la forma de la curva entre  $A$  y  $x_1$ : creciente y con derivada decreciente.



**Figura. 8. Distribución de potenciales en el suelo**

Entre los puntos  $X_1$  y  $X_2$ , el área de la sección de conducción es tan amplia que resulta en una densidad de corriente diminuta, siendo entonces la caída de tensión despreciable entre los dos puntos. Esta región se conoce como la meseta de potencial y la diferencia de potencial entre estos dos puntos corresponde aproximadamente al 2% del potencial que se obtiene en  $X_2$ . En términos prácticos se puede decir que se localiza en esta meseta la tierra remota, mas no el valor de resistencia de la tierra remota, pues casi toda

la diferencia de potencial entre el electrodo A y un punto infinitamente alejado se localiza hasta la meseta (cerca del 98%).

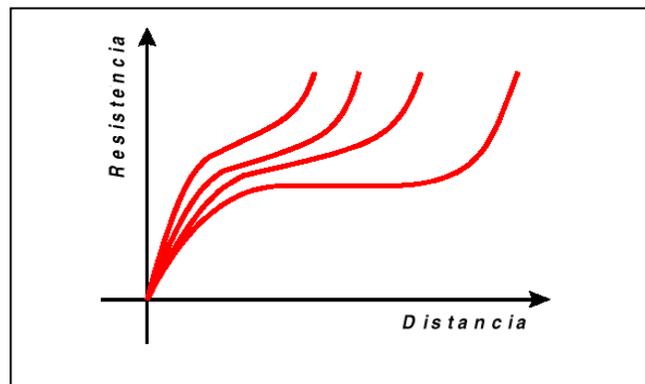
A partir de  $X_2$  las áreas de conducción comienzan a disminuir pues la corriente al dirigirse hacia el electrodo B tiene que atravesar superficies hemisféricas centradas en B de área cada vez menor.

Consecuentemente la resistencia de los elementos de volumen correspondientes aumenta con una aproximación de B. Esto justifica no solo la característica creciente de la curva sino también la característica creciente de su derivada a medida que se aproxima a B.

Se observa en esta curva una separación diferente entre la caída de tensión causada por la resistencia de puesta a tierra de A y aquella causada por la resistencia de puesta a tierra de B, separación esta constituida por la meseta de potencial. Esto ocurre debido a que los electrodos A y B debieron ser considerados lo suficientemente alejados entre si.

#### 4.2.1.2 Posición de los electrodos de medición auxiliares.

Iniciaremos por la posición de los electrodos de medición auxiliares, para lo cual empleamos la misma disposición de electrodos mostrado en la figura 8ª, con el cual estudiaremos la modificación del perfil de la distancia entre los electrodos, siendo medidos los A y B, pero a distancias inferiores a la original (Figura 9).



**Figura 9. Curvas de resistencias obtenidas a partir de diferentes distancias entre el electrodo de emisión y medición.**

Como podemos ver, la aproximación de los electrodos causa una disminución en la meseta, lo cual hace que se dificulte determinar cuáles son los valores de tensión en cada punto y obviamente que se midan valores de resistencia erróneos. Es fundamental que en este método la distancia del electrodo B con respecto al sistema de puesta a tierra que se desea medir sea la correcta, la cual debe ser por lo menos de 6,5 veces la máxima longitud del sistema de puesta a tierra que se desea medir. Para sistemas de puesta a tierra configurados como mallas, circunferencias o placas de cobre, la mayor longitud es

la máxima distancia diagonal; en el caso de sistemas de puesta a tierra como contrapesos o configuraciones de electrodos conectados en paralelo y unidos en una misma dirección, se tomara la máxima distancia de dicho sistema más la longitud de un electrodo que este enterrado. Cuando el sistema de puesta a tierra es una estrella o un grupo de electrodos conectados en paralelo y ubicados en diferentes direcciones, se tomará la máxima distancia de dicho sistema más la longitud de cada uno de los electrodos que conforman todo el sistema.

Como se mencionó en un principio, en este método se realizan varias mediciones en diferentes puntos paralelos a la recta que une a los electrodos A y B, de todas estas mediciones el valor de resistencia que corresponde al sistema que se desea medir se encuentra ubicado en la parte horizontal o meseta obtenida al graficar los datos obtenidos en ohmios respecto a la distancia de ubicación del electrodo de medición, pero aun dentro de esta meseta se encuentran varios valores que no son exactamente este valor. Las condiciones necesarias para obtener el verdadero valor de resistencia de cualquier sistema, que utilice este método, pueden ser demostradas de la siguiente manera: Suponga que el sistema que se desea medir puede ser considerado como una semiesfera como se muestra en la figura 10.

El potencial desde el centro de la semiesfera hasta el final de su radio:

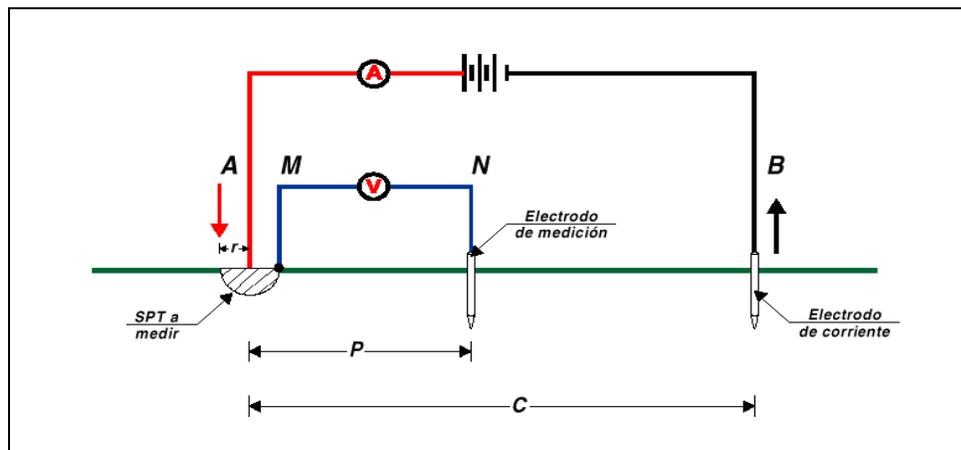


Figura 10.

$$U_{A-N_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} \right) \quad U_{B-N_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{C-r} \right) \quad U_{N_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{C-r} \right) \quad (17)$$

El potencial desde el centro de la semiesfera hasta el punto P

$$U_{A-N_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{P} \right) \quad U_{B-N_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{C-P} \right) \quad U_{N_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{P} - \frac{1}{C-P} \right) \quad (18)$$

$$\Delta U = U_{N_1} - U_{N_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{C-r} - \frac{1}{P} + \frac{1}{C-P} \right) \quad (19)$$

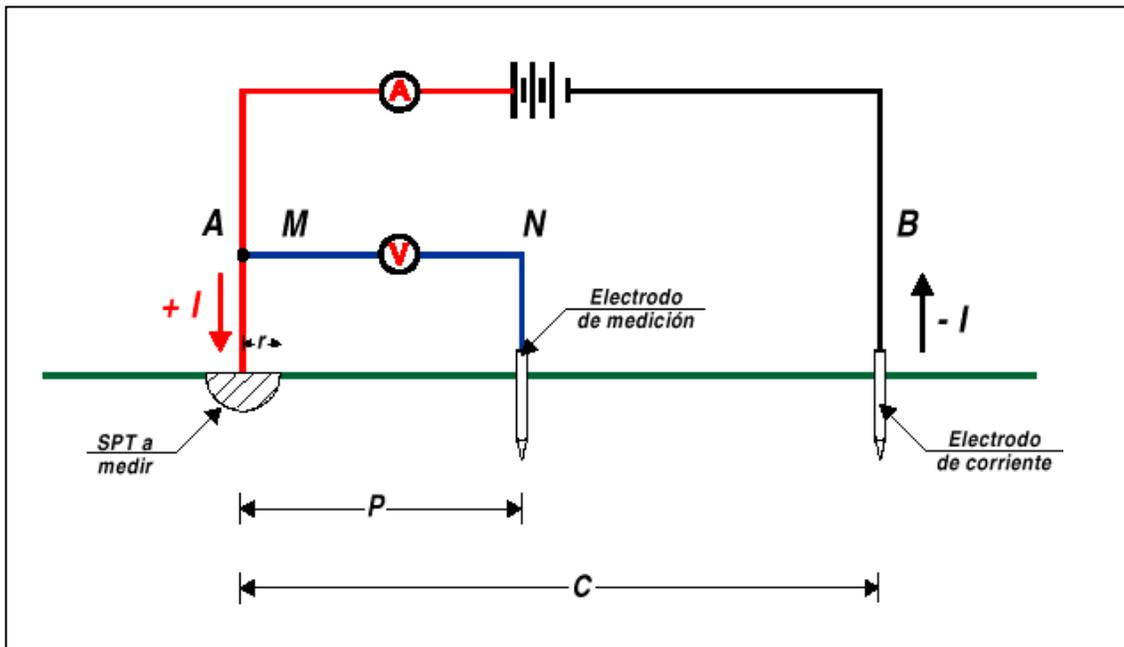


Figura 11.

$$\frac{\Delta U}{I} = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{C-r} - \frac{1}{P} + \frac{1}{C-P} \right) * \left( \frac{r}{r} \right) \quad (20)$$

$$\frac{\Delta U}{I} = \frac{\rho}{2\pi \cdot r} \left( 1 - \frac{r}{C-r} - \frac{r}{P} + \frac{r}{C-P} \right) \quad (21)$$

Se puede llegar a demostrar que, el valor de resistencia de puesta a tierra que puede tener una semiesfera se puede calcular de la siguiente manera:

$$R_{Semiesfera} = \frac{\rho}{2.\pi.r} \quad (22)$$

teniendo en cuenta esta fórmula y despejando este valor en la ecuación (21), podemos escribir esta ecuación como:

$$\frac{R_{Medida}}{T_{Verdadera}} = \left( 1 - \frac{r}{C-r} - \frac{r}{P} + \frac{r}{C-P} \right) \quad (23)$$

Con base en esta ecuación podemos determinar el punto en el cual se coloca el electrodo de medición N, que nos dará el verdadero valor de resistencia de puesta a tierra, para esto hacemos que la resistencia de la semiesfera sea demasiado grande es decir que tienda a infinito; ahora si se le da un valor C, esto obviamente hace que se tenga un valor de P, con los cuales se puede hallar:

$$\frac{R_{Medida}}{T_{\alpha}} = 1 \quad (24)$$

este resultado se puede lograr puesto que dentro de la probabilidad  $C = P$ , este valor debería ser tal que:

$$-\frac{r}{C-r} - \frac{r}{P} + \frac{r}{C-P} = 0 \quad (25)$$

$$-P(C-P) - C(C-P) + CP = 0 \quad (26)$$

$$-P^2 - CP + C^2 = 0 \quad (27)$$

$$P = \frac{-C \pm \sqrt{5.C^2}}{2} \quad (28)$$

Sabiendo que el valor de P debe ser el positivo, tenemos que:

$$P = \frac{C\sqrt{5-1}}{2} \quad (29)$$

$$P=0.618033 \cdot C$$

(30)

Este resultado es de gran importancia y resulta, por supuesto, no ser mayor que el valor de la distancia de C, así que en virtud de esto podemos decir que el verdadero valor de resistencia es el obtenido cuando **P = % 62 de C**.

Este resultado es basado en la idea que se tiene un sistema de puesta a tierra que es una semiesfera, pero esta idea puede ser aplicada a cualquier sistema de puesta a tierra, que posea una configuración diferente de una semiesfera.

#### **4.2.1.3 Consideraciones prácticas en la implementación.**

Cabe anotar que este método es el de mayor aplicación en las mediciones de sistemas de puesta a tierra por su fácil implementación; siempre que se desea medir un sistema de puesta a tierra se inicia pensando en la aplicación de este método. Con este método se puede medir cualquier sistema de puesta a tierra sin importar su configuración. Para la aplicación de este método se deben realizar los siguientes pasos:

- Verificamos la máxima longitud del sistema de puesta a tierra a medir, ya determinado este valor nos remitimos a la tabla 1 y determinamos las distancias de ubicación de los electrodos de emisión y de corriente (Si las distancias son mayores de las allí expuestas debemos utilizar otros métodos que más adelante serán explicados), en este momento ya aplicamos la regla del 61,8%, que nos determina la posición exacta de los electrodos de corriente y de potencial para la obtención del valor de resistencia del sistema de puesta a tierra bajo prueba.
- Teniendo ya la ubicación del electrodo de emisión dividimos esta distancia entre un número de medidas que debemos realizar (Mínimo 5), hasta llegar a la ubicación del electrodo de emisión, estas distancias son los puntos de ubicación del electrodo de medición y cada una de ellas se debe medir el valor de resistencia de puesta a tierra, si dentro de estos valores no se encuentra el del 61,8 % se debe incluir.
- Luego de realizadas las mediciones, se toman los datos obtenidos y se realiza una gráfica distancia vs. Resistencia de puesta a tierra.
- Si la aplicación del método es correcta se debe obtener una curva como la de la figura 12, en la cual se observa que el valor oficial de la resistencia de puesta a tierra del sistema se ubica en la parte llana de la curva, este valor siempre se debe encontrar en esta parte.
- Cuando se deben medir sistemas de puesta a tierra sencillos como de uno o dos electrodos, pequeñas mallas de 1 a 2 m de lado, etc., se recomienda hacer una sola medición aplicando la regla del 61,8 % y obteniendo el valor de resistencia de puesta a tierra oficial, si se desea corroborar este dato se puede realizar la misma medición con los mismos puntos de ubicación pero en sentidos diferentes.

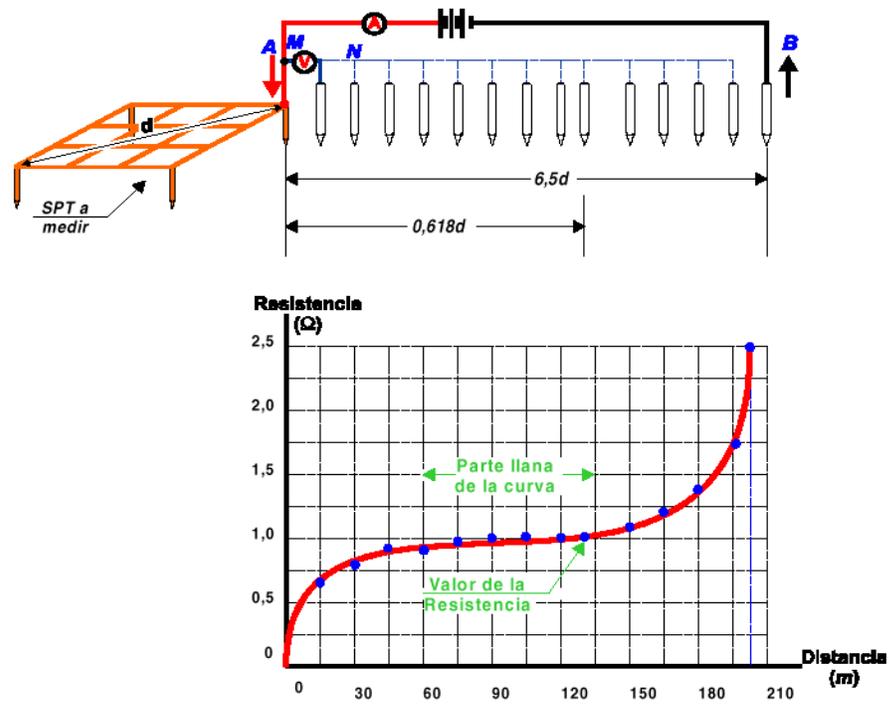


Figura 12. Método de la caída de potencial aplicando la regla del 61,8%

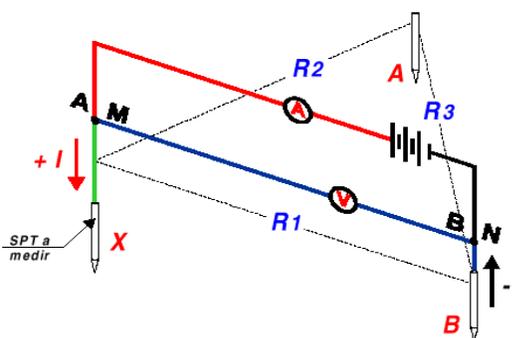
- Siempre que se mida por este método se debe obtener una curva como la presentada en la figura 12, salvo la recomendación anterior, si no se obtiene esta curva es porque la medición no está bien realizada y se debe implementar nuevamente.

Longitud máxima del SPT bajo prueba.	Distancia del electrodo de Medición N respecto al punto de unión del SPT bajo prueba y el Telurómetro.	Distancia del electrodo de Emisión B respecto al punto de unión del SPT bajo prueba y el Telurómetro.
1,5 m	18,54 m	30 m
2,4 m	18,54 m	30 m
3 m	18,54 m	30 m
4 m	18,54 m	30 m
5 m	20,08 m	32,5 m
6 m	24,11 m	39 m
7 m	28,12 m	45,5 m
8 m	32,17 m	52 m
9 m	36,15 m	58,5 m
10 m	40,17 m	65 m
15 m	60,25 m	97,5 m
20 m	80,34 m	130 m
25 m	100,42 m	162,5 m
30 m	120,51 m	195 m
35 m	140,59 m	227,5 m
40 m	160,68 m	260 m
45 m	180,76 m	292,5 m
50 m	200,85 m	325 m

**Tabla 1. Distancias de ubicación de los electrodos de Medición N y Emisión B en función de la máxima longitud del SPT a medir por el método de la caída de potencial y aplicando la regla del 61,8%**

#### 4.2.2 Método de triangulación o de los tres puntos.

Este método adiciona dos electrodos auxiliares como se muestra en la figura 13. Como se puede apreciar los electrodos se colocan formando un triángulo equilátero de lados iguales y colocados a una distancia mínima de 30 m, en realidad esta distancia puede tener otro valor, pero debe ser tal que asegure que no halla influencia de los electrodos entre si.



**Figura 13. Método de triangulación o de los tres puntos**

Se pueden tomar las siguientes medidas:

$$R_1 = X + B$$

$$R_2 = X + A$$

$$R_3 = A + B$$

a partir de estas tres mediciones podemos deducir el valor de X de la siguiente forma:

$$X = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2} \quad (31)$$

#### 4.2.2.1 Consideraciones prácticas en la implementación.

A pesar de que el método es aparentemente simple, su aplicación es demasiado restringida y los sistemas de puesta a tierra bajo prueba deben ser pequeños, por lo general compuestos por uno o dos electrodos. Fuera de esto hay dos posibles fuentes de error: la resistencia del sistema de puesta a tierra bajo prueba, en nuestro caso X, puede ser muy pequeña con respecto a los otros dos electrodos de prueba, R1 y R2, lo cual puede generar resultados absurdos e incluso si R3 es más grande que la suma de estos dos la ecuación nos entregará un valor de resistencia negativo. Si se llega implementar este método la experiencia juega un papel más grande que la teoría, para los trabajos de terreno es necesario desarrollar la ecuación (31), esto teniendo en cuenta los posibles resultados que se pueden obtener, y además para no perder el trabajo ya realizado, de obtenerse un resultado erróneo es necesario realizar todo el trabajo de medición nuevamente tomando un tiempo de 15 minutos entre cada trabajo, esto con el fin de dejar que algunos fenómenos en el suelo como polarización o efectos galvánicos interfieran en la medición.

#### 4.2.3 Método de la intersección de curvas.

Este método se basa fundamentalmente en la regla del 61,8%, el cual fue presentado para la medición de grandes sistemas de puesta a tierra (Iguales o mayores a 20000 m<sup>2</sup>)<sup>Ω</sup> este método resuelve dos problemas que se presentan en la práctica:

☀ La distancia a la cual deben ser ubicados los electrodos de emisión y medición auxiliares, puesto que al utilizar el método de la caída de potencial con aplicación de la

---

<sup>Ω</sup> IEEE 81 Std. 81.2 – 1991. Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large,

Extended or Interconnected Grounding Systems IEEE 81 – 2, 1992, pp. 9.

regla del 61,8% la ubicación del electrodo de emisión a 6,5 veces la máxima longitud del sistema de puesta a tierra a medir implica distancias de hasta 500 o más metros, casos en los que es difícil medir.

☀ La dificultad que se presenta por la acción del efecto mutuo (superposición de zonas de influencia) que se presenta por la utilización de grandes distancias para los electrodos auxiliares.

Para medir la resistencia de puesta a tierra de cualquier sistema es necesario cuantificar las distancias a las cuales se ubicarán los electrodos auxiliares a partir de un punto específico; es decir se debe establecer un punto de origen para las mediciones. A primera vista resulta lógico pensar en una coincidencia entre el centro geométrico y eléctrico de un sistema de puesta a tierra, esto coincide para sistemas simples como el de un solo electrodo, o en algunos casos esto puede ser cierto pero es apenas una casualidad. Las situaciones reales de mallas de puesta a tierra complejas, con múltiples conexiones, tubos, electrodos y conductores, nos puede brindar una geometría de contorno regular (rectangular, triangular, etc.), pero no se comporta eléctricamente sobre un punto de vista de conexión central como un figura definida.

Para resolver el problema de la determinación del centro eléctrico del sistema de puesta a tierra a medir se puede implementar un software adecuado para tal fin, al cual se le deben suministrar los datos geométricos del sistema de puesta a tierra y la resistividad específica del terreno donde se aplica dicho sistema de puesta a tierra; sin embargo G.F. Tagg<sup>©</sup> en un documento presentado por la IEEE en 1969, elimina la necesidad de la determinación del centro eléctrico, es decir, elimina la necesidad de extensos cálculos y simplifica la medición al necesitar menores distancias en la ubicación de los electrodos auxiliares.

El método de la intersección de curvas consiste en obtener varias curvas de resistencia de puesta a tierra, colocando el electrodo de emisión B a varias distancias y asumiendo varias posiciones para el centro eléctrico del sistema de puesta a tierra bajo prueba, y a partir de estas curvas por medio de un procedimiento se obtiene la resistencia del sistema de puesta a tierra y la posición exacta del centro de la malla.

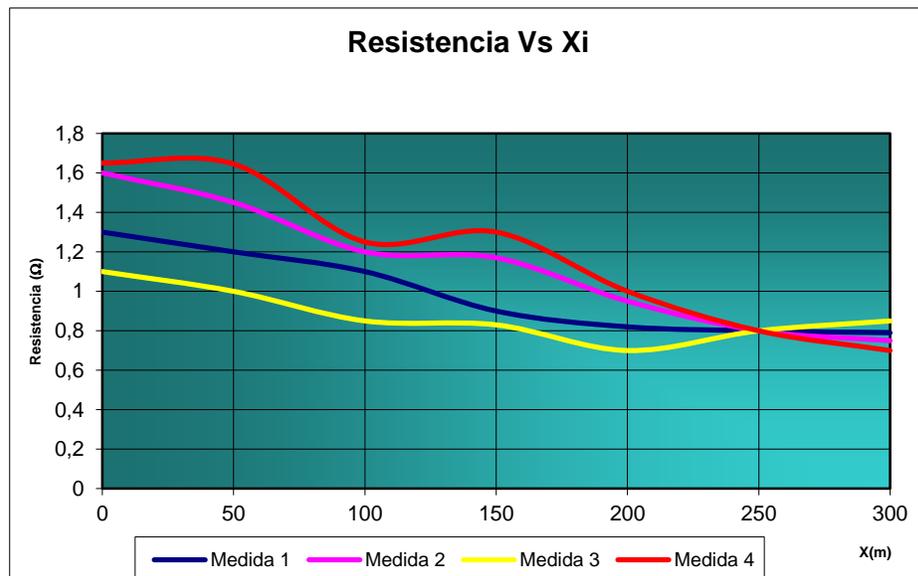
---

© TAGG G. F. "Measurement of the resistance of An Earth – Electrode covering a large area" IEE Proceedings, Vol. 116, Mar. 1969

Supongamos que todas las mediciones son hechas a partir de un punto de inicio O, la distancia al electrodo de emisión B es C, y P es la distancia variable del electrodo de potencial N. Luego se traza una curva de resistencia respecto a la distancia de P (figura 14).

Se supone el centro eléctrico del sistema de puesta a tierra en D, a una distancia x de O, luego la distancia del centro al electrodo de emisión es C + x, y el valor real de la resistencia se obtiene cuando el electrodo de potencial se coloca a 0,618(C + x) de D, o sea que el valor de D medido desde O es  $0,618(C + x) - x$ . Para obtener la familia de curvas inicialmente se deben desarrollar los siguientes pasos:

1. Determine el punto O, el cual será el punto de unión entre el telurómetro y el sistema de puesta a tierra bajo prueba.
2. Basándose en las dimensiones del sistema de puesta a tierra, se determina la ubicación del electrodo de emisión C, para cada una de las curvas que se quieren obtener. Se deben obtener como mínimo 4 curvas.
3. Con base en la máxima distancia C a que se colocará el electrodo de emisión se determina la distancia de x como un porcentaje de C: 20%,40%,60%,80% y 100%
4. Teniendo ya los valores de x y C aplicamos la fórmula  $D_v = 0.618(C + x) - x$  con la cual obtenemos las distancias ( $D_v$ ) a las cuales debe estar ubicado el electrodo de medición de voltaje.
5. Al obtener los valores de resistencia de puesta a tierra con el telurómetro, se trazan las gráficas  $R_{(Leida)}$  vs.  $X_i$  tal como lo muestra la figura 13.
- 6.



**Figura 13. Método de intersección de curvas**

#### **4.2.3.1 Consideraciones prácticas en la implementación.**

Para la implementación de este método debemos tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ◆ Para determinar el punto de unión entre el telurómetro y el sistema de puesta a tierra bajo prueba generalmente tomamos un electrodo ubicado en el perímetro del sistema de puesta a tierra. Es aconsejable realizar este tipo de mediciones con telurómetros de cuatro bornes.
  
- ◆ En el momento de la medición se asume que D, O y C deben estar en línea recta.
  
- ◆ Existen límites para la distancia del electrodo de corriente, por ejemplo si el sistema de puesta a tierra es una malla cuadrada, la mínima distancia del electrodo de corriente debe ser mayor que el lado del cuadrado, y debe ser menor que el doble del lado, ya que si es demasiado grande las curvas dan muy planas y la intersección que se obtiene será indefinida.
  
- ◆ Es recomendable realizar como mínimo 4 curvas para las cuales se deben realizar por lo menos 5 mediciones por cada curva, esto con el fin de obtener muchos valores de resistencia, los cuales harán que las curvas obtenidas sean más claras. Por ningún se debe recurrir a los datos y la experiencia de mediciones anteriores, es muy aconsejable que en el mismo sitio de medición se dibujen las curvas, la intersección de las mismas y el valor de la resistencia de puesta a tierra.
  
- ◆ Siempre que sea posible haga que el rumbo de la medición o la ubicación del electrodo de emisión sea ortogonal al sistema de puesta a tierra bajo prueba, esto hace que sea posible atenuar errores provocados por desvíos de resistividades propias del terreno.
  
- ◆ Este método puede ser un poco tedioso por las numerosas mediciones que se deben realizar pero el hecho de utilizar longitudes relativamente cortas para ejecutarlo aunado a los resultados muy confiables, hacen de este método muy apropiado para sistemas muy grandes.

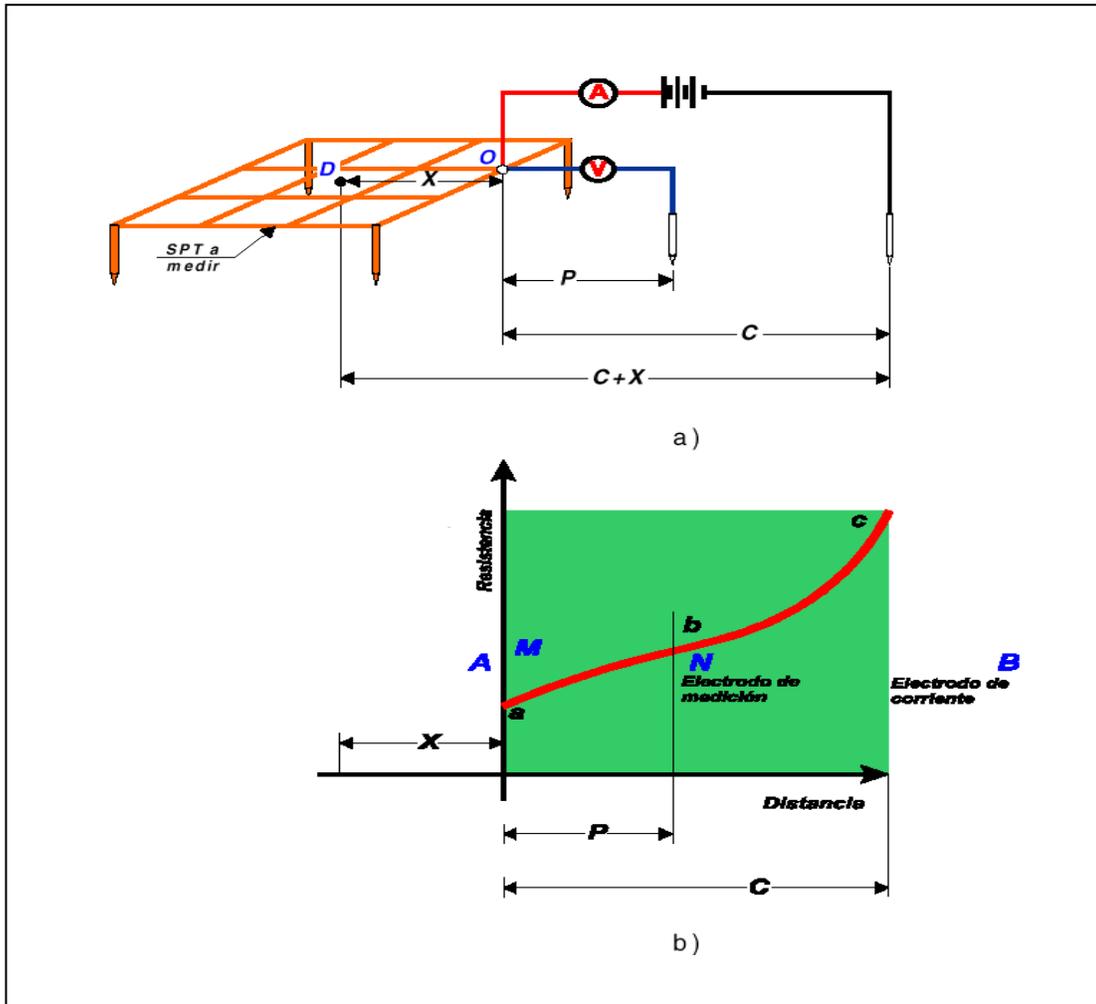


Figura 14. a) Método de la intersección de curvas. b) Curva de resistencia para grandes sistemas de puesta a tierra.

#### 4.2.4 Método de la pendiente.

Al igual que el método de intersección de curvas, este método también es utilizado para medir grandes sistemas de puesta a tierra, es más sencillo y proporciona buenos resultados y no es tan vulnerable en suelos no homogéneos. Para la aplicación práctica de este método, los siguientes son los pasos de la aplicación:

1. Escogemos el valor de C por los mismos criterios del método anterior; es decir que C puede ser de 1 a 6,5 veces el valor de la máxima dimensión lateral del sistema de puesta a tierra a medir.

2. De igual manera seleccionamos un punto O del sistema de puesta a tierra que sea conveniente para la conexión del equipo de medición. Este punto puede ser uno de los electrodos periféricos que conforman el sistema de puesta a tierra.
3. Luego ubicamos el electrodo de potencial o medición N a 0.2C, 0.4C y 0.6C.
4. Medimos la resistencia de puesta a tierra usando cada distancia a la cual se coloca el electrodo de medición N. Luego estos valores corresponden a  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  respectivamente.
5. Calculamos el valor de  $\mu$  como:  $\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1}$ , el cual representa el cambio de pendiente de la curvas las de Distancia / Resistencia.
6. Con el valor de  $\mu$  buscamos en la tabla 2, donde se encuentra el valor correspondiente de  $\frac{P_T}{C}$  para diferentes valores de  $\mu$ .
7. Luego calculamos el valor de  $P_T = \mu * C$ , y a esta distancia ubicamos el electrodo de medición N. (desde el punto O).
8. Se mide el valor de resistencia obtenido al ubicar el electrodo de potencial a la distancia que se indicó en punto anterior (7), el cual es el verdadero valor de resistencia del sistema de puesta a tierra medido.
9. Este mismo proceso se repite para diferentes valores de C, y se puede realizar un promedio con los valores de resistencia obtenidos los cuales no deben diferir en sus resultados.

#### **4.2.4.1 Consideraciones prácticas en la implementación.**

Con la implementación de este método no debemos esperar una gran precisión, pero es posible esperar errores alrededor del 10% o menores. Con la determinación de apenas tres medidas y el cálculo de  $\mu$ , ya podemos tener una idea sobre la ubicación del electrodo de corriente o de emisión B, esto nos indica que dentro de los métodos descritos hasta el momento este método es el de más rápida aplicación y comparado con el método de la intersección de curvas es de mayor facilidad en el momento de la aplicación en terreno y la obtención de datos y resultados.

Podemos concluir que para la medición de grandes sistemas de puesta a tierra este método es el que se aplica de manera más rápida y con el que se obtienen los datos con mayor rapidez; adicionalmente es el que presenta una mayor exactitud para las mediciones hechas en suelos no homogéneos, que son la mayoría de los suelos.

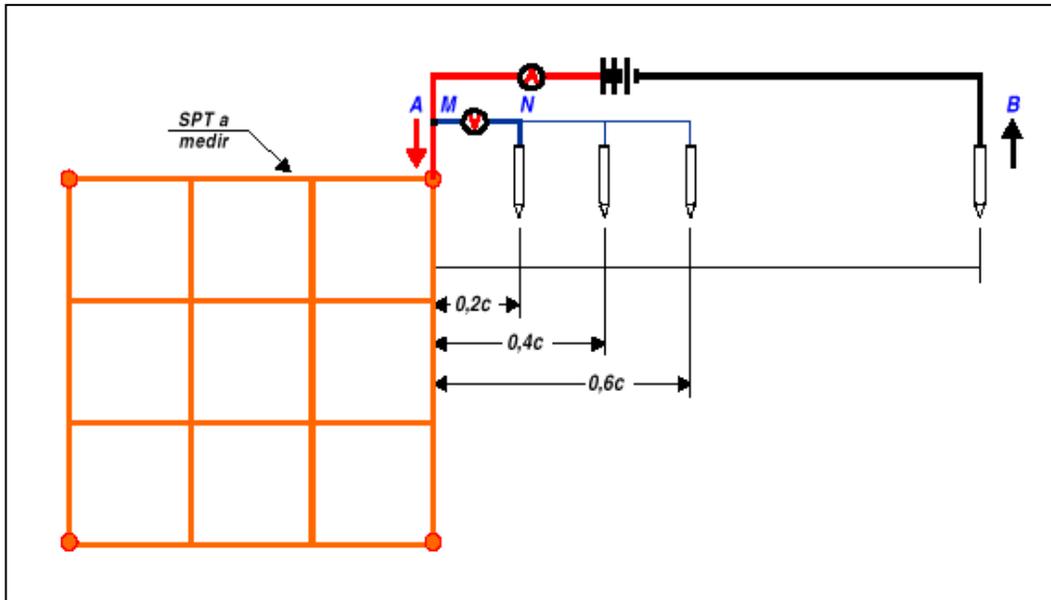


Figura 15. Puntos de localización del electrodo de medición para el método de la pendiente.

$\mu$	$P_T/C$	$\mu$	$P_T/C$	$\mu$	$P_T/C$
0,4	0,643	0,8	0,58	1,2	0,494
0,41	0,642	0,81	0,579	1,21	0,491
0,42	0,64	0,82	0,577	1,22	0,488
0,43	0,639	0,83	0,575	1,23	0,486
0,44	0,637	0,84	0,573	1,24	0,483
0,45	0,636	0,85	0,571	1,25	0,48
0,46	0,635	0,86	0,569	1,26	0,477
0,47	0,633	0,87	0,567	1,27	0,474
0,48	0,632	0,88	0,566	1,28	0,471
0,49	0,63	0,89	0,564	1,29	0,468
0,5	0,629	0,9	0,562	1,3	0,465
0,51	0,627	0,91	0,56	1,31	0,462
0,52	0,626	0,92	0,558	1,32	0,458
0,53	0,624	0,93	0,556	1,33	0,455
0,54	0,623	0,94	0,554	1,34	0,452
0,55	0,621	0,95	0,552	1,35	0,448
0,56	0,62	0,96	0,55	1,36	0,445
0,57	0,618	0,97	0,548	1,37	0,441
0,58	0,617	0,98	0,546	1,38	0,438
0,59	0,615	0,99	0,544	1,39	0,434
0,6	0,614	1	0,542	1,4	0,431
0,61	0,612	1,01	0,539	1,41	0,427
0,62	0,61	1,02	0,537	1,42	0,423
0,63	0,609	1,03	0,535	1,43	0,418
0,64	0,607	1,04	0,533	1,44	0,414
0,65	0,606	1,05	0,531	1,45	0,41
0,66	0,604	1,06	0,528	1,46	0,406
0,67	0,602	1,07	0,526	1,47	0,401
0,68	0,601	1,08	0,524	1,48	0,397
0,69	0,599	1,09	0,522	1,49	0,393
0,7	0,597	1,1	0,519	1,5	0,389
0,71	0,596	1,11	0,517	1,51	0,384
0,72	0,594	1,12	0,514	1,52	0,379
0,73	0,592	1,13	0,512	1,53	0,374
0,74	0,591	1,14	0,509	1,54	0,369
0,75	0,589	1,15	0,507	1,55	0,364
0,76	0,587	1,16	0,504	1,56	0,358
0,77	0,585	1,17	0,502	1,57	0,352
0,78	0,584	1,18	0,499	1,58	0,347
0,79	0,582	1,19	0,497	1,59	0,341

Tabla 2. Valores de  $\frac{P_T}{C}$  para diferentes valores de  $\mu$ .

## **4.3 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS SOBRE LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA EN SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

### **4.3.1 Normas de seguridad.**

Las normas de seguridad que se deben tener en cuenta cuando se realizan mediciones de resistencia de puesta a tierra están encaminadas a la seguridad tanto de los datos obtenidos en la medición pero principalmente a la seguridad del personal que realiza e interviene en este tipo de trabajos.

Las reglas y procedimientos sugeridos aquí son recomendados para que sean utilizados como un recordatorio de los posibles peligros que se pueden presentar durante las mediciones, y para servir como guías en una preparación segura de los diferentes métodos de medición.

Las siguientes son las medidas de precaución recomendadas:

1. No programe mediciones de resistencia de puesta a tierra en sistemas eléctricos que estén puestos a tierra, durante periodos en los cuales se prevé que ocurran tormentas eléctricas, o rayos. No importa el tipo de sistema eléctrico ni la parte de dicho sistema que se pretenda medir, bajo estas condiciones no se debe medir.
2. No deje que se realicen pruebas de conexión y desconexión de líneas de transmisión durante un periodo en el cual se prevén tormentas eléctricas.
3. En el evento que llegue a ocurrir una tormenta eléctrica repentina sobre el área en el cual se realizan las pruebas de medición, detenga cualquier tipo de medición, desconecte toda conexión que halla entre los equipos de medición y los sistemas bajo prueba y aisle temporalmente los conectores y colóquelos en la parte exterior del sistema de puesta a tierra bajo prueba.

### **4.3.2 Aspectos de seguridad y preparación para las pruebas.**

Estas precauciones se deben tener en cuenta en la preparación de mediciones de resistencia de puesta a tierra de cualquier sistema de potencia que se encuentre puesto a tierra y en el cual se involucra personal que puede estar expuesto a fallas eléctricas o alimentaciones al sistema de puesta a tierra no previstas, potenciales transferidos desde tierras remotas y energizaciones inadvertidas.

Puede que la probabilidad de ocurrencia de alguno de estos eventos sea baja, sin embargo el personal que realice las mediciones debe estar protegido para cualquiera de estos eventos y se debe aumentar su protección para:

- Si tiene las manos descubiertas evite hacer un puente de continuidad con su cuerpo entre los equipos de medición y el sistema bajo prueba o entre los implementos de medición.
- Asegúrese de que los rollos de cable que se utilizan en la medición estén bien aislados o por lo menos montados sobre una plataforma aislante.
- Conecte seguramente las puestas a tierra (determinadas para casos de falla) a toda armazón metálica de los equipos.

Estas recomendaciones en los procedimientos de medición, condiciones de peligro y la responsabilidad de cada persona deben ser discutidas y entendidas por cada uno de los participantes de las mediciones.

#### **4.4 FACTORES QUE AFECTAN LAS MEDICIONES DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

Las mediciones de sistemas de puesta a tierra que se realizan con corrientes de inyección realizadas en subestaciones y líneas de transmisión energizadas, poseen numerosas características que introducen e imponen complicaciones sobre las técnicas de medición que se sigan.

##### **4.4.1 Antecedentes de voltaje y ruido resultado de acoplamientos:**

Desbalances de corriente que fluye a través de cualquier impedancia del sistema de puesta a tierra bajo prueba.

Corriente de armónicos que fluye a través de cualquier impedancia del sistema de puesta a tierra bajo prueba.

Corrientes que se inducen en conductores extensos puestos a tierra y que finalmente circulan a través de una malla o sistema de puesta a tierra.

Corrientes telúricas o parásitas.

##### **4.4.2 Interferencia electromagnética resultado de acoplamientos:**

Voltajes inducidos en el circuito bajo prueba debidos al paralelismo con un barraje de alimentación y/o líneas de transmisión (Acoplamiento inductivo).

Voltajes inducidos en el circuito bajo prueba debidos a la proximidad con un barraje energizado y/o líneas de transmisión (Acoplamiento capacitivo).

##### **4.4.3 Consideraciones durante la medición:**

La medición de resistencia de puesta a tierra no contempla la desconexión del sistema bajo prueba, ni de los equipos o sistemas eléctricos, durante la medición ni en la obtención de datos o resultados.

El acoplamiento mutuo entre el conductor de corriente de prueba y el conductor de medición hará que se introduzca una menor impedancia en el resultado de la medición.

La localización de los electrodos de emisión (corriente) y medición cerca de estructuras metálicas enterradas, neutros puestos a tierra, conductores de puesta a tierra enterrados y conectados al sistema de puesta a tierra bajo prueba, harán que los datos de la

medición sean más bajos de lo que realmente son. En áreas urbanas estos componentes efectivamente hacen mas amplio el sistema de puesta a tierra de cualquier sistema de potencia, pero hacen que sea difícil la medición de resistencia de puesta a tierra, en este caso se debe buscar el camino que tenga menos elementos enterrados por el camino o rumbo de la medición; en estos casos es necesario practicar un mínimo de 3 mediciones en rumbos diferentes, y si es del caso realice la medición en el rumbo mas crítico para poder descartar cualquier duda sobre los datos obtenidos. En el caso de líneas de transmisión se debe medir a  $90^{\circ}$  de los cables de guarda, puesto que los contrapesos se ubican paralelos a estos.

La alta resistencia debido a la corrosión de las conexiones entre la malla de puesta a tierra y los componentes de todo el sistema de puesta a tierra, la corriente no lineal de los cables de apantallamiento metálicos cuando se conectan a la malla, y la no - linealidad de las uniones mecánicas que se utilizan para conectar estos conductores, ocasionan que obtenga una medición de impedancia demasiado alta, por tanto es necesario realizar mantenimientos periódicos a los cables, electrodos y equipo de medición. Se sugiere que antes de realizar cualquier medición de este tipo se realice la evaluación del equipo de medición para poder descartar cualquier error en la medición debido al equipo.

Todos los componentes del sistema de puesta a tierra bajo prueba deberán estar conectados. Se debe verificar que esto se cumpla para no obtener datos parciales o de sistemas que comprenden todo un gran sistema de puesta a tierra. Si el sistema de puesta a tierra es de dimensiones considerables y está compuesto de múltiples sistemas de puesta a tierra mida cada sistema por aparte y verifique los valores obtenidos en cada sistema los cuales no deben tener grandes diferencias en su resultado.

Las líneas de transmisión que estén fuera de servicio deberán ser conectadas a la malla, antes de realizar cualquier medición.

En el caso de mediciones hechas en sitios de resistividad alta o donde el contacto entre los electrodos y el terreno presenta un alto valor de resistencia, se puede agrandar el orificio donde se clava el electrodo y agregarle agua, con lo cual se logra una resistencia de contacto mas baja y se asegura un perfecto contacto con el suelo. La cantidad de agua empleada debe ser suficiente para el área de contacto y no excesiva puesto que demasiada agua provocará un valor de medición erróneo.

Si se deben implementar mediciones en sitios como edificios o áreas urbanas en las cuales no es posible enterrar los electrodos auxiliares en el suelo se deben utilizar los conectores de los cables o láminas metálicas que remplazarán los electrodos, se les debe adicionar agua para poder tener un contacto mayor con el suelo. La ubicación de los terminales de hierro es la misma que si se utilizarán los electrodos, luego de su ubicación coloque agua sobre los terminales y cubriéndolos plenamente sin hacer grandes extensiones o charcos de agua, verifique que el agua sea un medio de conexión perfecta entre los terminales y el suelo.

Se debe tener especial cuidado en la calidad de los cables que se usarán en la medición, especialmente de que no se encuentren perforados en su aislamiento o estén empalmados en mas de un sitio, lo primero en vista de que al encontrarse perforaciones en su aislamiento se pueden producir fugas de corriente o mediciones erróneas que

producirán la pérdida de todo el trabajo de medición; el empalme de varios tramos de cable ocasiona que el valor de su resistencia aumente incidiendo en el valor obtenido por el telurómetro, también se debe tener en cuenta que al utilizar grandes extensiones de cable juega un papel importante la regulación que puede obtenerse.

#### **4.5 PROTOCOLOS DE CERTIFICACIÓN Y MEDICIÓN DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

Los protocolos de medición de resistencia de puesta a tierra son quienes dan fe de la correcta elaboración de un sistema de puesta a tierra; su importancia radica en que pueden y deben convertirse en un certificado de la correcta o no implementación de un sistema de puesta a tierra, en ellos deben estar retomados todos los aspectos normalizados para la correcta elaboración de un sistema de puesta a tierra.

Varios de los datos utilizados para elaborar el protocolo de medición de resistividad se utilizan en los protocolos de medición de resistencia de puesta a tierra, en este capítulo omitiremos su explicación y nos centraremos en la explicación de los nuevos datos que se utilizan en los protocolos de medición de resistencia de puesta a tierra y certificación de sistemas de puesta a tierra.

Como se dijo al iniciar esta parte las mediciones de resistencia de puesta a tierra deben servir o llevar a que se conviertan en un documento que certifique el real estado de cualquier sistema de puesta a tierra que se pretenda medir, pero es lógico que cuando se realiza una interventoría propia sobre un trabajo realizado, solo se limita a medir y comprobar que el resultado de la medición del sistema de puesta a tierra bajo prueba sea el correcto, y la certificación correría por parte de otra compañía que sería la encargada de determinar, basándose en unas normas conocidas y valederas, que el sistema de puesta a tierra cumple o no los requisitos mínimos para ser conectado a un sistema eléctrico.

#### **4.6 PROTOCOLO DE CERTIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.**

Un protocolo de certificación de puesta a tierra, es un documento fiel en el cual se verifica que realmente está construido y posee las características que las diferentes normas internacionales exigen para su correcto funcionamiento y elaboración.

El protocolo de certificación fue creado teniendo en cuenta que al medir un sistema de puesta a tierra se pueden verificar las características de construcción del sistema de puesta a tierra bajo prueba, características de construcción que son reglamentadas por entidades como:

- NEC â National Electrical Code (NFPA 70) 196
- IEEE 80, IEEE 81, IEEE 1100, IEEE 142.
- NFPA 780
- UIT

- VDE 143
- NTC 2050

No se debe interpretar que son las únicas normas sobre construcción de sistemas de puestas a tierra, pero si son las de mas difusión en nuestro país.

Los datos contemplados en el protocolo de certificación de un sistema de puesta a tierra son:<sup>⊕</sup>

- **Area o longitud:** Corresponde al área que tiene el sistema de puesta a medir, es necesario determinar esta magnitud teniendo en cuenta que dependiendo de este valor se debe determinar el método de medición que se implementará, y de paso la ubicación y configuración del método.
- **Utilización:** Es el propósito para el cual se determinó la construcción del sistema de puesta a tierra bajo prueba, puede ser para equipo sensible, de pararrayos o de potencia. Este dato es importante puesto que determina si el valor de resistencia obtenido del sistema de puesta a tierra bajo prueba es el correcto para el objetivo que fue construido.
- **Ubicación:** es el sitio en donde está construida la puesta a tierra bajo prueba, este dato se toma con el fin de poder llevar un archivo y memoria del sitio donde se encuentra el sistema de puesta a tierra, se determinó luego de encontrar que en la práctica muchas veces no se tienen planos de ubicación de los diferentes sistemas de puesta a tierra, o en muchos casos en remodelaciones se pierde la ubicación de estos sistemas.
- **Valor oficial de resistencia:** Es el valor de resistencia de puesta a tierra obtenido. Se debe dar en ohmios, y su validez está determinada por el tipo de sistema de puesta a tierra construido y su propósito, el valor de resistencia y su validez se corrobora con los valores que las diferentes normas o fabricantes de equipos exigen al respecto.
- **Criterios de evaluación normalizados:** Corresponde mas que todo a los aspectos de construcción con los cuales fue implementado el sistema de puesta a tierra bajo prueba; estos criterios se relacionan según las exigencias de las normas nacionales e internacionales pero la principal fuente de evaluación la constituye el National Electrical Code NEC<sup>®</sup> o NFPA 70, en su artículo 250, en el cual se recogen los requisitos generales de conexión de puesta a tierra y equipotencialidad de instalaciones eléctricas, y requerimientos específicos sobre:
  - ⊖ Sistemas, circuitos y equipos permitidos o no para ser puestos a tierra.
  - ⊖ Conductores que se deben colocar a tierra en los sistemas de puesta a tierra.
  - ⊖ Ubicación de las conexiones a tierra.

---

<sup>⊕</sup> Se omite la explicación de los datos similares entre el protocolo de medición de resistividad de suelos y el de certificación de un sistema de puesta a tierra.

- ⊖ Tipos y tamaños de conductores y electrodos para conexiones a tierra y equipotencialidad.
- ⊖ Métodos de puesta a tierra y equipotencialidad.
- ⊖ Condiciones bajo las cuales protecciones, aislamientos o no aislamientos deberán ser sustituidos por sistemas de puesta a tierra.

En este protocolo también se utilizan los criterios de normalización exigidos por otras entidades. Se busca en todo momento que las entidades nacionales suministren los aportes necesarios para el complemento de sus normas en este protocolo.

El modelo del protocolo de certificación de un sistema de puesta a tierra se puede ver en la figura 16

#### **4.7 PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.**

Es el último paso para determinar la operación de un sistema de puesta a tierra. El protocolo de medición de resistencia de puesta a tierra mostrado en la figura 16 y 17 se desarrolló teniendo en cuenta:

- **Método de medición:** Determina cual es el método a emplear en la medición, y en el caso de la interpretación de las medidas nos ubica cual fue el método empleado para realizar la medición y los datos que se pueden esperar del mismo.
- **Número de mediciones:** Se entrega esta información con el fin de poder determinar si la medición se realizó correctamente o si por el contrario, por la aplicación de un gran número de mediciones el suelo presentó efectos indeseables de polarización o galvánicos los cuales pueden incidir en los datos obtenidos de la medición. Con esto se determina si se deben realizar las mediciones de nuevo.
- **Voltaje por espurias:** Es necesario determinar dentro del protocolo de medición de resistencia de puesta a tierra el valor del voltaje por espurias para despejar cualquier duda sobre la medición realizada, además el voltaje por espurias incide substancialmente en el valor de resistencia obtenido y dificulta en gran manera el desarrollo de las mediciones de este tipo.
- **Curva de Resistencia de puesta a tierra:** Es necesario que dentro de cada protocolo halla una curva de medición de resistencia de puesta a tierra, puesto que como lo pudimos ver métodos como el de la caída de potencial, intersección de curvas y de la pendiente utilizan curvas para determinar el valor de resistencia obtenido, además de esto el tener esta curva clarifica que los datos obtenidos en el terreno son correctos y que según la teoría expuesta se cumple con las prácticas realizadas.

- **Observaciones:** Corresponden a lo encontrado en el terreno o aspectos de importancia que se deben aclarar para dar veracidad a los valores obtenidos.
- **Responsable de la medición y asistentes:** Corresponde a la persona que realizó la medición y las personas de la compañía contratante que pueden dar fe de los resultados obtenidos.

<b>CERTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA</b>			
<i>DATOS DE SITIO</i>	<i>DATOS BASICOS</i>		
FECHA DE MEDICIÓN:	TIPO DE TERRENO:		
SOLICITANTE:	No. DE PUESTAS A TIERRA: <span style="float: right;">No. ACTUAL:</span>		
CIUDAD:	TEMPERATURA:		
PROYECTO:			
<i>DATOS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN</i>	<i>ACCESORIOS DE MEDICIÓN</i>		
MARCA	TIPO DE ELECTRODOS		
FRECUENCIA DE PRUEBA	LONGITUD DE ELECTRODOS		
CORRIENTE DE PRUEBA	TIPO DE CABLES		
	LONGITUD MAXIMA DE CABLES		
<i>DIAGRAMA DE SPT A MEDIR</i>	<i>DATOS DE SPT A MEDIR</i>		
	AREA O LONGITUD: _____		
	CONFIGURACION: _____		
	UTILIZACION: _____		
	UBICACIÓN: _____		
	OBSERVACIONES: _____		
	_____		
	_____		
	_____		
	_____		
	_____		
	_____		
	_____		
<i>CRITERIOS DE EVALUACION NORMALIZADOS</i>			
	DATOS	CUMPLE	NORMA
VALOR OFICIAL DE RESISTENCIA:			NEC 250-50
TIPO DE ELECTRODOS:			NEC 250-91
CALIDAD DE LOS ELECTRODOS:			NEC 250-83
SEPARACION ENTRE ELECTRODOS:			NEC 250-83
CALIDAD DE LAS CONEXIONES:			NEC 250-112
CALIBRE DE CONDUCTORES AL SPT:			IEEE 80-9,3
CALIBRE DEL CONDUCTOR DEL SPT:			NFPA 780 3-12
CALIDAD DE LOS CONDUCTORES:			NEC 250-91
INTERCONEXION ENTRE SPT:			NEC 250-86
CAJAS DE INSPECCION:			CODENSA CS500-1
BARRAJES EQUIPOTENCIALES:			TIA 607-5.4
TECNICA DE MEJORAMIENTO:			CODENSA ET 489
OBSERVACIONES ADICIONALES: _____			
_____			
_____			
_____			
_____			

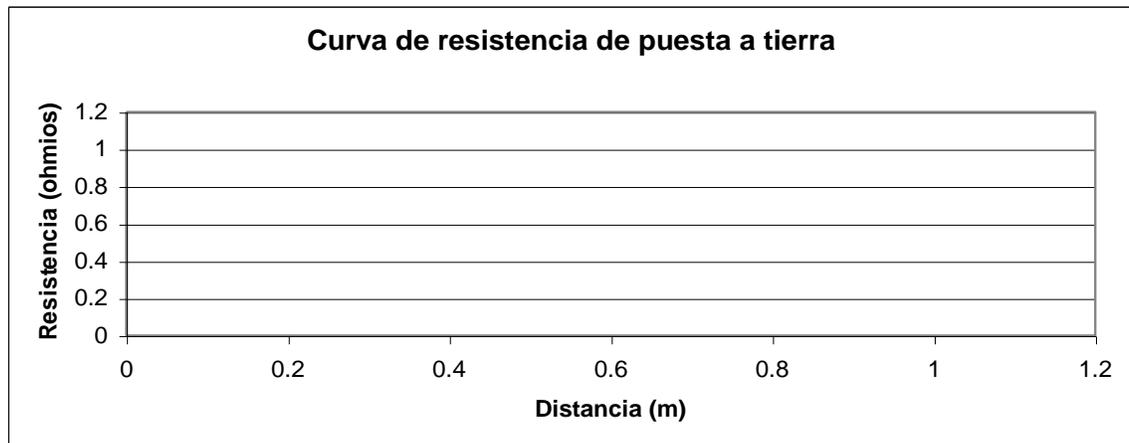
Figura 16. Protocolo de certificación de un sistema de puesta a tierra.

<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA</b> <i>Medición de la resistencia de puesta a tierra</i>	
<b>Datos del sitio</b>	<b>Condiciones del suelo</b>
Fecha de medición: _____	Color del suelo: _____
Empresa: _____	Tipo de terreno: _____
Ciudad: _____	Último día lluvioso: _____
Ubicación: _____	Temperatura: _____
Departamento: _____	pH: _____

<b>Datos del equipo de medición</b>	<b>Accesorios de medición</b>
Marca: _____	Electrodos: _____
Frecuencia : _____	Tipo de cable: _____

<b>Datos de montaje en el terreno</b>	
Método de medición: _____	Número de mediciones: _____
Rumbo(s) de la(s) medición(es): _____	

Medición número	Distancia entre electrodos		Corriente de prueba (mA)	Escala de medición ( $\Omega$ )	Resistencia medida ( $\Omega$ )
	Corriente	Tensión			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					



<b>Observaciones:</b>
_____
_____
Responsable de la medición: _____

Figura 17. Formato para la medida de la resistencia de puesta a tierra.

## 5.0 INFORMACION DE LOS SISTEMAS PARA CADA EDIFICION NOMBRADO

Se realizó un trabajo de campo en cada instalación en particular, el cual incluye los siguientes puntos:

**1. Registro fotográfico:** Se hicieron registros fotográficos de los elementos que constituyen el sistema de puesta a tierra de cada edificio, para destacar las anomalías en este sistema, como también las características propias de cada instalación.

**2. Obtención del perfil de resistividad del suelo:** Se ejecutó el procedimiento establecido como oficial según norma RETIE y el estándar IEEE 80, para la obtención del perfil de resistividad del suelo, con el fin de determinar el valor de resistividad del suelo, el cual sería utilizado para el cálculo del sistema de puesta a tierra.

**3. Medida del valor de la resistencia de puesta a tierra:** Se ejecutó el procedimiento oficial según norma RETIE y el estándar IEEE 80, para la obtención del valor de la resistencia de puesta a tierra del sistema, para cada edificio del campus de la Universidad.

Con la información que se obtuvo para cada sistema eléctrico, correspondiente a cada edificio, se hizo un análisis de la misma y se hizo un diagnóstico, y se establecieron algunas recomendaciones teniendo en cuenta las normas correspondientes para cada caso en particular.

### 5.1 Sitio de estudio: CAFETERIA CENTRAL (GALPON)

Ubicación: Costado derecho inferior del edificio No 11 de sur a norte, según mapa general de la U.T.P. (Planeación U.T.P.).

<b>ESTUDIO SPT 2003</b>	<b>ESTUDIO SPT 2012</b>
-------------------------	-------------------------



Método para la medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Caída de Potencial	Método	Caída de Potencial
Valor	40,21Ω	Valor	1,43Ω

Método para la medida de la resistividad del suelo.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Wenner	Método	Wenner
Ver Anexo I		Ver Anexo 1	

Observaciones:

- Se implementó un nuevo Sistema de Puesta a Tierra que reemplaza al que existía en el año 2003.

- Actualmente el SPT utiliza una configuración en malla, y los elementos que la conforman están en adecuadas condiciones, cumpliendo con lo establecido por el reglamento.
- Se anexa protocolo de la medida de la resistencia del sistema puesto a tierra (Anexo A).
- El SPT se encuentra en adecuadas condiciones de funcionamiento gracias a que es un SPT relativamente nuevo.
- Actualmente los STP del edificio y el transformador se encuentran interconectados, lo cual ayuda a que disminuya la resistencia de puesta a tierra, esto es ideal para todo SPT.

## 5.2 Sitio de estudio: EDIFICIO DE CIENCIAS BÁSICAS.

Ubicación: Lado izquierdo-centro del edificio No 7 de sur a norte, según mapa general de la U.T.P.(Planos planeación U.T.P.)

<b>ESTUDIO SPT 2003</b>	<b>ESTUDIO SPT 2012</b>
-------------------------	-------------------------



Método para la medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Caída de Potencial	Método	Caída de Potencial
Valor	6,2Ω	Valor	7,96Ω

Método para la medida de la resistividad del suelo.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Wenner	Método	Wenner
Ver Anexo J		Ver Anexo 2	

Observaciones:

- Se anexa protocolo de la medida de la resistencia del sistema puesto a tierra (Anexo B).

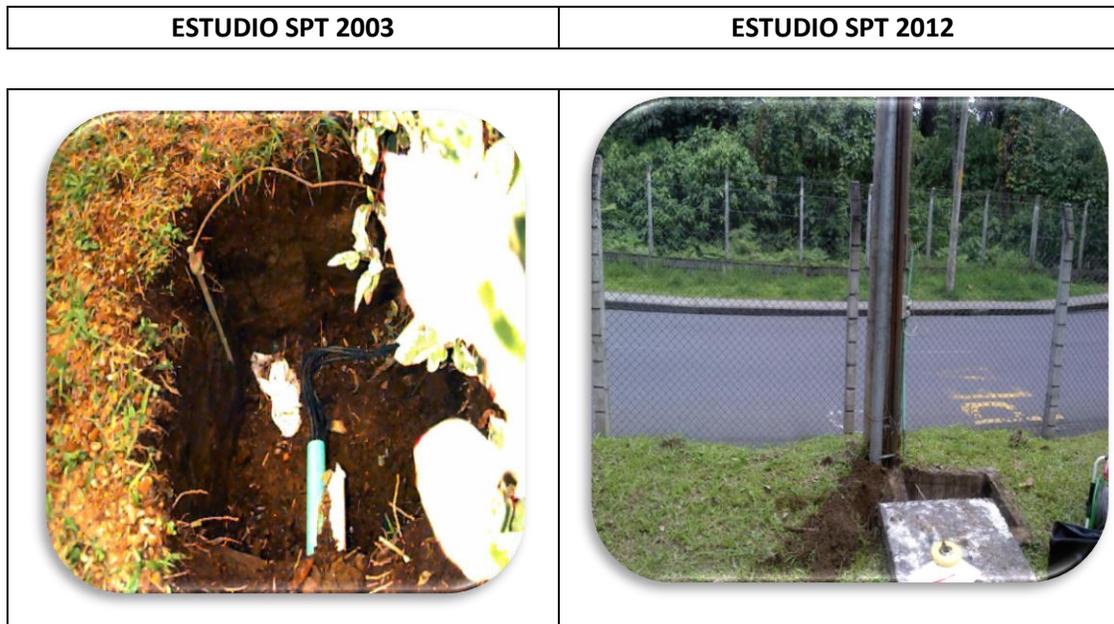
- El valor de la resistencia tiene un aumento de  $1.76\Omega$  con respecto al estudio realizado en el 2003, se puede pensar que este aumento es debido a:
  - o Cambios geológicos en el terreno (resistividad)
  - o Deterioro de los cables, electrodos y empalmes del SPT
  
- Detalles de la conexión de los conductores en la construcción de la malla del edificio de la Facultad de Ciencias Básicas.



Muestra del estado en que se encuentran los conductores del SPT.

### 5.3 Sitio de estudio: EDIFICIO DE COMUNICACIONES

Ubicación: Costado derecho centro adjunto al edificio No 13C de sur a norte. Según mapa general de la U.T.P.



Método para la medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Caída de Potencial	Método	Caída de Potencial
Valor	11,47Ω	Valor	1,02Ω

Método para la medida de la resistividad del suelo.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Wenner	Método	Wenner
Ver Anexo K		Ver Anexo 3	

Observaciones:

- Se anexa protocolo de la medida de la resistencia del sistema puesto a tierra (Anexo C).

- Actualmente los STP del edificio y el transformador se encuentran interconectados, lo cual ayuda a que disminuya la resistencia de puesta a tierra, esto es ideal para todo SPT.
- Los SPT del transformador y del edificio de Comunicación, mejoran su valor de resistencia como consecuencia de la interconexión entre estos.
- Los elementos que conforman el SPT poseen indicios de sulfatación debido a la humedad del sitio.
- El valor de resistencia de puesta a tierra puede ser afectado por las corrientes parasitas que se inyectan debidos a los equipos electrónicos que posee el edificio, por eso se tomó un valor mayor en el eje de la distancia ( $C=6.5*L_{max}$ ), para poder apreciar mejor la zona lineal del SPT y como consecuencia tener una mayor confiabilidad en los datos obtenidos.
- Se recomienda hacer un seguimiento continuo al estado del SPT para efectos de seguridad.
- Detalles de la conexión de los conductores en la construcción de la malla del edificio de la Facultad de Comunicaciones.



Muestra del estado en que se encuentran los conductores del SPT.

#### 5.4 Sitio de estudio: EDIFICIO FACULTAD DE EDUCACIÓN.

Ubicación: Lado derecho inferior del edificio No 13B de sur a norte, según mapa general de la U.T.P.(Planeación U.T.P.).



Método para la medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Caída de Potencial	Método	Caída de Potencial
Valor	11,84Ω	Valor	1,56Ω

Método para la medida de la resistividad del suelo.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Wenner	Método	Wenner
Ver Anexo L		Ver Anexo 4	

Observaciones:

- Se anexa protocolo de la medida de la resistencia de puesta a tierra. (Anexo D).

- Este edificio comparte el transformador con el edificio de comunicaciones, se puede realizar una interconexión entre el neutro del transformador y el conductor puesto a tierra del edificio de educación para mejorar el valor de la resistencia de este SPT.
- Se aprecia un recorrido no uniforme, deteriorado y bastante superficial en los cables que conforman la malla y malas uniones en los electrodos.
- Teniendo en cuenta que a este STP no se le han hecho modificaciones, se puede pensar, que el cable que une los electrodos para constituir la malla no conforman cuadrículas, si no bucles en el intermedio y entre electrodos, lo cual está registrado en el estudio del año 2003, por ende también es importante hacer un análisis de las desventajas que puede ocasionar esta configuración.
- El sitio que se escogió para la construcción viola las normas de seguridad para seres vivos, puesto que en el momento de una descarga, sobre esta (superficie del suelo), se pueden generar potenciales peligrosos, apreciando que el área utilizada es un paso obligado de personas.
- Se recomienda hacer un nuevo diseño del sistema de puesta a tierra, teniendo en cuenta los siguientes puntos:
  - Establecer un punto común para los conductores conectados a tierra (barraje para el neutro y barraje para tierra) y el conductor del electrodo de tierra.
  - Tensión de Contacto.
  - Tensión de paso.
  - Ubicación apropiada para la malla, que no presente riesgos para las personas.
- Detalles de la conexión de los electrodos en la construcción de la malla del edificio de la Facultad de Educación.



Muestra del recorrido no uniforme, deterioro, lo superficial y los malos empalmes de la malla.

## 5.5 Sitio de estudio: EDIFICIO DE MEDIO AMBIENTE

Ubicación: Costado derecho centro adjunto al edificio No 17 de sur a norte. Según mapa general de la U.T.P.

ESTUDIO SPT 2003	ESTUDIO SPT 2012
------------------	------------------



Método para la medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Caída de Potencial	Método	Caída de Potencial
Valor	150,6Ω	Valor	10,62Ω

Método para la medida de la resistividad del suelo.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Wenner	Método	Wenner
Ver Anexo M		Ver Anexo 5	

Observaciones:

- Se implementó un nuevo Sistema de Puesta a Tierra que reemplaza al que existía en el año 2003.
- Actualmente el SPT utiliza una configuración en malla, y los elementos que la conforman están en adecuadas condiciones, cumpliendo con lo establecido por el reglamento.
- Se anexa protocolo de la medida de la resistencia del sistema puesto a tierra (Anexo E)
- El SPT se encuentra en adecuadas condiciones de funcionamiento gracias a que es un SPT relativamente nuevo.
- Se recomienda realizar una interconexión entre SPT y el del Transformador de este edificio, para disminuir el valor de la resistencia de puesta a tierra.

## 5.6 Sitio de estudio: EDIFICIO DE MEDIO AMBIENTE (Transformador)

Ubicación: Costado derecho centro adjunto al edificio No 17 de sur a norte. Según mapa general de la U.T.P.



Método para la medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Caída de Potencial	Método	Caída de Potencial
Valor	14,6Ω	Valor	15,47Ω

Método para la medida de la resistividad del suelo.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Wenner	Método	Wenner
Ver Anexo M		Ver Anexo 6	

Observaciones:

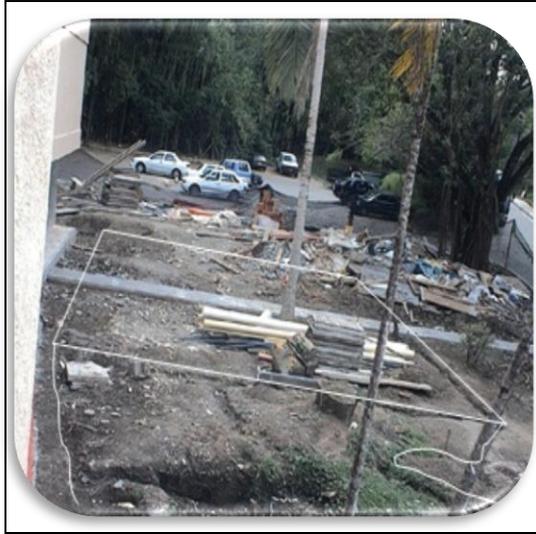
- Actualmente el SPT utiliza una configuración tipo electrodo.

- Se anexa protocolo de la medida de la resistencia del sistema puesto a tierra (Anexo F).
- Teniendo en cuenta que a este SPT no se le han hecho modificaciones, se determinó que al igual estudio realizado en el 2003 el SPT presenta un alto grado de corrosión en el sistema de puesta a tierra, que conlleva a concluir que el estado total de electrodo de puesta a tierra está en igual condición, esto se puede confirmar en la medida elevada que se obtuvo de la resistencia de puesta a tierra.
- Se recomienda hacer un nuevo diseño del sistema de puesta a tierra cumpliendo con los siguientes puntos:
  - Establecer un punto común para los conductores conectados a tierra y el conductor del electrodo de tierra.
  - Tensión de Contacto.
  - Tensión de paso.
  - Interconexión con otros SPT.
- El valor de la resistencia del SPT no cumple con lo establecido por la norma RETIE y es estándar IEEE80.

**5.7 Sitio de estudio: EDIFICIO DE SISTEMAS.**

Ubicación: Lado izquierdo - inferior del edificio No 9 de sur a norte, según mapa general de la U.T.P.(Planos planeación U.T.P.)

<b>ESTUDIO SPT 2003</b>	<b>ESTUDIO SPT 2012</b>
-------------------------	-------------------------



Método para la medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Caída de Potencial	Método	Caída de Potencial
Valor	2,89Ω	Valor	----Ω

Método para la medida de la resistividad del suelo.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Wenner	Método	Wenner
Ver Anexo N		Ver Anexo 7	

Observaciones:

- Teniendo en cuenta que no se pudo obtener el valor de resistencia del SPT debido a que no contamos con el suficiente espacio para realizar dicha medición a causa de las construcciones alrededor del SPT.

- Debido a lo anterior se anexa protocolo de la medida de la resistencia de la malla teniendo como base el estudio realizado en el año 2003 (Anexo G).

**5.8 Sitio de estudio: EDIFICIO DE SISTEMAS (Transformador).**

Ubicación: Parte inferior derecha del edificio No 9 de sur a norte, según mapa general de la U.T.P.(Planos planeación U.T.P.)

<b>ESTUDIO SPT 2003</b>	<b>ESTUDIO SPT 2012</b>
-------------------------	-------------------------



Método para la medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Caída de Potencial	Método	Caída de Potencial
Valor	2,28Ω	Valor	6.30Ω

Método para la medida de la resistividad del suelo.

Estudio realizado en el año 2003		Estudio actual	
Método	Wenner	Método	Wenner
Ver anexo		Ver Anexo 7	

Observaciones:

- Se anexa protocolo de la medida de la resistencia de la malla (Anexo H).
- Se nota un aumento significativo en el valor de la resistencia del SPT por el deterioro de los elementos que lo conforman.
- Sería muy importante que se unificaran los SPT existentes que conforman el sistema eléctrico del edificio ya que con esto se obtiene un valor de resistencia ideal para el edificio.
- Se observa deterioro en el SPT lo cual conlleva a que el valor de la resistencia de puesta a tierra sea alto
- El SPT tiene una instalación inadecuada ya que el conductor está expuesto al contacto con personas.

## 6.0 EQUIPO UTILIZADO EN EL ESTUDIO.

El equipo utilizado para realizar el estudio de los sistemas de puesta a tierra, es:

- DIGITAL GROUND RESISTENTE TESTER
- Fabricante: AEMC® Instruments
- Modelo: 4500
- Serie: 12G36572

Las características técnicas del equipo se detallan en el Anexo:AF.



Foto: Detalla del equipo AEMC 4500 y accesorios

Este equipo fue asignado al programa de Tecnología eléctrica, por parte de la Universidad Tecnológica de Pereira, para que desarrollara específicamente el estudio de los sistemas de puesta a tierra.

Para iniciar el trabajo se hizo necesario verificar el estado de calibración del equipo, para tal efecto se envió a el laboratorio de calibración “Sistemas e Instrumentación S.A”, compañía que asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los patrones de referencia utilizados en las mediciones de verificación de equipos, con los patrones “Nacional Institute of Standard and technology” (NIST). Se anexa copia del informe de calibración del equipo AEMC 4500. (Ver Anexo AE).

Además de la calibración del equipo se hizo necesario establecer el manual de procedimientos técnicos para ejecutar cada prueba geoelectrica, este trabajo se logró a través de la asistencia a varios seminarios y contactos con autoridades nacionales en la materia.

En este documento se consignaron todos los procedimientos técnicos y administrativos para realizar cualquier prueba geoelectrica que conduzca a medir la resistividad del suelo y evaluar la resistencia de puesta a tierra de un sistema eléctrico, con miras a ofrecer un servicio a las empresas de la región y compañías eléctricas como un soporte de nuestra entidad a nuestro entorno.

De acuerdo a lo inmediatamente escrito, todas las pruebas geoelectricas realizadas que se hicieron en el desarrollo de este trabajo, cumplieron con las normas de los estandares para ejecución de las mismas.

Con respecto a los equipos auxiliares, se utilizaron los siguientes elementos para realizar las pruebas geoelectricas: Ver foto 35 y 36.

1. Electrodo de cobre – cobre de 5/8" x 0,5 m.
2. Cable tipo vehículo calibre 14 AWG, el cual se utilizó para cablear los electrodos que se ubican en el terreno y el telurómetro.
3. Cintra métrica.
4. Maceta.



Foto: Equipo auxiliar para realizar pruebas.

## 7.0 BIBLIOGRAFIA

[1] MANUAL DE TECNICAS EN MEDICION DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Pedro Alejandro Vargas Avila - Universidad de la Salle - Facultad de Ingeniería Eléctrica - Santafé de Bogotá, d.c. 2000.

[2] AEMC INSTRUMENTS, Ground resistance measurements. Boston: AEMC Instruments. 1998. 36 p.

[3] AIEE No. 81. Recommended guide for measuring ground resistance and potential gradients in the earth. New York: American Institute of Electrical Engineers. May 15, 1962. 18 p.

[4] BIDDLE INSTRUMENTS, Getting donw to the earth. Pensylvania: Biddle Instruments. 1982. 46 p.

[5] CASAS OSPINA, Favio. Hacia una tecnología de tierras. Santafé de Bogotá: Segelectrica. Mayo de 1998.

[6] CASAS, Favio. Tierras Soporte de la Seguridad Eléctrica. Santafé de Bogotá: Segelectrica 1998. 173 p.

[7] DIN VDE 0141/2.64. Regulations for earthings in A.C. installations with rated voltages above 1 kV. 1964. 110 p.

[8] GARCIA M, Rogelio. La puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T. Madrid: Marcombo. 1991. 158 p.

[9] JORGE HUMBERTO SANZ ALZATE. Estudio De Los Sistemas De Puesta A Tierra De La Universidad Tecnológica De Pereira. Pereira (Colombia), 2003.