

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LAS TENSIONES DE TOQUE  
Y DE PASO EN UNA RED DE DISTRIBUCION ELÉCTRICA**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**ERIK WASHINGTON TORRES PADILLA**

**PROMOCIÓN  
2001 - I**

**LIMA – PERÚ  
2008**

**PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LAS TENSIONES DE TOQUE  
Y DE PASO EN UNA RED DE DISTRIBUCION ELÉCTRICA**

*Dedicatoria muy especial:  
A Dios quien me ha llevado por el camino del  
estudio y la perseverancia. A mi esposa  
Verónica por su permanente aliento. A mis  
padres Eleuterio y Juana quienes me enseñaron  
el valor del estudio; y a mis hermanas Verónica  
y Vanesa por su apoyo.*

## **SUMARIO**

Este informe se ocupa de establecer un procedimiento para la medición de las Tensiones de Toque y de Paso en alimentadores de una red eléctrica aérea de Baja Tensión con Cable Autoportado instalado en postes de concreto o fierro, a cargo de una empresa eléctrica de distribución. En los Antecedentes de este informe se explican los motivos que originaron la necesidad de establecer este procedimiento, el cual no es usual en ese tipo de instalaciones.

En el informe también incluye, aparte la aplicación del procedimiento a un caso típico real; el análisis de los resultados obtenidos con dichas mediciones, corroborando su validez y eficacia; empezando por las coordinaciones previas que se deben hacer, y luego en lo referente al circuito de prueba que se debe tener, los equipos y materiales que se deben emplear, las mediciones que se deben efectuar, el procesamiento de los datos que se debe desarrollar, y los formatos y registros que se deben establecer.

Para el desarrollo del trabajo se ha examinado el Código Nacional de Electricidad – Suministro, los manuales de operación de los equipos que se emplean, las principales recomendaciones internacionales en el rubro; asimismo, se utilizó el “Manual de Interpretación del Código Nacional de Electricidad – Suministro 2001” actualizado a Diciembre del Año 2007 (y aún en vigencia), para obtener una mejor interpretación de dicho Reglamento en relación a algunos puntos y definiciones que se aplican en este trabajo, cuya terminología más importante ha sido también incluida en el texto.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>3</b>
<b>PLANTEAMIENTO DE LA INGENIERÍA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN ESPECÍFICA</b> .....	<b>3</b>
1.1. Exposición del problema.....	3
1.2. Objetivos del informe.....	4
1.3. Alcances del informe.....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES PARA DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN</b> .....	<b>5</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	5
2.2. Definiciones de términos.....	8
2.3. Conceptos teóricos.....	9
2.3.1 Circulación de la corriente en el suelo.....	9
2.3.2 Circulación de la corriente eléctrica hacia el suelo.....	10
2.3.3. Medición de la Resistividad del suelo.....	12
2.3.4. Medición de la Resistencia del suelo.....	17
2.3.5. Medición de la tensión de toque y de paso.....	19
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>23</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO</b> .....	<b>23</b>
3.1 Objetivo.....	23
3.2 Aplicación.....	23
3.3 Procedimiento.....	23
3.3.1 Trabajos preliminares.....	23
3.3.2 Cuidados a tener en cuenta durante las mediciones.....	23
3.3.3 Trabajos de campo - mediciones.....	24
3.4 Circuito alimentador autoportante de prueba.....	25

3.4.1 Ubicación del circuito de prueba .....	25
3.4.2 Características del circuito.....	26
3.4.3 Requerimiento de materiales .....	26
3.4.4 Implementación del circuito de prueba.....	26
3.5 Medición de la resistividad del suelo.....	27
3.5.1 Materiales y equipos.....	27
3.5.2 Procedimiento.....	27
3.6 Puestas a tierra .....	29
3.7 Medición de la resistencia de puesta a tierra .....	29
3.7.1 Materiales y equipo.....	29
3.7.2 Procedimiento.....	29
3.8 Medición de las Tensiones de Paso y de Toque .....	31
3.8.1 Materiales y equipo.....	31
3.8.2 Procedimiento.....	31
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>36</b>
<b>EJEMPLO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO</b> .....	<b>36</b>
4.1 Objetivo .....	36
4.2 Alcances.....	36
4.3 Desarrollo de la medición y análisis.....	36
4.3.1 Elaboración del procedimiento para efectuar las mediciones de campo .....	36
4.3.2 Reconocimiento del lugar y trabajos preliminares.....	38
4.3.3 Medición de la resistividad del suelo del lugar y de las resistencias de puesta a tierra del circuito de prueba. ....	39
4.3.4 Procesamiento de los datos de campo .....	46
4.3.5 Coordinaciones para la obtención del equipo de medición de tensiones de toque y de paso. ....	48
4.3.6 Mediciones directas en campo de las tensiones de toque y de paso. ....	48
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>68</b>

## INTRODUCCIÓN

Cuando se efectúan cambios en la normatividad eléctrica peruana debido al natural progreso tecnológico, o a la nueva estructura del sector eléctrico, o a los temas relacionados al bienestar y seguridad, u a otras causas, algunas empresas eléctricas deben adecuar, instalar o hacer modificaciones a sus sistemas eléctricos a fin cumplir con las nuevas condiciones que establece el reglamento nacional (CNE – Suministro).

La aplicación del Código Nacional de Electricidad en el año 2001 (CNE – Suministro) condujo a que las instalaciones de líneas eléctricas de las empresas de distribución estén sujetas a operar en nuevas condiciones de seguridad mediante puestas a tierra. Esto implicó que los puntos accesibles a las personas, que transitan y permanecen en dichas instalaciones, deberían estar protegidos de tal manera que puedan estar sometidos a tensiones de toque y de paso que superen los umbrales admisibles cuando se presenta una falla a tierra u otro incidente similar porque es peligroso. Dicho código incluso abarcó la protección y seguridad de las redes aéreas de baja tensión con cables autoportados, el cuál es de interés en este informe.

En ese sentido, debido a la observación del OSINERG (hoy OSINERGMIN), una empresa de distribución tuvo la necesidad de determinar e instalar una cierta cantidad de puestas a tierra para las redes aéreas de baja tensión con cables autoportados. Estas puestas a tierra debían instalarse en los puntos donde hay tránsito peatonal o están próximas a lugares poblados para el control de las tensiones de toque y de paso que pueden ser peligrosas, o según lo determina el CNE - Suministro. Esta cantidad de puestas a tierra debía ser el mínimo posible con la finalidad de optimizar la inversión ya que la empresa de distribución eléctrica tenía una buena parte de redes aéreas en baja tensión (220 V) con cables autoportados. Es así que uno de los aspectos técnicos fundamentales para determinar este número efectivo de puestas a tierra fue establecer un buen procedimiento para la medición de las tensiones de toque y de paso en la red aérea de baja tensión con cables autoportados.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene por objetivo establecer un procedimiento que muestre las actividades a efectuar y los registros (formatos) que se deben obtener para que en una red aérea de baja tensión con cables autoportados instalados en postes de concreto o fierro en la red de una empresa de distribución eléctrica se efectúen las mediciones de las tensiones de toque y de paso considerando la normativa nacional (CNE – Suministro) y las recomendaciones internacionales. La validez de este procedimiento es corroborada a través de un caso real aplicado a una red aérea cuyas características se presentan en este informe, el cual consta de cuatro capítulos.

En el capítulo I se explica el planteamiento de ingeniería del tema que se desarrolla en este trabajo. Aquí se expone el problema, se dan a conocer los objetivos que se persiguen en el desarrollo y se describe el alcance de su aplicación.

El capítulo II se da a conocer el contexto que promovió el desarrollo de este informe y se presenta algunas definiciones de términos que serán utilizados, así como los conceptos teóricos necesarios para comprender el aspecto técnico del procedimiento desarrollado.

En el capítulo III se presenta el procedimiento de medición de las tensiones de toque y de paso en las redes de distribución eléctrica, con los puntos necesarios que establecen el procedimiento objeto de este informe, los cuales son: el circuito de prueba, los equipos y materiales a emplear, los trabajos preliminares a efectuar, las mediciones de la resistividad y de la resistencia del suelo, las mediciones de las tensiones de toque y de paso, los registros de datos y mediciones; asimismo se da a conocer los criterios de seguridad que se deben tomar en cuenta.

El capítulo IV presenta los resultados de la aplicación del procedimiento obtenido en este informe en una empresa de distribución eléctrica de nuestro medio.

Debe notarse que la aplicación del procedimiento establecido en este trabajo está limitada solo a redes aéreas de baja tensión con cables autoportados instalados en postes de concreto o fierro. Sin embargo, podría servir como base importante para efectuar las mediciones de tensiones de toque y de paso en redes aéreas de media tensión. Los alcances y limitaciones del circuito de prueba están detallados también en este informe.



# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DE LA INGENIERÍA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN ESPECÍFICA

### 1.1. Exposición del problema

El Código Nacional de Electricidad – Suministro (CNE - Suministro) exige que las redes de distribución eléctrica cuenten con puestas a tierras (regla 017.B: Requerimientos de puesta a tierra del sistema) principalmente para evitar daños a personas, deterioro de sus propias instalaciones y de terceros (regla 017.C: Requerimiento de la operación del sistema de protección). Con la aplicación de este nuevo código en el año 2001, las empresas eléctricas han tenido que modificar algunos aspectos relacionados al servicio de su suministro, entre ellos, la cautela de seguridad. En el caso de redes aéreas de baja tensión (BT 380/220 V) con cables autoportados, la manera óptima de lograr la seguridad frente a una posible electrización es mediante puestas a tierra adecuadas.

El anterior Código Eléctrico Peruano (CEP) del año 1960, Capítulo VIII, punto 8-23, establecía que: *“Un sistema de distribución trifásico de tres conductores y 220 V no requiere conexión a tierra”*. Sin embargo, la regla 032C (Cables mensajeros y retenidas) del nuevo CNE – Suministro especifica que: *“Los cables mensajeros que requieran ser puestos a tierra serán conectados a conductores de puesta a tierra en postes o estructuras según los intervalos máximos indicados a continuación:”*.

Por tanto, debido a la aplicación del CNE – Suministro, las empresas de distribución eléctrica deben modificar sus instalaciones de baja tensión para que, en donde se requiera por razones de seguridad, el mensajero del conductor autoportado sea puesto a tierra. La regla 032.B.1, segundo párrafo, leemos que: *“Para mejorar el grado de seguridad, las conexiones de puesta a tierra deberán efectuarse en la fuente y en otras*

*partes de la línea de acuerdo a lo que la buena práctica y experiencia lo aconseje para cada tipo de sistema eléctrico específico y características del terreno”.*

Es por esto que para optimizar la inversión debido a la modificación de las instalaciones, las empresas distribuidoras debieron desarrollar el estudio correspondiente para determinar el número de puestas a tierra que se deben instalar en el mensajero del cable autoportado. En este punto, uno de los elementos más importante fue el de establecer un adecuado procedimiento para ejecutar las mediciones de las tensiones de toque y de paso en una red aérea de baja tensión con cable autoportado a fin de que, en función a sus resultados, se optimice el número de puestas a tierra que se tenga que implementar.

La empresa distribuidora a que se refiere este informe, antes de la aplicación del CNE – Suministro, no tenía como práctica obligatoria poner los mensajeros del cable a las puestas a tierra de las subestaciones de distribución. Un ejemplo de esta conexión se puede observar en la figura del ANEXO A.

## **1.2. Objetivos del informe**

Los objetivos del informe se pueden enmarcar como sigue: dar a conocer un procedimiento para que las empresas de distribución eléctrica puedan utilizar a fin de medir las tensiones de toque y de paso en una red aérea de baja tensión con cables autoportados instalados en postes de concreto o de fierro. Este procedimiento muestra ordenadamente las actividades y los registros para que en dicha red de distribución eléctrica se efectúen las mediciones de las tensiones de toque y de paso considerando la normatividad peruana y las recomendaciones internacionales.

## **1.3. Alcances del informe**

Son alcances del presente informe los siguientes:

- Desarrollo del procedimiento considerando la normativa vigente.

- Desarrollo del procedimiento considerando las recomendaciones internacionales.

- Conceptos teóricos sobre los cuales se desarrolló el procedimiento.

- Descripción de mediciones previas: resistividad y resistencias de puestas a tierra.

- Elaboración del procedimiento de medición de las tensiones de toque y de paso.

- Aplicación del procedimiento en una empresa de distribución eléctrica.

- Desarrollo de los formatos para los registros de las mediciones.

## **CAPÍTULO II**

### **CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES PARA DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

Con fecha 27 de Julio de 2001, el Ministerio de Energía y Minas del Perú, mediante Resolución Ministerial N° 366-2001-EM/VME, emitió y aprobó el Código Nacional de Electricidad – Suministro y cuya aplicación se dio a partir del 01 de julio de 2002. Esta Resolución dejó sin efecto el Código Eléctrico Nacional aprobado por Resolución Suprema N° 2 del Ministerio de Fomento y Obras Públicas de fecha 05 de enero de 1955; y el Tomo IV – Sistema de Distribución del Código Nacional de Electricidad aprobado por Resolución Ministerial N° 0303-78-EM/DGE de fecha 30 de mayo de 1978.

En este contexto las empresas de distribución, en donde era necesario (regla 013.B.2), debían adaptar sus instalaciones a las nuevas exigencias del Código Nacional de Electricidad – Suministro (CNE – Suministro). Uno de los aspectos fundamentales que estableció este Código fue la reglamentación, estructuración y promoción de protecciones eléctricas basadas en puestas a tierras para la seguridad de las personas, equipos e instalaciones.

Respecto al CNE - Suministro, es importante destacar que la Dirección General de Electricidad (DGE) del Ministerio de Energía y Minas (MEM) es la autoridad para atender las consultas sobre su interpretación o modificación; mientras que el OSINERG, Organismo Supervisor de Inversión de Energía (ahora OSINERGMIN), es el encargado de fiscalizar y hacerlo cumplir.

En ese sentido, una de las empresas concesionarias de distribución eléctrica del Perú fue observada por el OSINERG en relación al *mensajero en cables autoportados*. Esta observación explicaba la necesidad de poner puestas a tierras en los cables autoportados que lo requieran (regla 032.C.1). Debe notarse que los puntos de conexión de las puestas a tierras también fueron establecidos en la regla 032.B (Sistemas de Corriente Alterna a Ser Conectados a Tierra) de esta norma. Específicamente, como nos interesa la baja tensión, los puntos de conexión de las puestas a tierra se detallan en la regla 032.B.1. El término *cable autoportado* (o *cable mensajero*), se define en el numeral 2.2, Definiciones de Términos (ver pág. 17 del CNE).

El aspecto legal de la observación del OSINERG se describe a continuación:

Según el Código Eléctrico Peruano (CEP del año 1960) Capítulo VIII, punto 8-23 dice: *“Un sistema de distribución trifásico de tres conductores y 220 V no requiere conexión a tierra”*. Este código estuvo vigente antes de la entrada del CNE – Suministro.

Según el CNE – Suministro, en la Sección 3, Métodos de Puesta a Tierra para Instalaciones de Suministro Eléctrico y Comunicaciones, menciona los siguientes puntos, los cuales son necesarios adecuar:

*“032.C. Cables mensajeros y retenidas*

*032.C.1. Cables mensajeros*

*Los cables mensajeros que requieran ser puestos a tierra serán conectados a conductores de puesta a tierra en postes o estructuras según los intervalos máximos indicados a continuación:*

*032.C.1.a. Donde los cables mensajeros sean apropiados como conductores de puesta a tierra del sistema (reglas 033.C.1, 033.C.2 y 033.C.5), se efectuará por lo menos una conexión dentro de cada intervalo de 400 m.*

*032.C.1.b. Donde los cables mensajeros no sean apropiados como conductores de puesta a tierra del sistema, se efectuará por lo menos una conexión en cada intervalo de 200 m*

*032.C.2. Retenidas*

*Las retenidas que requieran ser puestas a tierra serán conectadas a uno o más de los siguientes puntos:*

*032.C.2.a. Una estructura metálica de soporte, puesta a tierra.*

*032.C.2.b. Una puesta tierra efectiva en una estructura no metálica.*

*032.C.2.c. Un conductor que posea al menos una conexión a tierra cada 400 m de línea, en adición a las conexiones de puesta a tierra de las acometidas individuales”.*

- Según el CNE Tomo IV Sistema de Distribución, dice en el punto 2.2.3.3 -b) *"En el caso de líneas no equipadas con protección prevista para desconexión rápida, la caída de tensión motivada por la corriente de falla, a través de la resistencia de la toma de tierra, será de 125 V como máximo. Deberá obtenerse una resistencia de difusión máxima de 25 ohms en la puesta a tierra de todos los postes que contengan interruptores, seccionadores y otros dispositivos de maniobra debiendo estar conectadas a tierra las carcasas y partes metálicas de las mismas"*.
- Según el CNE- Suministro, en la Sección 1 punto 017.A, Niveles de tensión en baja tensión (BT 380/220 V), de cuatro hilos y con neutro puesto a tierra de manera efectiva; y en la Sección 3 punto 032.B.1., dice: *"Para mejorar el grado de seguridad, las conexiones de puesta a tierra deberán efectuarse en la fuente y en otras partes de la línea de acuerdo a lo que la buena práctica y experiencia lo aconseje para cada tipo de sistema eléctrico específico y características del terreno"*. Por lo tanto, la adecuación de los puntos de puestas a tierra de los cables autosoportados deben adaptarse a esta regla.

En cuanto a la posición de la empresa de distribución eléctrica que fue observada, esta se resume a continuación:

- La red de baja tensión (BT: 380/220 V) de la empresa de distribución en su mayoría tienen un nivel de tensión de 220 V entre fases, acorde con lo estipulado en el Código Nacional Eléctrico - Tomo IV (CNE - Tomo IV) y el CEP de 1960.
- Dicha red considera el uso de conductores del tipo autosoportado con mensajero de acero el cual posee una cubierta de polietileno. Este cable de acero tiene la función de actuar como resistencia mecánica entre dos postes de anclaje y soportar el peso de los conductores.
- Basándonos la regla 013.B.2 del CNE – Suministro que dice *"Las instalaciones existentes incluyendo reemplazos por mantenimiento, que actualmente cumplen con códigos previos no necesitan ser modificadas para cumplir con las reglas de este código, excepto cuando sea exigido por un ente autorizado por razones de seguridad, con el adecuado sustento técnico."*; se induce la necesidad de modificar las instalaciones existentes de la red con conductor del tipo autosoportado por razones de seguridad, a pesar que dichas instalaciones cumplen con el código anterior (CNE- Tomo IV: Sistema de Distribución). Por lo tanto, por razones de seguridad, la modificación que se debe hacer es instalar puestas a tierra para poner a tierra el mensajero del conductor autosoportado.

- Según lo planteado por el OSINERG y para efectos de optimizar la inversión debido a la modificación (instalación de puestas a tierra), se ha previsto desarrollar el estudio correspondiente que determine la cantidad de puestas a tierra para cada brazo de la subestación aérea, bajo condiciones especificadas y controles de las tensiones de toque y de paso así como los niveles de tensión e intensidad máximas permisibles por el ser humano acorde con la IEC 60479-1.
- Se prevé que las instalaciones existentes sean modificadas y el mensajero (portante) sea puesto a tierra mediante accesorios de acuerdo a la norma.
- La empresa de distribución realizará la adecuación de la red de baja tensión en función a los resultados de aplicación en campo de lo establecido en el estudio previo, en un tiempo que estaría sujeto a un cronograma establecido de ejecución.

De acuerdo a estos antecedentes, uno de los puntos más importantes fue el establecer un procedimiento de medición de las tensiones de toque y de paso en una red aérea de baja tensión para que, en base a sus resultados, se pueda determinar el número de puestas a tierra que permita la inversión óptima de la empresa eléctrica, cumpliendo lo establecido en la Regla 036 del CNE – Suministro: Requerimientos de resistencia de puesta a tierra. Este procedimiento de medición es el que se desarrolló en este trabajo.

## **2.2 Definiciones de términos**

Todos los términos presentados en el CNE – Suministro son aplicables en este informe, asimismo, tenemos las siguientes definiciones:

Cable con cable mensajero, o cable con mensajero, o autoportante o autosoportado [Ver la página 17 del CNE - Suministro]

Cables que están suspendidos o trenzados en un cable mensajero.

Cable mensajero [Ver la página 18 del CNE - Suministro]

Alambre o conjunto de alambres, desnudos, cubiertos o aislados, que soportan los esfuerzos mecánicos aplicados a él por acción de los conductores aislados que van adosados, alrededor o sujetos por él y las acciones del medio ambiente y de la persona calificada que da mantenimiento; va fijado a soportes o anclajes. También puede estar diseñado para transportar energía eléctrica.

Puesta a tierra [1]

Conexión metálica de una pieza del equipo al potencial de tierra.

Electrodo de tierra [2]

Un conductor usado para instalar una puesta a tierra.

Conectado a tierra [3]

Un sistema, circuito o aparato que está provisto de una conexión a una puesta a tierra o más puestas a tierras, para establecer un circuito de retorno y para mantener su potencial a valores cercanos al potencial de la tierra remota ( $V=0$ ).

## 2.3 Conceptos teóricos

### 2.3.1 Circulación de la corriente en el suelo

Los terrenos siempre tienen diferente resistividad eléctrica de acuerdo a su naturaleza y contenido de humedad. Esta resistividad podría variar entre amplios márgenes y es mucho más elevada que la de los metales y del carbono. En este sentido, se puede considerar en general que la tierra no es un buen conductor de la electricidad.

Pero, cuando una corriente eléctrica circula por el suelo o terreno, la sección de paso, que llamaremos  $S$ , es tan grande que a pesar de que su resistividad sea elevada, la resistencia determinada por la expresión  $R = \rho \cdot L/S$  (" $L$ " es la longitud que recorre la corriente y " $\rho$ " es la resistividad del terreno) puede llegar a ser despreciable. En la práctica, siempre hay una distancia a partir de la cual esta resistencia es despreciada totalmente.

Sin embargo, aunque la corriente que ha penetrado al terreno presenta una resistencia  $R$  pequeña debido a la gran sección de paso, no sucede lo mismo en el punto de transferencia de la corriente del electrodo al terreno porque aquí la superficie de contacto entre el terreno y el electrodo está definida por la configuración, forma y dimensiones del electrodo.

En realidad, generalmente se conocen ecuaciones (cuya resistividad se determina con tablas de valores medios) y buena información para determinar los valores de las resistencias  $R$  de varios tipos de puestas a tierra con electrodos (al menos de los más usuales) en función de sus dimensiones y de la resistividad del terreno (ver pág. 63 a 65

de [5]), sin embargo, en la práctica estas fórmulas son poco útiles si no se conoce con precisión las resistividades del suelo en modelo estratificado para el cálculo de los sistemas de puesta a tierra dado que los valores estimados conllevan que:

Para cada tipo de terreno, el margen del valor medio de la resistividad es muy amplio de tal manera que aún tomando un valor medio de resistividad, la diferencia posible de incertidumbre es excesiva.

En las tablas de valores medios de las resistividades de suelo natural, no figuran los terrenos formados por materiales procedentes de escombros, tierras mezcladas y/o sobrepuestas, tierras de relleno, antiguos vertederos recubiertos, tierras procedentes de obras de excavación, etc. Estos casos son cada vez más frecuentes pero no pueden obtenerse valores medios de resistividades debido a su naturaleza.

Aún en las tablas de Resistividades de suelos naturales, los márgenes de diferencia pueden ser muy grandes en función de las características del clima y la existencia de fuentes de recarga de humedad; lo cual permite establecer que si la Resistividad del suelo no es medida directamente, no es confiable.

### **2.3.2 Circulación de la corriente eléctrica hacia el suelo**

La corriente pasa al suelo repartiéndose desde todos los puntos de la superficie del electrodo en contacto con la tierra, por lo tanto, la corriente pasa en todas las direcciones a partir de todo el electrodo.

En la Fig. 2.1 se representa este paso para el caso de un electrodo vertical. Una vez dentro del terreno, la corriente se va propagando por el mismo.

Con suelos de resistividad homogénea puede idealizarse este paso de corriente suponiendo que forma superficies concéntricas alrededor del electrodo, todas del mismo espesor. Como es de esperarse, la corriente va pasando sucesivamente de un casco (superficie equipotencial) al siguiente.

Véase además que según la densidad de corriente cada vez más la capa de paso (desde  $S_1$  hasta  $S_n$ ) es mayor, y por lo tanto, la resistencia  $R_i$  de cada superficie va siendo cada vez menor hasta llegar a ser despreciable.



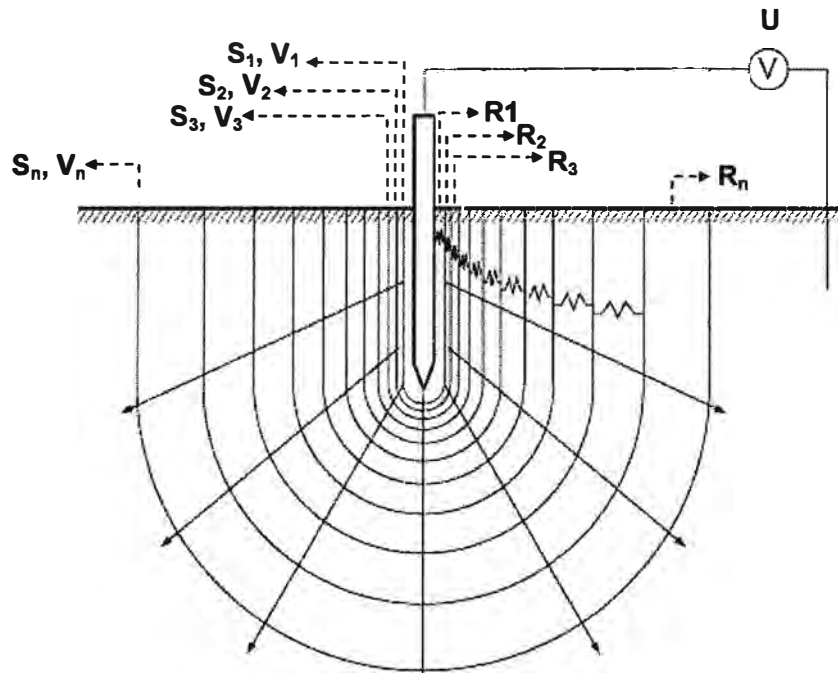


Fig. 2.1 Paso de la Corriente al terreno

La resistencia de cada capa es  $R_i = \rho \cdot L_i / S_i$ . Estas resistencias se suman, pues están en serie:  $\rho \cdot (L_i / S_1 + L_i / S_2 + L_i / S_3 + \dots + L_i / S_n)$ . Si se multiplica cada resistencia por el valor de la corriente total ( $I$ ) se tendrá la caída de tensión  $V_i = I \cdot R_i$  en cada una de las sucesivas superficies concéntricas. Al ser la resistencia  $R_i$  cada vez menor conforme va alejándose del electrodo, también lo será la caída de tensión hasta hacerse despreciable.

En consecuencia, el valor de la tensión  $U$  en cada punto del terreno, en función de su distancia "d" a partir del electrodo, será según la curva representada en la Fig. 2.2. Debe notarse que esta curva es válida para todas las direcciones con origen en el electrodo. Asimismo, geoméricamente se trata del corte de una figura de revolución cuyo eje es el electrodo.

Es importante señalar que en los sistemas de media tensión (hasta 50 kV) esta tensión  $U$  suele hacerse prácticamente cero a una distancia empírica del electrodo de unos 20 a 30 m. Entre dos puntos de la superficie del terreno, habrá pues una diferencia de tensión en función de la distancia entre ellos y al electrodo. Véase que para una distancia entre estos dos puntos la diferencia de tensión será máxima cuando ambos puntos estén en un mismo "radio", es decir, estén en la recta cuyo origen es el electrodo. Para efectos de

seguridad, se considera siempre que este caso es el que determina el valor máximo de diferencia de potencial.

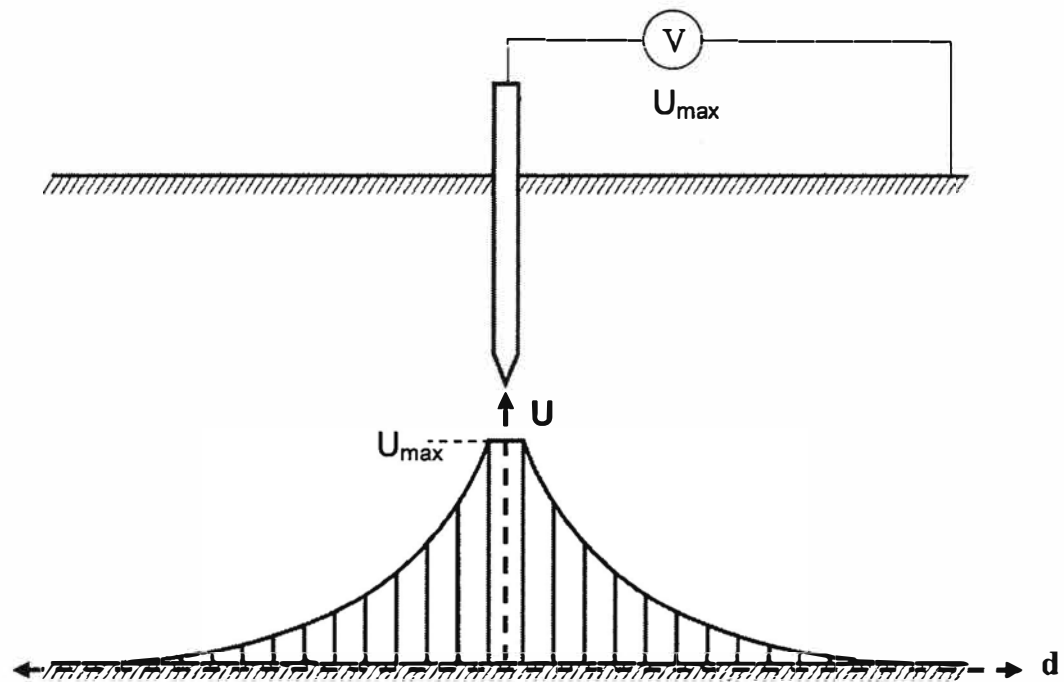


Fig. 2.2 Distribución del valor de la tensión en el suelo a partir del electrodo

### 2.3.3 Medición de la Resistividad del suelo

La norma ANSI/IEEE Std 81-1983, Guía IEEE para la Medición de la Resistividad del Terreno, la Impedancia a Tierra, y los Potenciales a Tierra de un Sistema de Puesta a Tierra [4], en el numeral 7.2, Métodos de Medición de Resistividad de Tierra, sección 7.2.4., Método de los Cuatro Puntos, indica lo siguiente: “El método más exacto en la práctica de medir la resistividad promedio de grandes volúmenes de suelo tal como está es el método de los 4 puntos”. Por esta razón, este informe describirá el Método de Cuatro Puntos para medir la resistividad del suelo, en la modalidad denominada Método de los Cuatro Electrodo, o Método Wenner, por ser el que da valores representativos en los sondeos exploratorios de poca profundidad que se requieren para Puestas a Tierra de corriente alterna.

#### a. Método Wenner para la medición de la resistividad del suelo.

A continuación se explica el procedimiento para medir la resistividad del suelo con el Método Wenner (ver la configuración en la Fig. 2.3), según Este método está explicado en la norma ANSI/IEEE Std 81-1983 [4]:

- Este método consiste en clavar cuatro electrodos pequeños en cuatro puntos de una directriz rectilínea.
- Todos los electrodos son puestos en línea recta y a una misma profundidad "b", y espaciados a una distancia "a" entre ellos.
- Se inyecta una corriente I entre los dos electrodos externos (C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>) y se mide el potencial V en los dos electrodos internos (P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>) con un potenciómetro o voltímetro de alta impedancia.
- La resistencia R se calcula con la Ley de Ohm:  $R = V/I$ .
- Con todos estos pasos, la resistividad está dada por la fórmula:

$$\rho = \frac{(4\pi a R)}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (2.1)$$

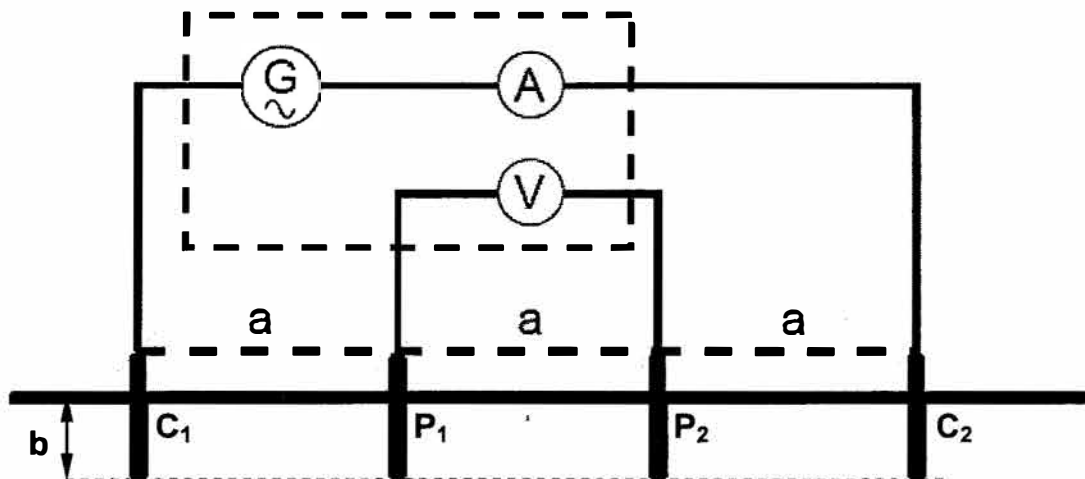


Fig. 2.3 Configuración del Sistema de Medición por el Método Wenner

Debe notarse que la ecuación (2.1) no aplica en barras a tierra con una buena profundidad, esto solo aplica a pequeños electrodos enterrados a una la pequeña profundidad "b". En la práctica esta profundidad b no debe ser mayor de 0.1a ( $b \leq 0.1a$ ).

Asumiendo que "a" es muy grande comparado con "b" ( $b \leq 0.05a$ ), tendremos.

$$\rho = 2\pi a R = 2\pi a \left( \frac{V}{I} \right) \quad (2.2)$$

Como se observa, en esta condición, el resultado obtenido es la resistividad media del suelo a la profundidad media "a", por lo que la fórmula de la ecuación 2.2 es válida solo para un punto de la característica del suelo a la distancia entre electrodos "a", la cual es dependiente de los estratos del suelo involucrados en dicha medida. De allí, vemos que este valor de resistividad es solo un valor aparente que no representa la resistividad total del suelo. Si llamamos a " $\rho_a$ " Resistividad Aparente del Suelo Estratificado, entonces, para cada valor de "a" se tendrá:

$$\rho_a = 2\pi a R_a \quad (2.3)$$

Así, si tomamos en una directriz rectilínea un conjunto de lecturas de la resistividad efectuadas a diferentes separaciones de prueba "a", obtenemos un conjunto de resistividades las cuales, cuando son graficadas contra la distancia de separación "a" (Fig. 2.4), muestran si hay capas distintas o suelos diferentes o rocas, y dan una idea de sus resistividades respectivas y profundidad.

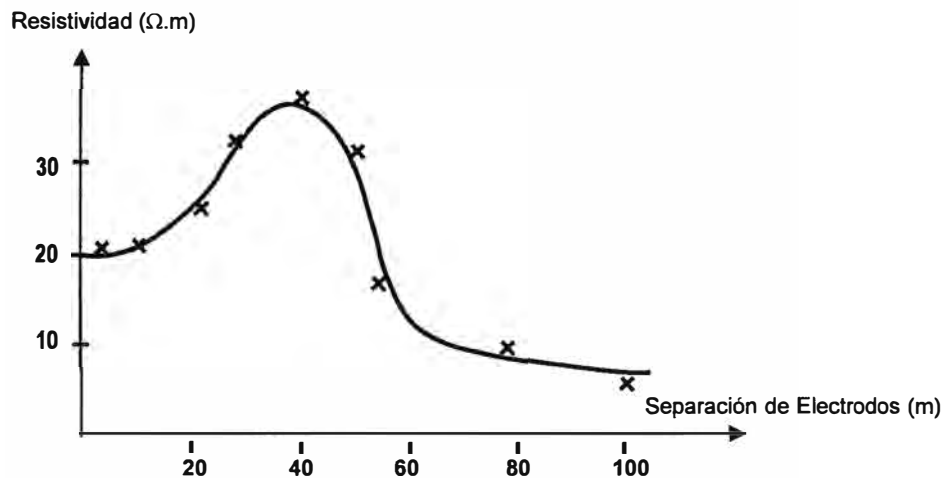


Fig. 2.4 Curva de resistividad típica aplicando el Método Wenner

Donde  $\rho_a$  puede ser constante solo si el suelo es homogéneo.

Para obtener los valores de resistividades que representen a los suelos de los estratos que se está probando, tiene que procesarse los puntos mostrados en la Fig. 2.4

## b. Interpretación de las mediciones del Método Wenner

La interpretación de este método se basa en la medición de la resistividad aparente. Esta interpretación está explicada en la norma ANSI/IEEE Std 81-1983 [4]:

- Se grafica cada valor de resistividad aparente contra cada longitud de separación de electrodos "a" en la cual se efectúa la medición.
- La curva que resulta del paso anterior muestra la estructura del suelo.
- La profundidad de cada capa no es fácil determinar por una simple inspección visual de la curva.
- Para obtener una mejor solución, podemos considerar que el modelo de la estructura del suelo está compuesto por capas horizontales de resistividad uniforme.
- Para cada modelo, la relación matemática entre la resistividad aparente y varios parámetros de tierra deben, por supuesto, ser conocidos o fáciles de calcular.
- Los dos modelos aplicables son: el modelo exponencial y el modelo de dos capas.
- De estos dos modelos, el mejor modelo a usar depende de los propósitos de las mediciones. A menudo, un modelo de tierra de dos capas da excelentes resultados.

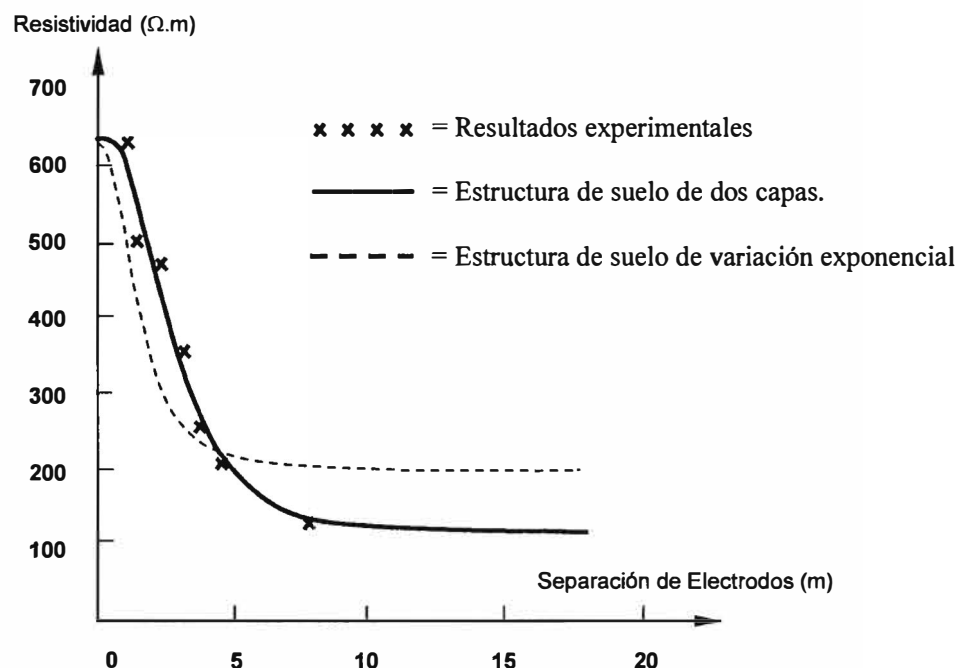


Fig. 2.5 Ejemplo de una interpretación de resistividad de suelo

Este trabajo considera que el modelo que se aplicará será el de dos capas por las siguientes razones (ver Pág. 53 y 54 de [5]):

- Tienen una tendencia inicial ascendente o descendente con extremidades asintóticas.
- Su doble concavidad opuesta, presentará siempre un punto de inflexión.
- En nuestro medio (Perú) constituyen el 95% de casos en aplicaciones a puestas a tierras.
- Las resistividades de diseño ( $\rho_1$  y  $\rho_2$ ) se hallan mediante el procesamiento biestrato, el cual utiliza un modelo de suelo de dos estratos (la pág. 55 de [5] detalla el procesamiento biestrato).

La Fig. 2.6 muestra el equivalente del modelo del suelo de dos capas.

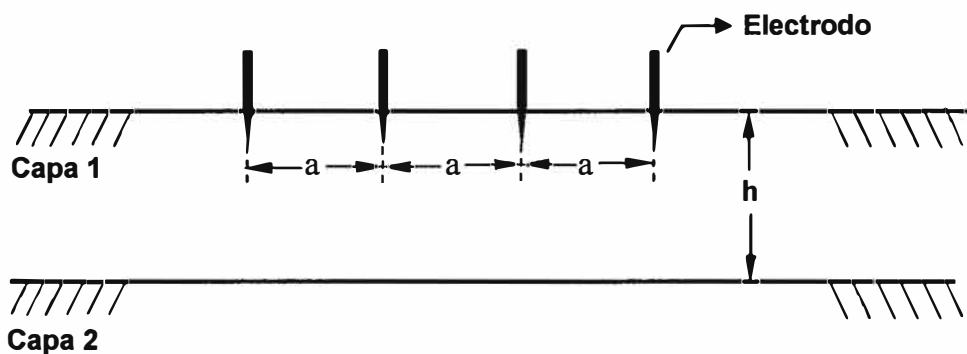


Fig. 2.6 Modelo del suelo de dos capas

Con este modelo, el suelo queda caracterizado por:

$h$  = Altura de la primera capa.

$\rho_1$  = Resistividad de la primera capa.

$\rho_2$  = Resistividad de la segunda capa.

$K$  = Coeficiente de reflexión

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (2.4)$$

La determinación de la resistividad usando el método de Wenner resulta en una resistividad aparente, que es una función de la separación de electrodos ( $a$ ). Por lo tanto, usando los parámetros anteriores, la resistividad aparente puede ser calculada según Tagg por:

$$\rho(a) = \rho_1 \left[ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} \right] \quad (2.5)$$

### 2.3.4 Medición de la Resistencia del suelo

La ANSI/IEEE Std 81-1983 [4], en el numeral 8.2, Métodos de Medición de Impedancia a Tierra, sección 8.2.1.5, Método de Caída de Potencial, dice que este método “*es aplicable a todos los tipos de mediciones de impedancia a tierra*”. Por este motivo, en este informe se utilizará este método como Método de Medición de Resistencia a Tierra para medir la resistencia del suelo. Sin embargo, es necesario explicar que para mediciones con tierras puntuales como es nuestro caso, la impedancia tiene un valor reactivo aproximadamente nulo, en consecuencia, la impedancia solo tiene componente resistiva por lo que en vez de utilizar el término *impedancia* utilizaremos el término *resistencia*

#### a. Método de Caída de Potencial para la medición de resistencia del suelo.

A continuación se explica el procedimiento para medir la resistencia del suelo con el Método de Caída de Potencia (ver la configuración en la Fig. 2.8). Este método está explicado en la norma ANSI/IEEE Std 81-1983 [4]:

Este método implica hacer pasar una corriente en el electrodo a ser probado (electrodo E de la Fig. 2.7).

La corriente  $I$  a través de electrodo probado E y el electrodo de corriente C, resultan en variaciones de potencial en la superficie de tierra. Estas diferencias entre potenciales son las caídas de potencial.

El perfil del potencial a lo largo de la dirección C, P, E se verá como en la Fig. 2.8.

Los potenciales son medidos con respecto a la tierra bajo prueba, E, la cual se asume convenientemente que tiene potencial cero.

Se grafica la relación  $R = V/I$ , como una función del espacio de prueba  $x$  (ver Fig. 2.9).

El electrodo de potencial es movido fuera de la tierra bajo prueba en pasos (escalones).

Se obtiene un valor de resistencia en cada paso. Este valor debe ser anotado en el respectivo formulario.

Esta impedancia es ploteada como una función de la distancia, y el valor en ohmios a la cual esta curva graficada aparece estabilizada, es tomado como el valor de impedancia de la tierra bajo prueba (ver Fig. 2.9).

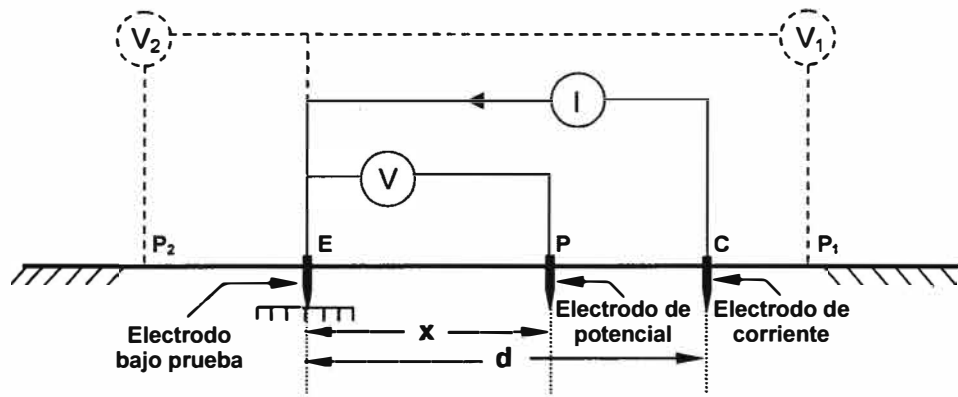


Fig. 2.7 Método de Caída del Voltaje

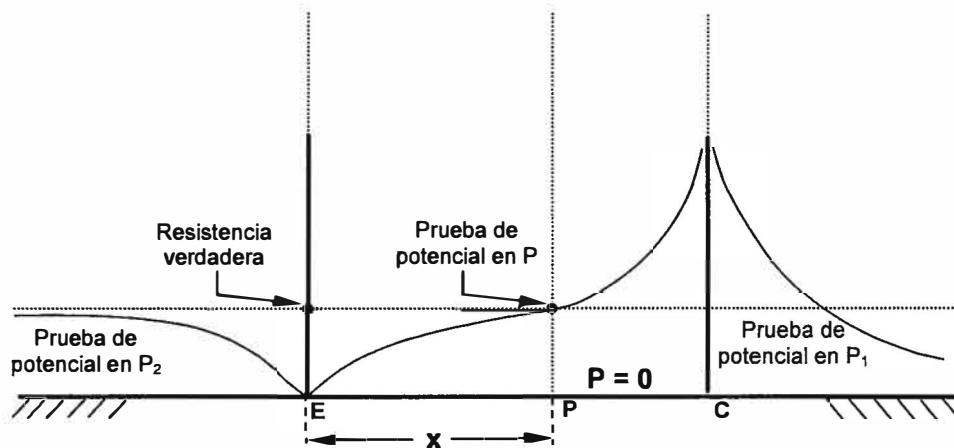


Fig. 2.8 Resistencia aparente para varios valores de x

Resistencia aparente de tierra ( $\Omega$ )

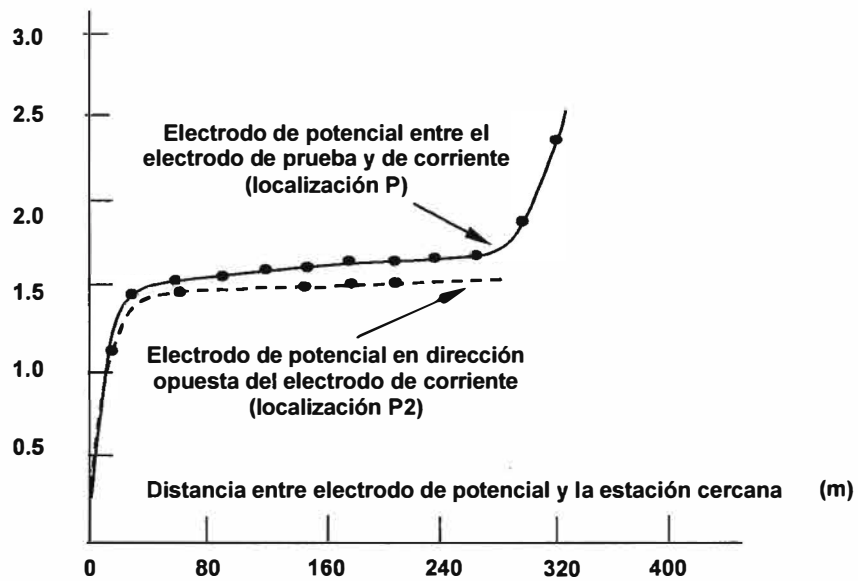


Fig. 2.9 Caso de un sistema de puesta a tierra de alta impedancia



Si los electrodos E y C son hemisféricos y los radios son pequeños comparados con  $x$  y  $d$  y si el suelo es uniforme, entonces las funciones de potencial son inversamente proporcional a la distancia relativa al centro del hemisferio. Si el origen de los ejes es en el centro del hemisferio E, entonces tendremos la siguiente relación de distancias de medidas:

$$x = 0.618.d \quad (2.6)$$

#### **b. Interpretación de las mediciones del Método de Caída de Potencial**

Como una conclusión general, la mejor garantía de una medición satisfactoria es lograr un espaciado tal que todas las resistencias mutuas sean suficientemente pequeñas y la curva de caída de potencial se nivele (ver la sección 8.2.1.6. de [4]).

La ventaja principal del método de caída de potencial es que los electrodos de potencial y de corriente pueden tener una considerablemente más elevada resistencia que la resistencia del suelo que está siendo evaluado sin afectar significativamente la precisión de la medición (ver la sección 8.2.1.6. de [4]).

#### **2.3.5 Medición de la tensión de toque y de paso**

En la página 42 del “Manual de Interpretación del Código Nacional de Electricidad Suministro 2001” [1] se indica lo siguiente:

*“Para una guía técnica en el desarrollo de sistemas apropiados de puesta a tierra con tensiones seguras de toque y paso, y para determinar las resistencia a tierra de los electrodos, véase la norma IEEE Std 80, Guía IEEE de Seguridad para Puesta a Tierra en Subestaciones de Corriente Alterna (ANSI) y la norma IEEE Std 81, Guía IEEE para la Medición de la Resistividad del Terreno, la Impedancia a Tierra, y los Potenciales a Tierra de un Sistema de Puesta a Tierra (ANSI)”.*

En ese sentido, pueden revisarse ambos estándares para ver el método de medición de las tensiones de toque y de paso. Sin embargo, a continuación (puntos a. y b.) se definen las tensiones de toque y de paso tal como aparecen en el Manual de Interpretación del CNE- Suministro 2001 [6].

### a. Tensión de Toque

Es la diferencia de potencial que aparece entre un punto de una estructura metálica situado al alcance de la mano de una persona, en un punto en el plano situado a 1,0 m de distancia de la base de la estructura considerada, debido al paso de corriente de falla por la tierra [La Fig. 2.10 muestra gráficamente la tensión de toque que podría producirse en una torre metálica].

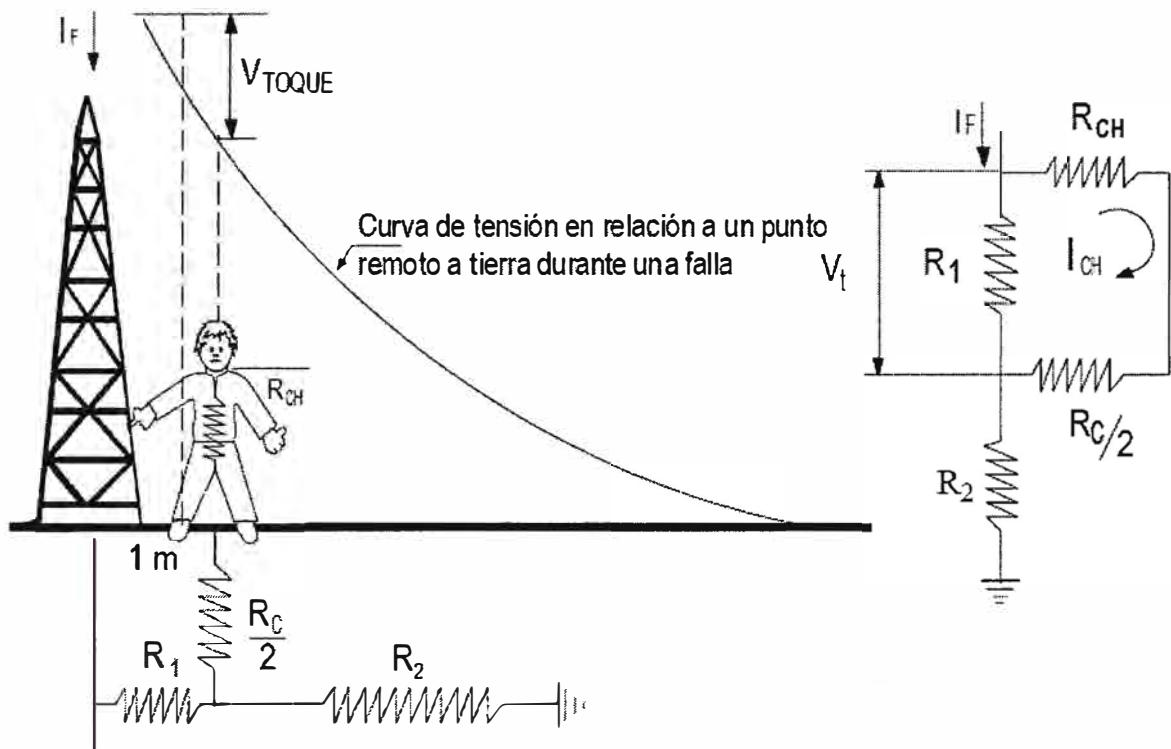


Fig. 2.10 Tensión de toque ( $V_{TOQUE}$ ) producida en una torre metálica

La ecuación que nos da el valor del potencial de toque es:

$$V_t = \left[ R_{CH} + \frac{R_C}{2} \right] \times I_{CH} \quad (2.7)$$

Donde:

$R_{CH}$  : Resistencia del cuerpo humano, considerado en 1 000 ohmios.

$R_C$  : Resistencia de contacto que puede ser considerada igual a  $3\rho_s$  (resistividad superficial del suelo), de acuerdo con la IEEE- Std. 80-2000 [3];

$I_{CH}$  : Corriente de choque por el cuerpo humano;

$R_1$  y  $R_2$  : Son las resistencias de los tramos de tierra considerados.

La expresión del potencial de toque ( $V_t$ ) puede ser escrita de la siguiente manera:

$$V_t = (1,000 + 1,5\rho, ) \times I_{CH} \quad (2.8)$$

### b. Tensión de Paso

Las tensiones de paso ocurren cuando entre los miembros de apoyo (pies) aparecen diferencias de potencial, por encontrarse sobre línea equipotenciales diferentes que se forman sobre el suelo, debido a una corriente de falla. Es claro que si en un breve espacio de tiempo los miembros estuvieran sobre una misma línea equipotencial o si fuese un único miembro de apoyo, no habrá una tensión de paso.

En la siguiente figura [Fig. 2.11], se nota que para los animales la tensión de paso podrá ser siempre más peligrosa que para las personas.

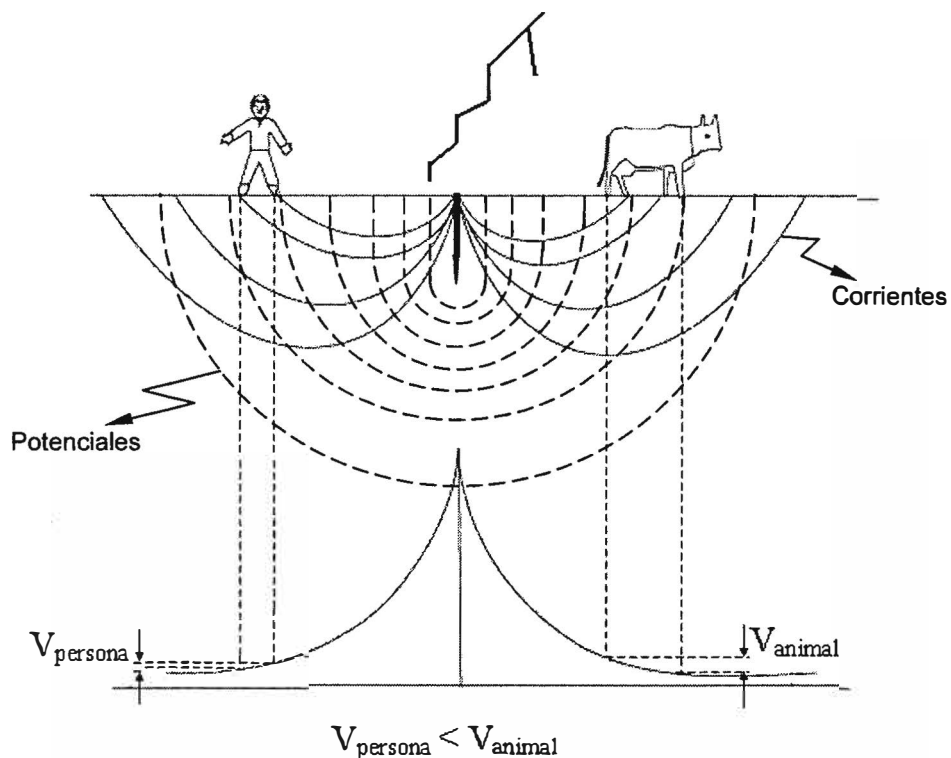


Fig. 2.11 Peligrosidad de la tensión de paso en una persona y en un animal

La definición normalizada de potencial de paso es la diferencia de potencial que aparece entre dos puntos situados en el plano y distanciados a 1,0 m (para personas), debido al paso de una corriente de falla por la tierra. [La Fig. 2.12 muestra gráficamente la tensión de paso que podría producirse en un individuo]

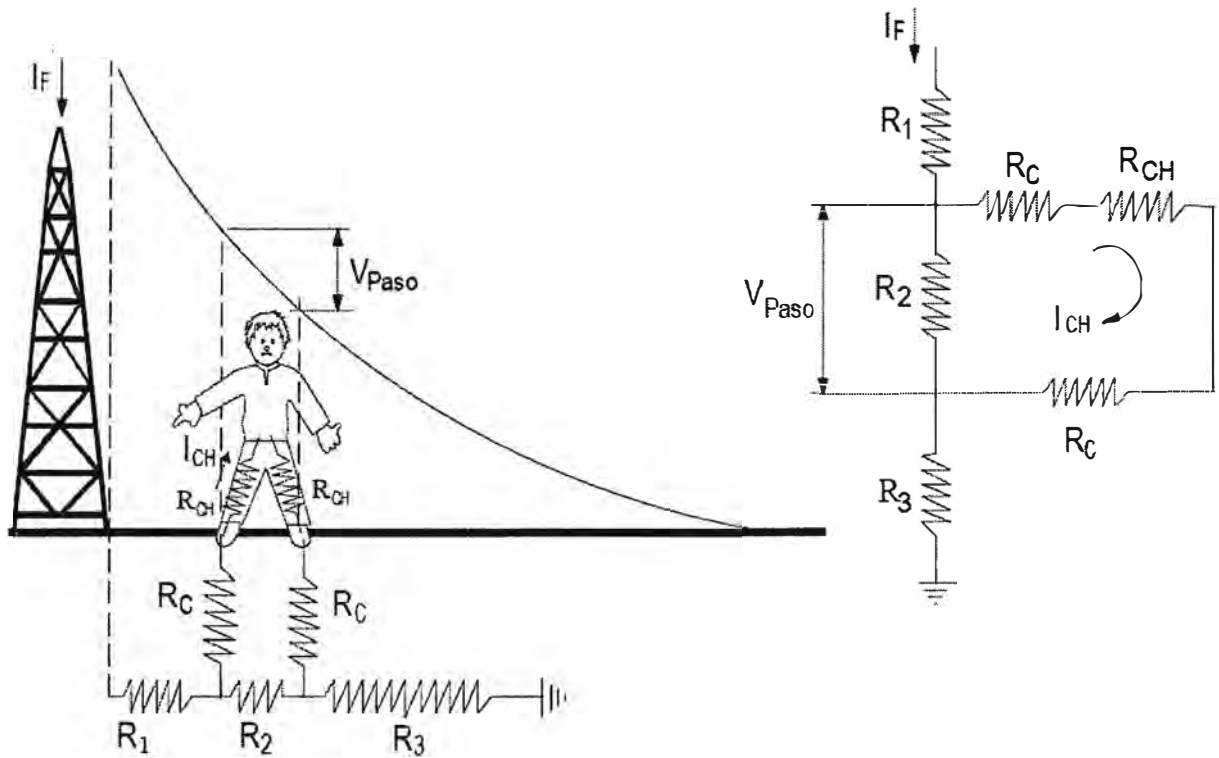


Fig. 2.3 Tensión de Paso ( $V_{PASO}$ ) producido cerca de una torre metálica

Donde:

$R_C$  : Resistencia de contacto que puede ser considerada igual a  $3ps$  (resistividad superficial del suelo), de acuerdo con la IEEE- Std. 80-2000;

$R_{CH}$  : Resistencia del cuerpo humano, considerado en  $1\,000$  ohms;

$I_{CH}$  : Corriente de choque por el cuerpo humano;

$R_1, R_2$  y  $R_3$ : Son resistencias de tramos de tierra considerados

La ecuación de la tensión de paso será:

$$V_{PASO} = (2 \times R_C + R_{CH}) \times I_{CH} \quad (2.9)$$

$$V_{PASO} = (2 \times 3 \times ps + 1,000) \times I_{CH} \quad (2.10)$$

Resultando

$$V_{PASO} = (6 \times ps + 1,000) \times I_{CH} \quad (2.11)$$

## **CAPÍTULO III**

### **PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO**

#### **3.1 Objetivo**

Esta sección tiene por objetivo establecer los pasos o el procedimiento a seguir para efectuar las mediciones de campo de las tensiones de toque y de paso.

#### **3.2 Aplicación**

Este procedimiento se aplica para la medición de las tensiones de toque y de paso en una red aérea de baja tensión con cables autosoportados instalados en postes de concreto o fierro.

#### **3.3 Procedimiento**

##### **3.3.1 Trabajos preliminares**

- Establecer el lugar en donde se efectuarán las pruebas de campo.
- Seguir lo que corresponda de la regla 444 del CNE – Suministro: Desenergización de Equipos o Líneas para Proteger a los Trabajadores.
- Inspeccionar el lugar en donde se efectuarán las pruebas de campo, teniendo en cuenta lo considerado en el punto 3.4.1.
- Implementar el circuito de prueba según lo indicado en los puntos 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4.

##### **3.3.2 Cuidados a tener en cuenta durante las mediciones**

Se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- a) Los electrodos a utilizar deberán estar libres de óxidos e impurezas para facilitar el buen contacto con el suelo.
- b) Se deberá evitar la existencia de huecos en el suelo alrededor de los electrodos para una mejor medición.
- c) Los electrodos deberán estar alineados.
- d) La condición del suelo (seco, húmedo, etc.) deberá ser anotada en el respectivo formulario.
- e) Se deberá evitar la realización de medidas bajo condiciones atmosféricas adversas (zonas donde caen rayos, etc.).
- f) Se deberá utilizar calzados y guantes de aislamiento para efectuar las mediciones.
- g) No deberá tocar los electrodos durante las mediciones; además se evitará que personas ajenas a los trabajos se aproximen a dichos electrodos.
- h) No se considera el efecto de inducción (ver la Pág. 13 de [7]) ni de impedancia mutua (ver la Pág. 53 de [8])

**Importante:**

Si fuera necesario consultar acerca de los tres posibles esquemas de distribución (TT, TN e IT) y sus respectivos sistemas de protección directos e indirectos, pueden consultarse las guías técnicas españolas ITC-BT-08 (ver [9]) e ITC-BT-24 (ver [10]) respectivamente.

### **3.3.3 Trabajos de campo - mediciones**

Dentro de los trabajos de campo está el desarrollo, en el orden que se presentan, de las siguientes actividades:

**a. Medición de la resistividad del suelo**

Se efectuarán en cada lugar donde se ubique el circuito de prueba de acuerdo al procedimiento descrito en el punto 3.5 (ver también numeral 2.3.3).

**b. Instalación de puestas a tierra**

Se instalarán puestas a tierra, las cuales formarán parte del circuito de prueba según lo indicado en el punto 3.6. Estas puestas a tierra son temporales para efectuar las pruebas.

**c. Medición de la resistencia de puesta a tierra**

Las mediciones se efectuarán de manera individual en cada puesta a tierra del circuito de prueba y de ser necesario al conjunto de puestas a tierra, según el procedimiento descrito en el punto 3.7 (ver también numeral 2.3.4).

#### **d. Medición de las tensiones de toque y de paso**

Este se efectuará según el procedimiento descrito en el punto 3.8 (ver también numeral 2.3.5). Las mediciones se efectuarán para el circuito de prueba esquematizado en la figura del ANEXO A para una red aérea con postes de concreto o de fierro

#### **Importante:**

Cada operación deberá ser ejecutada conforme a las indicaciones técnicas y de seguridad pertinente de la empresa eléctrica donde se realiza el trabajo, y de acuerdo a lo indicado en el presente procedimiento.

### **3.4 Circuito alimentador autoportante de prueba**

Previamente a la toma de mediciones, se deberá elegir el circuito de prueba (alimentador autoportante), el cual estará conformado por un ramal de 300 m (en nuestro caso, esta es la longitud promedio del alimentador en B.T. de una empresa de distribución que consideramos, esta cumple con la regla 032.C.1.a.) de longitud aproximada perteneciente a una subestación aérea. Además deberá tenerse en cuenta los siguientes los puntos:

#### **3.4.1 Ubicación del circuito de prueba**

La ubicación del circuito de prueba deberá ser tal que permita efectuar todas las mediciones en el lugar elegido del terreno. Es decir, deberá contarse con un lugar suficientemente amplio y libre para clavar los electrodos de prueba, teniendo en cuenta las distancias que se emplearán.

El lugar escogido para las mediciones deberá ser siempre lejano de aéreas sujetas a interferencias, tales como: torres metálicas de transmisión y sus respectivos contrapesos, puntos de puesta a tierra del sistema neutro aterrado, torres de telecomunicación, suelos con conductores o canalizaciones metálicas, cercos aterrados, etc.

Se evitará, en lo posible, pasar por instalaciones eléctricas subterráneas, tuberías metálicas de agua o desagüe.

### 3.4.2 Características del circuito

Este ramal deberá cumplir con las siguientes condiciones o características:

- a) Los postes serán de concreto armado o de fierro.
- b) La red de baja tensión será con cables autoportados, los cuales deberán estar exclusivamente en estructuras de red de baja tensión, no serán estructuras de uso compartido con red de comunicación ni de media tensión.
- c) El cable mensajero deberá tener continuidad eléctrica a lo largo del circuito.
- d) El cable mensajero deberá estar conectado a tres varillas de puesta a tierra, al inicio, final y en un punto intermedio del circuito. Esto permite seguridad a la prueba y cumple la Nota 2 de la regla 215.

### 3.4.3 Requerimiento de materiales

Los materiales requeridos para implementar el circuito de prueba estarán conformados, según requerimiento, por:

- a) Conectores doble vía, para conectar el portante de acero.
- b) Conectores de derivación bimetálica, para conectar acero-cobre.
- c) Conectores para puesta a tierra.
- d) Electrodo de puesta a tierra 16 mm  $\phi$  y 2,4 m de longitud.
- e) Conductor de cobre, para conexión a la puesta a tierra N° 16 AWG.
- f) Cinta aislante termo contraible para uniones y conexiones.
- g) Terminales cocodrilo de batería automotriz.

#### **Importante:**

Notar que la elección del electrodo (punto d, líneas arriba) cumple con el numeral 6.1 de la Norma Técnica Peruana NTP: 370.056: SEGURIDAD ELÉCTRICA: Electrodo de cobre para puestas a tierra (ver la Pág. 3 de [11]).

### 3.4.4 Implementación del circuito de prueba



El circuito de prueba será implementado de manera que todas las partes del mismo se encuentren conectadas eléctricamente. Es decir el cable mensajero, a lo largo del circuito, deberá ser continuo eléctricamente y deberá tener buen contacto con los conductores de bajada de puesta a tierra. El circuito de prueba será implementado según lo esquematizado en la figura del ANEXO A.

### **3.5 Medición de la resistividad del suelo**

La medición deberá realizarse en el punto elegido para la conexión del mensajero a tierra por el Método de Wenner (ver 2.3.3). Esta medición deberá ser hecha fuera del área de actuación de cualquier puesta a tierra instalada en la zona.

#### **3.5.1 Materiales y equipos**

- 01 Telurómetro de cuatro terminales (Megger de tierra)
- 04 Varillas de cobre (electrodos) de 30 cm de longitud 1 (en lo posible deberá ser de acero con electrodo depositado en cobre).
- 04 Conductores de cobre, aislamiento 600 V, cada uno (2 de 50 m y 2 de 20 m).
- 01 Voltímetro digital.
- 01 Pinza amperimétrica, rango: 0,001 – 1 A
- 01 Medidor de temperatura
- 01 Wincha de 50 m mínimo
- 01 Comba
- 01 Par de guantes aislantes
- 01 Par de zapatos dieléctricos
- Cables de conexión con sus respectivos terminales

#### **3.5.2 Procedimiento**

- Paso 1 : Seleccionar el lugar donde se realizarán las mediciones, de preferencia ubicar un lugar en donde la mayor parte de los puntos de medición estarán en la periferia del terreno.
- Paso 2 : Partiendo del centro del lugar elegido colocar los cuatro electrodos en el suelo a una profundidad mínima de 20 cm formando una línea recta entre ellos, evitando la existencia de huecos alrededor de los electrodos.

- Paso 3 : Los terminales de corriente del equipo de medición C1 y C2 se conectarán a los electrodos de los extremos del equipo, y los de potencial P1 y P2 a los electrodos intermedios.
- Paso 4 : Se sugiere que antes de utilizar el instrumento se deberá comprobar su ajuste con dos o tres resistencias de diferentes valores conocidos. Se podrán aceptar diferencias entre el valor de la resistencia y el valor indicado por el instrumento del orden del 10%.
- Paso 5 : Se trazará una línea de prueba a lo largo del tramo bajo análisis, y comenzando al centro de la línea se procederá a variar la separación "d" de los electrodos a 0.5, 1, 2 y 3 metros como mínimo (ver Fig. 3.1).
- Paso 6 : Se energizará el equipo de medición (de acuerdo a su instructivo) y se tomarán las lecturas respectivas de resistencias en ohms para los valores de "d" indicados en el paso 5.
- Paso 7 : Cada uno de estos valores serán registrados en el FORMATO N° 01 presentado en el ANEXO B. Se calculará la resistividad del suelo, para cada separación, mediante la fórmula indicada en dicho formato.
- Paso 8 : Se trazará la gráfica  $\rho$  v.s. d.
- Paso 9 : Finalmente, adicionalmente a lo descrito en 2.3.3, los valores de la resistividad del suelo se pueden determinar utilizando el método gráfico de dos capas que se explica en las páginas 53 al 55 de las copias de Técnicas de Alta Tensión [5].

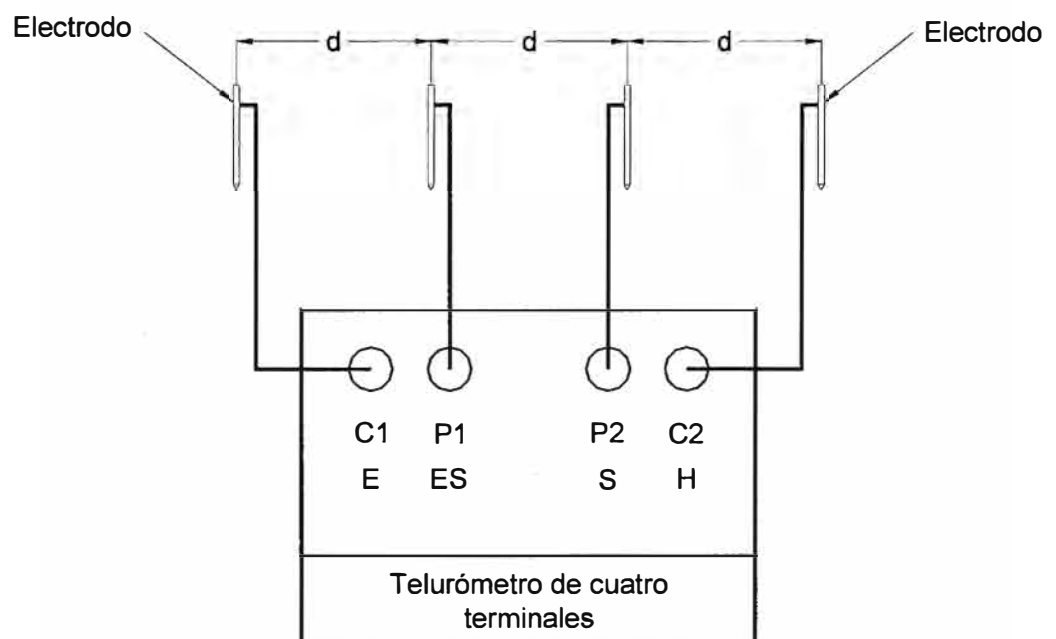


Fig. 3.1 Diagrama de conexión para medición de la resistividad del suelo

### 3.6 Puestas a tierra

- Se instalará dos puestas a tierra a lo largo del circuito de prueba. Una en el intermedio y otra al final del circuito.
- Se verificará el valor de resistencia de puesta a tierra conforme a lo indicado en el punto 3.7.

### 3.7 Medición de la resistencia de puesta a tierra

El método que se utiliza es el de caída de potencial; este procedimiento involucra la utilización de dos electrodos: uno de potencial y otro de corriente (ver 2.3.4).

Consiste en hacer que circule una corriente de magnitud conocida ( $I$ ) a través del electrodo de puesta a tierra ( $E$ ) y un electrodo de corriente ( $C$ ), y medir el efecto de esta corriente en términos de la diferencia de potencial ( $P$ ); la relación  $V/I$  da el valor de resistencia.

Para medir la resistencia de puesta a tierra es necesario que el circuito esté desenergizado, abriendo la llave asociada al circuito de prueba.

#### 3.7.1 Materiales y equipo

- 01 Telurómetro de cuatro terminales (Megger de tierra)
- 02 Varillas de cobre (electrodos) de 30 cm de longitud 1 (en lo posible deberá ser de acero con electrodo depositado en cobre).
- 02 Conductores de cobre, aislamiento 600 V, c/u de 50 m de longitud.
- 01 Voltímetro digital.
- 01 Pinza amperimétrica, rango: 0,001 – 1 A.
- 01 Medidor de temperatura.
- 01 Wincha de 50 m mínimo.
- 01 Comba.
- 01 Par de guantes aislantes.
- 01 Par de zapatos dieléctricos.
- Cables de conexión con sus respectivos terminales.

#### 3.7.2 Procedimiento

- Paso 1 :** Seleccionar la dirección en que se realizarán las mediciones, evitando la influencia de una línea de transmisión o red de distribución. Es decir, la línea de acción sobre la cual se realizarán las mediciones no deberá estar debajo de una línea de transmisión o red de distribución.
- Paso 2 :** Los dos terminales (P1 y C1) del equipo de medición deberán puentearse para conectarse directamente al electrodo de puesta a tierra que se pretende probar (este cable deberá ser de una longitud corta). El terminal de potencial (P2) deberá conectarse al electrodo de potencial y el terminal de corriente (C2) al electrodo de corriente (ver Fig. 3.2).
- Paso 3 :** Los electrodos P2 y C2 deberán clavarse a una profundidad de 50 a 60 centímetros, aproximadamente.
- Paso 4 :** La distancia (d) del electrodo de puesta a tierra al electrodo de potencial (P2) se irá variando a 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 13 metros, mientras que la distancia del electrodo de corriente (C2) permanecerá a una distancia (L) igual a 14 metros del electrodo de puesta a tierra. Para cada variación de la distancia (d) se tomará la lectura de resistencia (R) y se registrarán en el FORMATO N° 02 del ANEXO B.
- Paso 5 :** A manera de verificación, se podrá repetir el paso 4 para una distancia (L) igual a 48 metros y una variación de la distancia (d) de 26, 28, 30, 31, 32, 34, y 36 metros. Registrarlo en el FORMATO N° 02 del ANEXO B.

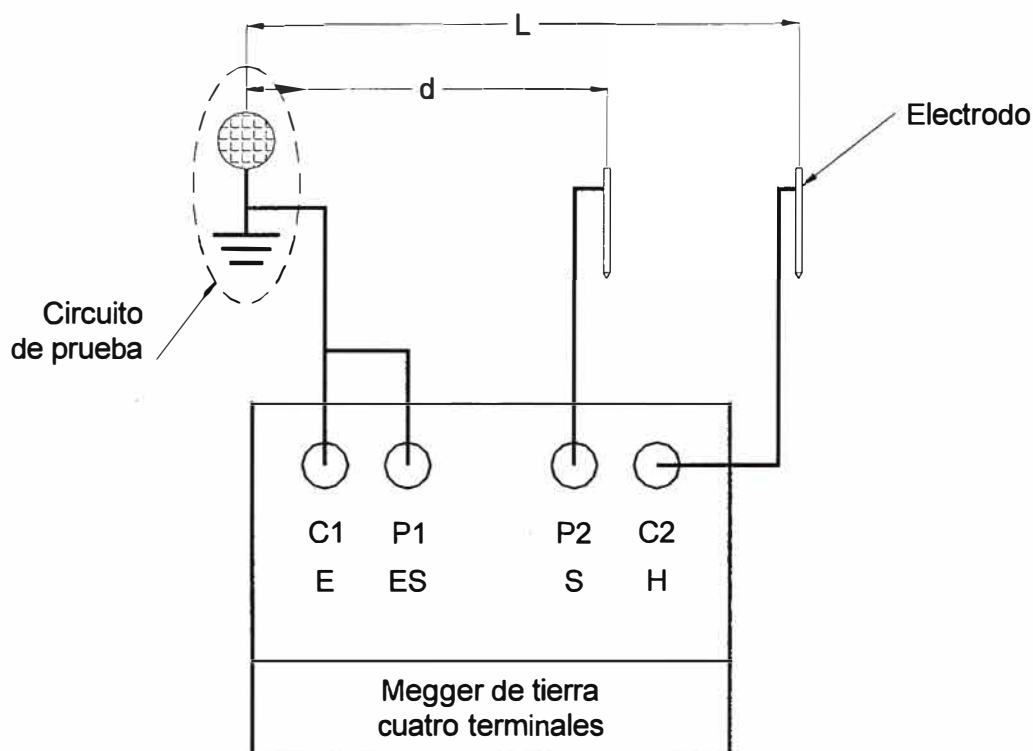


Fig. 3.2 Diagrama de conexión para medición de la resistencia de puesta a tierra

### **3.8 Medición de las Tensiones de Paso y de Toque**

Verificar que la llave fusible del circuito de prueba de la subestación se encuentre desconectado.

#### **3.8.1 Materiales y equipo**

- 01 Telurómetro de cuatro terminales (Megger de tierra)
- 02 Varillas de cobre (electrodos) de 30 cm de longitud 1 (en lo posible deberá ser de acero con electrodo depositado en cobre).
- 03 Varillas de cobre (electrodos de prueba) de 30 cm de longitud 1.
- 02 Conductores de cobre, aislamiento 600 V, c/u de 50 m de longitud.
- 03 Conductores de cobre, aislamiento 600 V, c/u de 3 m de longitud.
- 01 Voltímetro digital.
- 01 Pinza amperimétrica, rango: 0,001 – 1 A
- 01 Medidor de temperatura
- 01 Wincha de 50 m mínimo
- 01 Comba
- 02 Par de guantes aislantes
- 01 Par de zapatos dieléctricos
- Cables de conexión con sus respectivos terminales

#### **3.8.2 Procedimiento**

Se deberá trabajar con el circuito de prueba implementado según lo indicado en el punto 3.4 y en la figura del ANEXO A.

##### **a. Disposición de electrodos de prueba y mediciones directas en campo de las tensiones de toque y de paso.**

Clavar tres electrodos de prueba en el suelo, alineados y distanciados respectivamente a 1, 2 y 3 metros del último poste (al final del cable autoportado) conforme a lo mostrado en la Fig. 3.3.

En esta prueba se inyecta la corriente de falla en el inicio del cable autoportado (alimentador autoportante) y se mide directamente las tensiones de toque (entre el último poste y el punto A) y de paso (entre los electrodos A y B, y entre B y C).

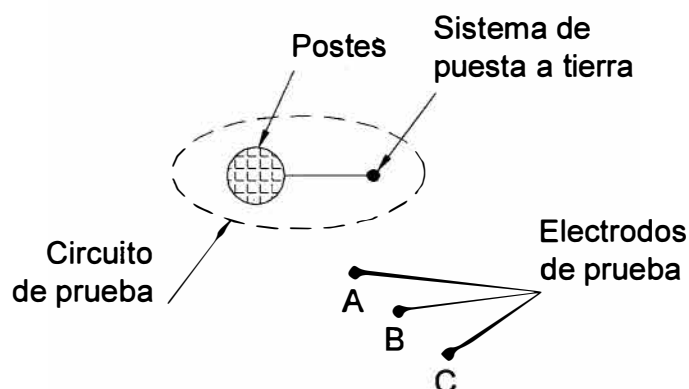


Fig. 3.3 Disposición de los electrodos de prueba para mediciones directas en campo de las tensiones de toque y de paso.

**b. Resistencia medida en campo para determinar la tensión de paso relativa a la corriente de cortocircuito**

- Paso 1 : Conectar el terminal "C1" a un electrodo de puesta a tierra de una de las estructuras de baja tensión del circuito de prueba;
- Paso 2 : Conectar el terminal "C2" en el electrodo clavado en la tierra, distante a  $D = 48$  m del poste;
- Paso 3 : Conectar firmemente los terminales "P1" y "P2" a los electrodos de prueba, clavados en el suelo, distanciados a  $d = 1$  metro, en las posiciones A y B respectivamente (ver Fig. 3.3 y 3.4);
- Paso 4 : Medir la resistencia efectiva entre el primer y el segundo electrodo de prueba. Anote la resistencia indicada. Esta es la resistencia efectiva  $R_{p1-2}$ , a través de las posiciones A y B;
- Paso 5 : Conectar ahora firmemente los terminales "P1" y "P2" a los electrodos de prueba, clavados en el suelo, distanciadas de  $d = 1$  metro, en las posiciones B y C respectivamente (ver Fig. 3.3 y 3.4);
- Paso 6 : Medir la resistencia efectiva entre el segundo y el tercer electrodo de prueba. La resistencia medida ahora es entre los puntos B y C,  $R_{p2-3}$ .
- Paso 7 : Se tomará la lectura de la resistencia.

**c. Resistencia medida en campo para determinar la tensión de toque relativa a la corriente de cortocircuito**

- Paso 1 : Conectar el terminal "C1" y "P1" en el electrodo de puesta a tierra de la primera estructura de baja tensión del circuito de prueba;
- Paso 2 : Conectar el terminal "C2" a un electrodo clavado en la tierra, distante a  $D+d = 48$  m (sugerencia en el manual del equipo) del poste (la directriz puede ser preferentemente perpendicular a la hilera de postes que conforman el circuito de prueba);
- Paso 3 : Conectar el terminal "P2" a un electrodo de potencial clavado a  $d = 1$  metro del poste (ver Fig. 3.5);
- Paso 4 : Trace la lectura de equipo. Esta es la resistencia efectiva  $R_t$ , entre el punto de prueba y el poste (la directriz puede ser preferentemente perpendicular a la hilera de postes);
- Paso 5 : Se tomará la lectura de la resistencia.

#### d. Cálculo de las tensiones de toque y de paso relativas a la corriente de cortocircuito

##### Tensión de paso

$$V_{\text{paso}} = R_p I_{\text{ccft}} \text{ Voltios} \quad (3.1)$$

Donde:

$R_p$  Resistencia medida en el Paso 4 y Paso 6 de la sección b. del numeral 3.8.2.

$I_{\text{ccft}}$  Corriente de cortocircuito calculada conforme a lo indicado en el ANEXO C (Cálculo teórico de las tensiones de paso y de toque máximas).

##### Tensión de toque

$$V_{\text{toque}} = R_t I_{\text{ccft}} \text{ Voltios} \quad (3.2)$$

Donde:

$R_t$  Resistencia medida en el Paso 4 de la sección c., del numeral 3.8.2.

$I_{\text{ccft}}$  Corriente de cortocircuito calculada conforme a lo indicado en el ANEXO C (Cálculo teórico de las tensiones de paso y de toque máximas).

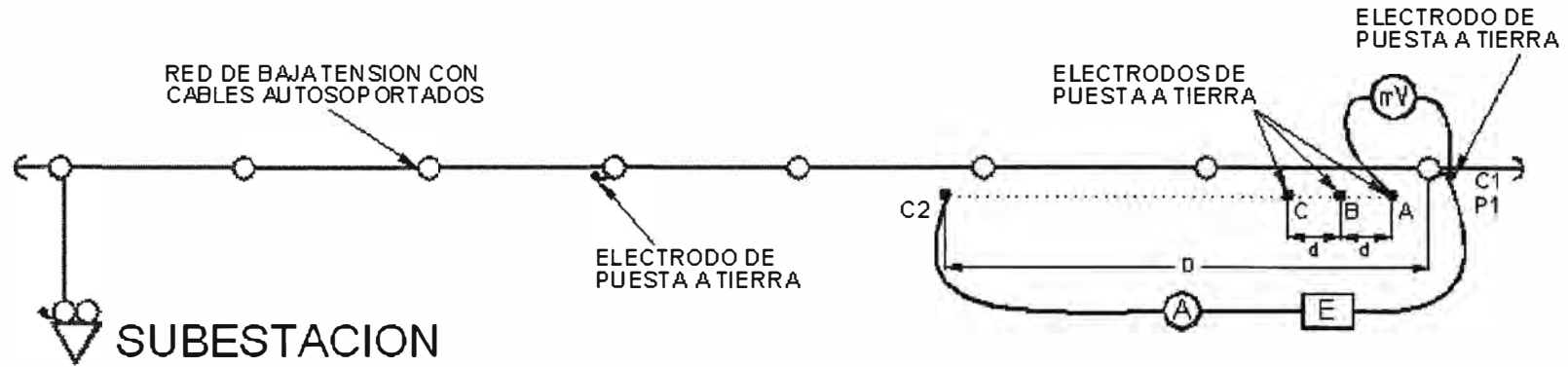


Fig. 3.4 Medición de la resistencia en campo para determinar las tensiones de paso relativas a la corriente de cortocircuito

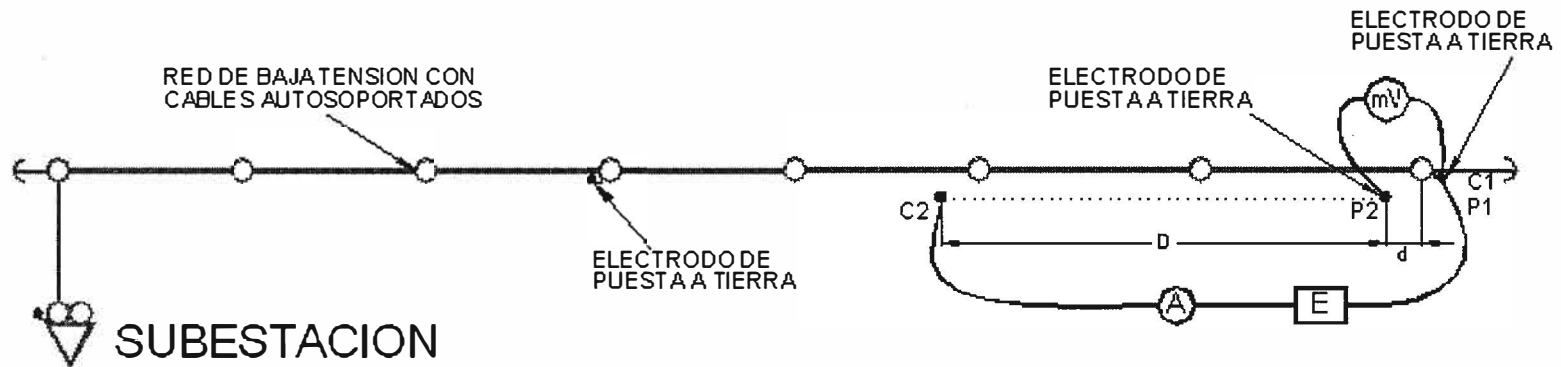


Fig. 3.5 Resistencia medida en campo para determinar la tensión de toque relativa a la corriente de cortocircuito



#### **e. Verificación de los resultados obtenidos**

Para verificar que los resultados obtenidos son correctos se deberá cumplir que las tensiones de paso y de toque medidas directamente según la sección a. del numeral 3.8.2 deben ser menores que la tensiones máximas admisibles de paso y de toque que se calcula según las ecuaciones A.7 y A.8 del ANEXO C (aquí se utiliza el valor de la resistividad del suelo), las cuales están de acuerdo a la IEEE Std. 80 *"Guide for Safety in Substation Grounding"*.

Asimismo, se debería comprobar que las tensiones de toque y de paso determinados indirectamente según el ANEXO E (aquí se utiliza la corriente de cortocircuito, la resistencia equivalente del suelo, la tensión de fase [220 Voltios] y las resistencias medidas en las secciones b. y c. del numeral 3.8.2.) también deben ser menores que las tensiones máximas admisibles de paso y de toque del ANEXO C.

## **CAPITULO IV**

### **EJEMPLO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO**

#### **4.1 Objetivo**

Efectuar las mediciones en campo de las tensiones de toque y de paso en una red aérea de baja tensión con cables autoportados instalados en postes de cementos o fierro. Esta red pertenece a una empresa de distribución eléctrica que se le llamará Distribuidora A. Se toma como base los antecedentes en el numeral 2.1.

#### **4.2 Alcances**

Son alcances del presente capítulo el desarrollo de los siguientes puntos:

Visita previa y reconocimiento del lugar donde se efectuaron las mediciones de campo.

Medición de la resistividad del suelo del lugar y de las resistencias de puesta a tierra del circuito de prueba.

Procesamiento de los datos de campo.

Coordinaciones para la obtención del equipo de medición de tensiones de toque y de paso.

Mediciones en campo de las tensiones de toque y de paso.

#### **4.3 Desarrollo de la medición y análisis**

##### **4.3.1 Elaboración del procedimiento para efectuar las mediciones de campo**

Al observar los numerales 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 del CAPÍTULO III de este trabajo, vemos que dicho capítulo tiene una estructura que está conformada por tres partes, que son:

Especificación del circuito alimentador autoportante, especificación de los materiales y equipos a utilizar, y especificación del procedimiento general para cada medición. Los detalles más específicos del trabajo dependen de de la experiencia del personal que realiza la medición.

**a. Especificación del circuito alimentador autoportante**

En esta parte se estableció las características que debería tener el circuito de prueba, y las condiciones que debería cumplir el lugar de ubicación del mismo. De acuerdo a los requerimientos indicados en el CNE – Suministro, se consideró lo siguiente:

El circuito de prueba debería ser una red de baja tensión aérea con cable autoportado y postes de concreto y/o fierro (según la observación hecha por el OSINERG en el numeral 2.1., regla 032.C.1: Cables mensajeros).

**Comentario:**

*Se trabajó en un circuito de alumbrado para no afectar a los usuarios del lugar ni a las mediciones.*

La longitud promedio del circuito de prueba debería ser aproximadamente 300 m de red aérea, la cual es el valor promedio de una red de baja tensión en esta distribuidora.

**Comentario:**

*Este valor de 300 m del ramal es la longitud promedio de una red aérea de baja tensión de la Distribuidora A.*

Fue necesario conectar el cable mensajero a puestas a tierra.

**Comentario:**

*Esto se efectuó para verificar que se cumpla con lo solicitado en la Nota 2 de la regla 215 del CNE – Suministro.*

La cantidad de puestas a tierra conectadas al circuito de prueba debería estar de acuerdo a lo establecido en la regla 032.C.1.b del CNE – Suministro.

**Comentario:**

*Se determinó que era necesario contar con (03) tres puestas a tierra: 01 al inicio, 01 al final y otra en un punto intermedio del circuito de prueba. Se instalaron en campo las dos últimas.*

Se verificó la continuidad del cable mensajero del circuito de prueba.

**b. Especificación de los materiales y equipos a utilizar**

De acuerdo al tipo de medición a efectuar se especificó las características de los equipos y materiales a emplearse:

Telurómetro de cuatro bornes.- Equipo para medición de la resistividad del suelo.

Telurómetro de cuatro bornes.- Equipo para medición de la puesta a tierra del circuito de prueba.

Fuente de corriente alterna monofásica – equipo para medición de las tensiones de toque y de paso.

**Comentarios:**

*Se empleo el mismo telurómetro para efectuar la medición de la resistividad del suelo y de la puesta a tierra del circuito de prueba.*

*La fuente de corriente alterna monofásica estaba conformada por un transformador elevador monofásico 220/300-900V de 100 kVA, con taps de 20, 30, 50, 70 y 90A.*

**c. Especificación del procedimiento general para cada medición**

Se estableció los pasos a seguir para efectuar cada una de las mediciones (ver 3.5.2, 3.7.2 y 3.8.2), explicando de manera simple y sencilla los trabajos previos a desarrollarse durante los trabajos de campo.

**4.3.2 Reconocimiento del lugar y trabajos preliminares**

Se realizaron visitas previas al lugar donde se efectuaron las mediciones, con motivo de ultimar los detalles para la implementación del circuito de prueba. Estas visitas sirvieron para verificar lo siguiente:

**a. Reconocimiento del lugar**

Se verificó las condiciones que debería darse en el lugar donde se efectuaron las pruebas tales como espacios suficientes para poder clavar o introducir las estacas o electrodos de prueba, la existencia o no de circuitos eléctricos de baja o media tensión cercanos al lugar y que puedan influir en las mediciones.

**Comentario:**

*Fue importante establecer los espacios suficientes para poder clavar los electrodos de prueba, sobretudo para la medición de la resistividad del suelo, ya que esta se efectuó en forma longitudinal y transversal en el terreno, tal como se verá más adelante (Fig. 4.1).*

## **b. Trabajos preliminares**

Se verificó la existencia y el estado de los pozos de puesta a tierra de las subestaciones. Se coordinó con personal de la Distribuidora A asignado al proyecto para la implementación del circuito de prueba. La Distribuidora A instaló dos pozos de puesta a tierra en cada circuito de prueba.

Se establecieron los puntos donde se efectuaron las mediciones.

### **4.3.3 Medición de la resistividad del suelo del lugar y de las resistencias de puesta a tierra del circuito de prueba.**

Para efectuar las mediciones de resistividad del suelo y resistencias de puesta a tierra se empleó un telurómetro de cuatro bornes, cuyas características son:

Marca	:	ABB METRA
Modelo	:	M5032
Frecuencia de ensayo	:	128 Hz
Tensión a circuito abierto ( $U_L$ )	:	50 V rms
Corriente de cortocircuito ( $I_k$ )	:	10 mA max
Precisión	:	$\pm 2\%$ de lectura
Error de servicio máximo	:	$\pm 5\%$ de lectura

## **a. Mediciones de la Resistividad del Suelo**

Se efectuó según lo establecido en el numeral 3.5 del CAPÍTULO III, y de acuerdo al circuito mostrado en la Fig. 4.1. Se efectuó mediciones a lo largo de la calle (longitudinalmente) y de manera transversal a la misma.

Los valores obtenidos de las mediciones se presentan en el FORMATO N° 01 - A y B (Fig. 4.3 y Fig. 4.4). El modelo del formato se muestra en el ANEXO B.

## **b. Mediciones de las resistencias de puesta a tierra**

Se efectuó la medición del valor de resistencia de puesta a tierra en tres pozos A, B y C, de acuerdo a lo establecido en el punto 3.6 y 3.7 del CAPÍTULO III. En la Fig. 4.2 se muestran los pozos de puesta a tierra A, B y C.

Los valores obtenidos de las mediciones se presentan en el FORMATO N° 02 - A, B y C (Fig. 4.5, Fig. 4.6 y Fig. 4.7).

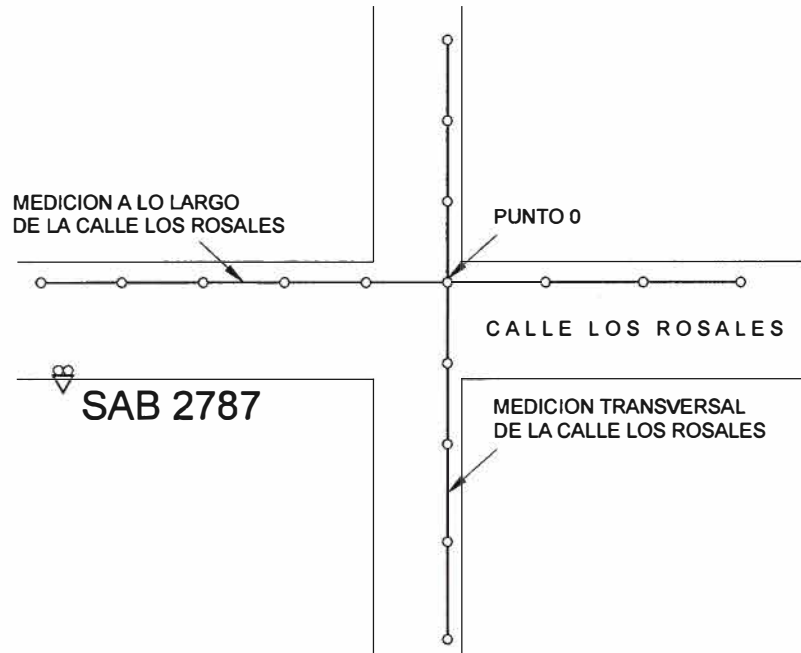


Fig. 4.1 Configuración del circuito de prueba

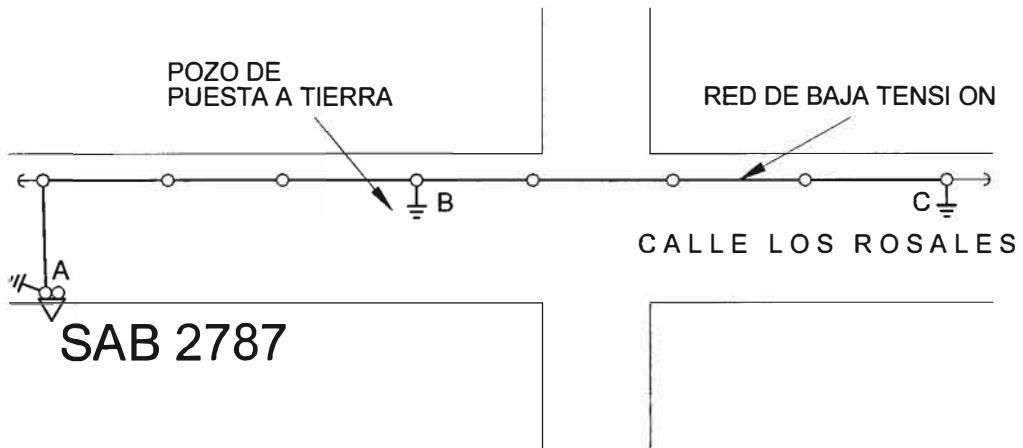


Fig. 4.2 Configuración de los pozos de puesta a tierra

**FORMATO Nº 01 - A**  
**MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL SUELO**  
**(Método de Wenner)**

**a) Datos generales:**

Pág. 01 de 01

- Fecha  - Hora

- Subestación  - Circuito

- Long. del tramo  - # Postes

- Ubicación

- Empresa

**b) Condiciones del suelo:**

- Muy húmedo

- Húmedo

- Normal

- Seco

**c) Condiciones climatológicas:**

- Temp. Ambiente aprox.

- Humedad Relativa

- Presencia de Lluvia

**d) Mediciones:**

a (m)	R (ohms)	$\rho=2\pi aR$ (ohms)	Anotaciones sobre la medición
1	2.04	12.82	El terreno es de cultivo.
2	1.68	21.11	El terreno es de cultivo.
4	0.86	21.61	El terreno es de cultivo.
8	0.45	22.62	El terreno es de cultivo.
16	0.27	27.14	El terreno es de cultivo.
32	--	--	

**e) Observaciones adicionales:**

- El equipo utilizado fue un Medidor de tierra de cuatro terminales de las siguientes características:  
 Marca: ABB METRAWATT, Modelo: M5032, Escalas: 20 - 200 Ohms - 2 - 20 kohms.

- Las mediciones fueron efectuadas en la escala de 20 Ohms y verificadas en la escala de 200 Ohms.

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Distribuidora A

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Empresa de Servicio

Fig. 4.3 Medición de resistividad del suelo – Medición transversal

**FORMATO N° 01 - B**  
**MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL SUELO**  
**(Método de Wenner)**

**a) Datos generales:**

Pág. 01 de 01

- Fecha	<input type="text" value="23 / 07 / 2003"/>	- Hora	<input type="text" value="04 : 20 p.m."/>
- Subestación	<input type="text" value="--"/>	- Circuito	<input type="text" value="--"/>
- Long. del tramo	<input type="text" value="-- metros"/>	- # Postes	<input type="text" value="--"/>
- Ubicación	<input type="text" value="Cerca de las SS.EE. SAB 2787 y SAB 2784."/>		
- Empresa	<input type="text" value="Distribuidora A"/>		

**b) Condiciones del suelo:****c) Condiciones climatológicas:**

- Muy húmedo	<input type="checkbox"/>	- Temp. Ambiente aprox.	<input type="text" value="-- °C"/>
- Húmedo	<input type="checkbox"/>	- Humedad Relativa	<input type="text" value="-- %"/>
- Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	- Presencia de Lluvia	<input type="checkbox" value="Si ( )"/> <input checked="" type="checkbox" value="No ( X )"/>
- Seco	<input type="checkbox"/>		

**d) Mediciones:**

a (m)	R (ohms)	$\rho=2\pi aR$ (ohms)	Anotaciones sobre la medición
1	2.33	14.64	El terreno es de cultivo.
2	1.45	18.22	El terreno es de cultivo.
4	0.94	23.62	El terreno es de cultivo.
8	0.51	25.64	El terreno es de cultivo.
16	0.27	27.14	El terreno es de cultivo.
32	--	--	

**e) Observaciones adicionales:**

- El equipo utilizado fue un Medidor de tierra de cuatro terminales de las siguientes características: Marca: ABB METRAWATT, Modelo: M5032, Escalas: 20 - 200 Ohms - 2 - 20 kohms.
- Las mediciones fueron efectuadas en la escala de 20 Ohms y verificadas en la escala de 200 Ohms.

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Distribuidora A

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Empresa de Servicio

Fig. 4.4 Medición de resistividad del suelo – Medición longitudinal



**FORMATO N° 02 - A**  
**MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA**  
**(Método de Caída de Potencial)**

**a) Datos generales:**

Pág. 01 de 01

- Fecha	<input type="text" value="23 / 07 / 2003"/>	- Hora	<input type="text" value="02:20 p.m."/>
- Subestación	<input type="text" value="SAB N° 2787"/>	- Circuito	<input type="text" value="--"/>
- Long. del tramo	<input type="text" value="-- metros"/>	- # Postes	<input type="text" value="--"/>
- Ubicación	<input type="text" value="Puesta a tierra del Punto A del circuito de prueba de la S.E. N° 2787."/>		
- Empresa	<input type="text" value="Distribuidora A"/>		

**b) Condiciones del suelo:**

- Muy húmedo

- Húmedo

- Normal

- Seco

**c) Condiciones climatológicas:**

- Temp. Ambiente aprox.

- Humedad Relativa

- Presencia de Lluvia

**d) Mediciones:**

d (m)	D-d (ohms)	R (ohms)	Anotaciones sobre la medición
20	32	2.62	El terreno es de cultivo.
19	33	2.60	El terreno es de cultivo. (Medición de verificación)

**e) Observaciones adicionales:**

- El equipo utilizado fue un Medidor de tierra de cuatro terminales de las siguientes características: Marca: ABB METRAWATT, Modelo: M5032, Escalas: 20 - 200 Ohms - 2 - 20 kohms
- Las mediciones fueron efectuadas en la escala de 20 Ohms y verificadas en las escalas de 200 Ohms y 2 kohms.
- El electrodo de potencial P2 se ubicó al 62% de la distancia total (del electrodo de puesta a tierra hacia el electrodo de corriente C2). Ver pág. 22 del numeral 8.2.1.6. de [4].

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Distribuidora A

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Empresa de Servicio

Fig. 4.5 Medición de resistencia de puesta a tierra en el Punto A

**FORMATO N° 02 - B**  
**MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA**  
**(Método de Caída de Potencial)**

**a) Datos generales:**

Pág. 01 de 01

- Fecha  - Hora

- Subestación  - Circuito

- Long. del tramo  metros - # Postes

- Ubicación

- Empresa

**b) Condiciones del suelo:**

- Muy húmedo

- Húmedo

- Normal

- Seco

**c) Condiciones climatológicas:**

- Temp. Ambiente aprox.  °C

- Humedad Relativa  %

- Presencia de Lluvia

**d) Mediciones:**

<b>d</b> <b>(m)</b>	<b>D-d</b> <b>(ohms)</b>	<b>R</b> <b>(ohms)</b>	<b>Anotaciones sobre la medición</b>
20	32	3.40	El terreno es de cultivo.
19	33	3.30	El terreno es de cultivo. (Medición de verificación).

**e) Observaciones adicionales:**

- El equipo utilizado fue un Medidor de tierra de cuatro terminales de las siguientes características:  
 Marca: ABB METRAWATT, Modelo: M5032, Escalas: 20 - 200 Ohms - 2 - 20 kohms

- Las mediciones fueron efectuadas en la escala de 20 Ohms y verificadas en las escalas de 200 Ohms y 2 kOhms.

- El electrodo de potencial P2 se ubicó al 62% de la distancia total (del electrodo de puesta a tierra hacia el electrodo de corriente C2). Ver pág. 22 del numeral 8.2.1.6. de [4].

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Distribuidora A

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Empresa de Servicio

Fig. 4.6 Medición de resistencia de puesta a tierra en el Punto B

**FORMATO N° 02 - C**  
**MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA**  
**(Método de Caída de Potencial)**

**a) Datos generales:**

Pág. 01 de 01

- Fecha	<input type="text" value="23 / 07 / 2003"/>	- Hora	<input type="text" value="01 : 20 p.m."/>
- Subestación	<input type="text" value="SAB N° 2787"/>	- Circuito	<input type="text" value="--"/>
- Long. del tramo	<input type="text" value="-- met ros"/>	- # Postes	<input type="text" value="--"/>
- Ubicación	<input type="text" value="Puesta a tierra del Punto C del circuito de prueba de la S.E. N° 2787."/>		
- Empresa	<input type="text" value="Distribuidora A"/>		

**b) Condiciones del suelo:**

- Muy húmedo

- Húmedo

- Normal

- Seco

**c) Condiciones climatológicas:**

- Temp. Ambiente aprox.

- Humedad Relativa

- Presencia de Lluvia

**d) Mediciones:**

d (m)	D-d (ohms)	R (ohms)	Anotaciones sobre la medición
20	32	3.16	El terreno es de cultivo.
19	33	3.10	El terreno es de cultivo. (Medición de verificación).

**e) Observaciones adicionales:**

- El equipo utilizado fue un Medidor de tierra de cuatro terminales de las siguientes características: Marca: ABB METRAWATT, Modelo: M5032, Escalas: 20 - 200 Ohms - 2 - 20 kohms
- Las mediciones fueron efectuadas en la escala de 20 Ohms y verificadas en las escalas de 200 Ohms y 2 kOhms.
- El electrodo de potencial P2 se ubicó al 62% de la distancia total (del electrodo de puesta a tierra hacia el electrodo de corriente C2). Ver pág. 22 del numeral 8.2.1.6. de [4].

\_\_\_\_\_  
Firma del Responsable  
Distribuidora A

\_\_\_\_\_  
Firma del Responsable  
Empresa de Servicio

Fig. 4.7 Medición de resistencia de puesta a tierra en el Punto C

### 4.3.4 Procesamiento de los datos de campo

#### a. Cálculo de los valores de resistividad del suelo

Los valores de obtenidos en la medición de la resistividad del suelo fueron graficados en utilizando la curva patrón presentada en el ANEXO D. Estos resultados fueron procesados según como que se indica en el Paso 9 del numeral 3.5.2 (Procedimiento [de medición de la resistividad del suelo]) y se muestran en la Fig. 4.8, obteniéndose los resultados siguientes:

#### Medición a lo largo de la calle Los Rosales – Lurín

Número de Estratos: 2

- Primer estrato: 13 ohm-metro : (profundidad = 1,0 m)
- Segundo estrato: 6,5 ohm-metro : (profundidad = mayor a 1,0 m)

#### Medición transversal a la calle Los Rosales – Lurín

Número de Estratos: 2

- Primer estrato: 13 ohm-metro : (profundidad = 0,7 m)
- Segundo estrato: 6,5 ohm-metro : (profundidad = mayor a 0,7 m)

#### Comentario:

Se consideró el valor promedio, es decir: **9,75 ohm-metro**.

#### b. Valores de resistencia a tierra

Los valores de las resistencias de puesta a tierra del circuito de prueba medidas en los puntos A, B y C (Fig. 4.2) mostrados en las Fig. 4.5, 4.6 y 4.7 son:

TABLA N° 4.1: Valores de las resistencias de puesta a tierra en los puntos A, B y C

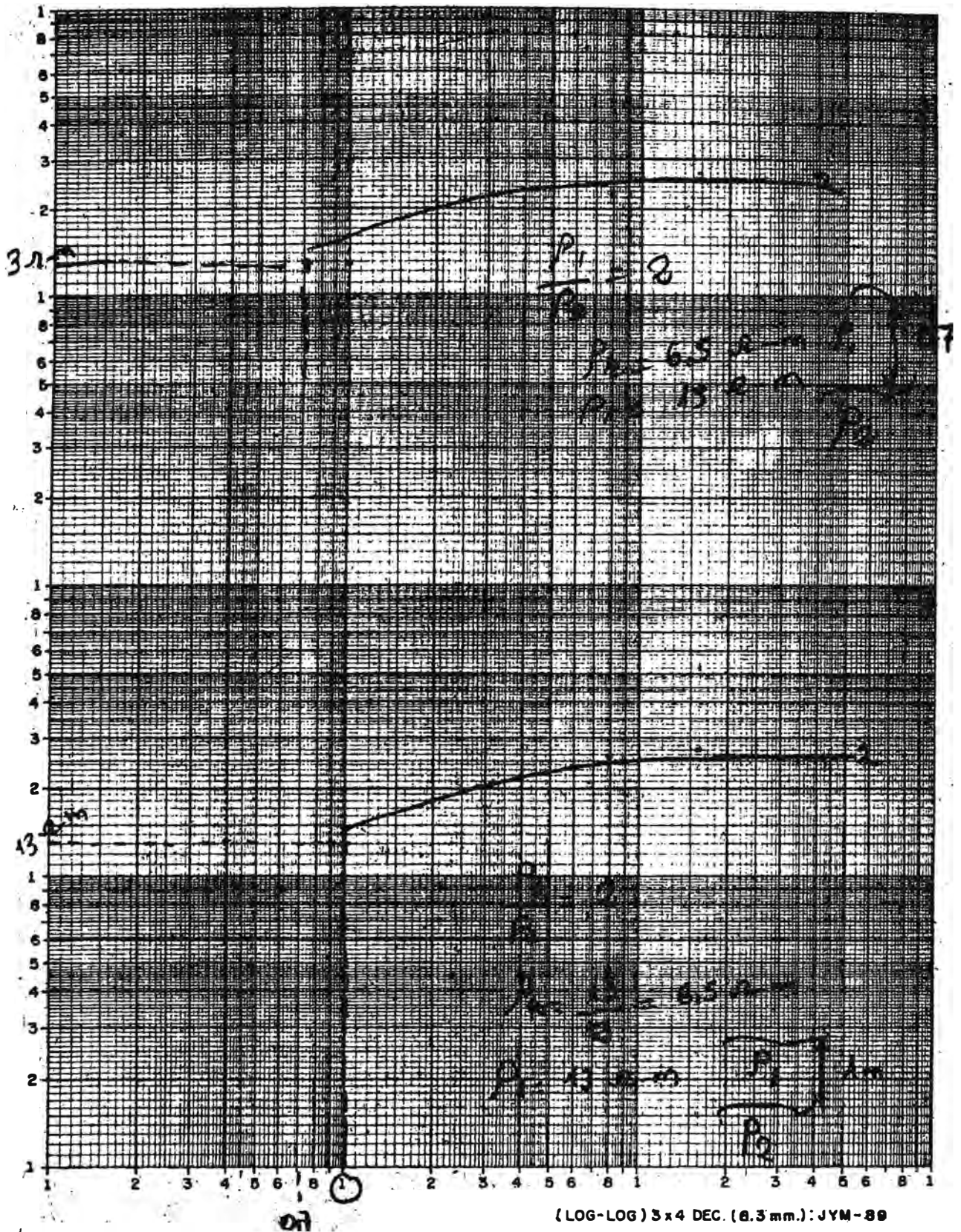
Item	Punto	R1 ( $\Omega$ )	R2 ( $\Omega$ )	R pat ( $\Omega$ )
1	A	2,62	2,60	2,61
2	B	3,40	3,30	3,35
3	C	3,16	3,10	3,13

#### Comentario:

*R1 Resistencia medida a escala de de instrumento de 20 $\Omega$ .*

*R2 Resistencia medida a escala de de instrumento de 200 $\Omega$ .*

*Rpat Resistencia de puesta a tierra en cada punto (A, B y C),*



(LOG-LOG) 3x4 DEC. (0.3mm.): JYM-89

Fig. 4.8 Valores de la resistividad del suelo

### 4.3.5 Coordinaciones para la obtención del equipo de medición de tensiones de toque y de paso

Se coordinó con una empresa para obtener en alquiler el equipo de medición (fuente de corriente alterna monofásica) adecuado para medir las tensiones de toque y de paso. El equipamiento completo está conformado por un interruptor de 220 V y 630 A y un transformador elevador monofásico cuyas características son:

Marca	:	PYGSA
Tensión de alimentación	:	220/300 - 900 Volts
Corriente de salida	:	20 – 30 – 50 – 70 – 90 Amperes
Potencia de salida	:	100 kVA

### 4.3.6 Mediciones directas en campo de las tensiones de toque y de paso

Estas fueron efectuadas utilizando la fuente de corriente alterna monofásica mencionada en el punto anterior. La implementación del circuito de prueba correspondiente a estas mediciones se muestra en la Fig. 4.9 (prueba de acuerdo a la Fig. 3.3).

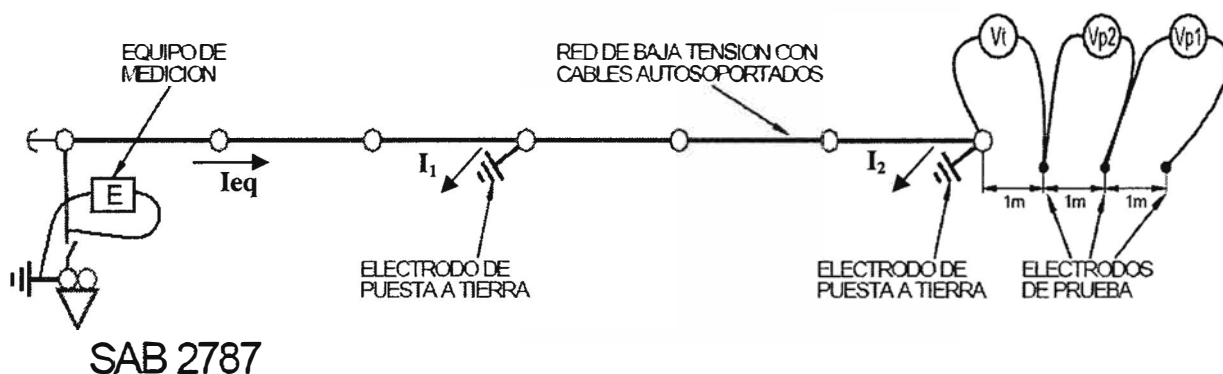


Fig. 4.9 Implementación del circuito de prueba

#### Comentario:

El equipamiento fue alimentado en 220 V desde el tablero de baja tensión de la subestación SAB 2787. Las mediciones directas de las tensiones de toque y de paso se efectuaron al final de los 300 metros de cable autoportado.

#### a. Valores obtenidos en campo

Las tensiones de toque y de paso obtenidos en campo por medición directa se muestran en el FORMATO N° 03 - A (Fig. 4.10) y en el FORMATO N° 03 – B (Fig. 4.11).

**FORMATO N° 03 - A**  
**MEDICION DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO**

**a) Datos generales:**

Pág. 01 de 01

- Fecha	<input type="text" value="30/10/2003"/>	- Hora	<input type="text" value=""/>
- Subestación	<input type="text" value="SAB N° 2787"/>	- Circuito	<input type="text" value="--"/>
- Long. Circuito	<input type="text" value="300 metros"/>	- # Postes	<input type="text" value="--"/>
- Ubicación	<input type="text" value="Calle Los Rosales - Lurin"/>		
- Empresa	<input type="text" value="Distribuidora A"/>		

**b) Condiciones del suelo:**

- Muy húmedo

- Húmedo

- Normal

- Seco

**c) Condiciones climatológicas:**

- Temperatura Ambiente

- Humedad Relativa

- Presencia de Lluvia

**d) Mediciones:**

Medición N°	A (amperes)	Vp1 (volts)	Vp2 (volts)	Vt (volts)	
1	22.00	1.10	1.34	3.76	
2	30.00	1.52	1.85	5.17	
3	35.00	1.82	2.23	6.14	

**e) Observaciones adicionales:**

- El equipo utilizado fue una Fuente de Corriente de las siguientes características:
Marca: PYGSA, Tensión de alimentación: 220/300 - 900 Volts, Corriente de salida: 20 - 30 - 50 - 70 - 90 Amperes, Potencia de salida: 100 kVA.
- El terreno es de tipo cultivo.

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Distribuidora A

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Empresa de Servicio

Fig. 4.10 Medición de las tensiones de toque y de paso el 30-09-2003

**FORMATO N° 03 - B**  
**MEDICION DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO**

**a) Datos generales:**

Pág. 01 de 01

- Fecha	07/10/2003	- Hora	
- Subestación	SAB N° 2787	- Circuito	--
- Long. Circuito	300 metros	- # Postes	--
- Ubicación	Calle Los Rosales - Lurin		
- Empresa	Distribuidora A		

**b) Condiciones del suelo:**

- Muy húmedo	<input type="checkbox"/>
- Húmedo	<input type="checkbox"/>
- Normal	<input checked="" type="checkbox"/>
- Seco	<input type="checkbox"/>

**c) Condiciones climatológicas:**

- Temperatura Ambiente	-- °C
- Humedad Relativa	-- %
- Presencia de Lluvia	Si ( ) No ( X )

**d) Mediciones:**

Medición N°	A (amperes)	Vp1 (volts)	Vp2 (volts)	Vt (volts)	
1	4.00	0.18	0.14	0.86	
2	20.00	1.29	1.09	5.44	
3	48.00	2.83	2.44	10.76	
4	70.00	4.30	3.67	14.03	

**e) Observaciones adicionales:**

- El equipo utilizado fue una Fuente de Corriente de las siguientes características:
Marca: PYGSA, Tensión de alimentación: 220/300 - 900 Volts, Corriente de salida: 20 - 30 - 50 - 70 - 90 Amperes, Potencia de salida: 100 kVA.
- El terreno es de tipo cultivo.

\_\_\_\_\_  
Firma del Responsable  
Distribuidora A

\_\_\_\_\_  
Firma del Responsable  
Empresa de Servicio

Fig. 4.11 Medición de las tensiones de toque y de paso el 07-10-2003



Datos obtenidos el día 30-09-2003 (Ver Fig. 4.10).

TABLA N° 4.2: Valores medidos de las tensiones de toque y de paso el día 30-09-2003

Item	I eq(A)	V p1(V)	V p2(V)	V t(V)
1	22	1,10	1,34	3,76
2	30	1,52	1,85	5,17
3	35	1,82	2,23	6,14

Datos obtenidos el día 07-10-2003 (Ver Fig. 4.11).

TABLA N° 4.3: Valores medidos de las tensiones de toque y de paso el día 07-10-2003

Item	I eq(A)	V p1(V)	V p2(V)	V t(V)
1	04	0,18	0,14	0,86
2	20	1,29	1,09	5,44
3	48	2,83	2,44	10,76
4	70	4,30	3,67	14,03

Siendo:

leq Corriente inyectada en la SAB 2787 del circuito de prueba (corriente de falla).

Vt Tensión de toque.

Vp1 y Vp2 : Tensiones de paso medidas al final del cable autoportado (ver Fig. 4.9).

#### **Comentario:**

*Las mediciones fueron efectuadas en la Calle Los Rosales - Lurín, en el circuito implementado en un ramal de la SAB 2787. leq se inyecta en la SAB 2787.*

#### **b. Procesamiento de la información**

##### **Tensión máxima admisible de paso (transito)**

Aplicando la siguiente fórmula del ANEXO C, ecuación (A.7), tenemos:

$$V_{\text{paso}} = \frac{116 + 0,696ps}{\sqrt{t}}$$

De los resultados:

ps Resistividad obtenida: 9.75 ohm-metro

t tiempo de actuación del dispositivo de actuación: 3 seg (ver ANEXO C).

Evaluado obtenemos:

$$V_{\text{paso}} = 70.89 \text{ Voltios}$$

### Tensión máxima admisible de toque (contacto)

Aplicando la siguiente fórmula del ANEXO C, ecuación (A.8), tenemos:

$$V_{\text{toque}} = \frac{116 + 0,174\rho_s}{\sqrt{t}}$$

De los resultados:

$\rho_s$  : Resistividad obtenida: 9.75 ohm-metro

t : tiempo de actuación del dispositivo de actuación: 3 seg (ver ANEXO C).

Evaluado obtenemos:

$$V_t = 67.95 \text{ Volts}$$

### c. Interpretación de los resultados

De las mediciones efectuadas en campo, cuyos valores de tensión son presentados en el ítem a. del numeral 4.3.6 (Mediciones directas en campo de las tensiones de toque y de paso) de este capítulo, podemos observar que dichos valores medidos de tensiones de toque y de paso **NO SUPERAN** los valores de tensiones de toque y de paso máximas admisibles según la IEEE Std. 80 "*Guide for Safety in Substation Grounding*". También observamos que dichos valores medidos son muy bajos comparándolos con las tensiones máximas admisibles. Esto se debe a las características del terreno, las cuales son muy parecidas a las de un terreno de cultivo (resistividad = 9,75 ohm-m).

### Comparación de los valores obtenidos por medición directa

La comparación entre los valores de tensiones de toque y de paso obtenidos por medición directa contra las tensiones máximas admisibles se muestra a continuación:

Datos obtenidos el día 30-09-2003 según la TABLA N° 4.2:

Item	I eq(A)	V p1(V)	V p2(V)	V t(V)
1	22	1,10	1,34	3,76
2	30	1,52	1,85	5,17
3	35	1,82	<b>2,23 &lt; 70.89 V</b>	<b>6,14 &lt; 67.95 V</b>

Datos obtenidos el día 07-10-2003 según la TABLA N° 4.3:

Item	I eq(A)	V p1(V)	V p2(V)	V t(V)
1	04	0,18	0,14	0,86
2	20	1,29	1,09	5,44
3	48	2,83	2,44	10,76
4	70	4,30	3,67 < 70.89 V    14,03 < 67.95 V	

De aquí se deduce que, como las tensiones de toque y de paso son muy bajas comparadas con las tensiones máximas admisibles, las corrientes de falla son evacuadas y dispersas de manera efectiva. Por lo tanto, las tensiones de toque y de paso producidas por la corriente de falla no son peligrosas para las personas.

#### Comparación de los valores obtenidos de manera indirecta

A continuación se compara los valores de las tensiones de toque y de paso obtenidos de manera indirecta (ANEXO E) el día 07-10-2003 contra los respectivos valores de tensiones de toque y de paso admisibles según la IEEE Std 80-2000:

Medición	R <sub>p</sub> (Ω)	R <sub>t</sub> (Ω)	V <sub>paso</sub> (V)	V <sub>toque</sub> (V)
1	0,17	1,37	6.17	49.72
2	0,16	1,54	5.81	55.89
3	0,11	1,65	3.99	59.88
4	0,05	1,74	1.81 < 70.89 V    63.15 < 67.95 V	

Como se puede observar, estos resultados corroboran que, incluso utilizando las respectivas fórmulas de la IEEE 80-2000 que incluyen la corriente de cortocircuito, las tensiones de toque y de paso calculadas siguen siendo menores a los valores máximos admisibles por el cuerpo humano.

#### Importante:

Puede consultarse la IEC479-I para ver el efecto de la corriente en las personas [12].

## CONCLUSIONES

1. El procedimiento establecido para atender una observación del ente Regulador, solo es aplicable a las medidas de las Tensiones de Toque y de Paso en Alimentadores de Baja Tensión con Cables Autoportados aéreos en postes de concreto y fierro.
2. Para determinar el procedimiento se tomó como información de base los Estándares Internacionales del rubro, las Normas, y el Reglamento nacional vigente, dado que se trata de un procedimiento no convencional (por tratarse de baja tensión) que permite realizar dichas medidas.
3. Algunos pasos establecidos para el desarrollo del procedimiento, aparte los criterios de principio eléctrico, han sido descritos o recomendados en base a la experiencia de campo y a las instrucciones de los manuales de equipos de medición.
4. Para la Medida de los Potenciales de Toque y de Paso en instalaciones eléctricas, se hace necesario contar con una recomendación oficial (dado por la empresa eléctrica) que estandarice los parámetros de placa de un equipo o las características de un sistema aplicable.
5. Como se observa, en el presente trabajo se determinaron las tensiones de toque y de paso de tres maneras:

Mediante medición directa, inyectando la corriente de medidas al inicio del cable autoportado (SAB 2787) y midiendo las tensiones de toque y de paso al final de dicho cable (según el FORMATO N° 03).

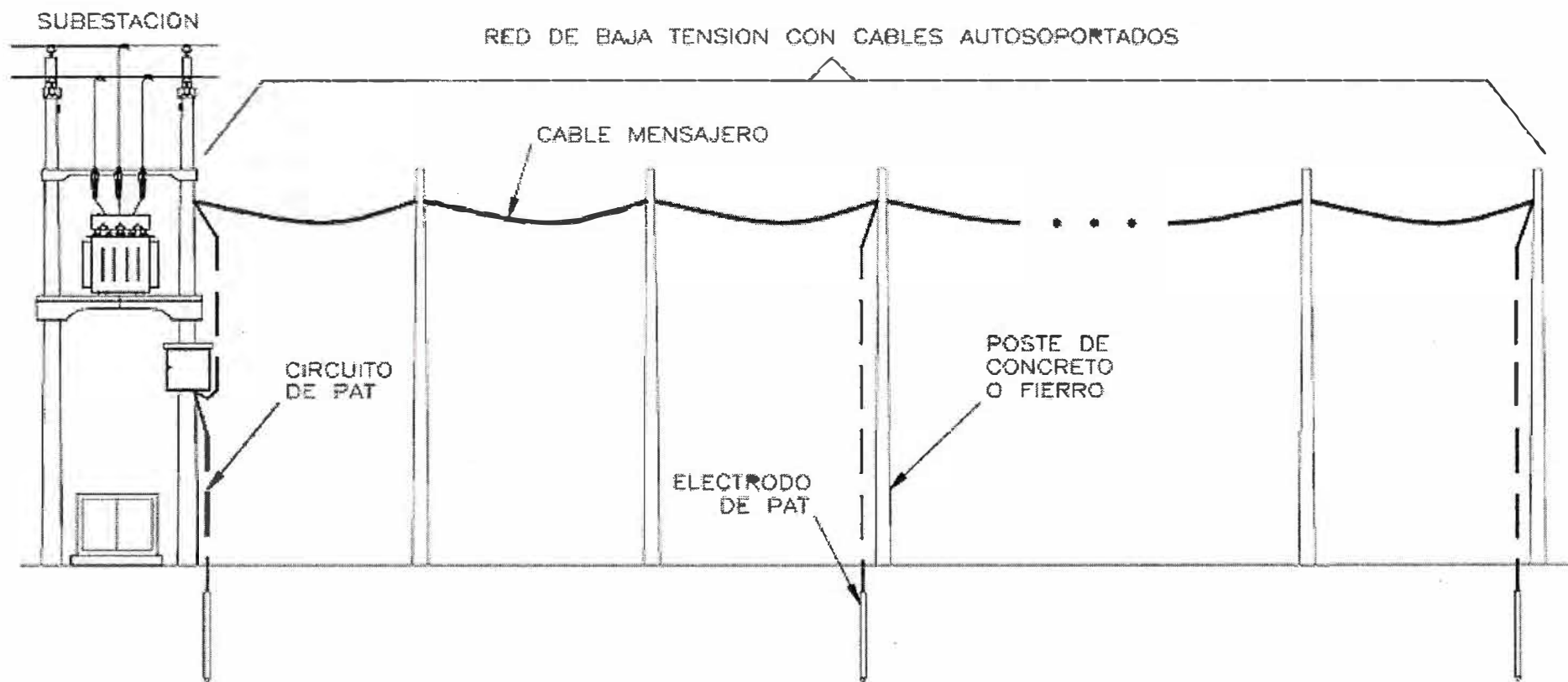
Mediante medición indirecta, utilizando la resistencia equivalente del suelo, la corriente de cortocircuito, la tensión de fase y las resistencias medidas (ver ANEXO E).

Mediante las fórmulas de las tensiones máximas admisibles por el cuerpo humano según las recomendaciones de la IEEE 80-2000, utilizando la Resistividad del suelo (ver ANEXO C).

6. Si las mediciones se efectúan en un terreno de tipo agrícola, se recomienda efectuar mediciones similares en otro tipo de terreno de mayor Resistividad en la zona de concesión de la Distribuidora.
7. Tal como se hizo en este trabajo, el análisis para determinar si las Tensiones de Toque y de Paso obtenidas con las medidas son peligrosas, dichos valores deben compararse con los de las Tensiones máximas admisibles de Toque y de Paso tal como se hizo en la sección c. del numeral 4.3.6.
8. En la aplicación del procedimiento que se ha tomado como ejemplo se comprobó que los valores de las Tensiones de Toque y de Paso medidas directamente en el Alimentador de 300 metros en Lurín no eran peligrosas para las personas.
9. En particular, para dicho Alimentador de Lurín, es de observarse que la tensión de toque de 63.15 V (que es determinada con la corriente de falla a Tierra) llega a un valor cercano al admisible (67.95 V).
10. Un aporte importante de este trabajo es que muestra de modo muy explícito lo que se necesita (características del circuito de prueba, materiales a utilizar, equipos de medición, curvas para analizar, etc.) y la manera (pasos para la medición, interpretación de resultados, etc.) de efectuar la medición de la Tensión de Toque y de Paso en el circuito con cable autoportado. También incluye algunos modelos de formatos, los cuales han sido elaborados para registrar todos los parámetros que se necesitan durante las diversas mediciones que se efectúan.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**ESQUEMA DEL CIRCUITO DE PRUEBA CON POSTES DE CONCRETO O FIERRO**  
**PARA EFECTUAR LA MEDICION DE LAS TENSIONES DE PASO Y DE TOQUE**



## ANEXO B

## FORMATOS A EMPLEAR EN LAS MEDICIONES DE CAMPO

## FORMATO N°01

## MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

(Método de Wenner)

## a) Datos generales:

Pág. de

- Fecha	<input type="text" value="/ /"/>	- Hora	<input type="text"/>
- Subestación	<input type="text"/>	- Circuito	<input type="text"/>
- Long. del tramo	<input type="text" value="metros"/>	- # Postes	<input type="text"/>
- Ubicación	<input type="text"/>		
- Empresa	<input type="text"/>		

## b) Condiciones del suelo:

- Muy húmedo

- Húmedo

- Normal

- Seco

## c) Condiciones climatológicas:

- Temp. Ambiente aprox.

- Humedad Relativa

- Presencia de Lluvia

## d) Mediciones:

a (m)	R (ohms)	$\rho=2\pi aR$ (ohms)	Anotaciones sobre la medición
2			
4			
8			
16			
32			
64			

## e) Observaciones adicionales:


\_\_\_\_\_  
Firma del  
Responsable

\_\_\_\_\_  
Firma del Responsable  
Empresa de Servicio



**FORMATO N°02**  
**MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA**  
**(Método de Caída de Potencial)**

**a) Datos generales:**

- Fecha <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text" value="/ /"/> - Subestación <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/> - Long. del tramo <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text" value=" metros"/> - Ubicación <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/> - Empresa <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	<i>Pág. de</i> - Hora <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/> - Circuito <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/> - # Postes <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>
--	---

**b) Condiciones del suelo:**

- Muy húmedo   
 - Húmedo   
 - Normal   
 - Seco

**c) Condiciones climatológicas:**

- Temp. Ambiente aprox.   
 - Humedad Relativa   
 - Presencia de Lluvia

**d) Mediciones:**

a (m)	R (ohms)	Anotaciones sobre la medición

**e) Observaciones adicionales:**


\_\_\_\_\_  
 Firma del  
 Responsable

\_\_\_\_\_  
 Firma del Responsable  
 Empresa de Servicio

**FORMATO N°03**  
**MEDICION DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO**

**a) Datos generales:**

Pág. de

- Fecha	/ /	- Hora	
- Subestación		- Circuito	
- Long. Circuito	metros	- # Postes	
- Ubicación			
- Empresa			

**b) Condiciones del suelo:**

- Muy húmedo
- Húmedo
- Normal
- Seco

**c) Condiciones climatológicas:**

- Temperatura Ambiente  °C
- Humedad Relativa  %
- Presencia de Lluvia  Si ( )  No ( )

**d) Mediciones:**

Medición N°	A (amperes)	Vp1 (volts)	Vp2 (volts)	Vt (volts)	

**e) Observaciones adicionales:**


\_\_\_\_\_  
Firma del Responsable

\_\_\_\_\_  
Firma del Responsable  
Empresa de Servicio

## ANEXO C

### FÓRMULAS PARA CALCULAR LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO MÁXIMAS ADMISIBLES

Según las fórmulas teóricas establecidas en la IEEE Std. 80 "Guide for Safety in Substation Grounding" [3], las tensiones de toque y de paso obtenidos a partir de los valores de resistividad del suelo y resistencia de puesta a tierra son expresados a continuación:

#### Resistencia admisible del cuerpo humano ( $R_k$ )

Al aplicarse corriente alterna entre dos partes cualesquiera del cuerpo humano. En intervalos de 3 segundos las normas asignan un parámetro promedio de  $R_k = 1\ 000\ \text{Ohm}$ .

#### Corrientes instantáneas admisibles ( $I_k$ )

Mediante experimentos de laboratorio se deduce que la corriente estacionaria máxima para una persona  $I_k = 0,05$  Amperes, aplicable durante un máximo de 3 segundos. Según C. F. Dalziel existe relación termodinámica entre la energía absorbida y la intensidad de la corriente admisible ( $I_k$ ) en un tiempo finito ( $t$ ) en segundos.

$$I_k^2 \times t = 0,0135 \quad (\text{A.1})$$

De donde :

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \text{ Amperes} \quad (\text{A.2})$$

#### Tensiones admisibles ( $V_k$ )

Sabiendo la resistencia del hombre  $1\ 000\ \text{Ohm}$  y la corriente estacionaria admisible de  $50\ \text{mA}$ , obtenemos la tensión admisible:

Item	Aplicación	$V_k$
1	Temporales en seco inferiores a 3 segundos	50 V
2	Temporales bajo humedad superficial	24 V

**Tensiones instantáneas admisibles de paso [Referencia: Fig. 2.3 y fórmula (2.9)]**

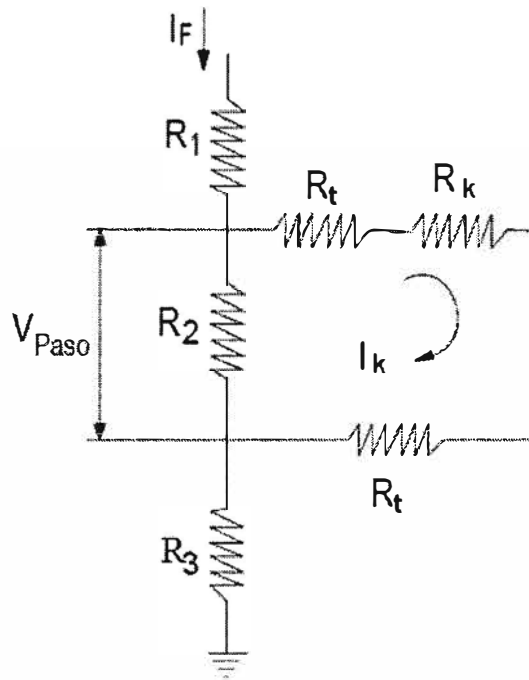


Fig. A.1 Tensión de paso producida en el suelo

Se tiene:

$$V_p = (R_k + 2R_t) \times I_k \text{ Voltios} \quad (\text{A.3})$$

Donde:

$R_k$  : Resistencia del cuerpo en valor medio (1 000 Ohm)

$R_t$  : Resistencia de contacto del pie casi igual a  $3\rho$  (según IEEE Std. 80).

$\rho$  : Resistividad del suelo (Ohm-m)

Reemplazando:

$$V_p = \frac{(1000 + 6\rho)}{\sqrt{t}} \times 0,116 \text{ Voltios} \quad (\text{A.4})$$

**Tensiones admisibles de toque [Fig. 2.1 y ecuación (2.7)]**

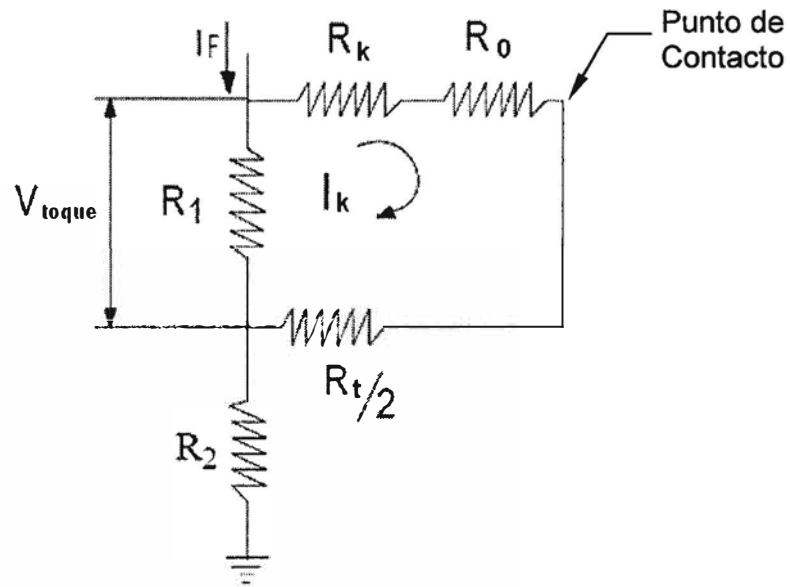


Fig. A.2 Tensión de toque producida al tocar una estructura

Se tiene:

$$V_t = \left( R_0 + R_k + \frac{R_t}{2} \right) \times I_k \quad (\text{A.5})$$

Donde:

$R_0$  : Resistencia de contacto de una mano = 0

$R_k$  : Resistencia del cuerpo en valor medio (1 000 Ohm)

$R_t$  : Resistencia de contacto del pie aproximadamente igual a  $3\rho$

$\rho$  : Resistividad del suelo (Ohm-m)

Reemplazando:

$$V_t = \frac{(1000 + 1,5\rho \times 0,116)}{\sqrt{t}} \text{ Voltios} \quad (\text{A.6})$$

Por lo tanto, los cálculos de las tensiones de paso y de toque máximas soportables por el cuerpo humano deberán calcularse de acuerdo a lo establecido en la norma IEEE Std. 80–2000 "Guide for Safety in Substation Grounding", según las ecuaciones (A.4) y (A.6):

$$V_{\text{paso}} = \frac{116 + 0,696\rho s}{\sqrt{t}} \quad (\text{A.7})$$

$$V_{\text{toque}} = \frac{116 + 0,174\rho s}{\sqrt{t}} \quad (\text{A.8})$$

Donde:

$\rho^s$  : Resistividad, medida en el numeral 3.5;

$t$  : es el tiempo de actuación del dispositivo de protección, que deberá estar entre 0,03 s e 3,0 s. Para efectos de cálculo se considerará el máximo tiempo, 3,0 s.

$$I_{cc} = \frac{V_{ft}}{R_{at}} \quad (A.9)$$

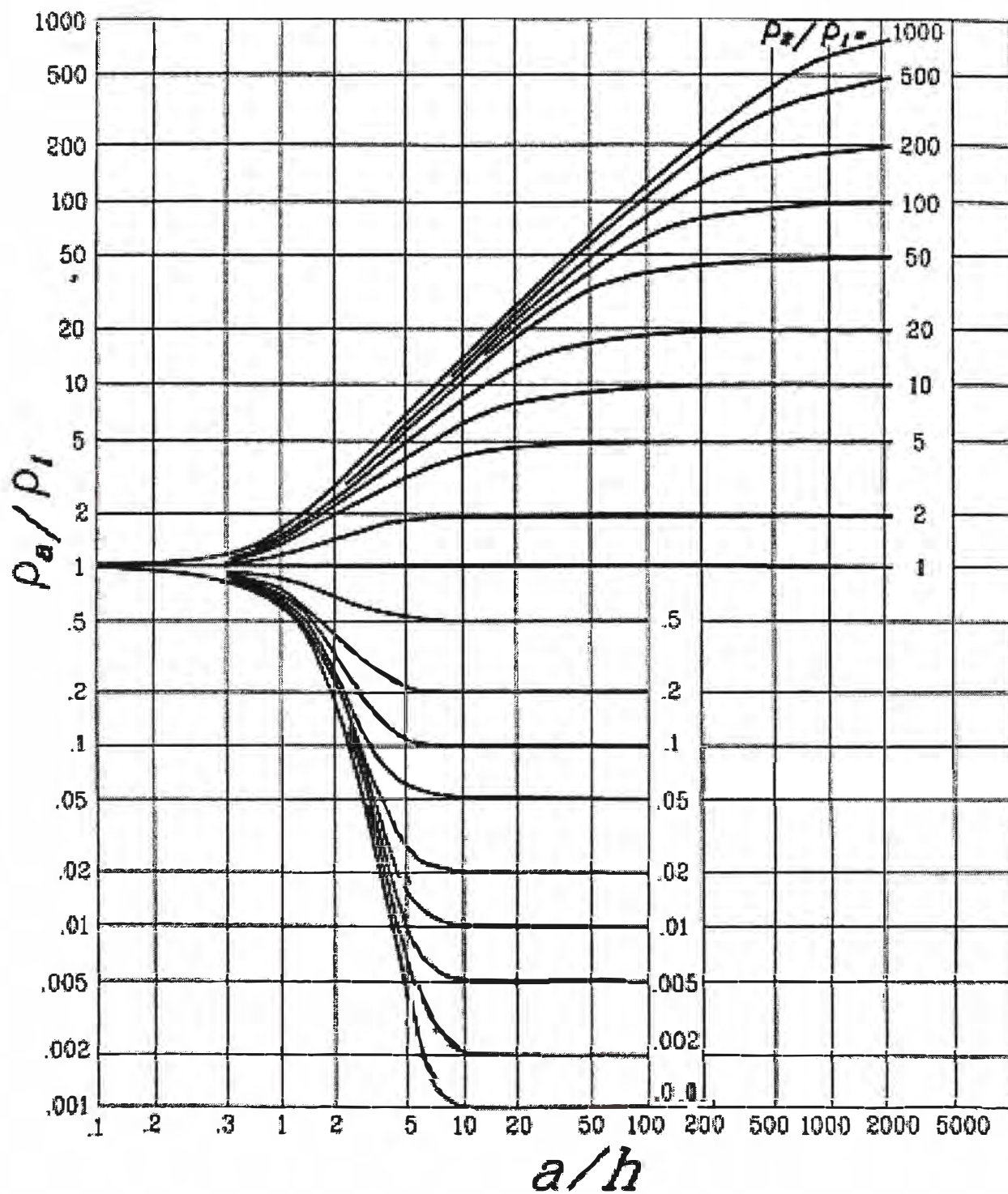
Donde:

$V_{ft}$  : Tensión fase-tierra del sistema;

$R_{at}$  : Resistencia de puesta a tierra, medida en el numeral 3.7;

## ANEXO D

CURVAS PARA DETERMINAR LA RESISTIVIDAD DEL SUELO (pág. 59 de [3])



## ANEXO E

### MEDICIONES EFECTUADAS CON TELUROMETRO DE CUATRO BORNES PARA LA OBTENCION DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO DE MANERA INDIRECTA

Los valores de las tensiones de paso y de toque máximas admisibles por el cuerpo humano son calculados de acuerdo a lo establecido en la norma IEEE Std. 80–2000 "Guide for Safety in Substation Grounding". Las respectivas ecuaciones han sido deducidas en las ecuaciones (A.7) y (A.8) del ANEXO C:

$$V_{\text{paso}} = \frac{116 + 0,696 \times \rho_s}{\sqrt{t}} \quad (\text{B.1})$$

$$V_{\text{toque}} = \frac{116 + 0,174 \times \rho_s}{\sqrt{t}} \quad (\text{B.2})$$

Siendo:

$\rho_s$  : Resistividad del suelo = 9,75 ohm-metro

t : Tiempo de actuación del dispositivo de protección, que deberá estar entre 0,03s a 3,0 seg. Para efectos de cálculo se considerará el máximo tiempo, 3,0 s.

Evaluando las ecuaciones (1) y (2), obtenemos:

$$V_{\text{paso}} = 70.89 \text{ V} \quad \text{máxima admisible}$$

$$V_{\text{toque}} = 67.95 \text{ V} \quad \text{máxima admisible}$$

Por otro lado, se tiene en (A.9):

$$I_{cc} = \frac{V_{ft}}{R_{at}} \quad (\text{B.3})$$

Siendo:

$V_{ft}$  : Tensión fase-tierra del sistema =  $220/1.732$  Voltios = 127.02 Voltios;

$R_{at}$  : Resistencia de puesta a tierra medida = 3.5 Ohm (valor promedio aprox.).

Evaluando la ecuación (B.3), obtenemos:

$$I_{cc} = 36 \text{ Amperes}$$



Entonces podemos calcular las tensiones de paso y de toque relativas a la corriente de cortocircuito.

**Tensión de paso:**

$$V_{\text{paso}} = (R_p)(I_{\text{ccft}}) \quad (\text{B.4})$$

**Tensión de toque:**

$$V_{\text{toque}} = (R_t)(I_{\text{ccft}}) \quad (\text{B.5})$$

Siendo:

$R_p$  : Resistencia medida en campo para determinar la tensión de paso (ver la sección b. del numeral 3.8.2)

$R_t$  : Resistencia medida en campo para determinar la tensión de toque (ver la sección c. del numeral 3.8.2);

$I_{\text{ccft}}$  : Corriente de corto-circuito calculada según la ecuación (B.3);

En el siguiente resumen se muestran los valores de resistencia obtenidos de mediciones en campo el día 07-10-2003 y los respectivos valores de tensiones de toque y de paso obtenidos por medio de las ecuaciones (B.4) y (B.5):

Medición	$R_p(\Omega)$	$R_t(\Omega)$	$V_{\text{paso}} (\text{V})$	$V_{\text{toque}} (\text{V})$
1	0,17	1,37	6.17	49.72
2	0,16	1,54	5.81	55.89
3	0,11	1,65	3.99	59.88
4	0,05	1,74	<b>1.81</b>	<b>63.15</b>
			<b>&lt; 70.89 V</b>	<b>&lt; 67.95 V</b>

Observamos que los valores de las tensiones obtenidas considerando la corriente de cortocircuito son inferiores a los valores admisibles por el cuerpo humano calculados con las ecuaciones B.1 (70.89 V) y B.2 (67.95 V). Por lo tanto el circuito de prueba sometido a ensayo cumple con los requerimientos de una red de baja tensión para controlar los valores de las tensiones de toque y de paso.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Dirección General de Electricidad del MEM, "Manual de Interpretación del Código Nacional de Electricidad - Suministro 2001", Ministerio de Energía y Minas – Perú, 2002.
- [2] IEEE Standards Project Editors, "IEEE 100-2000 The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms – Seventh Edition", Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000.
- [3] Substations Committee of The IEEE Power Engineering Society, "IEEE Std 80-2000: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", Institute of Electrical and Electronics Engineers, January 2000.
- [4] Power System Instrumentation and Measurements Committee Of The IEEE Power Engineering Society, "ANSI/IEEE Std 81-1983: Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", Institute of Electrical and Electronics Engineers, September 1984.
- [5] Justo Yanque, "Técnicas de Alta Tensión – Noveno Programa de Titulación Profesional por Actualización de Conocimientos en Ingeniería Eléctrica", Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.
- [6] Dirección General de Electricidad del MEM, "Código Nacional de Electricidad Suministro 2001", Ministerio de Energía y Minas – Perú, 2002.
- [7] IEEE Power Engineering Society, "IEEE 1048: Guide for Protective Grounding of Power Lines", Institute of Electrical and Electronics Engineers, September 2003.
- [8] IEEE Power Systems Communications Committee of the IEEE Power Engineering Society and the Transmission and Access Systems Committee of the IEEE Communications Society, "IEEE 367: Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage From a Power Fault", Institute of Electrical and Electronics Engineers, September 1996.
- [9] Ministerio de Ciencia y Tecnología - Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión 2002, "ITC-BT-08: Sistemas de Conexión del Neutro y de las Masas en Redes de Distribución de energía Eléctrica", España, Septiembre 2002.

- [10] Ministerio de Ciencia y Tecnología - Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión 2002, "ITC-BT-24: Protección Contra los Contactos Directos e Indirectos", España, Septiembre 2002.
- [11] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI, "Norma Técnica Peruana NTP 370.056: SEGURIDAD ELÉCTRICA. Electrodo de Cobre para Puesta a Tierra", Noviembre 1999.
- [12] IEC Technical Committee 64 - Electrical Installations of Buildings, "IEC 479-1: Effects of Current on Human Beings and Livestock", Internacional Electrotechnical Commission, Septiembre 1994.