

**NORMA
ARGENTINA**

**IRAM
2281-2***

Tercera edición
2002-04-05

Puesta a tierra de sistemas eléctricos

Guía de mediciones de magnitudes de
puesta a tierra (resistencias, resistividades
y gradientes)

Earthing (grounding) of electrical systems
Guide to measures of earthing magnitudes
(resistances, resistivities and gradients)

* Corresponde a la revisión de la norma IRAM 2281-2:1986.



Referencia Numérica:
IRAM 2281-2:2002

IRAM 2002-04-05

No está permitida la reproducción de ninguna de las partes de esta publicación por cualquier medio, incluyendo fotocopiado y microfilmación, sin permiso escrito del IRAM.

Prefacio

El Instituto Argentino de Normalización (IRAM) es una asociación civil sin fines de lucro cuyas finalidades específicas, en su carácter de Organismo Argentino de Normalización, son establecer normas técnicas, sin limitaciones en los ámbitos que abarquen, además de propender al conocimiento y la aplicación de la normalización como base de la calidad, promoviendo las actividades de certificación de productos y de sistemas de la calidad en las empresas para brindar seguridad al consumidor.

IRAM es el representante de la Argentina en la International Organization for Standardization (ISO), en la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y en la Asociación MERCOSUR de Normalización (AMN).

Esta norma IRAM es el fruto del consenso técnico entre los diversos sectores involucrados, los que a través de sus representantes han intervenido en los Organismos de Estudio de Normas correspondientes.

Esta edición anula y reemplaza a la edición de diciembre de 1986.

Índice

	Página
INTRODUCCIÓN	5
1 OBJETO	5
2 NORMAS PARA CONSULTA	5
3 ALCANCE.....	5
4 DEFINICIONES.....	6
5 CONDICIONES GENERALES.....	6
6 MÉTODOS DE ENSAYO	9
Anexo A (Informativo) Aplicación del Método de Wenner	22
Anexo B (Informativo) Modelo IRAM de presentación de informes de mediciones de puesta a tierra	27
Anexo C (Informativo) Bibliografía	29
Anexo D (Informativo) Integrantes de los organismos de estudio	30

Puesta a tierra de sistemas eléctricos

Guía de mediciones de magnitudes de puesta a tierra (resistencias, resistividades y gradientes)

INTRODUCCIÓN

La Comisión de Procedimientos para Puesta a Tierra realizó la revisión de la presente norma a los efectos de poder contar con un documento que asista al técnico o al ingeniero, para obtener información precisa, por medio de mediciones, para la elaboración del estudio de los sistemas de puesta a tierra.

1 OBJETO

Describir las técnicas de medición de la resistencia de dispersión a tierra, la resistividad del suelo y los gradientes de potencial resultantes de corrientes dispersadas por el suelo. La guía pretende asistir al ingeniero y al técnico a fin de obtener información precisa, pero no en su interpretación técnica. Indica procedimientos de ensayo que propenden a la seguridad personal, de los bienes y a la prevención de eventuales interferencias en las instalaciones próximas al lugar de las mediciones.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos normativos siguientes contienen disposiciones, las cuales, mediante su cita en el texto, se transforman en prescripciones válidas para la presente norma IRAM. Las ediciones indicadas son las vigentes en el momento de su publicación. Todo documento es susceptible de ser revisado y las partes que realicen acuerdos basados en esta norma se deben esforzar para buscar la posibilidad de aplicar sus ediciones más recientes.

Los organismos internacionales de normalización y el IRAM, mantienen registros actualizados de sus normas.

IRAM 2045:1947 - Pulsadores de contacto accidental.

IRAM 2281-1:1996 - Puesta a tierra de sistemas eléctricos. Consideraciones generales. Código de práctica.

IRAM 2281-3:1996 - Puesta a tierra de sistemas eléctricos. Instalaciones industriales y domiciliarias (inmuebles) y redes de baja tensión. Código de práctica.

IRAM 2281-4:1989 - Puesta a tierra. Sistemas eléctricos, subestaciones y redes. Código de práctica.

3 ALCANCE

Los métodos de ensayo que trata esta guía son:

- a) la medición de resistencias de dispersión a tierra, desde electrodos pequeños hasta importantes sistemas de puesta a tierra por ejemplo los de centrales, subestaciones y redes;
- b) la medición de las resistividades del suelo;
- c) los estudios de potenciales de tierra, incluyendo las mediciones de las tensiones del paso y de contacto y los estudios de potenciales de contornos de las instalaciones eléctricas.

4 DEFINICIONES

Estas definiciones complementan los capítulos de definiciones de las IRAM 2281-1,3,4 y 5.

4.1 resistencia mutua de electrodos de puesta a tierra. Es numéricamente igual a la diferencia de potencial entre uno de ellos y la tierra de referencia (o suelo eléctricamente neutro), cuando se hace circular un amper de corriente de medición por el otro electrodo.

NOTA: Cuando dos electrodos son eléctricamente independientes entre sí su resistencia mutua vale cero.

4.2 acoplamiento. Disposición de dos o más circuitos (o sistemas) de manera tal que se pueda transferir potencia eléctrica de uno a otro.

4.2.1 acoplamiento capacitivo. El debido a la capacitancia mutua.

4.2.2 acoplamiento resistivo. El debido a la resistencia mutua.

4.2.3 acoplamiento inductivo

- a) En circuitos de comunicaciones: es el debido a la inductancia mutua de los circuitos;
- b) En la práctica de la coordinación inductiva, el acoplamiento inductivo es la influencia de circuitos eléctricos de potencia que están próximos a circuitos de comunicaciones, de mediciones, etc., mediante inducción eléctrica o magnética o ambas.

4.2.4 acoplamiento directo. La asociación de dos ó más circuitos por medio de la inductancia, la capacitancia, la resistencia o una combinación de ellas, que es común a los circuitos.

5 CONDICIONES GENERALES

5.1 Valor calculado teórico de la resistencia de dispersión a tierra

5.1.1 El valor calculado o teórico de la resistencia de un electrodo con respecto a la tierra de

referencia, puede variar considerablemente del valor que se mide debido a los factores siguientes:

- a) condiciones del suelo en el momento en que se efectúa la medición;
- b) valor de la resistividad adoptado para el cálculo, según la amplitud del estudio realizado, por ejemplo: número y dispersión de ensayos, distancia entre sondas, etc.;
- c) superficie, configuración y estado (físico y químico) de los electrodos enterrados;
- d) efecto de los conductores enterrados en las adyacencias.

5.1.2 Es aconsejable efectuar las mediciones de las resistividades y de las resistencias en condiciones climáticas similares, con el fin de disminuir la causa de error al establecer la relación entre la resistividad del suelo y la resistencia de dispersión a tierra.

5.1.3 En lugares donde la resistividad varía con la distancia entre sondas (y en consecuencia con la profundidad) la resistencia de dispersión de un electrodo enterrado, medida en la vecindad del lugar, generalmente podrá correlacionarse mejor con los valores de la resistividad a niveles más profundos que con los valores medidos próximos a la superficie. Por esta razón, los estudios de resistividad para centrales, subestaciones, redes, etc., se deben efectuar con distancias entre sondas comenzando desde 0,5 m hasta 15 m o más, según la extensión de dichas redes de puesta a tierra.

5.2 Precauciones de seguridad durante las mediciones

5.2.1 Mediciones en centrales, subestaciones y redes eléctricas (de transmisión y/o de distribución)

5.2.1.1 Todo el personal interviniente en las mediciones debe saber que pueden presentarse tensiones peligrosas entre el electrodo a medir y la tierra de referencia, si en el momento de la medición ocurre una falla o un cortocircuito a tierra en la red eléctrica próxima al electrodo.

5.2.1.2 Uno de los objetos de las mediciones de puesta a tierra es establecer la posición de la tierra de referencia para ambos electrodos, de corriente y de potencial. Los conductores de estos electrodos deben ser considerados por el personal como si estuvieran con tensión contra tierra, como así también cualquier otro punto de la instalación de puesta a tierra de la central, la subestación o la red.

Los conceptos precedentes apuntan a la necesidad de precaución cuando se manipulan los conductores de medición. En ninguna circunstancia se debe permitir que ambas manos desnudas (u otras partes del cuerpo) cierren el circuito entre puntos que puedan presentar diferencias de potencial peligrosas. Esta posibilidad no debe descartarse, si bien es cierto que son muy poco probables las fallas o cortocircuitos a tierra durante las mediciones.

5.2.1.3 Se recomienda el empleo de guantes, calzado y otros elementos aislantes normalizados. Su uso estará reglamentado por la autoridad competente en seguridad eléctrica.

5.2.1.4 No se deben realizar mediciones cuando se avisten en el horizonte o se presenten en el lugar nubes de tormenta.

5.2.2 Mediciones de puestas a tierra de descargadores de sobretensiones

5.2.2.1 Estas puestas a tierra se consideran en una categoría especial debido a la duración extremadamente corta de las corrientes derivadas a tierra a través de los descargadores de sobretensión. Estas corrientes pueden exceder los 50000 A de cresta con la posibilidad de la afluencia de corrientes de cortocircuito en el caso de descargadores defectuosos.

5.2.2.2 Las tomas de tierra de los descargadores de sobretensión *nunca* se deben medir con los descargadores en servicio, debido a la posibilidad de un elevado gradiente de potencial alrededor de su toma a tierra.

5.2.3 Medición de tomas de tierra poco extensas y eléctricamente independientes

5.2.3.1 Si por la toma de tierra a medir se puede asegurar que no circulen corrientes a tierra aje-

nas al equipo de medición, solamente es necesario tomar precauciones por la presencia de gradientes de tensión alrededor de los electrodos y de las sondas de medición.

5.2.3.2 Si la corriente de medición atraviesa un electrodo alejado (como en el método de la caída de tensión), es necesario prevenir que no haya personas que puedan aproximarse al electrodo de corriente durante la medición. Además, en áreas rurales, se debe evitar que el ganado permanezca cerca de los electrodos de corriente durante la medición.

5.3 Consideraciones generales sobre las mediciones

5.3.1 Dificultades

5.3.1.1 En las mediciones de resistencia de dispersión a tierra y de gradientes de potencial, aparecen numerosas dificultades que no se encuentran en otras mediciones de resistencias y de potenciales.

5.3.1.2 Puede ser necesario hacer múltiples mediciones y graficar tendencias. Pueden interferir en las mediciones las corrientes vagabundas y otros factores.

5.3.1.3 Con el desarrollo y el crecimiento de industrias adyacentes a centrales, subestaciones y redes, se torna cada vez más dificultoso elegir una adecuada dirección o ubicación para los electrodos y las sondas de medición de resistencia. Más aún, la conexión a tierra de hilos de guardia, caños de agua, envolturas metálicas de cables, etc., tienen el efecto físico de distorsionar y "extender" la red de puesta a tierra de centrales, subestaciones y otras instalaciones eléctricas.

5.3.1.4 En la medición de la instalación de puesta a tierra de una central, subestación o red, es conveniente dejar asentar el terreno durante un año después de la construcción para asegurar una buena compactación del suelo, y así lograr una mayor exactitud que las obtenidas durante las primeras mediciones en dicha instalación.

5.3.1.5 Para tener la certeza de que no se han omitido conexiones a tierra de aparatos, equipos,

etc., que normalmente deben estar conectados a la red de tierra y que dichas conexiones han sido realizadas en forma correcta, se debe:

- a) medir la resistencia de dispersión a tierra desde cada aparato o equipo, inmediatamente después de que ha sido construida la instalación de puesta a tierra, manteniendo fijos los puntos de referencia del método de medición utilizado.
- b) medir o verificar la continuidad eléctrica desde cada aparato o equipo hasta su punto de conexión a la red de puesta a tierra.

NOTA: La verificación indicada en b) se realiza particularmente en instalaciones industriales, comerciales o domiciliarias de baja potencia (por ejemplo: menores que 50 kW) para evitar que, si se realiza la medición indicada en a) se lean valores erróneos de la resistencia de la toma de tierra, cuando existan conexiones a tierra de electrodos dispersores naturales ajenos a la instalación de puesta a tierra.

5.3.2 Corrientes continuas vagabundas

La conducción eléctrica en los suelos es electro-lítica, y el flujo de corriente continua resulta de la acción química y de las diferencias de potenciales debidas a la polarización. Los potenciales (ff.ee.mm.) de corriente continua se producen por acción galvánica entre distintos tipos de suelos y entre los suelos y los metales.

Los potenciales galvánicos, la polarización y las eventuales corrientes continuas vagabundas, pueden interferir seriamente en las mediciones realizadas con corriente continua. Por lo tanto, para efectuar las mediciones se emplea una corriente continua periódicamente invertida. Sin embargo, cuando se emplea corriente continua periódicamente invertida, para mediciones de resistencia, los resultados serán bastante concordantes, pero ellos pueden no ser válidos para algunas aplicaciones de corriente alterna.

Cuando una corriente alterna de determinada frecuencia se emplea para mediciones de resistencia de puesta a tierra, los resultados pueden no ser aplicables para otras frecuencias.

5.3.3 Corrientes alternas vagabundas

5.3.3.1 Las corrientes alternas vagabundas en el suelo, presentan una complicación adicional en los sistemas de puesta a tierra que se miden, incluso en los electrodos y las sondas de ensayo. Los efectos de las corrientes alternas vagabundas pueden ser atenuados, en las mediciones de resistencia de dispersión a tierra, mediante la utilización de una frecuencia que no coincida con ninguna de las frecuencias de esas corrientes vagabundas. La mayoría de los aparatos de medición emplean frecuencias comprendidas entre los 50 Hz y 1500 Hz. El efecto de las tensiones resultantes que provienen de las corrientes alternas vagabundas también se puede atenuar, si ellas son razonablemente permanentes, mediante el equilibrio de tales tensiones en el aparato de medición con una tensión de igual módulo y fase opuesta.

5.3.3.2 En algunos casos las mediciones simultáneas de las corrientes vagabundas y de sus tensiones resultantes proporcionan una indicación útil en la medición de la resistencia de dispersión a tierra.

5.3.4 Componente reactiva de la impedancia de una red de puesta a tierra extensa

5.3.4.1 La impedancia de una red de puesta a tierra extensa puede tener una componente reactiva importante.

5.3.4.2 Por lo tanto, deben tomarse ciertas precauciones cuando se miden *impedancias* a 50 Hz (o a 60 Hz) en una red de puesta a tierra extensa. Para tales mediciones el instrumento debe trabajar aproximadamente a 50 Hz (o a 60 Hz), pero la frecuencia de medición debe ser ligeramente mayor o menor que 50 Hz (o que 60 Hz) para obtener resultados más confiables.

5.3.4.3 La mayoría de los instrumentos emplean para estas mediciones una corriente periódicamente invertida.

5.3.5 Debe tenerse en cuenta que pueden aparecer tensiones de contacto, del paso y otras tensiones espúreas peligrosas durante las tareas de preparación y durante las mediciones, inclusive en estado totalmente desconectado de la instalación eléctrica y de la de medición.

6 MÉTODOS DE ENSAYO

6.1 Métodos de medición de la resistividad de los suelos

6.1.1 Método de los dos puntos

6.1.1.1 Pueden efectuarse mediciones aproximadas de la resistividad de suelos inalterados (naturales) con el instrumento de medición de resistividad SHEPARD, y por métodos similares de dos puntos (ver ANSI-IEEE 81 Std 81:1983).

6.1.1.2 El aparato consiste en dos electrodos (uno de ellos más pequeño), ambos conectados a una pértiga aislante. Se conecta el borne positivo de una batería a través de un miliamperímetro al electrodo más pequeño, y el borne negativo al otro electrodo. El instrumento puede ser calibrado para leer directamente la resistividad a la tensión nominal de la batería.

6.1.1.3 Este aparato es fácilmente transportable. Con él pueden efectuarse numerosas mediciones rápidas en volúmenes reducidos de suelo, por ejemplo, en orificios efectuados en el suelo o en las paredes o en el fondo de excavaciones.

6.1.2 Método de los cuatro puntos (de Wenner)

6.1.2.1 El método de los cuatro puntos es el más seguro, en la práctica, para la medición de la resistividad promedio de extensos volúmenes de suelos inalterados (naturales).

6.1.2.2 Se hincan en el suelo cuatro electrodos cilíndricos, todos a la profundidad "b" y dispuestos en línea recta a distancias "a" entre ellos. Los cuatro electrodos se ubican simétricamente con respecto a un mismo punto o centro de referencia "O" al que corresponderán todos los valores de resistividad medidos.

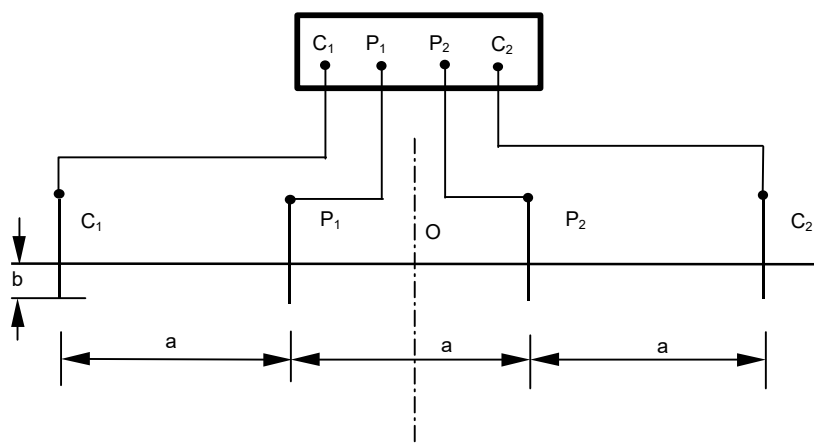


Figura 1 - Esquema de conexiones para el método de los cuatro puntos

6.1.2.3 Una corriente alterna de medición I pasa a través de los dos electrodos exteriores C_1 y C_2 y se mide la tensión U entre los dos electrodos interiores P_1 y P_2 , con un potenciómetro o con un voltímetro de alta impedancia; o bien con un telurímetro de cuatro bornes.

6.1.2.4 La relación $\frac{U}{I}$ da la resistencia R , en ohm, que reemplazada en la ecuación siguiente:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \text{ (ohm.m)}$$

da, aproximadamente, la resistividad promedio del suelo a una profundidad igual a la distancia "a" (m).

La profundidad *teórica* de hincado "b", debe ser:

$$b \leq 0,1 \cdot a$$

ó preferiblemente:

$$b \leq 0,05 \cdot a$$

NOTA: En la práctica debe asegurarse un buen contacto eléctrico entre los electrodos de medición y el suelo. De tal manera que se cumplan las condiciones de utilización práctica del instrumental de medición

6.1.2.5 Un conjunto de lecturas tomadas con diferentes distancias “a”, conservando el mismo centro de referencia “O”, permite construir un diagrama de resistividades en función de la profundidad, que conviene representar en papel doble logarítmico. Este diagrama, correctamente interpretado, indica si existen distintas capas de suelo o rocas, sus respectivas resistividades y la profundidad de la capa superior.

6.1.2.6 Es conveniente tomar las mediciones en dos direcciones perpendiculares para las mismas distancias “a” alrededor de “O”.

6.1.3 Muestras de suelos

6.1.3.1 La resistividad de las muestras de los suelos, se puede medir mediante el método de los cuatro puntos colocando la muestra en una caja prismática pequeña, de sección transversal cuadrada, disponiendo de cuatro (4) electrodos igualmente distanciados en línea recta. El largo de la caja debe ser función de la distancia central “a”.

6.1.3.2 La determinación de la resistividad del suelo a partir del valor de la resistencia medida de las caras opuestas de una muestra de suelo de dimensiones conocidas, es menos exacta que la obtenida por el método de cuatro puntos (6.1.3.1) debido a que las resistencias de contacto de la muestra de suelo y los dos electrodos de ensayo de la caja, quedan incluidos en el valor medido.

6.1.3.3 Es dificultoso y en algunos casos imposible, obtener una buena aproximación de la resistividad del suelo, partiendo de mediciones de la resistividad tomadas de muestras. Esto es debido a la dificultad de obtener en forma representativa, en las cajas de ensayo, muestras homogéneas con la compactación y el contenido de humedad originales del suelo a las profundidades de donde se extrajeron las muestras.

6.1.3.4 Éste método de medición debe ser cuidadosamente supervisado por personal idóneo desde el momento de la extracción de las muestras (ver norma IRAM de geomecánica de suelos).

Es conveniente realizar el trabajo de mediciones eléctricas conjuntamente con el estudio de mecánica de suelos.

6.2 Métodos de medición de la resistencia de dispersión a tierra o de puesta a tierra

6.2.1 Generalidades

6.2.1.1 La resistencia de dispersión a tierra de un electrodo siempre se determina con corriente alterna o bien con corriente continua periódicamente invertida, para evitar posibles efectos de polarización electroquímica.

6.2.1.2 La frecuencia de esta corriente alterna (f_g) no debe coincidir con la frecuencia industrial (f_1) ni con ninguna de sus armónicas. Puede estar dada por la fórmula siguiente:

$$f_g = \frac{2 \cdot n \pm 1}{2} \cdot f_1 \pm 10 \text{ [Hz]}$$

donde:

f_g es la frecuencia del generador del instrumento, en hertz;

f_1 es la frecuencia industrial (50 Hz ó 60 Hz);

n es un número entero positivo.

6.2.2 Método de los dos puntos

6.2.2.1 Con este método se miden la resistencia total de la toma de tierra desconocida y la de otra toma auxiliar. La resistencia de dispersión a tierra de la toma auxiliar se presume despreciable en comparación con la resistencia a tierra desconocida.

6.2.2.2 Este método está sujeto a grandes errores para medir pequeños valores de resistencia de dispersión a tierra, pero es muy útil y

adecuado en los ensayos “por sí o por no”, cuando ello es todo lo que se requiere.

6.2.3 Método de los tres puntos o de las tres resistencias

6.2.3.1 Este método requiere del uso de dos tomas de tierra auxiliares con sus resistencias de dispersión a tierra designadas con R_2 y R_3 . La resistencia a medir se designa con R_1 . Se miden las resistencias entre cada par de tomas de tierra que se designan con R_{12} , R_{13} y R_{23} , donde $R_{12} = R_1 + R_2$, etc.

6.2.3.2 Resolviendo las ecuaciones simultáneas resultan los tres valores siguientes:

$$R_1 = \frac{R_{12} + R_{13} - R_{23}}{2}$$

$$R_2 = \frac{R_{21} + R_{23} - R_{13}}{2}$$

$$R_3 = \frac{R_{31} + R_{32} - R_{12}}{2}$$

6.2.3.3 Si las dos tomas de tierra auxiliares (R_2 y R_3) son de mayor resistencia que la toma de tierra a medir (R_1), los errores en las mediciones individuales serán significativamente magnificados en el resultado final obtenido con la fórmula anterior. Para tales mediciones, los electrodos deben estar colocados a suficiente

distancia entre sí. En caso contrario pueden obtenerse resultados absurdos en los cálculos, tal como un valor nulo e incluso resistencias negativas.

6.2.3.4 En la medición de una resistencia de puesta a tierra de un electrodo único profundo (por ejemplo: jabalina, cañerías), las distancias entre los 3 electrodos de puesta a tierra (considerados de a pares) debe ser de 5 m como mínimo, siendo preferible una distancia de 10 m o mayor.

6.2.3.5 Para tomas de tierra de áreas extensas, las cuales presumiblemente son de resistencias pequeñas, las distancias entre electrodos deberán ser del orden de la dimensión mayor del área a medir, como mínimo (por ejemplo: la diagonal mayor en el caso de una figura geométrica regular).

6.2.3.6 Este método puede tornarse dificultoso para instalaciones de puesta a tierra de centrales, de subestaciones grandes y de redes extensas. En estos casos resulta preferible el método de caída de tensión.

6.2.3.7 Para evitar engorrosas correcciones al tener en cuenta las resistencias óhmicas de los cables de conexión, se recomienda utilizar telurímetros de 4 bornes conectados como óhmetros, utilizando los cuatro bornes como se muestra en la figura 2:

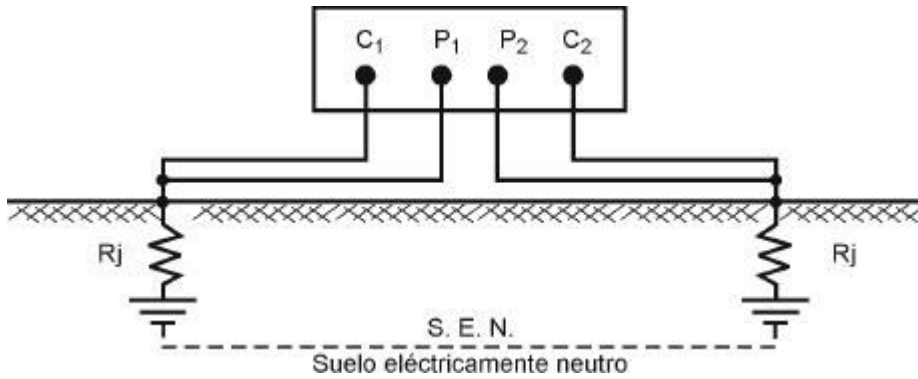


Figura 2 - Conexión utilizando un telurímetro de 4 bornes

NOTA: siendo

R_{ij}	R_{12}	R_{23}	R_{31}
R_i	R_1	R_2	R_3
R_j	R_2	R_3	R_1

6.2.4 Método de la caída de tensión

6.2.4.1 Este método tiene varias aplicaciones y es adecuado para todas las mediciones de resistencias de puesta a tierra. La resistencia de una red de puesta a tierra extensa puede tener una componente reactiva apreciable cuando la resistencia es menor que $0,5 \Omega$. Por lo tanto el valor medido con voltímetro y amperímetro es de "impedancia" y de este modo se debe considerar, no obstante que la terminología generalmente es de "resistencia de dispersión a tierra" porque los instrumentos de medición directa (telurímetros) miden resistencias puras.

NOTA: Se introduce el término "impedancia" para poner de relieve que la caída de tensión se mide con una corriente suministrada por una fuente de corriente alterna. Por lo tanto existe cierta componente reactiva debida a la inductancia del electrodo dispersor a medir y la de retorno de corriente por el suelo. Si bien su influencia comienza a hacerse notable para $R \leq 0,5 \Omega$, puede resultar crítica para valores de $R \leq 0,2 \Omega$, en cuyo caso puede ser necesaria la medición en dos frecuencias para discriminar las componentes activas y reactivas, no contempladas en esta norma ya que son motivo de investigaciones especiales.

6.2.4.2 El método consiste en hacer pasar una corriente por la toma de tierra a medir y un electrodo auxiliar de corriente (ver figura 3).

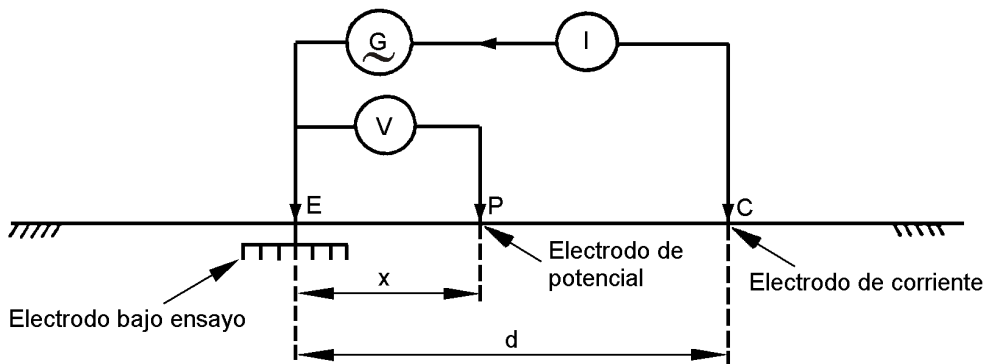


Figura 3 – Método de caída de potencial

6.2.4.3 Este electrodo auxiliar de corriente “C” debe estar fuera de la influencia de la toma de tierra a medir. Teóricamente la influencia se extiende al infinito pero, en la práctica, existe un límite porque ella varía inversamente con la distancia respecto de la toma de tierra a medir, según una ley exponencial. La caída de tensión se mide entre la toma de tierra desconocida y un electrodo o sonda de tensión o potencial “P” ubicado entre esa toma y el electrodo de corriente. En el caso de tomas de áreas reducidas o de una jabalina, la influencia se supone despreciable a 50 m aproximadamente.

6.2.4.4 En principio, el electrodo de potencial se coloca a mitad de camino entre el electrodo de corriente y la toma de tierra a medir.

6.2.4.5 En una toma de tierra de área extensa (red de mallas), de “baja” resistencia a tierra (menor que 1Ω), el electrodo de potencial se puede trasladar respecto de la toma a medir, en forma escalonada, en dirección hacia el electrodo de corriente. En cada escalón o etapa, se anota el valor de resistencia. Esta resistencia se puede representar como una función de la distancia entre la toma y el electrodo de potencial. El valor con el que la curva tiende a nivelarse, se toma como el valor de la resistencia de la toma de tierra que se está midiendo.

6.2.4.6 En la figura 4 se muestran dos curvas representativas de una toma de tierra de baja resistencia. La curva B ilustra el efecto de acoplamiento descrito en 6.2.4.9 (zona de influencia de la red de tierra de la central). Los datos para este gráfico, se tomaron de mediciones realizadas en una central con una red de mallas de puesta a tierra de aproximadamente 125 m x 150 m (ver figura 5).

6.2.4.7 Las distancias se midieron desde el cerco de la central. En consecuencia, la resistencia a tierra no es nula en el origen de la curva A (ver figura 4).

6.2.4.8 Ubicando el electrodo de potencial en dirección opuesta al electrodo de corriente, con respecto a la toma de tierra a medir, se obtiene la curva A (figura 4) donde la resistencia medida parece horizontalizarse a unos 200 m.

Esta distancia de 200 m puede indicar una zona de influencia de esta toma de tierra particular que no aparece en la curva B (figura 4).

6.2.4.9 De la comparación de las mediciones representadas en las curvas A y B, se determinó que el electrodo de corriente queda dentro de la zona de influencia de la red de tierra de la central en la curva B porque no se “horizontaliza” a los 200 m como en la curva A. Por lo tanto se lo debe desplazar más lejos aún de la toma de tierra que se mide.

6.2.4.10 En la figura 5 se muestran curvas para tomas de tierra de mayor resistencia que las de la figura 4 (mayor que 1Ω). En este caso, no hay posiciones preferenciales de los electrodos como se puede ver en los valores indicados, dado que los efectos de acoplamiento comprenden una parte muy pequeña del valor óhmico total.

6.2.4.11 La disposición más práctica de los electrodos consiste en colocarlos en la misma dirección geométrica, es decir alineados (figura 6). De no ser posible se puede optar por la disposición indicada en la figura 7 (direcciones perpendiculares).

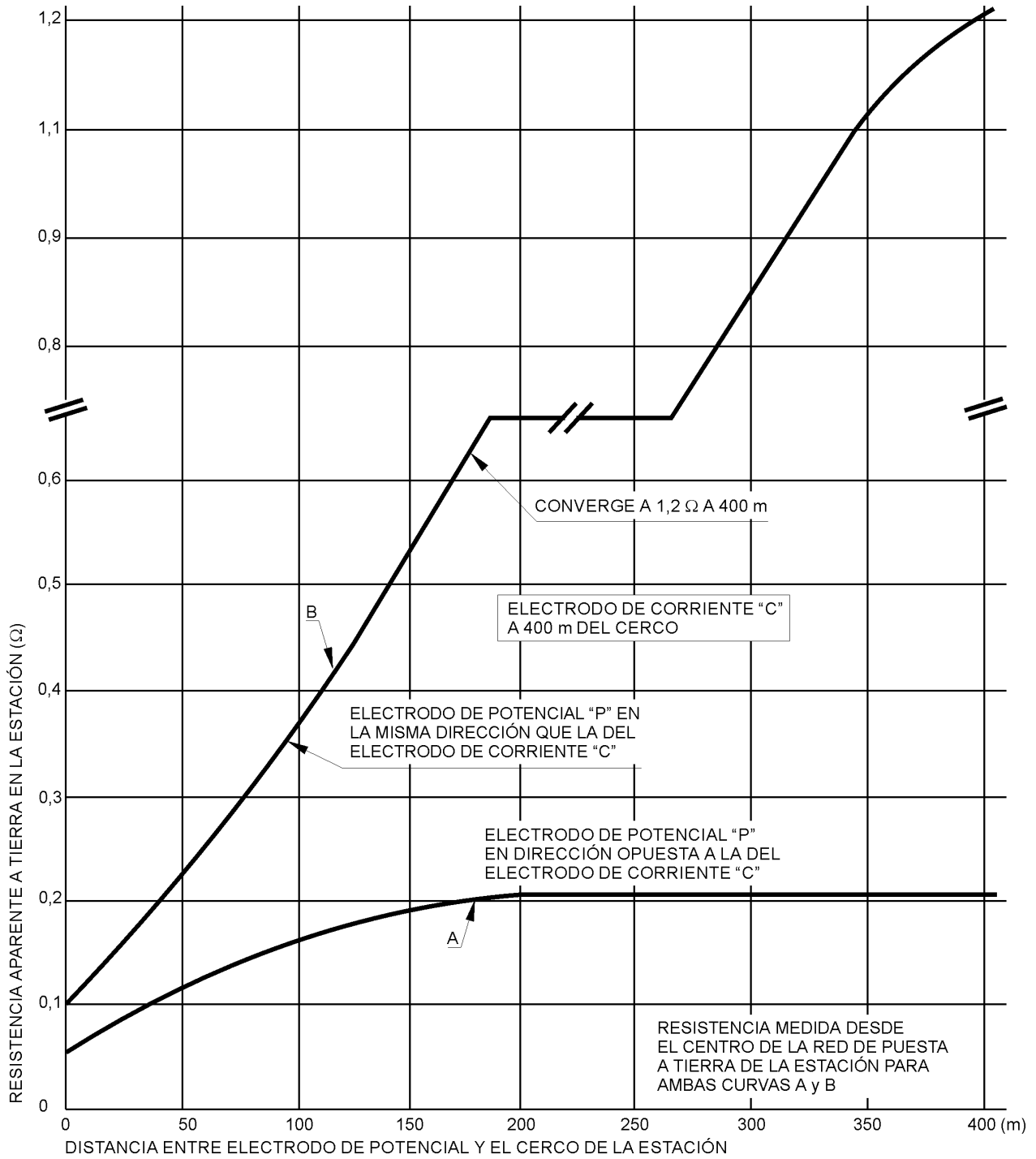


Figura 4 - Toma de tierra de "baja" resistencia (ver fig. 6)

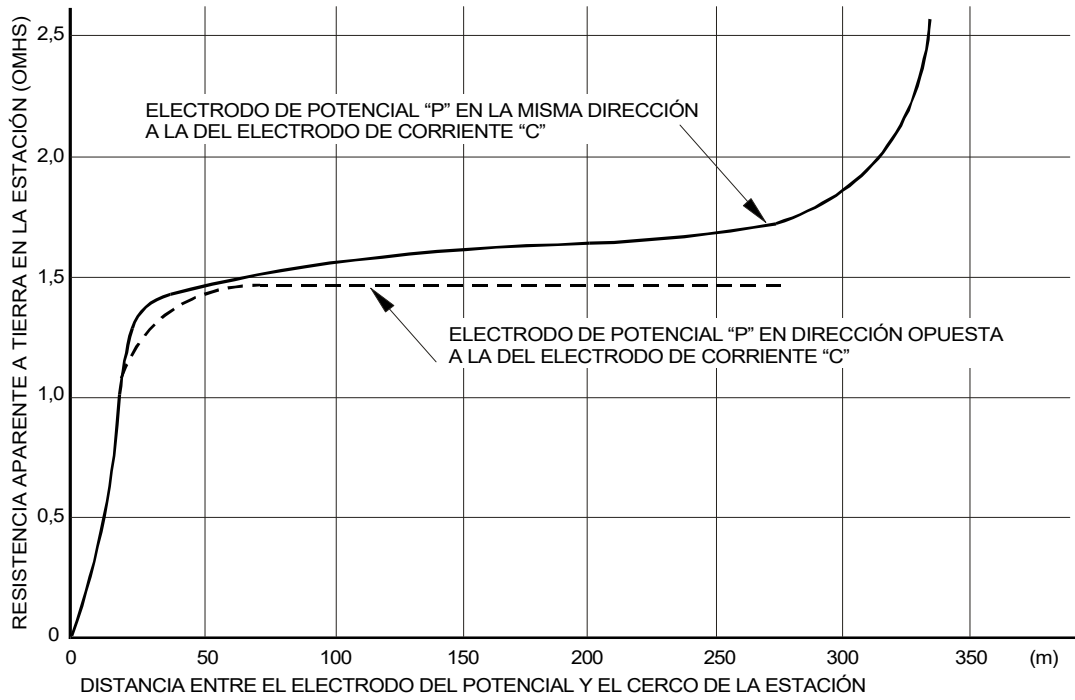


Figura 5 - Toma de tierra de resistencia grande (ver fig. 6)

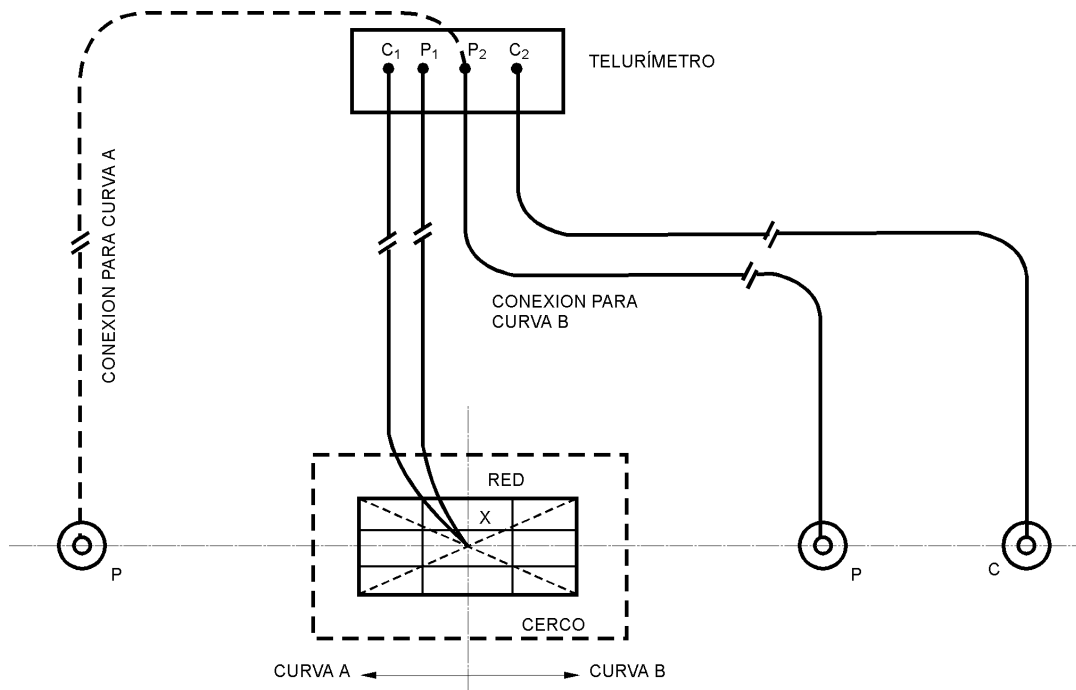


Figura 6 - Conexiones del telurímetro que fueron realizadas para obtener las figuras 4 y 5

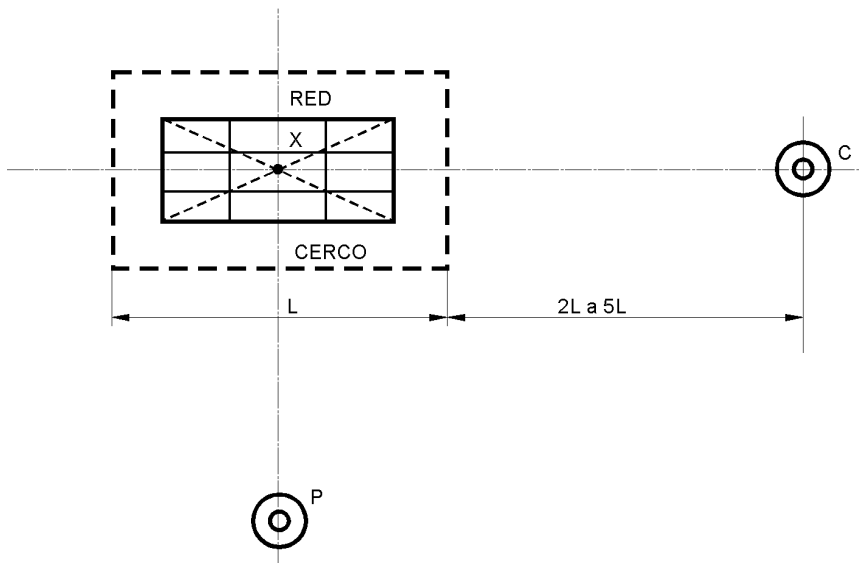


Figura 7 - Conexiones del telurímetro (direcciones perpendiculares)

6.3 Mediciones de las tensiones de contacto y del paso humanos.

6.3.1 Deben determinarse con un amperímetro y con un voltímetro (que tenga una resistencia interna adecuada a la exactitud de la medición que se desea obtener). Los electrodos de medición para simular los pies, deben tener una superficie total de 400 cm^2 a 625 cm^2 y se deben apoyar sobre el piso con una fuerza de 500 N a 800 N. Como los electrodos de medición también se pueden usar jabalinas enterradas de 20 cm a 30 cm de profundidad.

6.3.2 Se deberá hacer circular una corriente alterna de medición entre la instalación de puesta a tierra (con su correspondiente instalación eléctrica completamente desenergizada) y un electrodo auxiliar de corriente suficientemente alejado de la instalación (por ejemplo "C" en la figura 7).

6.3.3 En la medición de la tensión de contacto en una parte de la instalación, el electrodo debe colocarse a 1 m de distancia de la parte a medir. En dicho lugar se debe colocar una tela mojada para la placa o regarse con agua para la jabalina.

6.3.4 Como electrodo de medición para simular la mano puede utilizarse, por ejemplo, un electrodo de punta (dedo de prueba,

IRAM 2045). No se deben perforar las capas de pintura ni las aislaciones.

6.3.5 Uno de los bornes del voltímetro se conecta al electrodo de mano y el otro al electrodo de pie o bien ambos bornes a los electrodos de pie.

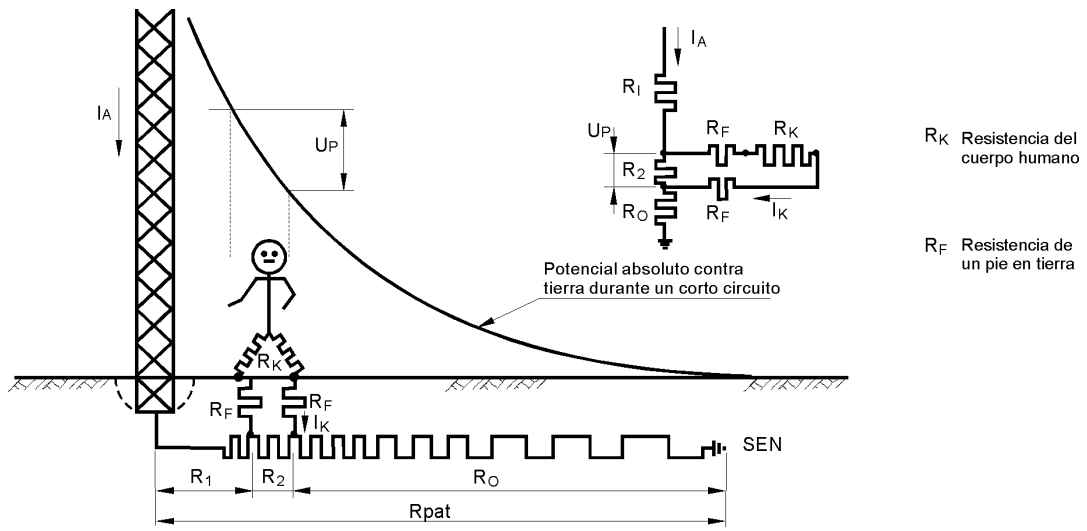
6.4 Medición de las tensiones del paso y de contacto mediante un telurímetro

Siguiendo las instrucciones del fabricante del telurímetro, se pueden medir las resistencias R_1 que representan a las tensiones de contacto y R_2 que representan a las tensiones del paso (ver figura 8).

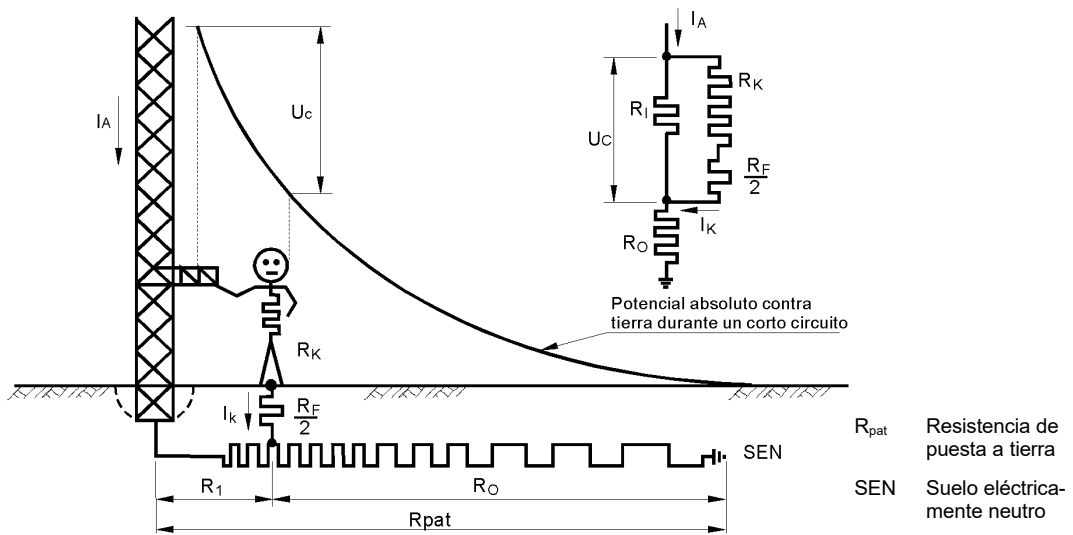
El fabricante debe indicar al usuario como se debe conectar su telurímetro para medir las resistencias R_1 y R_2 mencionadas anteriormente e indicadas en la figura 8.

Debe tenerse muy en cuenta que esos valores de las resistencias R_1 (para U_c) y R_2 (para U_p) se deben multiplicar por la corriente de falla a tierra (que se calculó para la instalación de puesta a tierra siguiendo las directivas de la IRAM 2281-4). Si esta corriente es I_a (ver figura 2 y figura 3 de la IRAM 2281-4) tendremos $U_c = R_1 \cdot I_a$; $U_p = R_2 \cdot I_a$.

NOTA: En la figura 8 no se considera el efecto de I_k en el cálculo de U_c y de U_p .



TENSIÓN DEL PASO PARA UNA ESTRUCTURA



TENSIÓN DE CONTACTO PARA UNA ESTRUCTURA

Figura 8 - Tensiones del paso y de contacto

6.5 Medición de la corriente y de la tensión para calcular la impedancia de puesta a tierra según la norma DIN VDE 0141

Este método se puede utilizar especialmente para la medición de la impedancia de puesta a tierra de grandes instalaciones de puesta a tierra (por ejemplo: centrales, subestaciones y redes).

Mediante la aplicación de una tensión alterna de una frecuencia aproximada a la de la red entre la instalación de puesta a tierra y una "contra tierra", se inyecta una corriente de ensayo I_V en la instalación de puesta a tierra, que produce un aumento medible del potencial de la instalación. Durante esta medición, no deben desconectarse los cables de tierra y las envolturas metálicas de los cables con efecto de toma de tierra que normalmente están conectados a la instalación durante el servicio.

El valor de la impedancia Z_E de puesta a tierra se calcula con la fórmula siguiente:

$$Z_E = \frac{U_{EV}}{I_V \cdot r_E}$$

Para el análisis se tienen en cuenta los elementos siguientes:

- r_E factor de reducción de la línea hacia la "contra tierra".
- I_V corriente de medición. (Generalmente se mide la corriente o la tensión).
- I_{EV} corriente de puesta a tierra durante la medición. (En este caso, no se la mide directamente).
- I_E corriente de puesta a tierra en caso de falla.
- R_A resistencia de dispersión de la toma de tierra en forma de malla.
- R_M resistencia de dispersión de una torre o una columna.
- U_{EV} tensión de puesta a tierra durante la medición.

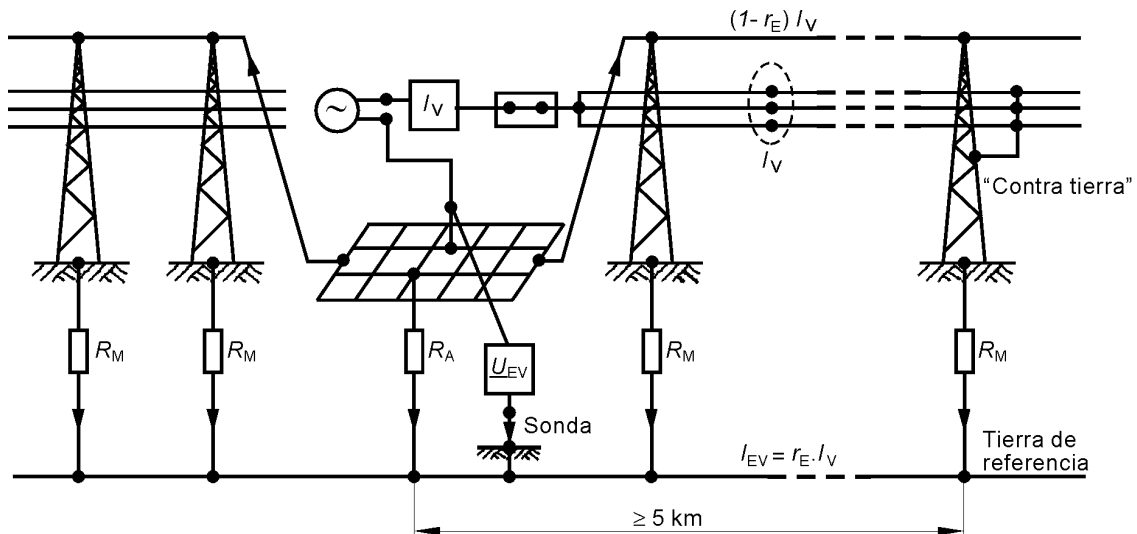


Figura 9 - Ejemplo para la determinación de la impedancia de puesta a tierra mediante la medición de la tensión y de la corriente

siendo:

U_{EV} la tensión medida entre la instalación de puesta a tierra y una sonda en la zona de la tierra de referencia (tierra neutra).

I_V la corriente de ensayo medida.

r_E el factor de reducción de la línea hacia la "contra tierra".

El factor de reducción puede determinarse mediante el cálculo o mediante medición.

Para las líneas aéreas sin "hilos" (cables) de guarda y cables subterráneos sin blindaje o armadura, r_E es igual a 1.

Deben tenerse en cuenta los hilos de guarda de líneas que están tendidas paralelamente a la línea de ensayo que une la toma de tierra y la "contra tierra", montadas en soportes independientes, cuando están conectados a la toma de tierra a medir y a la "contra tierra". Si como conductor de ensayo se utiliza un cable con envoltura metálica bien puesta a tierra en ambos extremos, una gran parte de la corriente de ensayo retorna por la envoltura. Si, por encima de la envoltura metálica, existe un recubrimiento exterior aislante, puede llegar a ser conveniente, por lo mencionado, levantar las puestas a tierra de la envoltura.

En los cables con efecto de toma de tierra, sin embargo, no deben levantarse las puestas a tierra de las envolturas metálicas exteriores.

En lo posible la distancia entre la toma de tierra y la "contra tierra" debe ser mayor o igual que 5 km. La corriente de ensayo debe elegirse, dentro de lo posible, lo suficientemente grande como para que las tensiones a medir (tensiones de puesta a tierra, así como tensiones de contacto, cada una referida a la corriente de ensayo) sean mayores que cualquier otra tensión extraña o de perturbación. Esta condición está generalmente asegurada con corrientes de ensayo a partir de los 50 A. La resistencia interna del voltímetro debe ser 10 veces el valor de la resistencia de dispersión de la sonda, como mínimo.

Las tensiones extrañas y de perturbación deben ser eliminadas, si fuera necesario (ver 6.6).

6.6 Eliminación de las tensiones extrañas y perturbadoras en las mediciones de puesta a tierra según la norma DIN VDE 0141 (ver 6.5)

Durante la determinación de las tensiones de puesta a tierra y de contacto, pueden producirse alteraciones en los valores de medición debido a la presencia de tensiones extrañas y perturbadoras de cualquier tipo (por ejemplo: la influencia inductiva de largos conductores de medición, la influencia inductiva sobre el circuito de ensayo por corte de corrientes de sistemas vecinos en servicio).

Los ejemplos que en la práctica han demostrado su capacidad para eliminar estas influencias perturbadoras son:

a) Método de batido.

En este caso se utiliza una fuente de tensión (por ejemplo: un grupo electrógeno para alimentación de emergencia) cuya frecuencia se aparta en algunas décimas de Hz de la frecuencia de la red. Las tensiones U producidas por la corriente de ensayo se suman geométricamente a las *tensiones perturbadoras* U_s existentes, cuya amplitud y desfase pueden considerarse constantes si el ciclo de medición es lo suficientemente corto. Debido a la superposición asincrónica, la lectura del voltímetro oscila entre un valor máximo U_1 y otro mínimo U_2 . Por lo tanto, la tensión U producida por la corriente de ensayo es:

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad \text{para } 2 \cdot U_s < U_1$$

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad \text{para } 2 \cdot U_s > U_1$$

$$U = \frac{U_1}{2} \quad \text{para } 2 \cdot U_s = U_1$$

b) Método de la inversión de polaridad

Para ello se necesita una fuente de tensión sincronizada con la red (transformador), cuya tensión debe estar desfasada 180 grados eléctricos. Cuando circula la corriente de ensayo, se mide la tensión que aparece antes de la inversión de polaridad U_a , después de la inversión U_b y la tensión perturbadora U_s con la corriente de ensayo desconectada. Según las relaciones vectoriales, la tensión U producida por la corriente de ensayo se puede calcular así:

$$U = \sqrt{\frac{U_a^2 + U_b^2}{2} - U_s^2}$$

c) Medición vectorial

Las líneas de medición más bien largas (por ejemplo: hasta la sonda, según la figura 9) deben tenderse, en lo posible, perpendiculares respecto de la línea bajo ensayo. Si esto no es posible hacerlo por razones de lugar, la parte de la tensión inducida en la línea de medición por la corriente de ensayo puede eliminarse con un medidor vectorial.

d) Bloqueo de las corrientes continuas

Si las tensiones perturbadoras presentan una componente importante de corriente continua, puede llegar a ser necesaria la utilización de un voltímetro que bloquee la tensión continua.

Anexo A (Informativo)

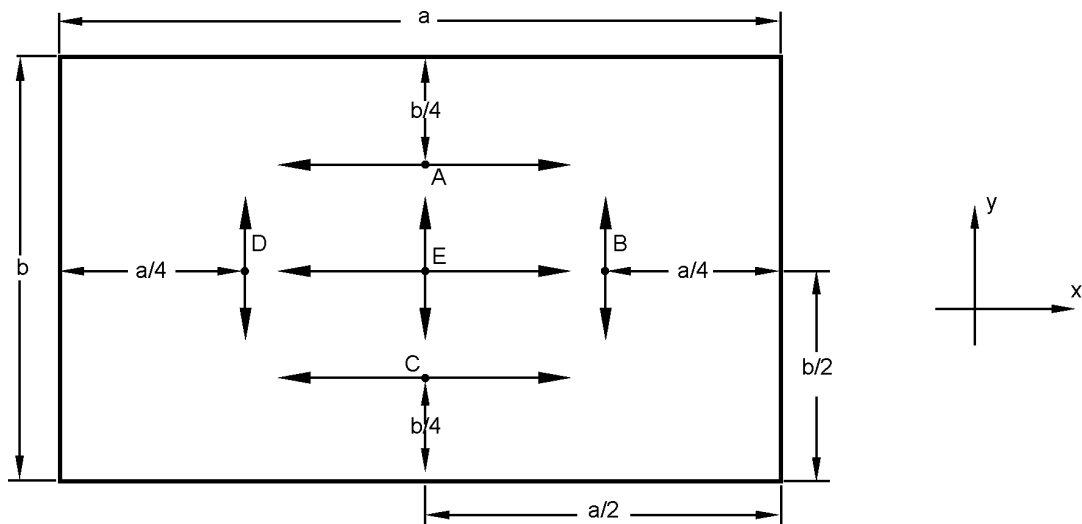
Aplicación del Método de Wenner

A.1 Posicionamiento físico

Las mediciones de la resistividad deben cubrir toda el área a proteger por el electrodo o los electrodos de puesta a tierra.

El número de puntos donde se deberán efectuar las mediciones se establece en función de las dimensiones del terreno.

Se recomienda como mínimo un número de cinco puntos de medición para un área de hasta 10.000 m² dispuestos como se indica en las figuras A1 y A2. A partir del análisis de los resultados obtenidos, puede ser necesario realizar nuevas mediciones con criterios diferentes de los indicados en este apartado, para el posicionamiento físico de los puntos, particularmente el punto central.



Puntos de medición: A, B, C, D y E

Dirección de la medición: x e y

Figura A.1 - Disposición de los puntos de medición

A.1.1 Cuando el área en estudio presenta una geometría diferente que la ilustrada por la figura A1, se debe trazar un rectángulo circunscrito a ella y colocar los cinco puntos como se muestra en la figura A2.

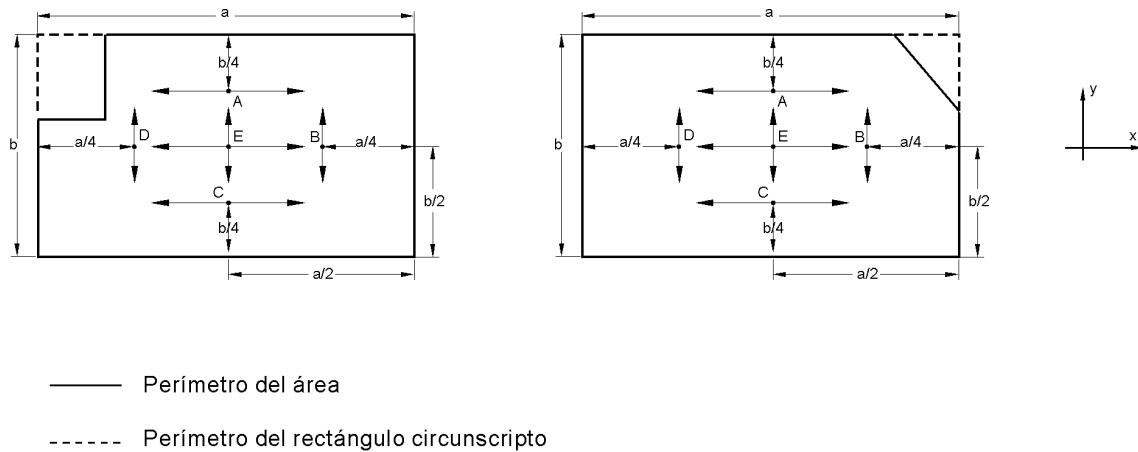


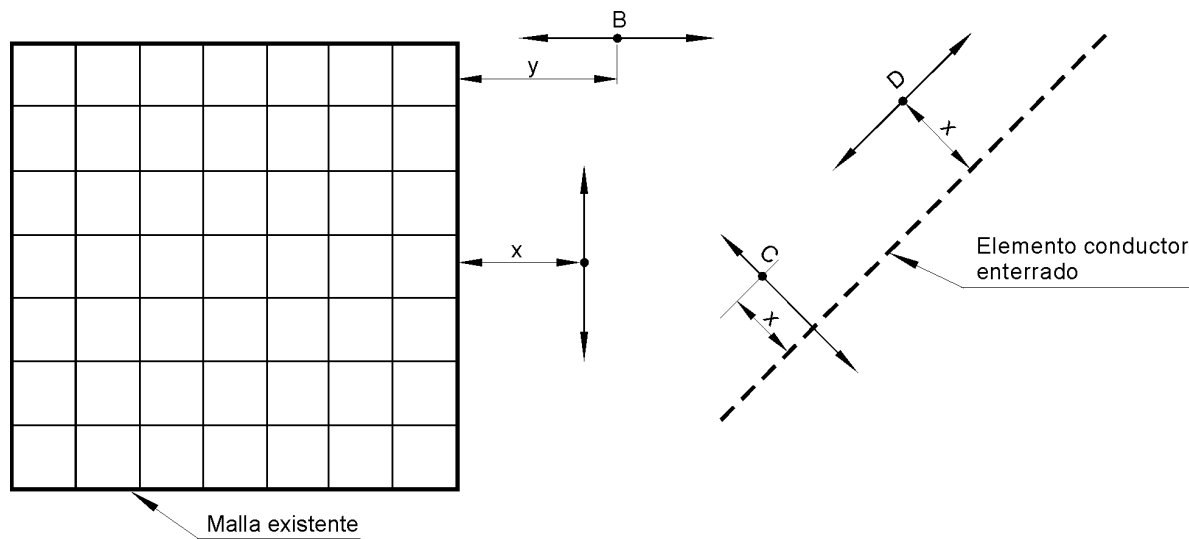
Figura A.2 - Disposición de los puntos de medición en un área con una geometría distinta de la de un rectángulo

A.1.2 Para áreas mayores que 10.000 m^2 , se inscriben los rectángulos dentro de un área aproximada a la total y se disponen los puntos de medición en estos rectángulos, como se describió anteriormente.

A.1.3 En el caso de instalaciones de puesta a tierra “puntuales”, como por ejemplo: en líneas de transmisión y distribución, subestaciones unitarias y pararrayos, las mediciones se deben realizar en los puntos específicos, en direcciones ortogonales, salvo en el caso de líneas donde se deberán realizar en las direcciones de las líneas.

A.1.4 En el caso de mediciones de resistividad próximas a subestaciones, líneas de transmisión, elementos conductores enterrados o cercos enterrados, se debe observar una distancia mínima entre el punto de medición y dichos elementos (ver figura A3).

La presencia de estos elementos, provoca interferencias en las mediciones ocasionando errores en los valores obtenidos. Los conductores enterrados se pueden detectar por la **no variación** del valor de la resistencia medida para las diferentes distancias entre electrodos.



a) Mediciones cercanas a mallas de tierra existentes

b) Mediciones cercanas a elementos conductores enterrados

$$y > 1,5 d_{\text{máx}}$$

$$x > d_{\text{máx}}$$

z = cualquiera (ver A3)

$d_{\text{máx}}$ = distancia máxima entre los electrodos (ver A2).

Figura A.3 - Distancias entre los objetos enterrados y los puntos de medición

A.2 Distancia entre electrodos

Las separaciones entre los electrodos se deben variar entre 1 metro y el mayor valor posible, por ejemplo, los valores siguientes: (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64) m o bien (1, 2, , 10, 20, 40) m.

NOTA: En algunos casos puede ser necesario realizar mediciones con distancias entre electrodos mayores que las indicadas.

A.3 Profundidad de hincado Z de los elementos de medición

La profundidad de hincado Z de los electrodos debe ser suficiente como para asegurar un eficaz contacto eléctrico con el suelo. En los lugares donde sea imposible el hincado de los electrodos o en suelos arenosos, se puede envolver a los electrodos con paños mojados tratando de obtener un contacto adecuado o mejor aún verter agua durante y después del hincado (ver 4.3.6 de la IRAM 2281-1 de 1996).

A.4 Presentación de los resultados de las mediciones

Las mediciones de campo deben contener el máximo de informaciones útiles para el proyecto de la instalación de puesta a tierra, tales como:

- a) Suelo natural;
- b) Suelo desmontado;
- c) Suelo compactado;
- d) Características de la capa superficial (tipo de suelo);
- e) Suelo húmedo o seco (capa superficial);
- f) Época del año de las mediciones.

A.4.1 Se deben también identificar las direcciones de las mediciones, la posición aproximada del instrumento de medición y las características eléctricas del instrumento.

Para cada medición se debe indicar la profundidad de hincado de los elementos, la distancia entre los electrodos y el valor de la resistencia medida.

Posteriormente se debe indicar el valor de la resistividad calculado de acuerdo con las ecuaciones de 6.1.2.4.

Se debe realizar también un croquis o plano de la instalación donde se indicarán los puntos de medición y las posiciones aproximadas de los instrumentos durante la medición.

A continuación se da un ejemplo típico de una hoja de medición de resistividad.

EJEMPLO DE UNA HOJA DE MEDICIÓN

Local:

Fecha de la medición:

Dirección de la medición:

Punto de medición:

Características del instrumento y su certificado de calibración:

Posición aproximada del instrumento:

a (distancia entre electrodos) (m)	b (profundidad de hincado) (m)	R (Ω)	ρ ($\Omega \cdot m$)	Observaciones

Características del suelo:

Suelo natural: Si No
 Suelo de relleno: Si No
 Suelo compactado: Si No
 Otros suelos:

Características de la capa superficial:

Humedad del suelo: Seco Húmedo
 Estación del año: Seca Lluviosa

Croquis de la instalación de puesta a tierra:

Anexo B

(Informativo)

Modelo IRAM de presentación de informes de mediciones de puesta a tierra

INFORME DE MEDICIONES DE PUESTAS A TIERRA
(Adaptado de la "Recomendación COPIME H y ST N° 1.0 - nov./99)

SOLICITANTE: (1)

RAZÓN SOCIAL: (2)

DOMICILIO: (3)

IDENTIFICACIÓN: (4)

LOCALIZACIÓN DE CADA LUGAR DE MEDICIÓN (ES): (5)

MAGNITUDES MEDIDAS: (6)

USOS: (7)

INSTRUMENTOS UTILIZADOS: (8)

MÉTODOS DE MEDICIÓN: (9)

CONDICIONES DE SUELO: (10)

FECHAS DE MEDICIÓN (ES): (11)

VALORES OBTENIDOS: (12)

Adjuntos (13):

1. Certificado de calibración del instrumento expedido por un laboratorio de metrología acreditado (copia)
2. Certificado de incumbencia habilitante y matrícula vigente del Consejo Colegio Profesional...
3. Croquis de ubicación (es) de cada lugar de medición (es)

Observación: (14)

Todos los adjuntos enumerados en este informe, firmados por el Profesional Matriculado, en el "original" y sus "copias"

(15) Profesional matriculado en el CONSEJO PROFESIONAL

(nombre y apellido)

Firma del Profesional: _____

Matrícula Nro.: _____

(16) Lugar y fecha: _____

**INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR EL
INFORME DE MEDICIONES DE PUESTAS A TIERRA
(Adaptado de la "Recomendación COPIME H y ST N°1.0 - Nov./99")**

- 1) **NOMBRE COMERCIAL DE LA EMPRESA O NOMBRE DEL DEPARTAMENTO** que solicita el servicio, (sí el punto 2 es suficiente identificación, puede omitirse este punto 1).
- 2) **IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA/INSTITUCIÓN/PERSONA** que solicita la medición (razón social completa o apellido y nombre del titular y/o del usuario, etc.)
- 3) **DOMICILIO CORRESPONDIENTE A LA EMPRESA/INSTITUCIÓN/PERSONA** del punto 2. Se consignará calle, N° (CP), paraje, localidad, partido, teléfono, etc.
- 4) **IDENTIFICACIÓN CON EL QUE SE RECONOCE EL LUGAR DENTRO DE LA EMPRESA**, tanto una denominación "formal" como "informal".
- 5) **UBICACIÓN REAL DEL LUGAR DE LA (S) MEDICION(ES)**. Si es necesario se anotarán calle, N°, paraje, localidad, CP, partido y todo otro detalle importante para ubicar unívocamente al predio.
- 6) Generalmente serán: **RESISTENCIAS DE PUESTA A TIERRA** (pero también pueden ser tensiones, convencionales de contacto personal y del paso humano (IRAM 2281-2)
- 7) **USO HABITUAL DE CADA PUESTA A TIERRA**; ej: toma de tierra del neutro de transformador, toma de tierra de seguridad de masas, de protección de equipos electrónicos, de informática, de iluminación, de pararrayos, etc.
- 8) **INSTRUMENTOS UTILIZADOS**: Marca, tipo, modelo, N° de serie, Clase, etc. de cada uno.
- 9) **MÉTODOS ADOPTADOS PARA REALIZAR CADA MEDICIÓN**. Citar las normas utilizadas, nombre del método, especificación del método (si no estuviera descripto en la (s) norma (s) IRAM).
- 10) **DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN DEL TERRENO AL MOMENTO DE C/ MEDICIÓN**, por simple inspección visual (Ej.: Pantanosos, lecho seco, arcilloso, lluvias recientes, etc.)
- 11) **AÑO, MES, DÍA Y HORA DE CADA UNA DE LAS MEDICIONES**
- 12) **VALORES OBTENIDOS**, incluyendo las unidades en que se expresan (A los fines de este punto 12 y del 5, se agregarán croquis de la/s ubicación (es) de ser necesario para su correcta identificación)
- 13) Documentos que se recomienda acompañar al certificado, a fin de avalar la calidad de la medición, tachar o eliminar lo que no se adjunte, (todos los adjuntos firmados en "original" y en "copias", con fecha, aclaración de firma y número de matrícula e identificación que se acompañan al informe.
- 14) Todas las referencias que el matriculado estime conveniente, a los fines del servicio contratado. Pueden consignarse referencias a mediciones anteriores, si fueron ejecutadas por el matriculado que suscribe o si el comitente las tuviera debidamente documentadas.
- 15) **NOMBRE Y APELLIDO, NÚMERO DE MATRÍCULA Y FIRMA DEL PROFESIONAL, EN EL ORIGINAL Y SUS COPIAS.**
- 16) **LUGAR Y FECHA DE LA ENTREGA DEL INFORME**
- 17) Se recomienda hacer **firmar** una copia al comitente, como constancia del documento que el matriculado le entregó.

Anexo C (Informativo)

Bibliografía

En el estudio de esta norma se han tenido en cuenta los antecedentes siguientes:

ANSI/IEEE - AMERICAN NATIONAL STANDARD

ANSI-IEEE Std 81:1983 - Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system.

DIN VDE - DEUTSCHE NORMEN

DIN VDE 0141:1989 - Puestas a tierra para instalaciones de corrientes industriales con tensiones nominales mayores que 1 kV.

NBR - NORMA BRASILEÑA

NBR 7117:1981 - Medición de la resistividad del suelo. Método de los cuatro puntos (Wenner).

IRAM - INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN

IRAM 2281-2:1986 - Código de práctica para puesta a tierra de sistemas eléctricos. Guía de mediciones de magnitudes de puesta a tierra (resistencia, resistividades y gradientes).

COPIME - CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICISTA DE JURISDICCIÓN NACIONAL

Recomendación COPIME H y ST N° 1.0 – Nov./99.

Anexo D (Informativo)

El estudio de esta norma ha estado a cargo de los organismos respectivos, integrados en la forma siguiente:

Comisión de Procedimientos para puesta a tierra

Integrante	Representó a:
Ing. Juan Carlos ARCIONI	A.E.A.
Téc. Diego BATALLA	SU SUPERMERCADO
Sr. Guillermo L. BIASI	F.A.C.B. S.A.
Sr. Guillermo CACABELOS	EUCA S.R.L.
Téc. Eduardo CÓRDOBA	COPIME
Ing. Domagoj GALINOVIC	TRANSENER S.A.
Ing. Jorge F. GIMÉNEZ	C.I.T.E.F.A.
Ing. G. GIUBILATO	S.M.I.
Ing. Hipólito GÓMEZ	D.G.F.M.
Ing. Ricardo GRUNAUER	INSTELEC
Ing. Carlos A. LIGUORI	F.A.C.B. S.A.
Sr. Diego MINUTTA	LANDTEC S.R.L.
Ing. A. OGHIEVSKI	INVITADO ESPECIALISTA
Ing. Fabián G. PIN	TELEFÓNICA DE ARGENTINA
Ing. Ángel REYNA	JUAN ZABALA Y ASOCIADOS
Ing. Héctor RUIZ	SCHNEIDER ELECTRIC ARGENTINA S.A.
Ing. G. VATTUONE	GEMAX S.R.L.
Sr. Juan R. ZABALA	ACYEDE
Ing. Salvador D. CARMONA	IRAM

Comité General de Normas (C.G.N.)

Integrante

Ing. Juan C. ARCIONI
Ing. Severiano ITUARTE
Ing. Samuel MARDYKS
Ing. Norberto O'NEILL
Dr. Mario PECORELLI
Ing. Raúl DELLA PORTA

ICS 29.020
* CNA 00.00

* Corresponde a la Clasificación Nacional de Abastecimiento asignada por el Servicio Nacional de Catalogación del Ministerio de Defensa.
