



## CAPÍTULO 16 RED DE TIERRAS

Los sistemas de tierras como elementos de una subestación, deben inspeccionarse y recibir mantenimiento.

El objetivo de una conexión a tierra es crear un nivel equipotencial para todos los equipos y estructuras en la subestación, proveer un medio para llevar la corriente a tierra en condiciones normales y condiciones de falla, así como, asegurar que el personal en la vecindad de la red de tierra y equipos en operación, no esté expuesto a una descarga eléctrica peligrosa o una sobretensión.

La oposición que se presenta a la circulación de esta corriente se llama resistencia de tierras.

Las características de una conexión a tierra, varían con la composición y el estado físico del terreno, así como de la extensión, calibre del conductor y configuración de la malla de tierras. El terreno puede estar formado por combinaciones de materiales naturales de diferente resistividad, puede ser homogéneo y en algunos casos estar formado por granito, arena o roca; etc.

Consecuentemente, las características de una conexión a tierra (resistencia óhmica), varían con las estaciones del año, y se producen por cambios en la temperatura, contenido de humedad (sales solubles en los estratos), composición y compactación del terreno.

La construcción de redes de tierra tiene por objeto reducir la resistencia de tierra del terreno de la instalación; la cual está formada por un conjunto de conductores y electrodos enterrados a una profundidad que varía de 30 a 50 centímetros, formando una configuración cuadrículada y conectados (mediante soldadura exotérmica) entre si y a varillas (electrodos) de 3 metros de longitud. Todo el equipo eléctrico y estructuras metálicas instalados en la subestación debe estar solidamente conectados a esta malla de tierras.

Las funciones de la red de tierras son las siguientes:

- a) Proporcionar un circuito de muy baja impedancia, para conducir o drenar a tierra las corrientes producidas por falla a tierra del sistema, o a la propia operación de algunos equipos.



- b) Evitar que durante la circulación de corrientes de falla a tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación que puedan ser peligrosos, y que pongan en riesgo la seguridad del personal.

Considerando que las tensiones máximas tolerables por el cuerpo humano deben ser mayores que las tensiones que puedan llegar a producirse en la malla, se recomienda que en ningún punto de una instalación eléctrica se presenten tensiones de paso o de contacto superiores a los siguientes valores.

60 volts cuando no se prevé la eliminación rápida de una falla de línea a tierra.

120 volts cuando la falla se elimine en un período de un segundo.

- c) Brindar una referencia de potencial "cero" durante la operación del sistema eléctrico, como lo hace para las conexiones de los neutros de equipos eléctricos conformados por devanados, evitando sobretensiones que pudieran resultar peligrosos para los mismos y para el personal.
- d) Conexiones a tierra que se realicen temporalmente durante maniobras o mantenimiento de la instalación.
- e) La disponibilidad de una conexión a tierra para protección contra descargas atmosféricas.
- f) Facilitar la operación de los dispositivos de protección para la liberación de fallas a tierra.

### **16.1 MÉTODO DE CAIDA DE POTENCIAL PARA MEDICIÓN DE RESISTENCIA OHMICA EN UN SISTEMA DE TIERRAS**

Las mediciones de resistencia tienen por objeto establecer el valor real de la resistencia de tierra de la red y así determinar la elevación de potencial durante una falla a tierra, como verificación de los cálculos realizados, comprobando si resultan efectivos para limitar los gradientes a valores tolerables. El medidor de uso común para la prueba de resistencia de tierra es el óhmetro de tierras.

Este método involucra la utilización de dos electrodos auxiliares uno de potencial y otro de corriente. El electrodo de corriente se usa para hacer circular una corriente de magnitud conocida (I) a través del sistema de tierra o electrodo bajo prueba y un



electrodo de corriente (C2), midiendo la influencia de esta corriente en terminos de diferencia de potencial (P2); la relación  $V/ I$  dará el valor de resistencia.

El medidor consta de 4 terminales (P1, C1, P2, C2).

La prueba se efectúa mediante la técnica de los tres puntos, donde las dos terminales (P1 C1) del aparato de prueba se puentean para conectarse directamente al electrodo de la red de tierras que se pretende probar (este cable debe ser de longitud corta). La terminal de potencial (P2) se conecta al electrodo de potencial (P2) y la terminal de corriente (C2) al electrodo de corriente (C2) (ver figura No. 16.1).

Se recomienda insertar las varillas (P2 y C2) fuera de la malla de tierra a fín de evitar la interferencia de la red y obtener valores reales de resistencia del electrodo bajo prueba.

Las varillas de prueba P2, C2 deberán insertarse a una profundidad de 30 a 50 cm. aproximadamente, dependiendo de la longitud de las varillas suministradas con el equipo de prueba.

La distancia (d) del electrodo bajo prueba de la red de tierras al electrodo de potencial (P2) se va variando y en cada punto se toma una lectura de resistencia (R). Se recomienda iniciar con una distancia  $d= 5$  mts. Puede aumentarse o disminuirse este valor (3, 6, 10 mts.) de acuerdo con el criterio de la persona que efectúa la prueba, considerando siempre obtener los puntos coordenados (d, R) suficientes para trazar la curva.

La distancia (L) a la que se insertará el electrodo de corriente (C2) es igual a  $4D$  y se calcula partiendo del círculo equivalente de la superficie que cubre la red de tierras. Generalmente la superficie es rectangular, por lo que se tiene:

$$A_r = l \times a$$

Donde:

$A_r$  = superficie de la red

$l$  = largo

$a$  = ancho

El área o superficie de un círculo es:  $A_c = \frac{(\pi \times D^2)}{4}$



Igualando:  $A_r = A_c$  se obtiene:  $l \times a = \frac{(\pi \times D^2)}{4}$

despejando se obtiene:  $D = \sqrt{\frac{l \times a}{\pi}}$

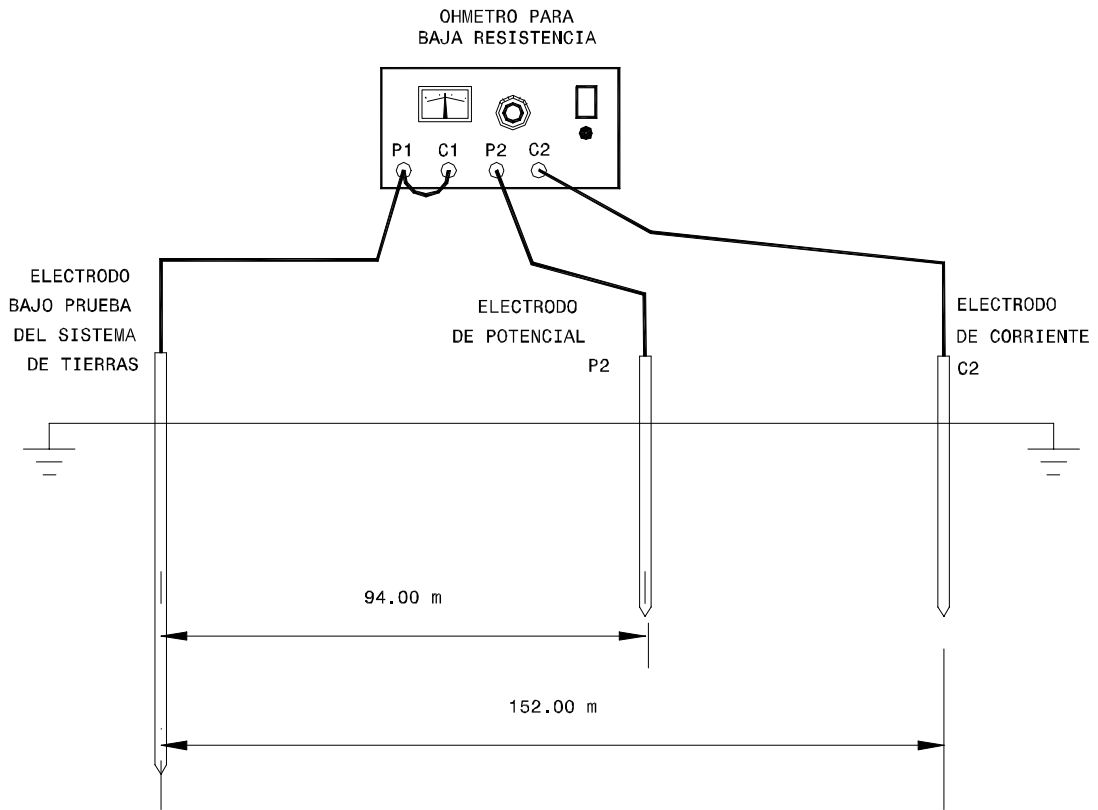
donde:  $D$  = diámetro equivalente de la superficie que cubre la red de tierras.

obteniéndose:  $L = 4D$

Esta distancia es una longitud de referencia, por lo que en la práctica y de acuerdo con la experiencia de campo puede llegar a ser menor o mayor de  $4D$ .

Para subestaciones al entrar en operación y desenergizadas es recomendable antes de efectuar la medición de la malla de tierra, realizar una inspección para verificar que haya continuidad y no se encuentre fracturada la malla o red.

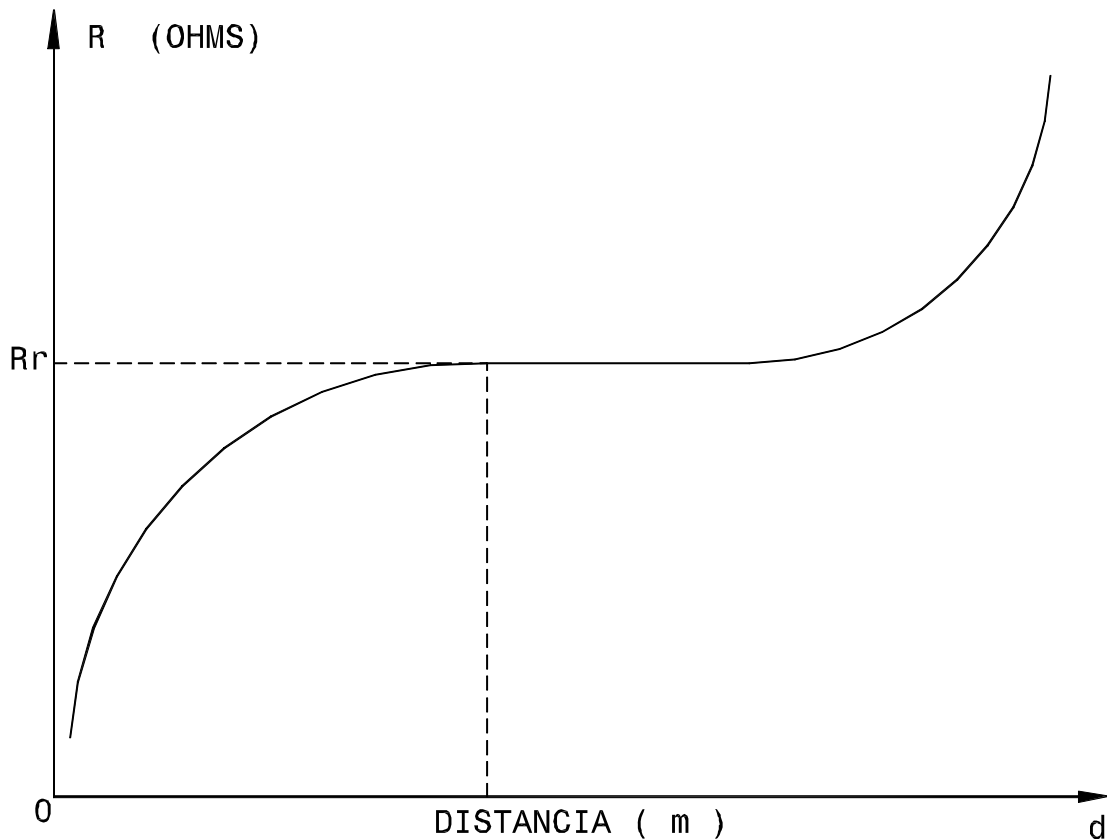
Los valores obtenidos de resistencia se grafican contra la distancia ( $d$ ), como se muestra en la fig. No. 16.2. En esta curva, la parte plana u horizontal, nos indica la resistencia real ( $R_t$ ) de la red de tierras que se ha probado. En la práctica no se tiene uniformidad de lecturas de ( $R$ ) por lo que al graficar los resultados se trazará la curva de tal manera que pase por el mayor número de puntos. En cada punto tendrá sus coordenadas ( $R, d$ ). (por experiencia la resistencia óhmica real obtenida mediante este método se aproxima al 62 % de la distancia total)



LONGITUD DE LA DIAGONAL DE LA MALLA DE TIERRAS (m)	DISTANCIA AL ELECTRODO DE POTENCIAL P2 (m)	DISTANCIA AL ELECTRODO DE CORRIENTE P2 (m)
30	94	152
42	113	180
55	132	213

**FIG. 16.1 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE TIERRA CON ELECTRODOS MULTIPLES (MALLA)**

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA NO. SE-16-01



**FIG. 16.2 MEDICIONES DE RESISTENCIAS TÍPICAS EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS.**

**16.2 MÉTODO DEL 62% PARA MEDICIÓN DE SISTEMAS DE TIERRA.**

Este método se adoptado en base a consideraciones gráficas. Es confiable dado su principio de operación, tal como se describe en la figura No. 16.3.

Este método se aplica únicamente cuando los tres electrodos están en línea recta y la "tierra" es un solo electrodo, tubería o placa.

Dependiendo de la longitud del electrodo, se especifica la distancia del electrodo de potencial (P2) y el electrodo de corriente (C2). La resistencia real del electrodo de puesta a tierra es igual al electrodo de resistencia medida cuando el electrodo de



potencial se localiza al 61.8 %(también conocida como 62%) de la distancia del electrodo de corriente, partiendo del electrodo de tierra.

Generalmente en Comisión Federal de Electricidad se utilizan electrodos (varillas de tierra) de tres metros de longitud y un diámetro de 19 mm. Por lo anterior la distancia del electrodo de prueba al electrodo de potencial es de 18 metros y la distancia del electrodo bajo prueba al electrodo de corriente es de 30 metros.

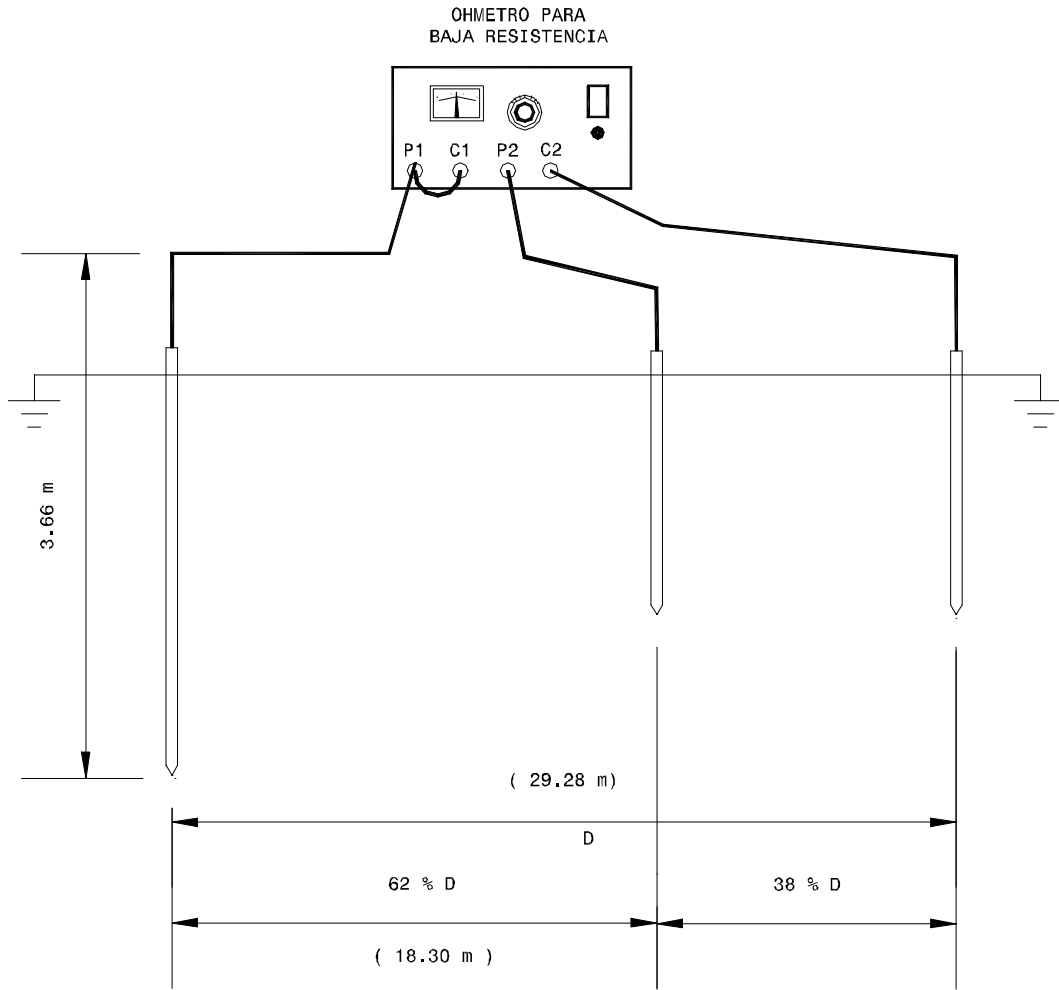
### 16.2.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Antes de realizar la prueba es necesario comprobar la correcta operación del equipo, realizando las siguientes actividades:

- a) Ajuste del cero.
- b) Comprobación de batería.
- c) Ajuste eléctrico del cero.
- d) Comprobación de sensibilidad

### 16.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

El diagrama de conexiones para la medición de resistencia de tierra por el método del 62% se muestra en la fig. 16.3.



LONGITUD DEL ELECTRODO BAJO PRUEBA (m)	DISTANCIA AL ELECTRODO DE POTENCIAL P2 (m)	DISTANCIA AL ELECTRODO DE CORRIENTE C2 (m)
1.83	13.72	21.96
2.44	15.23	24.40
3.05	16.77	26.84
3.66	18.30	29.28

NOTA: REALIZAR CUATRO MEDICIONES EN DIRECCIONES OPUESTAS Y OBTENER EL PROMEDIO.

**FIG. 16.3 MEDICION DE UN ELECTRODO DE TIERRAS  
(METODO DEL 62%)  
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-16-02**

### 16.3 MÉTODO DE MEDICIÓN UTILIZANDO PROBADOR DIGITAL DE GANCHO

Este equipo es versátil y práctico, para realizar mediciones de resistencia de la red de tierras, obteniéndose los valores directamente.

### 16.4 MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

La resistividad del terreno está en función del tipo de compactación, contenido de humedad y sales solubles en los estratos. La resistividad es el inverso de la conductividad.

La resistividad es una forma indirecta, rápida y práctica de valorar las condiciones del terreno, que se utiliza tanto para los diseños de redes de tierra y estudios de protección catódica.

Debido a que existen variaciones en el sentido horizontal y vertical en la composición del suelo, es conveniente realizar las pruebas de campo en varios lugares del terreno.

Debido a la variación de la humedad del terreno, la lectura de resistividad no es constante, por lo tanto el valor de la resistividad solo es verdadero para el momento de la medición.

Se calcula la resistividad del terreno ( $\rho$ ) mediante la fórmula:

$$\rho = 2 \times \pi \times l \times R$$

Donde:

$\rho$  = resistividad del terreno

R = resistencia medida en ohms

l = separación entre electrodos en cm.

$\pi = 3.14159265358979$

#### 16.4.1 MÉTODO DE WENNER PARA LA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DE TERRENO

Para medir la resistividad del terreno, normalmente se utiliza el método de Wenner o de los cuatro electrodos, haciendo una cuadrícula del terreno y realizando varias mediciones con separación variable entre los electrodos.

Este método consta de cuatro electrodos de pequeñas dimensiones dispuestos en línea recta, siendo los dos electrodos interiores de potencial y los dos exteriores de corriente.



Las mediciones deben realizarse principalmente sobre las diagonales del terreno, como se muestra en la figura 16.4.

Sobre las líneas trazadas en el terreno (cuadrícula o rectangular) se deberá variar la distancia entre los electrodos, como se muestra en la fig. 16.4 partiendo siempre del centro del terreno.

Es conveniente que la lectura se tomen variando la distancia entre los electrodos, incrementando la separación inicial, en intervalos de 1.6 metros hasta cubrir el área del terreno.

### 16.4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Con los datos obtenidos en el punto anterior, se calcula la resistividad con la fórmula antes mencionada.

El valor de la resistividad media del terreno sera el promedio de los valores de resistividad obtenidos. Se recomienda realizar las mediciones en epoca de menor humedad.

### 16.5 RECOMENDACIONES.

Se recomiendan los siguientes valores límites de resistencia de la red de tierras de una Subestación como valores aceptables en época de estiaje.

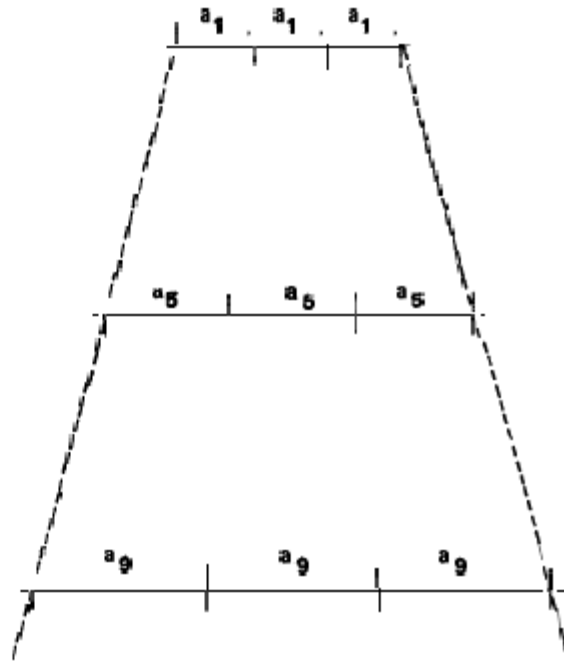
CAPACIDAD DE LA S.E. EN k.V.A.	RESISTENCIA DE TIERRA
1,500	15 OHMS
1,501-10,000	7 OHMS
MAYORES DE 10,000	2 OHMS

Para valores superiores a los indicados , se recomienda efectuar una revision minuciosa a las conexiones del sistema de tierras, y con ello determinar si se requiere una mejora en el diseño de la red o la aplicacion de algún elemento como bentonita,intensificadores o cualquier otro material químicamente activado.

**16.5.1 MÉTODO DE MEDICIÓN:**

Para medir la resistencia R en cada línea de prueba, con el método de medición indicado en el punto anterior, comenzando en el centro de la lía y variando cada vez, la separación entre electrodos como se indica enseguida:

- a1 = 2m
- a2 = 4
- a3 = 8
- a4 = 12
- a5 = 16
- a6 = 20
- a7 = 24
- a8 = 28
- a9 = 32
- an = 0.5L



**Medición de la resistencia R**

El número de mediciones se limita normalmente hasta a  $\approx 0.5 L$ . Por ejemplo, si  $L = 100$  m la a máxima = 50 m y sería necesario realizar 5 mediciones más aumentando cada vez 4 m.

En subestaciones pequeñas el número de mediciones debe ser menor.

Repetir este proceso para las demás líneas de prueba.

Calcular la resistividad con  $\rho = \pi a R$

Reportar los valores en el formato SE-016-01



**RED DE TIERRAS**  
MEDICION DE SISTEMA DE TIERRAS (MALLAS)

FECHA ULTIMA PRUEBA \_\_\_\_\_  
REPORTE No. \_\_\_\_\_  
DIVISION \_\_\_\_\_  
ZONA \_\_\_\_\_

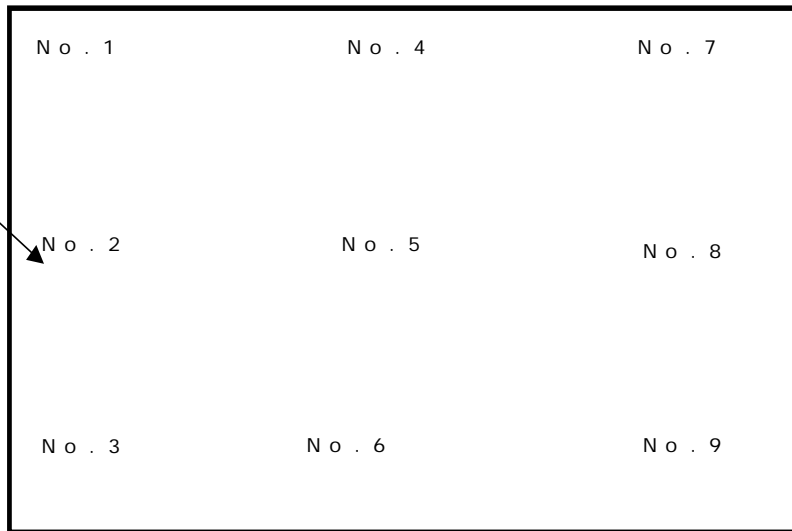
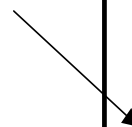
SUBESTACION \_\_\_\_\_  
EQUIPO DE PRUEBA MARCA \_\_\_\_\_  
TEMP. AMBIENTE \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_  
TIPO \_\_\_\_\_ No. SERIE \_\_\_\_\_  
COND. AMBIENT. \_\_\_\_\_

ELECTRODO No.	LECTURA	MULTIPLICADOR	RESISTENCIA EN OHMS	OBSERVACIONES
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

**AREA DE LA SUBESTACION**

ELECTRODOS



NOTA:  
REFERIRSE A LA FIGURA  
DE CONEXIONES 16.1

FORMATO SE-16-01