

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Fundada en 1551

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
E.A.P. DE FÍSICA**



Tesis

Digitales UNMSM

**“DISEÑO Y EJECUCIÓN DE UNA PUESTA A TIERRA DE BAJA
RESISTENCIA”**

MONOGRAFÍA

Para optar el Título Profesional de:

LICENCIADO EN FÍSICA

AUTOR

WILBERT RENE QQUESHUAYLLO CANCHA

**LIMA – PERÚ
2005**

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento al Ing. Segundo Abanto y al Ing. Samuel Ashcallay, quienes gracias a ellos, aprendí a ser un mejor profesional, y a la vez por brindarme una gran experiencia laboral. Al Mg. Mateo Márquez Jácome, por brindarme su asesoría en la elaboración en la elaboración de este trabajo monográfico.

DEDICATORIA

Al Dios Supremo, por haberme dado la vida, el conocimiento y de estar rodeado de las personas que me han apoyado.

A mis padres Claudio y Laureana, quienes me brindaron todo su apoyo y comprensión, para poder obtener mi Licenciatura.

A mis hermanas Patricia y Jessica, por su tolerancia.

A Evelyn, por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles.

CONTENIDO

PROLOGO

CAPITULO 1 FUNDAMENTO FISICO DE UNA PUESTA A TIERRA

- 1.1 Introducción
- 1.2 Conducción de la corriente eléctrica en el suelo conductor
- 1.3 Proceso físico de la distribución de la corriente para una puesta a tierra
- 1.4 Potencial de referencia cero en la Tierra (suelo)
- 1.5 Potencial producido por una inyección de corriente en un Electrodo
- 1.6 Principio de caída de potencial
- 1.7 Finalidad de una puesta a Tierra

CAPITULO 2 DISEÑO DE UNA PUESTA A TIERRA

- 2.1 Resistividad y resistencia del suelo
- 2.2 Medida de la resistividad eléctrica del suelo
 - 2.2.1 Método de Frank Wenner
 - 2.2.2 Método de Schulumberger
- 2.3 Selección e instalación del Electrodo
 - 2.3.1 Electrodo vertical en pozo
 - 2.3.2 Electrodo horizontal en zanja
- 2.4 Medida de la resistencia de una puesta a tierra
- 2.5 Métodos para la reducción de la resistencia eléctrica
 - 2.5.1 Aumento del número de electrodos en paralelo
 - 2.5.2 Aumento del diámetro del electrodo
 - 2.5.3 Aumento de la longitud de penetración del electrodo
 - 2.5.4 Tratamiento químico electrolítico del terreno

CAPITULO 3 CONSTRUCCION DE TRES POZOS DE TIERRA PARA LA SALA DE COMPUTO DE LA COMPAÑÍA: CERVECERIAS BACKUS S.A.A.

- 3.1 Antecedentes
- 3.2 Alcances
- 3.3 Medición de la resistencia del pozo a tierra
- 3.4 Funcionamiento de una puesta a tierra
- 3.5 Inspección y mantenimiento del pozo a tierra

CAPITULO 4 CONCLUSIONES

CAPITULO 5 REFERENCIAS

PROLOGO

Este trabajo monográfico fue realizado con el objetivo de caracterizar los procesos físicos que intervienen en la fabricación de una puesta a Tierra.

La presente monografía está dividido en 5 Capítulos. El Capítulo 1, se refiere a los fundamentos físicos, donde el suelo se comporta como un gran conductor de corriente eléctrica siendo su potencial nula; el estudio de la dispersión de la corriente eléctrica a través de un electrodo conectado dentro del suelo, el método de la caída de potencial. El Capítulo 2, se refiere al diseño de una puesta a tierra, donde se determina la resistividad del suelo por varios métodos como el de Wenner, la elección del electrodo, la medida de la resistencia de la puesta a tierra, métodos para disminuir su resistencia. El Capítulo 3, se detalla una impresión real de la construcción de tres pozos de tierra en la sala de computo de la Compañía Backus S.A.A.. En el Capítulo 4, se realizan las conclusiones.

La elaboración de este trabajo monográfico, es el producto de la experiencia laboral práctica del autor en el campo de la ingeniería eléctrica y la recopilación de material bibliográfico, revistas técnicas; para el diseño e instalación de una puesta a tierra.

CAPITULO 1: FUNDAMENTO FISICO DE UNA PUESTA A TIERRA

1.1 Introducción

Por puesta a tierra se entiende como la conexión de un conductor eléctrico (electrodo) enterrado en el suelo con la finalidad de dispersar corrientes eléctricas y captar el potencial de referencia cero.

Las puestas a tierra, se fabricaban en las plantas industriales, para la protección de las personas y de las maquinarias. Estas puestas a tierra se fabricaban artesanalmente con un tubo galvanizado, sal y carbón vegetal.

Estas puestas a tierra se mantenían húmedos y solo servirían ante una eventual descarga del equipo eléctrico por bajo nivel de aislamiento.

Ante la evolución de la Electrónica con los microprocesadores, computadoras, variadores, PLC, es mucho más necesario que los componentes electrónicos en las tarjetas estén conectadas a tierra y así puedan descargar permanentemente corrientes residuales a una puesta a tierra de baja resistencia, es por eso que se hace imprescindible que las puestas a tierra sean de una buena calidad, es decir de 3 a 5 ohmios de resistencia máxima o lo que especifique el fabricante del equipo.

Para obtener una resistencia mínima en una puesta a tierra, influye mucho, la naturaleza del terreno, el tipo de electrodo, las soluciones electrolíticas y otros componentes como: el calibre del cable de conexión desde la puesta a tierra hasta el tablero de distribución eléctrica, los conectores, etc.

1.2 Conducción de la corriente eléctrica en el suelo conductor

Un conductor es un material en el que los portadores de carga son libres de moverse bajo campos eléctricos estacionarios. Los portadores de carga son los electrones; en otros casos, la carga puede ser conducida también por iones positivos o negativos.

La carga en movimiento constituye una *corriente* y el proceso por el cual la carga se transporta se llama *conducción*. La corriente se define como la velocidad a la que se transporta la carga a través de una superficie dada en un sistema conductor [1].

Considerando un conductor donde existe una corriente eléctrica, los portadores de carga se mueven con una velocidad media \mathbf{v} . La cantidad de carga dQ que recorre una distancia dl para atravesar una sección dS del conductor en un intervalo de tiempo dt es: $dQ = \tilde{n} dt \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS$, \tilde{n} es la densidad de carga (Fig. 1.1).

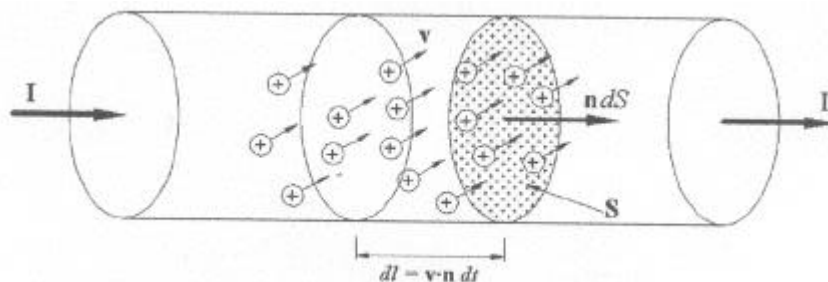


Fig. 1.1 Movimiento de los portadores de carga a través de una sección dS en un tiempo dt

la corriente es:

$$dI = \frac{dQ}{dt} = \mathbf{r} \mathbf{v} \tilde{n} dS \quad \Rightarrow \quad I = \int_S \mathbf{r} \mathbf{v} \tilde{n} dS = \int_S \mathbf{J} \mathbf{n} dS \quad (1.1)$$

donde $\mathbf{J}(\mathbf{r}) = \tilde{n}(\mathbf{r})\mathbf{v}$, es la densidad de corriente que se da cuando la corriente atraviesa una sección del conductor.

Como la carga no se crea ni se destruye; la densidad de corriente \mathbf{J} y la densidad de carga \tilde{n} están relacionadas en cada punto por la *ecuación de continuidad*, para una superficie cerrada

$$\nabla \cdot \mathbf{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1.2)$$

Donde las variaciones en el tiempo de \tilde{n} son las fuentes de la corriente eléctrica. De otro lado, según la *Ley de Ohm*, la densidad de corriente \mathbf{J} es linealmente proporcional al campo eléctrico \mathbf{E} ,

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E} = \rho \mathbf{J} \quad (1.3)$$

ρ es la *conductividad*, que es una constante que depende únicamente del material en cuestión. La inversa de la conductividad se llama *resistividad*, $\tilde{n} = 1/\rho$ y su unidad es *ohm/m*.

1.3 Proceso físico de la distribución de la corriente para una puesta a tierra

El estudio de una puesta a tierra se fundamenta en la teoría electromagnética clásica. Las ecuaciones de Maxwell para cualquier sistema de coordenadas se pueden enunciar en su forma diferencial como:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1.4)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (1.5)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (1.6)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (1.7)$$

si definimos la corriente I o la densidad de corriente \mathbf{J} como variables independientes y constantes en el tiempo, los campos eléctricos \mathbf{E} y magnético \mathbf{B} también son constantes en el tiempo. Definiendo el potencial escalar V ; mediante la relación:

$$\mathbf{E} = -\nabla V \quad (1.8)$$

y considerando que en un punto del espacio, las cargas eléctricas libres \tilde{n} son cero, las ecuaciones 1.4 a 1.7, se pueden reducir a la conocida ecuación de Laplace para el potencial eléctrico escalar:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (1.9)$$

Si el medio material es homogéneo e infinito, la solución del potencial para un punto del espacio libre de carga eléctrica y separado una distancia r de una carga puntual q , es:

$$V(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.10)$$

1.4 Potencial de referencia cero en la Tierra (suelo)

Si se conecta un conductor con carga Q_1 y potencial V_1 a otro conductor, con carga Q_2 y potencial V_2 , tendremos una distribución de cargas hasta que el potencial de ambos conductores sea el mismo (Fig. 1.2)

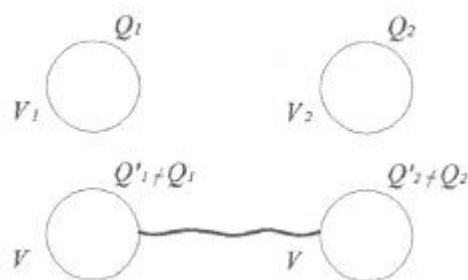


Fig. 1.2 Potencial eléctrico entre dos conductores

Al considerar la Tierra (el planeta) como una fuente infinita de carga o como un conductor esférico de capacidad infinita ($r \rightarrow \infty$), el potencial de referencia de este gran conductor es cero

$$V_{tierra} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \approx 0 \quad (1.11)$$

cualquier conductor conectado a Tierra, tomará o cederá de él, las cargas necesarias para que el potencial de ambos sea igual. Al considerarse nulo el potencial del conductor Tierra, cualquier conductor conectado a Tierra su potencial es cero [2].

Como la carga eléctrica q , aplicada en un medio de conductividad σ (o su inversa que es la resistividad $\tilde{\rho}$) y permitividad dieléctrica $\hat{\epsilon}_0$ pueden ser reemplazada por una inyección de corriente I utilizando la relación:

$$q = \frac{\epsilon_0}{\sigma} I \quad \Rightarrow \quad \frac{q}{\epsilon_0} = rI \quad (1.12)$$

se obtiene de esta forma, la distribución del potencial eléctrico producido por una inyección puntual de corriente I en un medio de resistividad homogénea $\tilde{\rho}$

$$V(r) = \frac{rI}{4\pi\tilde{\rho}r} \quad (1.13)$$

1.5 Potencial producido por una inyección de corriente en un electrodo

Si se toma un electrodo semiesférico de radio a , que no es tan usado en la práctica, instalado en un terreno homogéneo, de resistividad $\tilde{\rho}$ constante. Al hacer circular por el electrodo una corriente eléctrica I , las líneas de corriente por el terreno serán radiales, debido a la propia simetría del electrodo y la homogeneidad del terreno (Fig 1.3 a). La corriente atraviesa una serie de capas concéntricas por el electrodo, donde r es el radio

de la superficie semiesférica, siendo cada una de estas superficies equipotenciales (Fig. 1.3 b) [3].

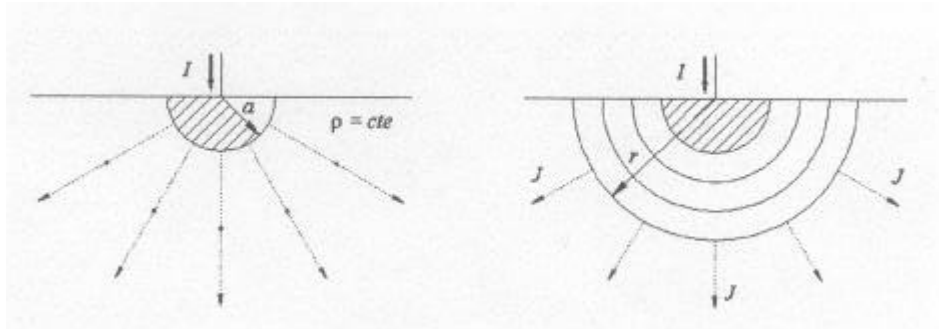


Fig. 1.3 (a) Líneas de corriente

Fig. 1.3 (b) Superficies equipotenciales

La diferencia de potencial entre dos puntos A y B del terreno, pertenecientes a superficies equipotenciales diferentes y de radios “ r_a ” y “ r_b ” (Fig. 1.4),

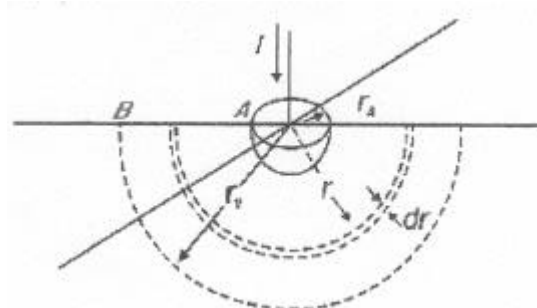


Fig. 1.4 Potencial eléctrico de un electrodo semiesférico

viene dado por

$$V = V_A - V_B = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \quad (1.14)$$

Para calcular el potencial eléctrico en un punto, es necesario hacerlo respecto a un punto de potencial nulo, el cual se considera situado en el infinito. De esta forma, si en la ecuación (1.14), suponemos que el punto B se encuentra en el infinito, es decir (r_b) entonces ($V_B = 0$) por lo que el potencial en el punto A es:

$$V_A = \frac{rI}{2\rho r_a} \quad (1.15)$$

y de una forma genérica, el potencial en un punto cualquiera a una distancia r del centro del electrodo será:

$$V(r) = \frac{rI}{2\rho r} \quad ; \quad r > a \quad (1.16)$$

El potencial al que se encontrará sometido el propio electrodo semiesférico será constante, y teniendo en cuenta la ley de continuidad de los potenciales, se obtiene su potencial y su resistencia:

$$V = V(a) = \frac{rI}{2\rho a} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{V}{I} = \frac{r}{2\rho a} \quad (1.17)$$

1.6 Principio de caída de potencial

Si en el punto A se le inyecta una corriente I y se le hace circular en el suelo cerrando el lazo por el punto B a través del circuito externo (Fig. 1.5), se pueden determinar:

- El Potencial en un punto P del suelo, inducidos desde A y B.
- El Potencial total en un punto cualquiera P que pertenece a una superficie equipotencial que intercepta la superficie del suelo en P₁. [4]

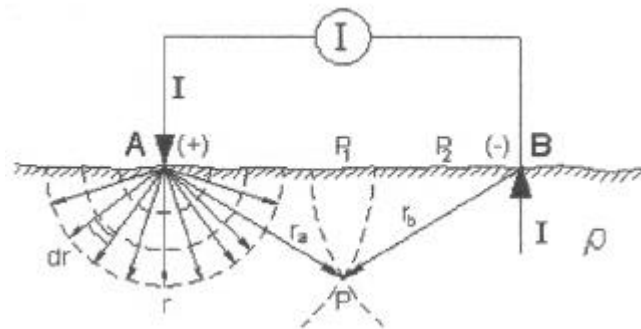


Fig. 1.5 Potencial eléctrico en un punto P del suelo inducido por los electrodos A y B

los potenciales en un punto P del suelo inducidos desde A y B serán:

$$V_{P_A} = \frac{\mathbf{r}I}{2\mathbf{p}r_a} \quad , \quad V_{P_B} = \frac{\mathbf{r}I}{2\mathbf{p}r_b} \quad (1.18)$$

el potencial total V_p en dicho punto P estará dado por

$$V_p = V_{P_A} + V_{P_B} = \frac{\mathbf{r}I}{2\mathbf{p}} \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \quad (1.19)$$

para dos puntos cualesquiera del suelo; tales como P_1 con distancias (r_1, r_2) , y P_2 con distancias (R_1, R_2) . La diferencia de potencial entre ambos será V:

$$V = \frac{\mathbf{r}I}{2\mathbf{p}} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1.20)$$

conociendo los parámetros del potencial V y de la corriente I o la resistencia $R=V/I$, que se mide con un Telurómetro, se halla la resistividad del suelo \tilde{n} ,

$$\mathbf{r} = 2\mathbf{p}R \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (1.21)$$

siendo la resistencia de dispersión

$$R = \frac{\mathbf{r}}{2\mathbf{p}} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1.22)$$

1.7 Finalidad de una puesta a tierra

En una puesta a tierra la conexión entre el electrodo desnudo en contacto directo con el suelo, permiten la conducción y dispersión de las corrientes eléctricas (Fig. 1.6), para brindar seguridad eléctrica y asegurar el correcto funcionamiento de los aparatos conectados al circuito eléctrico. Se tiene dos finalidades importantes:

- a. Evacuan y dispersan las corrientes eléctricas con mínima resistencia.
- b. Proveen a las masas eléctricas el potencial de referencia cero, debido a que la Tierra se comporta como un conductor infinito de carga, que hace que su potencial eléctrico sea cero ($V = 0$).

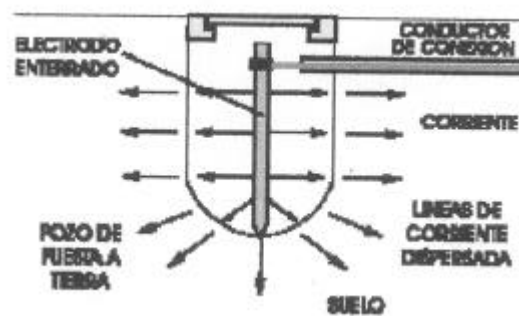


Fig. 1. 6 Dispersión de corrientes en el suelo

CAPITULO 2: DISEÑO DE UNA PUESTA A TIERRA

2.1 Resistividad y resistencia del suelo

Los parámetros de resistividad y resistencia, tienen significados diferentes. La resistividad eléctrica \tilde{n} del suelo describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad σ como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica para atravesarlo. La resistencia eléctrica viene determinada por la resistividad del suelo y su geometría [5]. Al considerar el suelo como un conductor rectilíneo y homogéneo de sección S y longitud L , su resistencia eléctrica y resistividad son:

$$R = \tilde{n} \frac{L}{S} \quad \Rightarrow \quad \tilde{n} = \frac{RS}{L} \quad (2.1)$$

El suelo es una mezcla de rocas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición interna, dependa de otros factores externos como la temperatura, la humedad, el contenido de sales, etc., que pueden provocar que un mismo suelo presente resistividades diferentes con el tiempo (Tabla 2.1, 2.1 y 2.3).

Variación de la resistividad con la temperatura

Tabla 2.1: Terreno arcillo-arenoso con 15% de humedad

$^{\circ}C$	20	10	0 (agua)	0 (hielo)	- 5	- 15
$\tilde{n} (m)$	75	100	138	300	790	3300

Variación de la resistividad con la humedad

Tabla 2.2: Terreno arcillo-arenoso a 10°C

% agua	2,5	5	10	15	20	30
\bar{n} (m)	1500	430	185	105	63	42

Variación de la resistividad con el contenido de sales

Tabla 2.3: Terreno arcillo-arenoso con 15% de humedad a 10°C

% sales	0	0.10	1	5	10	20
\bar{n} (m)	107	18	4.6	1.9	1.3	1

* Fuente : Impianti di messa a terra. ENPI Serie C n°38

Otro factor que influye más directamente sobre la resistividad, es el carácter geológico del terreno. En la Tabla 2.4 se indican los valores para los diferentes tipos de suelos, donde se ve que la resistividad del terreno puede tener valores muy distintos en función del tipo de terreno de que se trate (de 10^6 -m a 0.1 -m).

Tabla 2.4: Valores de resistividad para rocas y terrenos comunes

Terreno	Resistividad (-m)
Granito compacto - Gneiss seco	..... 10^6
Carbono, Diorita, Sienita, Gneis diorítico	..... 10^5
Basalto, Lava basáltica	..... 10^4
Granito mojado	..... 2,000
Calcáreo mesozoico	..... $1,500 \div 150$

Yeso seco, arena fina seca	.....	1,000
Calcáreo miocénico	.....	1,000 ÷ 50
Arena normal	.....	500 ÷ 250
Formaciones cristalinas metamórficas	.....	500 ÷ 80
Lava antigua, puzolana	.....	500 ÷ 30
Turba seca	.....	300 ÷ 150
Arena Arcilla	.....	200 ÷ 80
Aluviones, embebidos de agua dulce	.....	200 ÷ 20
Arena cascajos mojados	.....	150 ÷ 100
Aluviones secos	.....	100 ÷ 50
Arena arcilla en estratos alternados	.....	100 ÷ 20
Arena arcillosa mojada	.....	50
Arcilla normal	.....	60 ÷ 20
Margas secas	.....	50
Arcilla escamosa	.....	20 ÷ 3
Arcilla ferrosa, piritosa, margas, turbas, arcilla	.....	10
Mioceno, plioceno (Arcilla marga)	.....	10 ÷ 1
Aluviones embebidos de agua salada	.....	5 ÷ 1
Esquistos grafiticos secos	.....	3,5
Agua de mar	.....	1
Esquistos grafiticos mojados	.....	1 ÷ 0,5
Mineral conductor	.....	0,1
Solución salina	.....	0,1 ÷ 0,01

* Fuente: Impianti di messa a terra. ENPI Serie C n° 38

La mayoría de los terrenos, no son homogéneos, están formados por diversos estratos normalmente horizontales, y paralelos a la superficie del suelo. Debido a la estratificación del terreno, se obtiene una resistividad aparente \tilde{n}_a , donde la dispersión de la corriente, en cada capa, se da de acuerdo a su resistividad [5].

2.2 Medida de la resistividad eléctrica del suelo

2.2.1 Método de Frank Wenner

Este método, se basa en la aplicación del principio de caída potencial, donde se toman cuatro electrodos (A, P₁, P₂ y B), ubicados sobre una línea recta, separados a igual distancia “a” entre ellos (Fig. 2.1). [4]

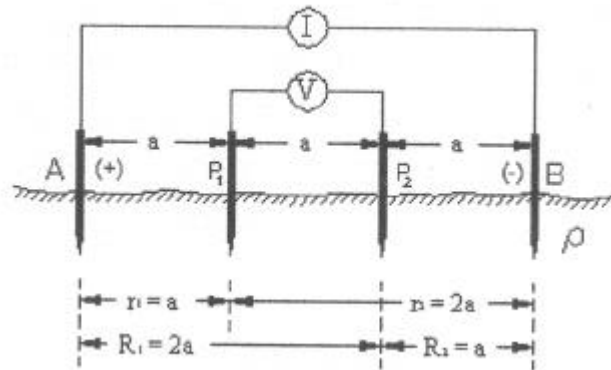


Fig. 2.1 Método de Wenner

siendo su resistividad:

$$r = 2\rho \frac{V}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\rho \frac{Va}{I} = 2\rho Ra \quad (2.2)$$

2.2.2 Método de Schlumberger

En este método los cuatro electrodos se ubican sobre una línea recta y la distancia de los electrodos detectores de potencia P₁ y P₂ que permanecen fijos, es mucho menor que los electrodos inyectores de corriente A y B, que son los que se trasladan (Fig. 2.2).

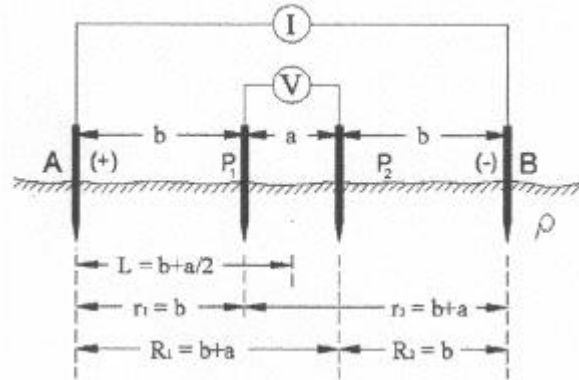


Fig. 2.2 Método de Schlumberger

siendo su resistividad

$$r = 2\rho \frac{V}{I} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{b+a} - \frac{1}{b+a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 4\rho R \frac{b(b+a)}{a} \quad (2.3)$$

2.3 Selección e instalación del Electrodo

El electrodo es el componente del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el suelo y proporciona el medio para botar o recoger cualquier tipo de fuga de corriente a tierra. El electrodo debe tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro del suelo; el más usado es el cobre electrolítico de pureza 99.9%. El electrodo puede tomar diversas formas: barras verticales, conductores horizontales, placas, etc. [6]

2.3.1 Electrodo vertical en pozo

Son las que más se aplican por el mínimo espacio que necesitan, se usa un electrodo simple tipo varilla de cobre (jabalina), siendo las medidas estándar, para su longitud L : 2.0, 2.5 y 3.0m , con un diámetro d : 0.025m y 0.013m (Fig 2.3), siendo su resistencia:

$$R = \frac{r_a}{2\rho L} \operatorname{Ln} \left(\frac{4L}{d} \right) \quad (2.4)$$

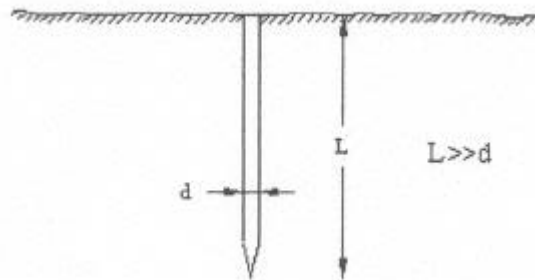


Fig. 2.3 Electrodo vertical

2.3.2 Electrodo horizontal en zanja

Se aplican poco, se emplea un electrodo simple de cobre tipo platina o un conductor desnudo (Fig. 2.4), su resistencia es:

$$R = \frac{r_a}{2\rho L} \operatorname{Ln} \left(\frac{4L^2}{hd} \right) \quad (2.5)$$

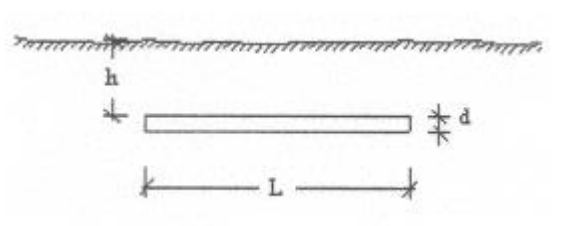


Fig. 2.4 Electrodo horizontal

2.4 Medida de la resistencia de una puesta a tierra

Es la verificación de la capacidad de evacuación y dispersión de la corriente eléctrica en el suelo, a cargo de una puesta a tierra desconectada; las medidas se hacen utilizando un Telurómetro portátil de 3 ó 4 Bornes (Fig. 2.5). Se inyecta una corriente a través del electrodo de la puesta a tierra A y se mide el alza de potencial por el electrodo

auxiliar de potencia P_2 , conocido el valor de la tensión y la corriente se obtiene la resistencia de la puesta a tierra. [7]

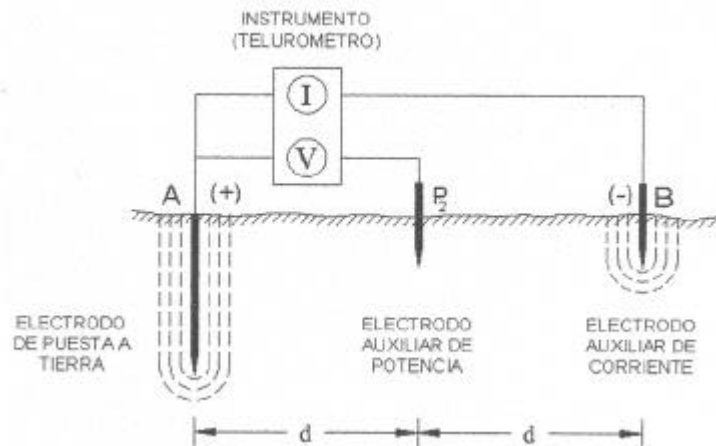


Fig. 2.5 Medida de la resistencia de la puesta a tierra

La forma precisa de medir la resistencia a tierra, es colocando el electrodo auxiliar de potencia P_2 a una distancia “ d ” (igual al doble de la longitud del electrodo A) y a una distancia “ $2d$ ” al electrodo auxiliar de corriente B con respecto al electrodo de puesta a tierra A, en línea recta, para que el electrodo P_2 esté fuera de las áreas de resistencia del electrodo A y B.

Siendo los valores de resistencia:

- Para grandes subestaciones, líneas de transmisión y estaciones de generación:
1
- Plantas industriales, edificios, grandes instalaciones comerciales: 1 – 5
- Para aplicaciones domésticas, un electrodo simple: 25

2.5 Métodos para la reducción de la resistencia eléctrica

2.5.1 Aumento del número de electrodos en paralelo

Al colocar varios electrodos en paralelo es una manera muy efectiva de bajar la resistencia. Pero, los electrodos enterrados no deben ser colocados muy cerca uno de otro, porque cada electrodo afecta la impedancia del circuito, por los efectos mutuos. Por eso se recomienda que la separación entre puestas a tierra debe ser por lo menos el doble del electrodo. [7]

2.5.2 Aumento del diámetro del electrodo

La resistencia de un electrodo de sección circular se reduce al incrementarse su diámetro, sin embargo tiene un límite en el que ya no es recomendable aumentarlo debido a que el valor de la resistencia del terreno permanece prácticamente constante.

Para un electrodo de 5/8" (1.6 cm) de diámetro, se quisiera incrementar su conductancia, se puede añadir helicoidales de cable 1/0 AWG, cuyo diámetro de espiras tendrá un diámetro de 18 cm, y la separación entre éstas sea de 20 cm, lográndose una, reducción de 30% de la resistencia; es decir, el diámetro del electrodo creció de 1.6 cm (5/8") a 18 cm, lo que equivaldría a utilizar un electrodo de 7".

2.5.3 Aumento de la longitud de penetración del electrodo

Aumentando la longitud de penetración del electrodo en el terreno es posible alcanzar capas más profundas, en el que se puede obtener una resistividad muy baja si el terreno presentara un mayor porcentaje de humedad o al contrario una resistividad .muy alta si el terreno fuera rocoso y pedregoso, que las presentadas en las capas superficiales.

2.5.4 Tratamiento químico electrolítico del terreno de los pozos

El tratamiento químico del suelo surge como un medio de mejorar y disminuir la resistividad del terreno, sin necesidad de utilizar gran cantidad de electrodos. Existen diversos tipos de tratamiento químico para reducir la resistencia de un pozo a tierra:

- Las sales puras (cloruro de sodio) no actúan como un buen electrolítico en estado seco, por lo que se le incorpora carbón vegetal con el fin de que este sirviera como absorbente de las sales disueltas y de la humedad.
- Las bentonitas molidas son sustancias minerales arcillosas que retienen las moléculas del agua, pero la pierden con mayor velocidad que con la que la absorben, debido al aumento de la temperatura ambiente. Al perder el agua, pierden conductividad y restan toda compactación, lo que deriva en la pérdida de contacto entre electrodo y el medio, elevándose la resistencia del pozo ostensiblemente. Una vez que la bentonita se ha armado, su capacidad de absorber nuevamente agua, es casi nula.
- El THOR-GEL, es un compuesto químico complejo, que se forma cuando se mezclan en el terreno las soluciones acuosas de sus 2 componentes. El compuesto químico resultante tiene naturaleza coloidal, y es especial para el tratamiento químico electrolítico de las puestas a tierra, este componente viene usándose mayormente por sus muy buenos resultados, debido a que posee sales concentradas de metales que neutralizan la corrosión de las sales incorporadas, como también aditivos para regular el PH y acidez de los suelos.

Este compuesto posee otra ventaja que al unirse en el terreno se forma un compuesto gelatinoso que le permite mantener una estabilidad, química y eléctrica por aproximadamente 4 años. El método de aplicación consiste en incorporar al pozo los electrolitos que aglutinados bajo la forma de un Gel, mejoren la

conductibilidad de la tierra, y retengan la humedad en el pozo, por un período prolongado. De esta manera se garantiza una efectiva reducción de la resistencia eléctrica, y una estabilidad que no se vea afectada por las variaciones del clima.

La aplicación del THOR-GEL es de 1 a 3 dosis por m³ según sea la resistividad natural del terreno y la resistencia final deseada, ver la Tabla 2. 5.

Tabla 2.5

Naturaleza del terreno	Resistividad (Ohm-m)	Dosis THOR-GEL por m³
Terrenos cultivables y fértiles	50	1
Terraplenes compactos y húmedos	50	1
Terrenos cultivables poco fértiles	500	de 1 a 2
Suelos pedregosos desnudos arena seca, permeable	3000	2
Suelos rocosos fraccionados	6000	de 2 a 3
Suelos rocosos compactos	14000	3

CAPITULO 3: CONSTRUCCION DE TRES POZOS DE TIERRA PARA LA SALA DE COMPUTO DE LA COMPAÑÍA: CERVECERIAS BACKUS S.A.A.

3.1 Medida de la resistencia de una puesta a tierra

Para la sala de computo de la compañía Cervecerías Backus S.A.A., se ha solicitado la fabricación de 3 pozos de tierra conectados en paralelo para una aceptable resistencia que debe ser de 3 a 5 ohmios. Los pozos a tierra están diseñados para la protección de las personas, de las computadoras, UPS, etc.



3.2 Alcances

- Utilizando el telurómetro que es un instrumento de medida de resistencia, se evalúa y se mide la resistividad del terreno.
- Luego se procede a la excavación de tres pozos de un 1m^2 de área por 3m de profundidad, separados a una distancia de 6m aproximado cada uno, desechando

todo material de alta resistividad tales como piedras, hormigón, arena, etc. Luego se abre 2 zanjas de 0.4m x 0.6m x 6.0m, para la puesta en paralelo.

- Se rellena el pozo utilizando tierra de cultivo tamizada con la bentonita hasta los primeros 0.3m y se compacta, luego se instala la varilla de cobre electrolítico de 3/4" x 2.4m con la helicoidal de cable desnudo de 50mm², llenándose luego los siguientes 0.2m y se vuelve a compactar, se repite la operación hasta completar 1m³ de profundidad.
- Se aplica 1 dosis x 1m³ de THOR-GEL a cada pozo, disolviendo el contenido de las 2 bolsas (crema y azul) por separado en unos 20 litros de agua y se vierte en el pozo, hasta su total absorción, repitiéndose la aplicación hasta culminar el pozo.
- Se conecta los pozos con un cable desnudo de 50mm², para la puesta en paralelo, donde el cable desnudo se encuentra dentro de la zanja, y es tapado con el tamizado de tierra agrícola y bentonita.



- Se instala la caja de registro de concreto a cada pozo terminado



3.3 Medición de la resistencia del pozo a tierra

- La calidad del pozo se determina con el telurómetro de marca KYORITSO modelo 4102, este instrumento mide la resistencia del terreno utilizando el método de la caída de potencial, ó método de las 3 puntas, con respecto a la varilla de cobre, la evaluación puede ser individual o paralelo.

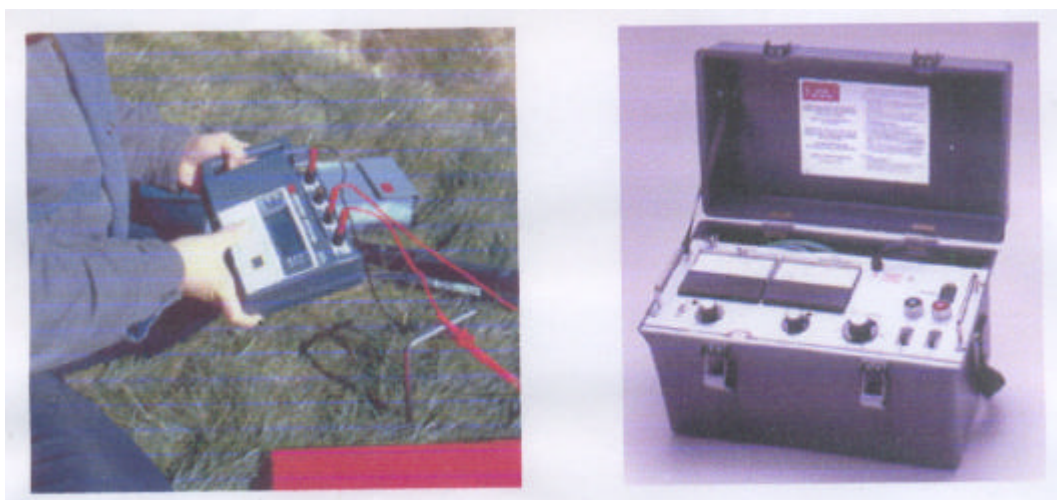
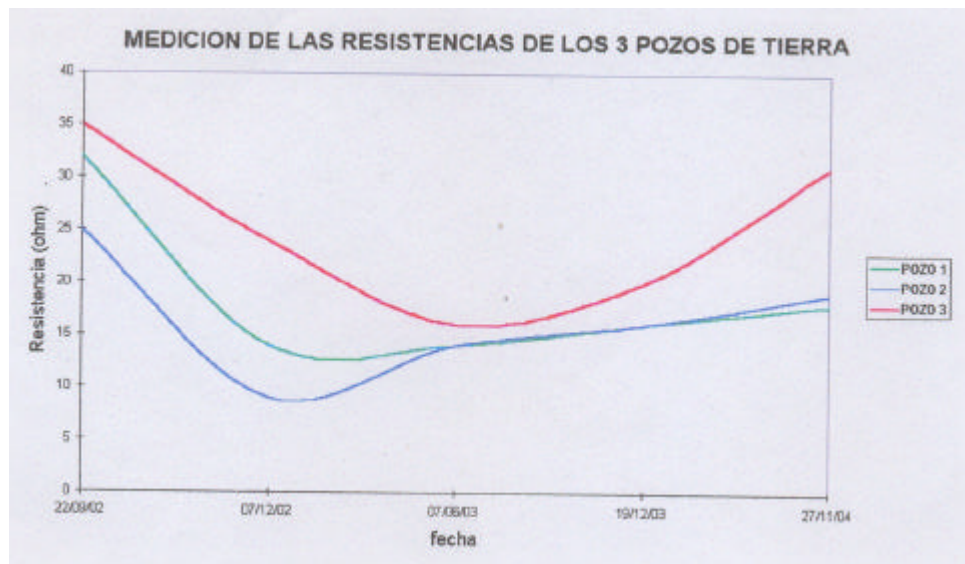


Tabla de medición de resistencia de los 3 pozos de tierra

Fecha	Pozo 1 ()	Pozo 2 ()	Pozo 3 ()
22-09-02	32	25	35
07-12-02	14	9	24
07-06-03	14	14	16
19-12-03	16	16	20
27-11-04	18	19	31



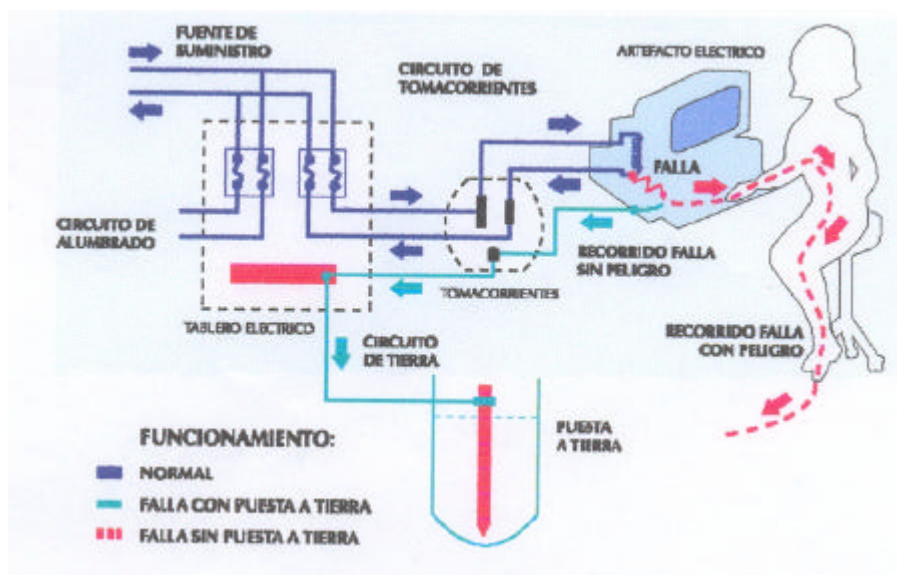
La gráfica muestra que para los 3 pozos, la resistencia decrece, debido a la reactivación de los pozos con dosis de thor-gel, y el aumento de las curvas se debe a factores, de humedad, temperatura, salinidad del suelo.

Funcionamiento de una puesta a tierra

Conducen en forma permanente e inofensiva, a través de su resistencia de dispersión, pequeñas corrientes de distinto origen (carga estática, fuga de aislamiento, etc); y conducen en forma ocasional durante muy cortos períodos, grandes corrientes, por fallas del aislamiento o descarga atmosférica.

3.4 Inspección y mantenimiento del pozo a tierra

Las inspecciones se realizan anualmente, con el fin de comprobar la resistencia y las conexiones, esta labor debe ser efectuada en verano o en tiempo de sequía con el fin de evaluarlas en el momento más crítico del año por falta de humedad. El mantenimiento periódico debe realizarse cada 4 años incorporando un nuevo tratamiento con THOR-GEL, este tratamiento es preventivo y no correctivo.



CONCLUSIONES

- Para la instalación de una puesta a tierra, se estudia el comportamiento del suelo como conductor eléctrico, a partir de su composición mineralizada y sus contenidos de sales y humedad; incluyendo las Tablas Referenciales que ayudan a una identificación preliminar de su Resistividad.
- Para cualquier tipo de suelo estratificado, el método de caída de potencial, es la más recomendable por su sencillez, buena resolución y mínimo error.
- Para verificar la medida de la resistencia de la puesta a tierra se debe realizar otra medida con diferentes distancias para los circuitos (I) y (V), donde la mayor resistencia obtenida será reconocida y aceptada como referencial, a menos que se haga una tercera medida que dé un mayor valor promedio.
- Las condiciones ambientales pueden deteriorar la puesta a tierra con el tiempo, por lo que se debe, monitorear de vez en cuando para verificar su estado y cerciorarse de que se tiene el valor de resistencia de puesta a tierra deseado. Asimismo las condiciones ambientales modifican el valor de la resistencia de la puesta a tierra, dependiendo de la estación del año en que se mida.
- La profundidad a la que se entierra los electrodos de prueba para medir la puesta a tierra, no afecta el resultado de la medición. De lo que hay que cerciorarse es de que dichos electrodos hagan buen contacto con el suelo, si es necesario humedeciendo la zona.

REFERENCIAS

- [1] John R. Reitz - Frederick J. Milford - Robert W. Christy, *Fundamentos de la teoría electromagnética*, Addison -Wesley Iberoamericana, 1993.
- [2] Arturo Talledo, *Teoría de campos electromagnéticos*.
- [3] Miguel de la Vega Ortega, *Ingeniería de Puestas a Tierra*, Editorial Limusa, S A de C.V., México 1998.
- [4] Ernesto Orellana, *Prospección Geoeléctrica en corriente continua*, Ed. Parainfo, Madrid 1982.
- [5] Milton Dobrín, *Introducción a la Prospección Geofísica*, Ed. Omega S.A., Barcelona 1974.
- [6] Ing. Justo Yanque Montufar, *Apuntes del Curso Diseño de Aterramientos Eléctricos*, Colegio de Ingenieros del Perú, Lima 1997.
- [7] Catálogo Para-Rayos S.A., *Protecciones eléctricas y electrónicas integrales*, Lima.
- [8] Información Técnica de Procobre Perú
Electroredes N° 99 # 01
Electroredes N° 2001 # 01
Electroredes N° 2001 # 02