

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 ρ 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:

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

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
$\rho (\Omega m)$	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
$\rho (\Omega \cdot m)$	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
$\rho (\Omega \cdot m)$	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 $10^6 \Omega \cdot m$ a $0.1 \Omega \cdot m$).

Tabla 2.4: Valores de resistividad para rocas y terrenos comunes

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

*** 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]

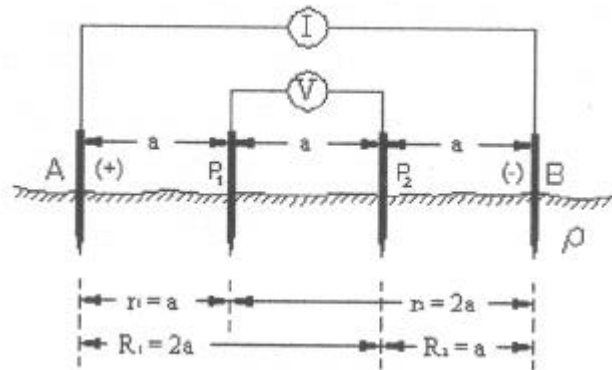


Fig. 2.1 Método de Wenner

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).

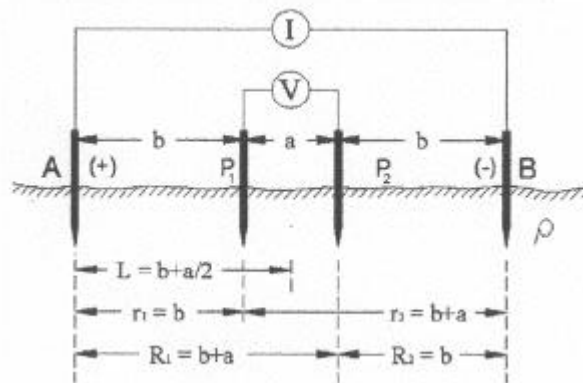


Fig. 2.2 Método de Schlumberger

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:

$$R = \frac{r_a}{2pL} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad (2.4)$$

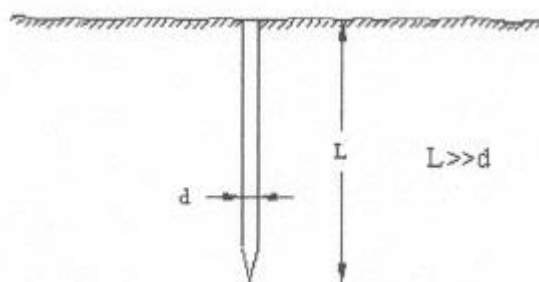


Fig. 2.3 Electrodo vertical

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:

$$R = \frac{r_a}{2pL} \ln\left(\frac{4L^2}{hd}\right) \quad (2.5)$$

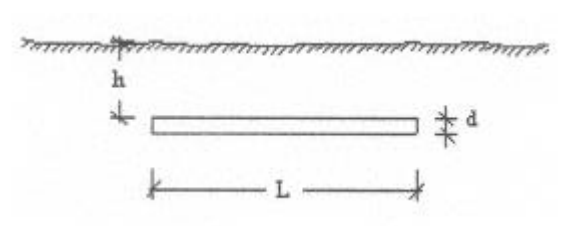


Fig. 2.4 Electrodo horizontal

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]

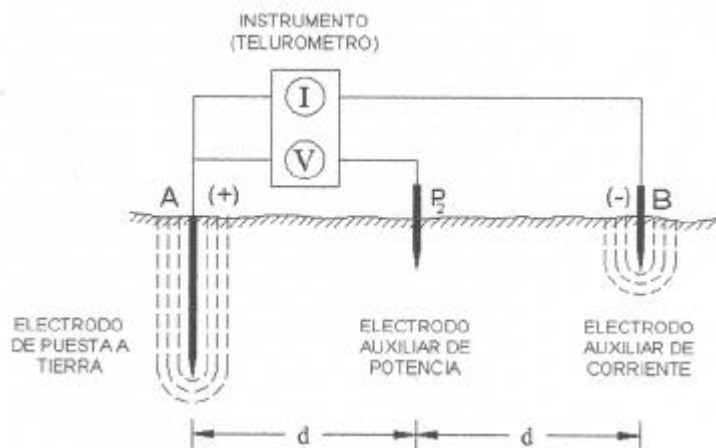


Fig. 2.5 Medida de la resistencia de la puesta a tierra

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