

Boletín 6

SISTEMAS
DE PUESTA A
TIERRA

RESISTIVIDAD DE
SUELOS

Boletín técnico N° 6
PARTE 2
Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA RESISTIVIDAD DE SUELOS

PARTE 2

Por:

Ing. Gregor Rojas
GERENTE NACIONAL
MERCADEO Y VENTAS
División materiales eléctricos

1. Generalidades.

La protección de un sistema eléctrico debe fundamentarse en una correcta puesta a tierra. El sistema de puesta a tierra cumple básicamente dos funciones: establecer conexiones equipotenciales y garantizar que en un evento de falla a tierra, toda la corriente de corto circuito retorne a la fuente de una manera controlada.

Para comprender mejor el tema de los sistemas de puesta a tierra relacionado a la resistividad de suelos, es necesario haber visto previamente el Boletín Técnico N° 5 PARTE 1 sobre conceptos básicos donde partimos desde principios básicos sobre esta materia.

La protección de las personas y los equipos, se debe fundamentar primeramente en una correcta puesta a tierra. Las descargas atmosféricas no se pueden controlar, pero el riesgo de su impacto dentro del sistema eléctrico puede minimizarse de manera que la instalación eléctrica sea segura, tanto para las personas como para la infraestructura y sus equipos.

Existe amplia información sobre puestas a tierra, pero en resumen, se debe contar con un sistema que presente baja resistencia eléctrica (menos de 25Ω para sistemas residenciales e inferior a 5Ω para sistemas industriales). Además el dimensionamiento del conductor de puesta a tierra debe basarse en la tabla 250-66 del código

eléctrico nacional y en las condiciones específicas del sistema de potencia.

2. Resistividad del terreno.

Como hemos comentado previamente el término “resistividad de tierra” expresado en centímetros ohm es una variable básica que afecta la resistencia a tierra de un sistema de electrodos. Pero se encontró que el valor real de la resistividad de la tierra no necesita medirse para verificar la resistencia de tierra del electrodo.

Las mediciones de resistividad de tierra pueden emplearse convenientemente para prospecto geofísico. Las mediciones también pueden emplearse para determinar la profundidad de la roca.

Las mediciones de la resistividad de la tierra también son útiles para encontrar la mejor ubicación y profundidad para electrodos de baja resistencia.

Tales estudios se realizan, cuando se van a construir unidades eléctricas nuevas tales como: estación generadora, subestación, torre de transmisión y central telefónica.

Finalmente, se puede utilizar la resistividad de la tierra para indicar el grado de corrosión que se espera en tuberías subterráneas de agua, petróleo, gas, etc.

3. Efectos la humedad y la temperatura sobre la resistividad del terreno.

Indudablemente que si, la resistividad del terreno está muy influenciada primordialmente por la humedad y en menor medida no menos importante por su temperatura, son tan significativos estos efectos, que la resistencia del terreno disminuye con el aumento de la humedad y con el incremento de la temperatura.

El conocimiento de la acción de la humedad y temperatura sobre la resistencia del electrodo para

puesta a tierra resulta indispensable para que una instalación de tierra conserve en el tiempo sus características.

4. Efectos de la humedad y sales disueltas sobre la resistividad del terreno

Para los efectos prácticos el resultado de la resistencia por la acción de la humedad y la temperatura nos obliga a mantener presente oportunos coeficientes para la determinación de la resistencia que debemos asignar a los electrodos con el fin de un buen funcionamiento en las instalaciones a tierra.

Se podría omitir el factor de temperatura, para no efectuar tanto la influencia de la humedad en el terreno.

Otra causa de imprecisión en el conocimiento de la resistencia del terreno es la variación de valores de esta magnitud, cuando se pasa de capas superficiales o capas profundas, sobre todo, cuando se usa el electrodo cilíndrico de distinta naturaleza y resistividad.

Las variaciones de resistividad con la profundidad puede ser modificada debido a los estados de humedad del terreno, cuando por ejemplo, después de un larga periodo de sequía, un temporal humedece la capa superficial del terreno, dejando seca la capa inferior, la mayor parte de la corriente que eventualmente se distribuye hacia los dispersores, eligiendo un camino de menos resistencia, influirá únicamente la capa superficial, creando alrededor de los dispersores peligrosas gradientes superficiales.

En el terreno, la conducción de corriente es principalmente electrolítica. Por tanto, la cantidad de humedad y el contenido de sales del terreno afectan radicalmente su resistividad.

La cantidad de agua en el terreno varía, por supuesto, con el clima, época del año, la

naturaleza del subsuelo y la profundidad del manto freático permanente.

En la Tabla 2 *Efecto de la humedad en la resistividad del Terreno*, se exhiben los efectos típicos del agua sobre el terreno, en ella se puede observar que al estar secos en ambos tipos de terreno las resistividades son alrededor de 1000 Mega ohm-cm, siendo buenos aislantes.

Con un contenido de humedad del 30%, sin embargo, se aprecia un decrecimiento drástico en la resistividad del terreno que se puede determinar por un factor de alrededor de 100,000 veces del valor original.

TABLA 2		
Efecto de la humedad en la resistividad del Terreno		
CONTENIDO DE HUMEDAD % POR PESO RESISTIVIDAD OHM-CM	TERRENO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
0.0	1,000 x 10 ⁶	1,000 x 10 ⁶
2.5	250,000	150,000.0
5.0	165,000	43,000
10	53,000	22,000
15	21,000	13,000
20	12,000	10,000
30	10,000	8,000

Tenga presente que el agua pura tiene una resistividad infinitamente alta. Las sales presentes en forma natural en el terreno o disueltas en agua, bajan la resistividad del terreno.

Si analizamos en forma análoga a la humedad, los efectos que causan las sales en el terreno, podemos percibir que basta con una pequeña cantidad de una sal para reducir la resistividad del terreno de manera significativa, observen la tabla 3 Efecto de la sal en la resistividad del terreno.

En ella para un 0% de sal la resistividad es de unos 10,7 Kilo ohm-cm, se aprecia un decrecimiento drástico en la resistividad del terreno que se puede determinar por un factor de alrededor de 1000 veces del valor original cuando el terreno tiene un porcentaje del 20%.

Este efecto puede ser útil para proporcionar un buen electrodo de baja resistencia, en lugar de un sistema de electrodos elaborado y caro.

ABLA 3 Efecto de la sal en la resistividad del terreno	
% DE SAL AGREGADA POR PESO DE HUMEDAD	RESISTIVIDAD OHM-CM
0.0	10,700
0.1	1,800
1.0	460
5.0	190
10	130
20	100

5. Efectos de la temperatura sobre la resistividad del terreno.

No se ha recopilado mucha información sobre los efectos de la temperatura. Dos hechos conducen a la conclusión lógica de que un incremento en la temperatura disminuirá la resistividad:

- (1) El agua presente en el terreno principalmente determina la resistividad
- (2) Un incremento en la temperatura disminuye notoriamente la resistividad del agua.

Los resultados que se muestran en la Tabla 4 Efecto de la Temperatura en la Resistividad del Terreno confirman estos hechos. Observe que cuando se congela el agua en el terreno, la resistividad salta en forma apreciable; el hielo tiene una resistividad alta.

Note también que la resistividad continúa aumentando conforme baja la temperatura por debajo del punto de congelación. Se podría tener un valor realmente alto en los polos terrestres. En la tabla 4, note que una caída de temperatura de 54 grados (de 68°F a 14°F) ocasiona un aumento de 50 veces en resistividad.

TABLA 4 Efecto de la Temperatura en la Resistividad del Terreno		
TEMPERATURA		RESISTIVIDAD OHM-CM
C	F	
20	68	7,200
10	50	9,900
0 0 -5	32 (agua)	13,800
	32 (hielo)	30,000
	23	79,000
-15	14	330,000

6. Efectos del tipo de suelo sobre la resistividad del terreno.

Ya se trate de un suelo mayormente arcilloso o muy arenoso, la resistividad de la tierra puede cambiar mucho.

No es fácil definir exactamente a un suelo dado; la arcilla puede cubrir a una amplia variedad de suelos de tal manera que no podemos decir que cualquier suelo dado tiene una resistividad de tantos ohms-cm acompañando las Tablas 5 y 6 desde dos libros de referencia diferentes se muestra el amplio rango en valores.

Nótese también la variedad de valores para los mismos tipos generales de suelos.

7. Efectos de las variaciones estacionales sobre la resistividad del terreno.

Hemos visto los efectos de la temperatura, la humedad y el contenido de sales en la resistividad del terreno.

Es lógico, por tanto, que la resistividad del terreno variará considerablemente en las diferentes épocas del año.

Esto es particularmente cierto en aquellos lugares donde hay variaciones extremas de temperatura, lluvia, temporadas secas y otras variaciones estacionales.

Cuando se utiliza este valor para trabajos de sondeo, el cambio en el valor, ocasionado por cambios en la naturaleza del subsuelo, es el asunto importante; de las variaciones en resistividad se pueden obtener resultados de sondeo importantes.

Otra razón principal de interesarse en la resistividad del terreno es para el diseño de sistemas de electrodos para sistemas eléctricos de potencia, pararrayos y así sucesivamente.

La resistencia del terreno varía directamente con su resistividad y es útil para conocer qué factores afecten la resistividad.

TABLA 5 RESISTIVIDAD DE DIFERENTES SUELOS			
SUELO	RESISTIVIDAD OHM – CM		
	promedio	MIN	MAX
Rellenos de cenizas, partículas de madera quemadas, desperdicios de agua salada	2,370	590	7,000
Arcilla, rocas de arcilla endurecida, plantas gomosas, suelos ricos compuestos especialmente de arcilla arena y materia orgánica	4,060	340	16,300
Los mismos pero con proporciones variables de arena y grava	15,800	1,020	135,000
Grava, arena, piedras con un poco de arcilla o suelos ricos compuestos especialmente de arcilla arena y materia orgánica	94,000	59,000	458,000

De todo el análisis precedente, se puede ver que la resistividad del terreno es una cantidad muy variable. Si se desea saber cuál es su valor en un lugar dado en cierta época del año, la única manera segura es medirla.

TABLA 6 RESISTIVIDAD DE DIFERENTES SUELOS	
SUELO	RESISTIVIDAD OHM – CM
Suelos de superficie, suelos ricos compuestos especialmente de arcilla, arena y materia orgánica, etc	100-5,000
Arcilla	200-10,000
Arena y grava	5,000-100,000
Caliza superficial	10,000 - 1,000,000
Caliza.	500-400,000
Rocas de arcilla endurecida	500-10,000
Arenisca.	2,000-200,000
Granitos, basaltos, etc	100,000
Partículas de rocas formadas de capas de cuarzo, mica, etc.	5,000-50,000
Rocas duras dispuestas en capas delgadas, etc	1,000-10,000

8. Medición de la resistividad del terreno

La medición de resistencia a tierra de electrodos es una técnica que requiere conocer aparte del

método de medición, algunos factores que afectan los resultados de las mediciones, y que son:

- El tipo de prueba.
- El tipo de aparato empleado.
- El lugar físico de las puntas o electrodos de prueba

Tipo de prueba.

Existen dos métodos de prueba básicos, los demás son variaciones de éstas. Aunque muy parecidas, los resultados de las mediciones no son exactamente los mismos. Los métodos son:

- Método de caída de potencial o de Tres Puntos, también denominado 62%
- Método Directo o de Dos Puntos.

Todos los métodos para medir la resistividad de las conexiones a tierra se asemejan por que en todos se necesitan dos conexiones de tierra auxiliares y de referencia, precisándose además una fuente adecuada de corriente y la exactitud del resultado está en función de la ubicación de las tierras auxiliares o de referencia con respecto a la tierra que se desea medir.

Tipo de aparato.

No todos los aparatos de medición de resistencia a tierra trabajan de la misma manera. Existen diferencias muy marcadas en el tipo de corriente empleada.

A manera de ilustrar estas diferencias, los aparatos más utilizados en nuestro medio son el Vibroground y el Megger de tierras. Ambos emplean corriente alterna para la medición pero el primero a una frecuencia de 25 Hz, el último a 133 Hz. Y los voltajes en circuito abierto son respectivamente de 120 y 22 Volts.

Cuando se calibran estos instrumentos contra resistencias patrón, ambos dan la misma lectura.

En campo, las lecturas pueden variar por la impedancia del terreno a esas distintas frecuencias.

En el mercado también existen aparatos de medición de tipo gancho como se aprecian en la figura 3.



Figura 3

Medidor de tierra tipo gancho

Estos tienen las siguientes limitaciones:

- Dependen de que las conexiones del sistema de tierras estén bien hechas para obtener buenos resultados, porque cualquier resistencia en serie afecta la lectura.
- En electrodos de mallas industriales donde por inducción electromagnética se pueden obtener más de 2 Amperes en los conductores de puesta a tierra, el aparato no puede ser usado. Por otra parte, este tipo de aparato es muy útil donde se toman lecturas con frecuencia a los sistemas de tierras frecuentemente, ya que puede ser empleado en lugares donde se requiere tomar lecturas con los equipos energizados permanentemente, o con electrodos inaccesibles.

Lugar físico.

Los electrodos de los instrumentos de medición pueden ser colocadas en todas direcciones como

a una inmensidad de distancias entre ellas. Aunque es el mismo punto de medida, las lecturas no son idénticas; a veces ni en terrenos vírgenes debido a la presencia de corrientes de agua o de capas de distinta resistividad.

En los terrenos industriales es aún mayor la diferencia debido a la presencia de objetos metálicos enterrados como tuberías, cabillas de construcción, canalizaciones eléctricas, etc.