

# **Fundamentos de Puesta a Tierra**

## **INTRODUCCION**

En el estudio, análisis y diseño de los sistemas de protección contra rayos, el sistema de puesta a tierra es quizá uno de las porciones más difíciles del diseño de protección. Esto es cierto porque los sistemas de puesta a tierra deben ser diseñados individualmente basados en condiciones específicas de suelo y sitio, que varían *ampliamente*. Esa información y un entendimiento de los fundamentos de puesta a tierra no están a menudo disponibles a ingenieros, contratistas y gestores de proyectos. El enfoque de este artículo es el proveer al lector con información básica y conocimiento para entender y diseñar un sistema de puesta a tierra seguro, eficaz y confiable.

La puesta a tierra es la unión física o conexión del equipo por un conductor a la tierra. La tierra está compuesta de muchos materiales que son buenos y malos conductores de electricidad, pero la tierra como un todo se considera un buen conductor. Por esta razón y como punto de referencia, el potencial de la tierra se asume que es cero. Cuando un objeto es puesto a tierra, es forzado a asumir el mismo potencial cero como la tierra. Si el potencial del objeto a tierra es más alto o más bajo, la corriente pasará a través de la conexión de puesta a tierra hasta que su potencial sea el mismo que el de la tierra.

La puesta a tierra es crítica por muchas razones. La primera es la seguridad humana. Un sistema de puesta a tierra con una resistencia baja mantendrá el equipo a un potencial muy cerca a cero de la tierra, reduciendo cualquier diferencia de voltaje entre equipos y “tierra”. Esto prevendrá un accidente o fatalidad durante el contacto humano.

Segundo, la puesta a tierra tiene la intención de proteger el equipo de sobre voltaje y transitorios, junto con dispositivos de Supresores de Picos Transitorios de sobretensión (SPT). El daño al equipo sensitivo de telecomunicaciones cause por rayos, etc., puede resultar en la pérdida de millones de dólares en daños y el tiempo de inactividad.

Finalmente, la puesta a tierra ofrece paz mental. Cuando la resistencia de aterramiento está baja, el equipo, el personal y las inversiones financieras están protegidos.

Los objetivos principales de un sistema de puesta a tierra son las de proveer:

- Seguridad al personal y protección de equipo mediante proveer un trayecto de baja resistencia para disipar de manera segura cualquier carga o potencial no deseado, y
- Un “punto de referencia” aproximadamente igual al potencial de la tierra para equipo sensitivo.

Para ser efectivo, un sistema de puesta a tierra debe ser estable y confiable en todas las condiciones ambientales adversas, debe ser libre de mantenimiento, y tener una esperanza de vida larga sin costos recurrentes.

## **PROTECCIÓN CONTRA RAYOS**

Los terminales aéreos, catenarias o conductores de bajada, uniones de conexiones, dispositivos de supresión de picos transitorios, y puesta a tierra son los componentes primarios de un sistema de protección contra rayos. La norma Protección Contra Rayos 780 de la NFPA y también la norma IEC 62305 explican el diseño y aplicación de la mayoría de estos componentes usando modelos geométricos. Las mismas normas NO especifican profundamente y con mucha detalle las exigencias del sistema de puesta a tierra.

El sistema de puesta a tierra es el “punto final” más importante del sistema de protección contra rayos. Sin el sistema de puesta a tierra o “punto final” del sistema de protección contra rayos *no puede funcionar* o

## **Fundamentos de Puesta a Tierra**

proteger como es diseñado. La puesta a tierra es esencialmente enterrada bajo tierra y es invisible para la inspección y mantenimiento. Ya que es solo parte del sistema de protección contra rayos, que no puede ser inspeccionado regularmente, es aún más importante diseñar el sistema de puesta a tierra de manera segura y apropiada.

El sistema de puesta a tierra es responsable por disipar y transferir la alta energía de un rayo de estructuras construidas por el hombre a la tierra "natural". El sistema de puesta a tierra debe ser conductivo, durable, resistente al calor, y flexible en su aplicación. Debe ser suficientemente baja en impedancia para minimizar la Subida de Potencial de la Tierra (SPT) en el suelo alrededor del sistema de puesta a tierra y los potenciales de voltaje en todos los componentes interconectados.

### **FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE SISTEMA DE TIERRA**

#### **CARACTERISTICAS DEL SUELO**

Las características del suelo determinan el diseño y construcción física de un sistema de puesta a tierra necesario para lograr una resistencia determinada. Esto incluye la selección de los tipos de electrodos (normalmente múltiples), el espaciamiento de los electrodos y la colocación de los mismos electrodos. La característica más importante de la cual estamos preocupados es la conductividad del suelo o habilidad de conducir la electricidad, inversamente llamado resistividad de suelo. Pruebas de la resistividad del suelo establecen la resistencia contra el flujo de corriente del suelo y finalmente determinan el diseño de sistema de puesta a tierra necesario para lograr una resistencia a tierra específica. Los factores que afectan la resistividad del suelo son el contenido de humedad, su contenido de electrolitos y metales, y cambios ambientales de temperatura.

#### **RESISTIVIDAD DEL SUELO**

La resistividad del suelo o tierra es la resistencia eléctrica del suelo al flujo de corriente continua y alterna. La unidad más común usada es el ohm-metro, que se refiere a la medida de resistencia entre las caras opuestas de un metro cubico de suelo. Teóricamente, la resistencia del terreno de cualquier sistema de tierra o electrodo, R, puede ser calculado usando la formula general de resistencia:  $R = \rho(L/A)$ .

$\rho$  = Resistividad de la tierra (ohm-metro)

L= Longitud del trayecto del conductor (metros)

A = Área transversal del trayecto (metros cuadrados)

Este proceso de diseño será discutido más tarde. Por lo tanto, la resistividad del suelo es una constante proporcional que relata la resistencia de un sistema de tierra a la longitud del trayecto conductor y su área transversal. Es imprescindible medir la resistividad del suelo como parte del proceso de diseño. La resistividad puede variar ampliamente en diferentes medios de suelo. Por ejemplo, superficies típicas de suelo pueden variar en resistividad en un rango de 100 a 5000 ohm-cm.

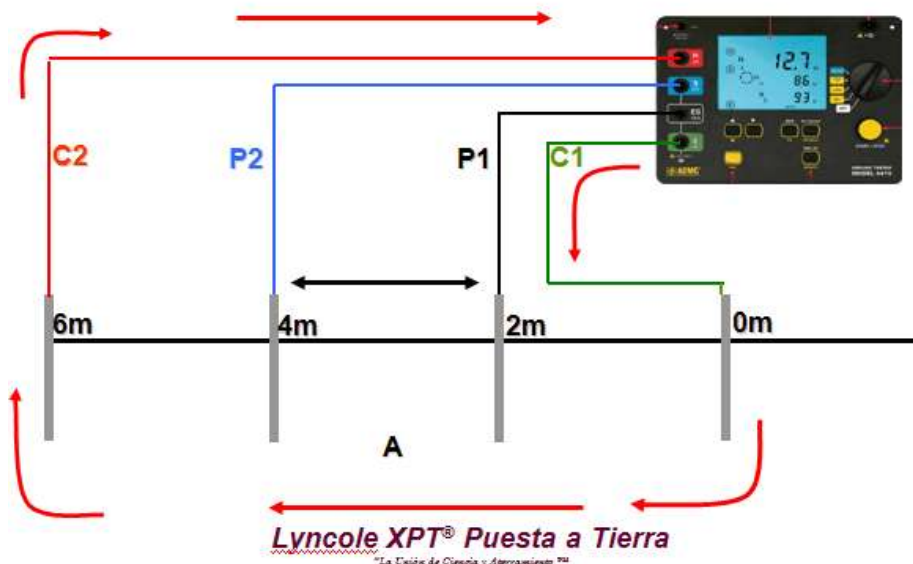
#### **MEDICION**

Típicamente, la resistividad del suelo se mide de acuerdo con el método de electrodo de Wenner de cuatro puntas usando un instrumento de la resistividad de la tierra. [Fabricantes de instrumentos reconocidos incluyen AEMC y Megger.] Cuatro puntas de metal son ubicados en contacto con la tierra en una línea recta

## Fundamentos de Puesta a Tierra

espaciados de manera equitativa (Figura 1). Una corriente constante es entonces inyectada a través de la tierra por medio del probador y otros dos electrodos exteriores, etiquetados C1 y C2.

### Método Wenner de 4 Puntas



La caída de potencial se mide a través de los dos electrodos interiores, etiquetados P1 y P2. El instrumento provee una lectura directa de la resistividad en ohm-metros. La resistividad calculada es la resistividad del suelo entre la superficie del suelo y la profundidad equitativa al espaciamiento de la punta.

#### EFFECTOS DE LA HUMEDAD, TEMPERATURA Y LA SAL EN LA RESISTIVIDAD

La mayoría de los suelos naturalmente contienen cantidades variables de electrolitos que conducen la electricidad. Como un resultado, la adición de humedad mejorará sus propiedades conductivas; cuanto mayor humedad contenga en el suelo, la resistividad será más baja. Sin embargo, la adición de humedad en suelos que incluyen granito, arenisca, y piedra caliza en la superficie tendrá poco o ningún efecto en la reducción de la resistividad.

La temperatura, como humedad, puede tener un impacto significativo en la resistividad. La resistividad del suelo no varía mucho con la temperatura hasta que las temperaturas alcanzas las condiciones de congelamiento, por ejemplo, 0° C. A esta temperatura la humedad en el suelo se congela y la resistividad aumentara.

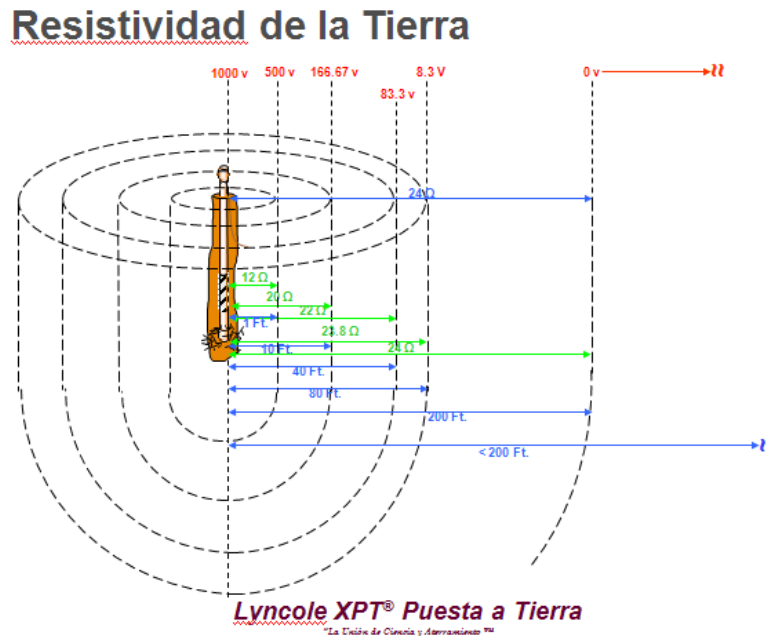
La cantidad de sal en la tierra también influencia la resistividad del suelo. En general cuanto más sal o electrolitos contenga ese suelo, la resistividad será más baja. Sin embargo agregar sal al pozo de aterramiento puede contaminar pozos de agua potable. Además la sal va a filtrar con tiempo, porosidad del suelo, la estación y la caída de lluvia.

#### ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Una varilla (jabalina) de puesta a tierra introducida en la tierra en un suelo de resistividad uniforme irradiará corriente en todas las direcciones. Esta es la esfera de influencia del electrodo en el ambiente (Figura 2). La habilidad del electrodo para irradiar corriente es dependiente directamente de la resistividad del suelo.

## Fundamentos de Puesta a Tierra

Cuanto más alta la resistividad, menos efectivo será el electrodo de puesta a tierra en disipar la corriente. Por lo tanto, las resistividades más altas resultarán en una resistencia mayor a la tierra, lo que es compensado con una estrategia de diseño de sistema de puesta a tierra.



### ESFERAS DE INFLUENCIA Y ESPACIO DISPONIBLE

Un electrodo de una longitud “L” tiene una esfera de influencia con un radio de aproximadamente igual a la longitud L. En sistemas de puesta a tierra, si dos electrodos están a un espacio muy cercano al otro, las esferas de influencia se superpondrán el uno con el otro, reduciendo o minimizando la habilidad del electrodo(s) para disipar la corriente. Para aprovechar al máximo la esfera de influencia del electrodo, los electrodos deben ser ubicados a un mínimo de distancia de dos veces la longitud del electrodo.

### LONGITUD DE LA VARILLA VS. RESISTENCIA

La longitud de la varilla es uno de los factores que determina la resistencia a tierra en un sistema de puesta a tierra. Las varillas más largas, mayores de tres metros, tiene una esfera de influencia más grande y como resultado disipara más corriente que las varillas / jabalinas más cortas. Esto resultará en una resistencia a tierra menor en un suelo de resistividad uniforme. Sin embargo, a medida que la longitud de la varilla aumenta, la esfera de influencia alcanzará a una meseta infinita donde la resistencia a tierra no cambiará más. Una vez que la meseta infinita es alcanzada a un longitud L, extender la longitud de la barra mas allá de la longitud tendrá un efecto pequeño en la disminución de resistencia del sistema de puesta a tierra.

### RESISTENCIA VS. EL NÚMERO DE ELECTRODOS

La resistencia a tierra de un sistema de aterramiento depende del número de electrodos ubicados en el suelo. La adición de electrodos reducirá la resistencia del sistema de tierra hasta que este también alcance una meseta infinita. La meseta es el resultado de superponer las esferas de influencia de los electrodos en el área de sistema de tierra. El área del sistema de tierra también puede ser llamada contrapeso o red de tierra. La adicción de electrodos cuando la meseta llega a su punto no hará ningún cambio significativo en la disminución de la resistencia a tierra del suelo. Con el fin de minimizar aún más la resistencia a tierra en áreas

## **Fundamentos de Puesta a Tierra**

graves, es necesario aumentar el área de sistema de tierra. Sin embargo el diseño del sistema de puesta a tierra tiene que ser ubicado en un espacio determinado.

### **TIPOS DE PUESTA A TIERRA**

Hay varios tipos de sistemas de puesta a tierra usados en la industria hoy. Algunos de los más comunes incluyen las varillas o jabalinas, tuberías de agua, pozos químicos, cimientos Ufer y electrodos electrolíticos. Cada uno es examinado brevemente.

### **VARILLAS CLAVADAS Y TUBERIAS DE AGUA**

Las varillas clavadas son normalmente barras de acero revestido con cobre que se clavan a la tierra. Son baratos y típicamente de un largo de 3 metros con un diámetro de 1.59 cm. Las varillas clavadas son usadas como parte de los sistemas de red o como equipo aislado. Algunas de las desventajas de usar las varillas de accionamiento incluyen lo siguiente:

- Son fácilmente afectadas por el ambiente, envejecimiento, temperatura y humedad.
- Su resistencia aumenta constantemente con los años.
- Son fácilmente dañados durante la instalación. Los rasguños exponen el material de acero del metal al ambiente, lo que lo hace susceptible al ataque de corrosión.
- Son baratas y son adecuadas por un corto tiempo en condiciones buenas de suelo, sin embargo, a largo plazo fallará.

Las tuberías de agua o red de agua son usadas como electrodos de tierra. Estas son algunas desventajas de usar las tuberías de agua:

- Son difíciles de probar e imposibles de mantener.
- La inserción de plástico o anillos destruyen la integridad del circuito.
- Las tuberías de agua fría producen una condensación que alienta la corrosión.

Las tuberías de agua no deben *nunca* usarse como un *solo elemento* de aterramiento. Son elementos de puesta a tierra poco fiable que puede ser destruida por una simple actualización de tuberías. En lugar de esto, las tuberías de agua deben ser usadas en conjunción con las varillas de accionamiento o un sistema de tierra de red en cumplimiento con las normas.

### **POZOS QUÍMICOS Y CIMIENTOS “UFER”**

Los pozos químicos son pozos de tierra los cuales se llena con químicos altamente conductivos y se conectan a sistemas de puesta a tierra con varillas de cobre. Muchos químicos pasados de moda, como el sulfato de cobre o sulfato de magnesio son usualmente dañinos para el ambiente y están restringidos por leyes ambientales.

Los cimientos Ufer consisten de redes de cable de cobre que son incorporados dentro de los cimientos de concreto del edificio durante la construcción. Un ingeniero de apellido Ufer inventó este sistema. También puede ser que hace conexión eléctrica a los fierros empotrados en los cimientos. Los cimientos Ufer son imposibles de probar y mantener ya que el conductor, típicamente de 16mm<sup>2</sup> cable trenzado, desaparecen en el fundamento. Como resultado, el tiempo y la eliminación gradual de la humedad pueden cambiar en integridad del fundamento o resistencia de tierra.

### **TUBOS ELECTROLITICAS**

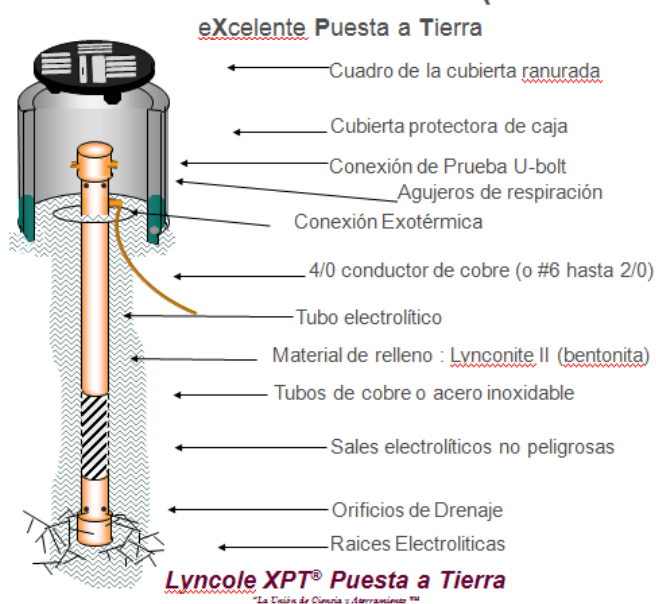
## Fundamentos de Puesta a Tierra

Los tubos electrolíticos son tubos de 100% de cobre (o de acero inoxidable) llenados con sales de tierra naturales. El tubo está colocado en un relleno de bentonita para 1) proteger el cobre para décadas de vida útil; 2) poner más contacto con el suelo. Para ser efectivos, los tubos electrolíticos “activas” deben tener agujeros perforados cerca de la parte superior y en la parte inferior. Los agujeros cerca de la parte superior actúan como “agujeros de ventilación” y permiten la entrada del aire. Las sales higroscópicas en el tubo absorben la humedad del aire y forman una solución electrolítica. Esta solución es entonces depositada en el suelo de material de relleno a través de los agujeros en la parte inferior creando una raíces electrolíticas. Las raíces electrolíticas producidas disminuyen la resistencia del terreno mediante la ionización del suelo circundante.

Esta solución crea raíces electrolíticas que disipan la corriente eléctrica. El tubo electrolítico activa nunca necesita ser recargada o rellenada con sales como en la mayoría de los sistemas químicos. Esto permite que sea libre de mantenimiento. Otra ventaja es la habilidad de ionizar las sales a una temperatura congelante de la humedad, permitiendo al sistema ser efectivo en condiciones de “congelamiento”.

Cuando estos tipos de sistemas son instalados, un pozo es augurado en el suelo. El tubo es luego ubicado en el pozo que se llena con bentonita – a neutro, neutro pH arcilla. Esto hace que los tubos electrolíticos confiables ya que están protegidas del ambiente de suelo corrosivo y no son tan propensos al ataque de corrosión, lo que es un problema con las varillas y otros sistemas.

### Sistema de Aterramiento XPT (Tubo Recto)



### PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño para un sistema de puesta a tierra comienza con un estudio del área de instalación. El estudio debe incluir un análisis de la resistividad del suelo a varias profundidades, planes de sitio relevante, un análisis topográfico y una base simple si está disponible. Estos datos indicarán cualquier barrera física como una roca, un suelo con alta resistividad o tuberías subterráneas. Una vez que la información es obtenida, un diseño puede ser iniciado. Nuestra discusión comenzará con los escenarios más simples y ecuaciones.

### DISEÑO DE UNA SOLA VARILLA VERTICAL

La resistencia a tierra para un solo electrodo, tales como la vara impulsada o la vara electrolítico, pueden ser calculados con la siguiente fórmula:

## Fundamentos de Puesta a Tierra

$$R = [\rho / 2\pi L] \times [\ln(4L/r) - 1]$$

R=Resistencia (ohmios)

$\rho$  = Resistividad del suelo en ohm-centímetros

L=Longitud de la varilla (cm)

r =Radio de la varilla (cm)

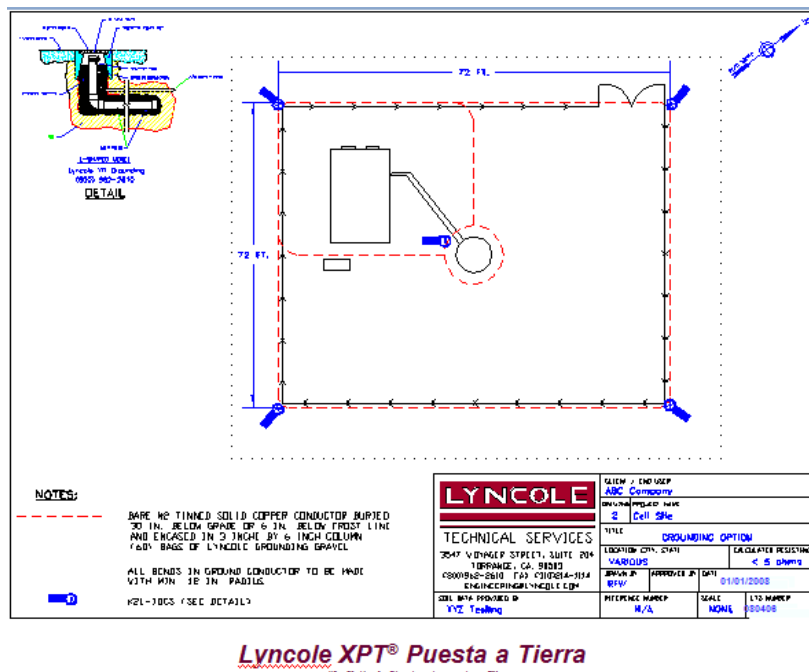
ln es el logaritmo natural

En el diseño de puesta a tierra hay muchas configuraciones geométricas a considerar cuando se está calculando la resistencia, ejemplo, curvas de 90º y la longitud del conductor. Las formulas para diferentes configuraciones de puesta a tierra pueden ser encontradas en el estándar 142 de IEEE Libro Verde.

Varios arreglos diferentes pueden ser explorados hasta que la resistencia deseada se alcance.

### EJEMPLO DE APLICACIÓN: TORRE CELULAR

La figura 4 muestra el diseño de puesta a tierra para una torre de servicio celular. Típicamente, estos sitios requieren una resistencia a la tierra de 10 ohmios o menos. Los tubos electrolíticos son usados comúnmente porque son más confiables y estables en ambientes severos y también debido a que la resistencia a la tierra es baja y mejora con el tiempo. Los proveedores de telecomunicaciones entienden que incluso los cortes de servicio de corta duración del equipo pueden costar inmensamente en reparación y la lealtad de los clientes.



La caseta y las piernas de la base de la torre están conectadas a un tubo electrolítico que está localizada entre caseta y la torre. Tal tubo está intencionalmente ubicado ahí para la protección contra rayos. El diseño en estas condiciones de suelo proveerá una resistencia a tierra alta dependiente (es requerido bajo 10 ohmios), que está destinada a durar más que la unidad celular en sí misma.

La puesta a tierra para el sitio celular requiere un conocimiento de los fundamentos de puesta a tierra. Por ejemplo, usando tubos electrolítico de 3m deben estar espaciadas al menos a 6m de distancia para tomar

## **Fundamentos de Puesta a Tierra**

ventaja de la esfera de influencia de los tubos. Los conductores de tierra deben ser enterrados un mínimo de 50cm y conectados a los tubos en un arreglo de contrapeso – esto asegura la integridad del sistema. Finalmente, el sistema de puesta a tierra celular en la figura 4 es un ejemplo de instalación. Es estable, confiable, seguro, libre de mantenimiento y de larga duración sin costos recurrentes. El uso de tubos electrolíticos es el corazón de todo sistema de puesta a tierra para telecomunicaciones.

### **CONCLUSION**

La puesta a tierra requiere un conocimiento de la resistividad del suelo, el efecto de los electrodos y el efecto del ambiente en la resistividad. Estas características determinan el diseño de la puesta a tierra para obtener la resistencia a tierra como “objetivo”. En general, aumentar la humedad y el contenido de sal del suelo disminuirá su resistividad. Sin embargo, bajar la temperatura del ambiente, por ejemplo, a 32°F aumentará su resistividad.

Hay varios tipos de métodos de puesta a tierra como placas, pozos, cimientos Ufer, jabalinas clavadas y tubos electrolíticos, que ofrecerán varios elementos para elaborar un sistema de puesta a tierra. Los tubos electrolíticos tienen una ventaja de producir sus propios electrolitos, ya que la humedad es absorbida por la sal en el tubo. Los electrolitos entonces “lloran” fuera de la parte inferior, creando raíces electrolíticas que disminuyen la resistencia del sistema de tierra.

El primer paso en el diseño de cualquier puesta a tierra es obtener información sobre la resistividad de suelo exacta. Segundo, es necesario determinar que configuración de puesta a tierra logrará la resistencia específica en el área de instalación. Esto puede determinarse usando las formular (estándar 142 IEEE, Libro Verde). Si la resistencia como objetivo de la tierra no es lograda, es necesario usar múltiples varillas, placas, tubos electrolíticos u otro arreglo. Es recomendado el uso de un software de computadora para determinar la configuración de puesta a tierra.

Es recomendado que todos los ingenieros, constructores, y directivos empleen una firma especializada en sistemas de puesta a tierra y con una historia de experiencia probada y verificable. La puesta a tierra es un proceso científico y uno en que la protección de equipo y la seguridad humana son dependientes críticamente.

Lyncole América Latina  
[www.Lyncole-Latam.com](http://www.Lyncole-Latam.com)  
[info@Lyncole-Latam.com](mailto:info@Lyncole-Latam.com)  
+591-4458-4533