

CAPÍTULO III

TIERRA FÍSICA

3.1 TIERRA FÍSICA

La tierra física se define como un sistema de conexión formado por electrodos y cables que salen directamente de los receptáculos donde el equipo que utilice energía para su funcionamiento. Generalmente el término es usado para hacer referencia a una red o conexión de seguridad que debe instalarse en el centro de trabajo o en cualquier lugar donde se tenga equipo eléctrico o electrónico, ya que de improviso surgen descargas ya sean por fenómenos naturales como los rayos o artificiales como las sobre cargas, interferencias o incluso errores humanos, es por eso que una instalación de puesta a tierra tiene como función forzar o drenar al terreno las intensidades de corriente nocivas que se puedan originar.

En pocas palabras consiste en la conexión de equipos eléctricos o electrónicos a tierra, esto se realiza desde un cable que sale de los receptáculos hasta llegar a un terreno donde se encuentra una pieza de metal llamada electrodo se hace la conexión y mediante este circuito se van a drenar las corriente no deseada o las descargas eléctricas evitando que se dañen los aparatos, maquinaria o personas.

3.2 COMPONENTES BÁSICOS DE UN SISTEMA DE TIERRA

Una instalación de tierras físicas a grandes rasgos debe tener los siguientes elementos:

- a) Conductores
- b) Varillas o electrodos de tierra
- c) Conectores o juntas

3.2 a CONDUCTORES

Sirven para formar el sistema de tierra y para la conexión a tierra de los equipos. Los conductores empleados en los sistemas de tierra son generalmente cables concéntricos formados por varios hilos y los materiales empleados en su fabricación son el cobre, cobre estañado, copperweld (acero recubierto con cobre), acero, acero inoxidable, acero galvanizado o aluminio.

El factor principal en la selección del material es la característica de corrosión que presenta al estar enterrado.

El cobre es la selección más común para los conductores, ya que es económico y tiene buena conductividad, además de ser resistente a la corrosión y a la fusión.

El calibre de los conductores, se determinará por requerimientos de conducción de corriente.

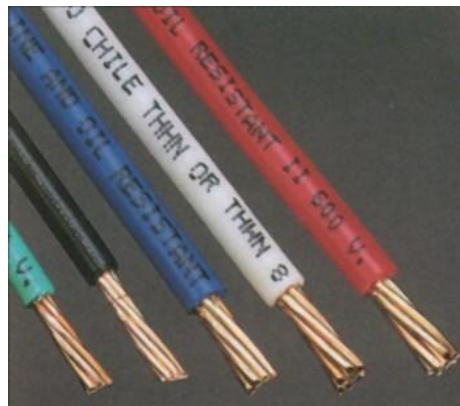


FIG. 3.1 CONDUCTORES

3.2 b VARILLAS O ELECTRODOS DE TIERRA

Estos elementos se clavan en el terreno y sirven para encontrar zonas más húmedas y por lo tanto, con menor resistividad eléctrica en el subsuelo.

Los materiales empleados en la fabricación de varillas o electrodos de tierra son generalmente el acero, acero galvanizado, acero inoxidable y copperweld.

Como en los conductores, la selección de material dependerá de las características de corrosión que presenten al estar enterrados.

El copperweld es el material más empleado en las varillas de tierra ya que combina las ventajas del cobre con la alta resistencia mecánica del acero, tiene buena conductividad, resistencia a la corrosión y buena resistencia mecánica para ser clavada en el terreno.

El diámetro y longitud de las varillas o electrodos, se determinará por resistencia mecánica y por las características de resistencia eléctrica que presenten al estar enterrados.



FIG. 3.2 ELECTRODOS

3.2 c CONECTORES O JUNTAS

Son los elementos que nos sirven para unir los conductores del sistema de tierra, para conectar las varillas a los conductores y para la conexión de los equipos al sistema de tierras.



FIG. 3.3 CONECTORES

Los conectores utilizados en los sistemas de tierra son generalmente de 2 tipos:

- a) Conectores a presión
- b) Conectores soldables

Los conectores a presión son todos aquellos que mediante presión mantienen en contacto a los conductores.

En este tipo están comprendidos los conectores atornillados y los de compresión.

Los conectores atornillados son aquellos que se fabrican formando dos piezas que se unen por medio de tornillos. El material del conector es de bronce con alto contenido de cobre y el de los tornillos es de bronce al silicio que les da alta resistencia mecánica a la corrosión.

Los conectores a presión deberán diseñarse para una temperatura máxima de 250 a 350 °C.

Los conectores soldables son aquellos que mediante una reacción química exotérmica, los conductores y el conector se sueldan en una conexión molecular.

Este tipo de conector, por su naturaleza, soporta la misma temperatura de fusión del conductor.

Los conductores deberán seleccionarse con el mismo criterio con que se seleccionan los conductores, además tendrán las siguientes propiedades:

- a) Tener dimensiones adecuadas para absorber el calentamiento que se produce al circular por él corrientes elevadas (resistente a la fusión).
- b) Tener suficientemente asegurados a los conductores para soportar los esfuerzos electrodinámicos originados por las fallas, además de no permitir que el conductor se mueva dentro de él.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TIERRA.

Cada elemento del sistema de tierra deberá tener las siguientes características:

- a) Resistencia a la corrosión. Para retardar su deterioro en el ambiente donde se localice
- b) Conductividad eléctrica. De tal manera que no contribuya sustancialmente con diferencias de potencial en el sistema de tierra.
- c) Capacidad de conducción de corriente. Suficiente para soportar los esfuerzos térmicos durante las condiciones más adversas impuestas por la magnitud y duración de las corrientes de falla.
- d) Resistencia mecánica. De tal manera que soporte esfuerzos electromecánicos y daño físico.

3.4 DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA Y CONEXIÓN A TIERRA

Una instalación de tierras físicas a grandes rasgos debe tener los siguientes elementos.

La energía eléctrica es necesaria en las instalaciones de hospitales o servicios de cuidados de asistencia, no solo por el funcionamiento de los instrumentos médicos, sino también para uso de iluminación, aplicaciones de mantenimiento, confortabilidad de los pacientes.

En la siguiente figura se muestra un diagrama simplificado de un sistema de distribución de energía eléctrica. La energía se distribuye desde una subestación y esta llega al hospital por medio de cables subterráneos o aéreos que transportan alta tensión 63,000 V. por medio de un transformador de configuración delta-estrella. El secundario del transformador generalmente tiene toma intermedia o toma central y se conecta a tierra. A partir de aquí se desarrolla la instalación eléctrica del hospital.

Conviene resaltar que es interesante que los equipos estén conectados a tierra. En las instalaciones modernas, todos los receptáculos disponen de un tercer contacto denominado "toma de tierra del equipo" y que está unida a tierra en la subestación del edificio bien mediante un conductor de masa distinto. El uso del conductor como conector a tierra puede presentar ciertos peligros debido a la corrosión o un aumento de la resistencia del conductor hasta un nivel peligroso. Por este motivo las normas exigen un sistema de tierras equipotenciales en los lugares donde haya pacientes susceptibles a la electricidad.

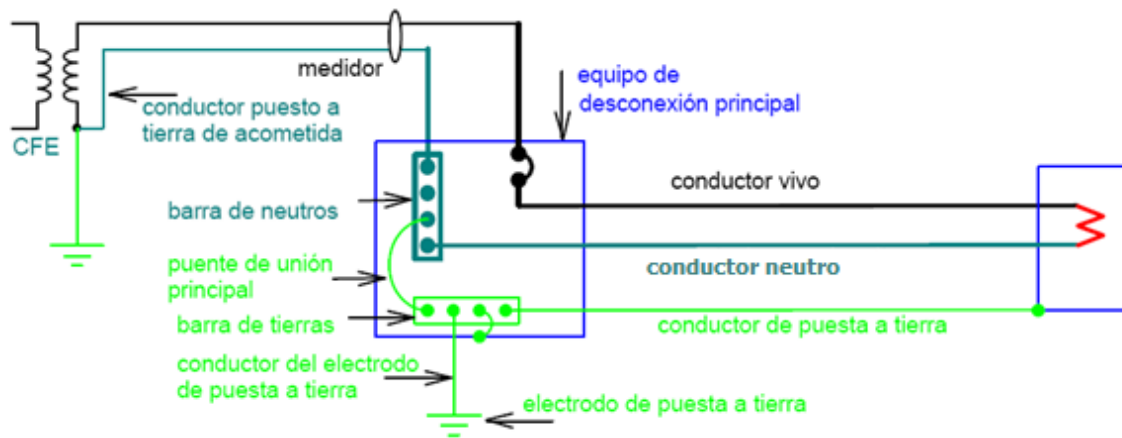


FIGURA 3.4 ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA

En la figura 3.4 tanto el conductor vivo como el conductor neutro portan corriente eléctrica cuando la carga es alimentada. Bajo condiciones normales de operación la corriente que pasa por el conductor de puesta a tierra, la que pasa por el conductor del electrodo de aterrizaje y por el puente de unión principal es cero; solo hay corriente en estos conductores en presencia de falla eléctrica.

3.5 DIFERENCIA ENTRE NEUTRO Y TIERRA

Durante mucho tiempo ha existido la confusión por la diferencia que existe entre el neutro y tierra, este problema se debe a la poca importancia que se le ha dado a la tierra física, se pueden ver instalaciones eléctricas en fábricas, casas, incluso en los hospitales donde la tierra física está mal colocada o incluso no existe.

El neutro es un conductor proveniente de un sistema de transformación con secundario en estrella y sirve para el cierre de circuitos donde son conectadas cargas monofásicas. El neutro lo usamos como regreso de nuestra línea de alimentación o en otras palabras es por donde pasa la corriente de regreso a los postes del suministro eléctrico.

Por otro lado la conexión a tierra, es la conexión que usamos para que circule la corriente no deseada o descargas eléctricas hacia tierra para evitar que dañen a equipos eléctricos, electrónicos e incluso personas, explicado de otra forma es la conexión que usamos para la protección personal y de equipos contra sobre tensiones o descargas eléctricas de cualquier tipo.

En la práctica las normas técnicas nos dicen que el neutro y la tierra solo se deben de aterrizar en un solo punto la acometida principal o tablero principal del secundario, pero jamás utilizar el neutro como tierra porque lo que se desarrollan desbalance y aparición de armónicas.

3.6 CABLE DE TIERRA FÍSICA

El concepto de tierra física se aplica concretamente a un cable o conductor que va conectado a la tierra o al suelo, éste se conecta en el tercer conector de los receptáculos a los que se les llama polarizados aterrizados. En sí una tierra física es todo un conjunto de elementos necesarios para una adecuada instalación. La tierra física protegerá a todo el equipo conectado a un tomacorriente de cualquier sobrecarga que se pudiera originar y así mismo brindará seguridad y tranquilidad al personal hospitalario.

Es importante mencionar al hablar de tierras físicas que sobre todo se busca el máximo aprovechamiento de la potencia de entrada a los aparatos y equipos médicos, así como la compatibilidad y acoplamiento efectivo entre las fuentes de energía y las cargas eléctricas.

3.7 CLAVIJA GRADO HOSPITALARIO

Son clavijas que tienen un punto verde pintado en el cuerpo de la misma y que nos indican que tienen mayor resistencia mecánica en la pata de tierra, se pueden desarmar fácilmente o son transparentes para verificar las conexiones de cada cable (vivo, neutro y tierra).



FIGURA 3.5 CLAVIJA GRADO HOSPITALARIO

La pata de tierra es más larga para asegurar que sea la primera en entrar al contacto eléctrico y sea la última en salir, esto permite que la corriente de fuga que disipe el equipo se vaya por esta y no al paciente.

Este tipo de clavijas son las que deben de utilizar todos los equipos médicos para ser alimentados debido a que cuentan con la pata de tierra y a través de ella, se aterriza el equipo, esto es parte de la protección eléctrica al paciente. Las clavijas deben ser revisadas constantemente, por lo menos 3 veces al año, aunque depende del uso que se le dé al equipo, dado que algunos usuarios, desconectan el equipo jalando el cable, al no tomar correctamente la clavija desde el cuerpo de la misma para desconectarla ocasionando que los cables se rompan pudiendo producir un corto o una fuente de corriente de falla y con esto un Macroshock o un Microshock.

3.8 BENEFICIOS DE LA TIERRA FÍSICA

Existen muchos entre los que destacan el incremento en la seguridad en los centros de trabajo, además de que disminuye el calentamiento en los motores y cables, también se incrementa el tiempo de vida en los equipos y disminuye el consumo en la energía eléctrica. Además mejora considerablemente la calidad del servicio, se disipa la corriente asociada a descargas atmosféricas y limita las sobretensiones generadas.

3.9 PUESTA A TIERRA Y EQUIPOTENCIALIDAD

Las partes conductoras accesibles del equipo deberán estar puestas a tierra. En aquellos equipos con partes conductoras accesibles o que sean de clase II, III, alimentación interna o bien del tipo CF se dispondrá de una terminal de equipotencialidad que permite conectar entre sí todos los equipos que rodean al paciente. Un principio importante en la conexión del equipo a la red es el de no utilizar extensiones del cable de alimentación ya que se puede aumentar la resistencia del tercer electrodo. Unos límites adecuados de resistencia máxima en relación con el tercer conductor de tierra son los siguientes: tanto para equipos que incorporan el cable de conexión a red como aquellos que no utilizan, la resistencia máxima entre el terminal de protección de tierra del equipo y cualquier otra parte conectada a él debe ser inferior a 0.1 ohm. Para los equipos con cable flexible, la resistencia máxima entre la terminal de tierra del receptáculo a la red y cualquier parte del circuito del equipo conectada a él deberá ser inferior a 0.2 ohm.

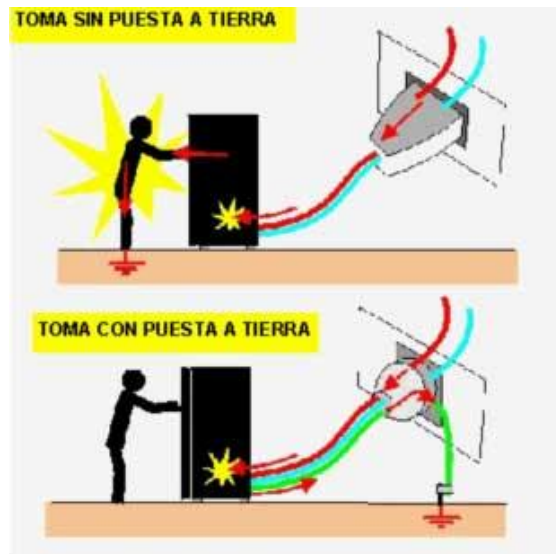


FIGURA 3.6 TOMA CON Y SIN PUESTA A TIERRA

Las medidas de seguridad empleadas con mayor frecuencia tienen como finalidad asegurar en primer lugar que no puedan existir diferencias de potencial entre los objetos que pueden entrar en contacto con el paciente y que los pacientes no puedan entrar en contacto con ningún objeto puesto a tierra o conductor. En segundo lugar se toman medidas para reducir las corrientes de fuga por debajo de $10 \mu\text{A}$ para disminuir el riesgo de Microshock en el caso de que algún equipo perdiese la integridad de la puesta a tierra del equipo.

Para asegurar que todos los equipos u objetos conductores cercanos al paciente estén al mismo potencial, hay que emplear un sistema de tierras equipotenciales, en todas las zonas donde haya pacientes susceptibles a la electricidad. En la figura 16 se muestran que todas las tomas de corriente de una habitación están agrupadas en un panel. Los contactos de toma de tierra del equipo que hay en las tomas de corrientes están unidos por una línea de tierra. Además todos los equipos u objetos metálicos se conectan a esta línea (tierra de referencia) mediante cables de conexión independientes. Este sistema garantiza que todos los objetos que puedan entrar en contacto con el paciente estén al mismo potencial

con tal que las conexiones individuales de toma de tierra de todos los equipos eléctricos se encuentren intactas.

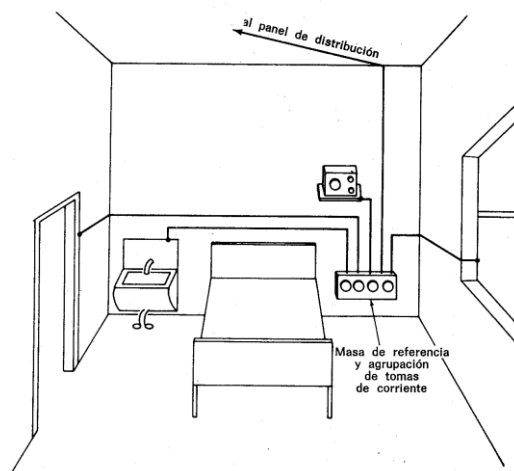


FIGURA 3.7 . PRINCIPIOS DE UN SISTEMA EQUIPOTENCIAL DE MASAS EN UN CUARTO HOSPITALARIO

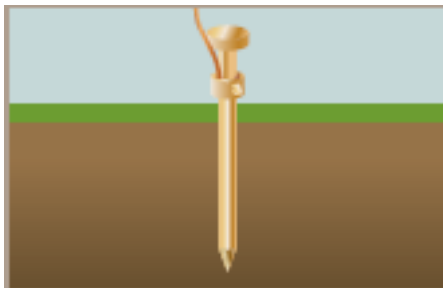
3.10 VALOR DE LA RESISTENCIA DE CONEXIÓN A TIERRA FÍSICA

Idealmente una conexión a tierra física debe tener una resistencia de 0Ω . No existe un valor normalizado de resistencia de conexión a tierra física que sea reconocido por todas las agencias. Sin embargo, la NFPA (National Fire Protection Association) y el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) han recomendado un valor de resistencia de conexión a tierra física de 5.0Ω o menos. La práctica recomendada IEEE 142 "Prácticas recomendadas para la conexión a tierra de sistemas eléctricos industriales y comerciales" sugiere una resistencia de la toma de tierra entre 1 y 5Ω , para sistemas comerciales o industriales de gran tamaño. El NEC ha indicado lo siguiente: "Asegúrese de que la impedancia del sistema de conexión a tierra física sea menor a 25Ω . En instalaciones con equipo sensible, debe ser de 5.0Ω o menos. La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas recomienda que en áreas críticas como lo son Terapia Intensiva, Cirugía, Unidad Metabólica, el valor de la resistencia debe ser menor a 2Ω .

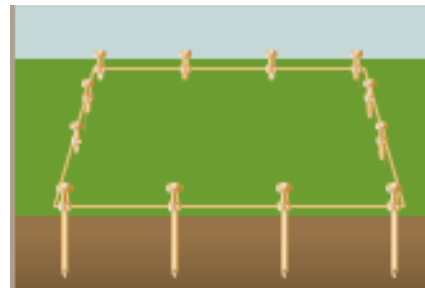
3.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONEXIÓN A TIERRA FÍSICA

Los sistemas simples de conexión a tierra física constan de un único electrodo de tierra física colocado en el terreno. El uso de un único electrodo de tierra física es la forma más común de realizar dicha conexión a tierra física y puede encontrarse fuera de su casa o lugar de trabajo. Los sistemas complejos de conexión a tierra física constan de varias varillas de conexión a tierra física conectadas entre sí, de redes en malla, de placas de conexión a tierra física. Estos sistemas típicamente se instalan en las subestaciones generadoras de energía eléctrica, Hospitales, Industrias.

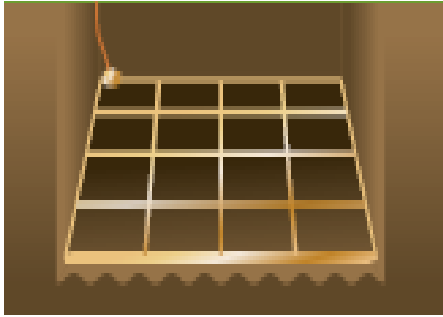
Las redes complejas aumentan drásticamente la cantidad de contacto con la tierra circundante, y disminuyen las resistencias de conexión a tierra física. En la siguiente figura se muestran las diferentes formas de conexión de electrodos a tierra física.



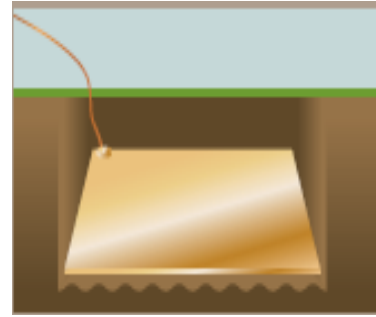
ELECTRODO ÚNICO DE CONEXIÓN A TIERRA FÍSICA



VARIOS ELECTRODOS DE TIERRA FÍSICA CONECTADOS ENTRE SÍ



RED DE MALLA



PLACA DE CONEXIÓN A TIERRA FÍSICA

FIGURA 3.8 DISEÑOS DEL SISTEMA DE CONEXIÓN A TIERRA FÍSICA

3.12 COMPROBACIÓN DEL CONDUCTOR DE TIERRA

Antes de medir la resistencia de la toma de tierra, es recomendable verificar la buena conexión eléctrica del conductor de tierra desde el propio electrodo hasta el borne principal de tierra. La mayoría de los terrómetros incorporan la medida de resistencia eléctrica a dos hilos y disponen de una buena resolución para esta prueba, por lo que resultan perfectos para la tarea. El valor de resistencia eléctrica desde el borne principal de tierra hasta el electrodo deberá ser inferior a 1Ω .

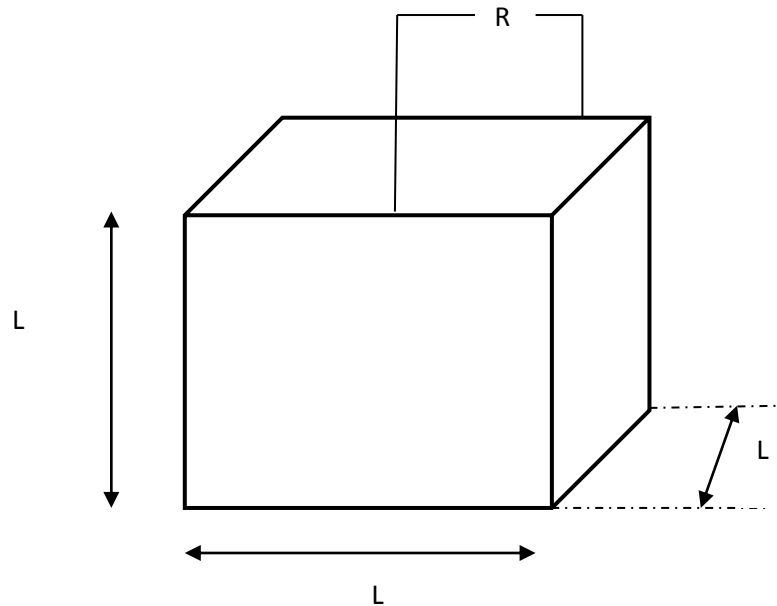
3.13 TIERRA Y RESISTIVIDAD

La resistividad eléctrica del suelo que rodea a una varilla o electrodo de tierra es uno de los parámetros más críticos que el diseñador tiene que determinar. Por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra del sistema.

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida como la resistencia específica del terreno. En su medición se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición.

Hay que recordar que el principal objetivo del diseñado de una red de tierras es limitar estos parámetros a valores seguros.

La resistividad eléctrica o resistencia específica del suelo, es la resistencia de un volumen que tenga un área con sección transversal y longitud unitarias.



De la ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Despejando ρ se tiene:

$$\rho = R \frac{A}{L} = \text{ohms} \frac{\text{long} \times \text{long}}{\text{long}} = \text{ohms} \cdot \text{long}$$

En el sistema métrico:

ρ = Resistividad del terreno en Ohms-metro (Ω -m)

R = Resistencia en Ohm (Ω)

A = Área de la sección transversal en m^2

L = Longitud en metros (m)

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. Para el diseño de una red de tierras, generalmente se determina por una interpretación apropiada de los datos de campo. Debido a que la resistividad del terreno varía tanto horizontal como verticalmente, los datos se conocen como “perfil de resistividad aparente del suelo”, los cuales se obtiene por pruebas en varios lugares donde se vaya a realizar la construcción y hasta en una cierta profundidad en el terreno.

3.14 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísico, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras, sistema electrónico, planta generadora, entre otros. Así mismo puede ser empleada para indicar el grado de corrosión de tuberías subterráneas.

Para medir la resistividad del suelo se requiere de un equipo llamado terrómetro (nombrado en otros países por telurómetro o Megger de tierras de cuatro terminales).

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- a) Sales solubles
- b) Composición propia del terreno
- c) Estratigrafía
- d) Granulometría
- e) Estado higrométrico

- f) Temperatura
- g) Compactación

3.15 VALORES DE RESISTIVIDAD EN DIFERENTES TERRENOS

CLASES DE TERRENO	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA Ω -m
Pantanosos	Menor de 30
Limo	20 a 100
Humos	10 a 150
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Arena Silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5000
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800

TABLA 3.1 VALORES DE RESISTIVIDAD EN DIFERENTES TERRENOS

Los terrómetros deben inyectar una corriente de frecuencia que no sea de 60 Hz para evitar que se midan voltajes y corrientes que no se deban al aparato sino a ruidos eléctricos. Por ejemplo, si estamos cerca de una subestación o de una línea en servicio, y vamos a realizar mediciones de resistividad y resistencia de tierra, con un aparato de 60 Hz, dichos sistemas van a indicar corrientes por el suelo debido a los campos electromagnéticos de 60 Hz y darán una lectura errónea.

De igual manera sucede cuando los electrodos de prueba están mal conectados o tienen falsos contactos, darán señales falsas de corriente y voltaje. Si hay corrientes distintas a las que envió el aparato, éste leerá otras señales de voltaje y corriente que no son las adecuadas.

Los terrómetros tienen cuatro terminales 2 de corriente (C1, C2) y 2 de potencia (P1, P2) y están numerados en el aparato C1 P1 P2 C2. Los terrómetros deben estar certificados y probados en el campo con una resistencia antes de realizar mediciones.

3.16 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD

La investigación en campo del lugar en el que se va a ubicar un edificio, fábrica, hospital, es esencial para determinar la composición general del suelo y obtener algunas ideas básicas acerca de su homogeneidad. Las muestras de campo para los estudios de Mecánica de Suelos son muy útiles, ya que proporcionan información sobre las diferentes capas del subsuelo y los materiales que las componen, dándonos una idea del rango de su resistividad.

El valor de la resistividad del suelo que se usará en el diseño de la red de tierras, generalmente se determina con pruebas de campo en el lugar donde se ubicará una de las construcciones antes mencionadas.

Debido a que existen variaciones en el sentido horizontal y vertical en la composición el suelo, es conveniente realizar las pruebas de campo en varios lugares del terreno. La mayor cantidad de datos obtenidos en las pruebas, nos permitirá seleccionar con más precisión el modelo de suelo a usar en el diseño de nuestra red.

Existen dos métodos para la medición de la resistividad en el terreno:

3.16 a **MÉTODO DE 4 PUNTOS o MÉTODO WENNER**

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La relación V/I es conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo.

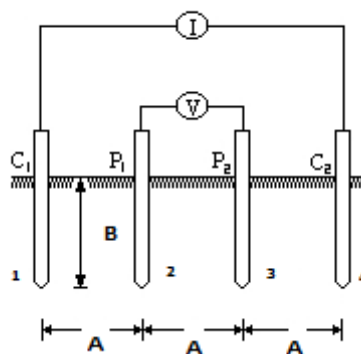


Fig. 3.9 DONDE 1, 2, 3 y 4 SON ELECTRODOS

Si "A" es la distancia entre dos electrodos adyacentes, la resistividad, en términos de las unidades de longitud en que "A" y "B" se midan será:

$$\rho = \frac{4\pi AR}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}}}$$

Si "A" y "B" se miden en cm o en m y la resistencia R en Ω , la resistividad estará dada en $\Omega.m$ o en $\Omega.cm$ respectivamente. Si la longitud "B" es mucho menor que la longitud "A", puede suponerse B=0 y la fórmula se reduce a:

$$\rho = 2\pi AR$$

Con estas fórmulas se obtiene la resistividad promedio del terreno, también conocida como resistividad aparente.

Las lecturas obtenidas en campo pueden graficarse en función de su espaciamiento, indicándonos en donde existen capas de diferentes tipos de suelo con sus resistividades y profundidades respectivas.

3.16 b ELECTRODOS NO IGUALMENTE ESPACIADOS o ARREGLO SCHLUMBERGER-PALMER

El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, ya que también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencia (a) se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos (na) de la separación base de los electrodos interiores (a).

La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la figura 3.10

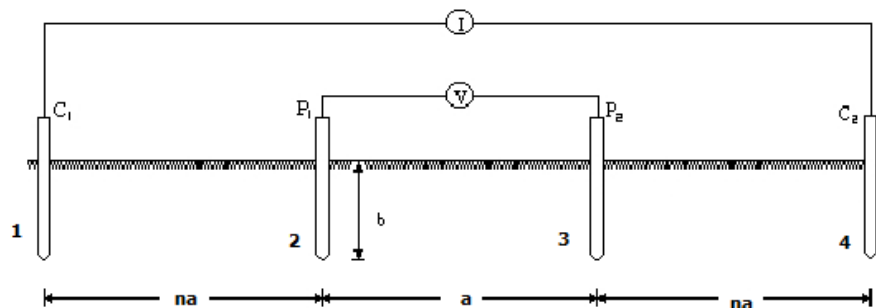


FIG. 3.10 ARREGLO SCHLUMBERGER-PALMER

El método de Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer el valor de resistividad de capas más profundas, sin necesidad de realizar mediciones

como en el método Wenner. Se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco precisos. Solamente se recomienda hacer mediciones a 90 grados para que no resulten afectadas las lecturas por estructuras subterráneas

$$\rho = 2\pi R(n + 1)na$$

3.16 c MÉTODO DE 3 PUNTOS O CAÍDA DE POTENCIAL

El diagrama de conexiones para este método se muestra en la figura 3.11.

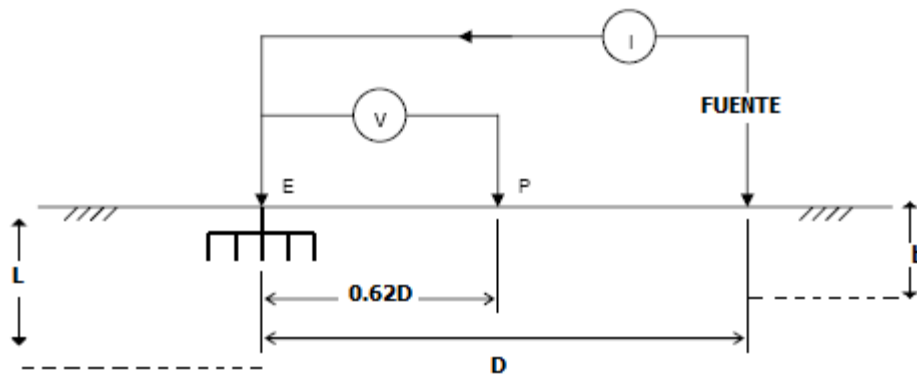


FIG. 3.11 MÉTODO DE CAÍDA DE POTENCIAL

En este método, la profundidad L de la varilla de prueba es variable. Las otras 2 varillas, conocidas como varillas de referencia, se entierran a una profundidad " b " y en línea recta con la varilla de prueba.

La varilla de referencia de tensión deberá localizarse a 62% de la distancia entre la varilla de referencia de corriente y la varilla de prueba.

Para minimizar la interferencia inter-electrodos, la varilla de referencia de corriente deberá localizarse al menos a una distancia $5L$ de la varilla de prueba.

Estas especificaciones para la localización de las varillas de referencia, están basadas en la suposición de un suelo uniforme.

3.17 RESISTENCIA A TIERRA DE UNA VARILLA

En un suelo uniforme de resistividad ρ , la resistencia a tierra de una varilla de diámetro d y enterrada una longitud L , está dada por la fórmula

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{2.943L}{d} \right]$$

Para cada longitud L de la varilla, la resistencia R medida, determina el valor de resistividad aparente. Cuando este valor se grafica contra L , se observan las variaciones de la resistividad del terreno con la profundidad.

3.18 RESISTENCIA A TIERRA DE UN GRUPO DE ELECTRODOS

Cuando se conectan en paralelo varios electrodos o varillas de tierra, el valor de resistencia a tierra que presenta el conjunto es menor que la resistencia a tierra que presenta un solo electrodo.

Si conectamos a una varilla existente otra varilla en paralelo, el valor de resistencia a tierra de las dos no es la mitad del valor de una de ellas, a menos que se encuentren separadas a una distancia igual a varias veces la longitud de las varillas.

Una regla práctica es que los sistemas de tierra formados por 2 hasta 24 electrodos ubicados en línea recta, formados en triángulo, un cuadrado o ubicados en un círculo y separados entre sí una distancia igual a la longitud del electrodos, presentarán una resistencia a tierra igual a la resistencia que tiene un solo electrodo dividida entre el número de electrodos y multiplicada por un factor F :

$$R_g = \frac{R}{n} \times F$$

El valor del factor F se determina de la siguiente tabla 3.2.

No. DE ELECTRODOS	F
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

TABLA 3.2 VALOR DEL FACTOR F

Referencia: IEEE Std 142-1991. Recommended practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems

3.19 TRATAMIENTO QUÍMICO PARA RELLENO DEL POZO

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

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 de la humedad.

BENTONITAS: 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 medio, elevándose la resistencia del pozo ostensiblemente. Una vez que la bentonita se ha secado su capacidad de absorber nuevamente es casi nula.

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 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 la 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 de aglutinados bajo la forma de un Gel, mejoran la conductividad de la tierra, y retienen la humedad en el pozo, por un periodo 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.

3.20 ELECTRODO

Entre los elementos que se deben usar para la instalación del sistema de tierra física destaca el electrodo, que por lo general es una pieza de metal, cobre la mayoría de las veces que debe ser resistente a la corrosión por las sales de la tierra, esta pieza va enterrada a la tierra a una profundidad variable para servir

como el elemento que tendrá como función disipar la corriente a tierra en caso de alguna sobrecarga o falla de la instalación o incluso un rayo

Es muy importante tomar en cuenta que los electrodos de puesta a tierra de los sistemas eléctricos deben estar accesibles y preferiblemente en la misma zona del puente de unión principal del sistema. El sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos (siempre que existan):

- a) Tubería metálica de agua enterrada
- b) Estructura metálica del inmueble
- c) Electrodo empotrado en concreto (Ufer)
- d) Anillo de tierra

En caso de no disponer de alguno de los anteriores, se deben usar uno o más de los electrodos especialmente contruidos:

- a) Electrodo de varilla o tubería
- b) Electrodo de placa
- c) Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos

Los tipos de electrodos no permitidos por la norma oficial mexicana son

- a) Tuberías de gas enterradas. Porque en los E.U. las compañías suministradoras de este fluido se opusieron a ello.
- b) Electrodos de aluminio, aunque en Europa se han utilizado, los comités del NEC, se opusieron a incluirlos porque el aluminio es un material que se corroe con mayor facilidad que el cobre y los compuestos químicos que se le forman no son buenos conductores eléctricos.

3.21 LONGITUD Y PROFUNDIDAD DEL ELECTRODO DE TIERRA FÍSICA

Una manera muy eficaz de disminuir la resistencia de la conexión a tierra física es logrando que los electrodos a conexión a tierra física tengan una mayor profundidad. El terreno no tiene una resistividad constante, y puede ser muy impredecible. Resulta crítico al instalar el electrodo de tierra física que éste se encuentre debajo de la línea de congelamiento. Esto se hace para que la resistencia a la tierra física no se vea demasiado influenciada por el congelamiento del terreno circundante. Por lo general, al duplicar la longitud del electrodo de tierra física, es posible reducir el nivel de resistencia en un 40% adicional. Hay ocasiones en las que es físicamente imposible colocar las varillas de conexión a tierra física a una profundidad mayor, se trata de áreas compuestas de roca, granito, etc.

3.22 DIÁMETRO DEL ELECTRODO DE TIERRA FÍSICA

El aumento del diámetro del electrodo de tierra física tiene muy poco efecto en disminuir la resistencia. Por ejemplo, es posible duplicar el diámetro de un electrodo de tierra física, y la resistencia sólo disminuiría en un 10%.

3.23 NÚMERO DE ELECTRODOS DE TIERRA FÍSICA

Otra manera de disminuir la resistencia de conexión a tierra física es utilizar varios electrodos de tierra física. En este diseño, se coloca más de un electrodo en la tierra, y se lo conecta en paralelo, a fin de reducir la resistencia. Para que los electrodos adicionales resulten eficaces, el espaciado de las varillas adicionales debe ser al menos igual a la profundidad de la varilla colocada. Si un espaciado correcto de los electrodos de tierra física, sus esferas de influencia se interceptarán, y no se disminuirá la resistencia