

54



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGON.

“SISTEMA DE TIERRAS PARA EQUIPO SENSIBLE”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(ELECTRICA-ELECTRONICA)
P R E S E N T A N :
JOSÉ JUAN LÓPEZ GIRAL
RICARDO SAUL BERNALDEZ RODRIGUEZ

ASESOR:
VERDE CRUZ ABEL

MEXICO

2001.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi Padre.
Persona trabajadora,
símbolo de rectitud y honradez
que ha sido un ejemplo para realizar mis metas.

A mi Madre.
Mujer cariñosa, que con
su esmero y dedicación
nos formó como personas
respetables.

A mis hermanos
Amigos incomparables,
muestra de amor, confianza
y respeto.

A mi padre

Ejemplo de honestidad, rectitud y trabajo
que con sus sabios consejos ha formado
en mi un hombre de bien.

A mi madre

Con sus atenciones día a día y
dedicación de todo su tiempo me
formo un habito en el estudio
del cual estoy agradecido
infinitamente

A mis hermanos

Su ejemplo de superación en sus estudios, y ejerciendo una carrera brillantemente forjo en mí un espíritu y motivación de seguir estudiando por lo cual dedico a toda mi familia esta tesis con gran amor y cariño

A mi novia Alejandra

con todo su amor y cariño que me ha demostrado es la más grande motivación para ser un profesionalista, y una mejor persona

INDICE

PAGINA

PROLOGO

CAPITULO PRIMERO

ELEMENTOS Y SISTEMAS QUE CONFORMAN UNA TIERRA ELECTRICA

INTRODUCCION	1
1.1 PUESTO A TIERRA	6
1.1.2 TIERRA	7
1.1.3 LA TIERRA FÍSICA	9
1.1.4 TIERRA DEL SISTEMA	9
1.1.5 NEUTRO	10
1.1.6 CONDUCTOR PUESTO A TIERRA	10
1.1.7 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA	11
1.1.8 PUESTA A TIERRA DEL EQUIPO	12
1.1.9 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DEL EQUIPO	14
1.1.10 CONDUCTOR DE PUESTO A TIERRA DEL APARTARRAYOS	14
1.1.11 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DEL PARARRAYOS	15
1.1.12 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE PARTES METALICAS NO CONDUCTORAS DE CORRIENTE ELECTRICA	16
1.1.13 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DEL SISTEMA	17
1.1.14 CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA	17
1.1.15 PUENTE DE UNION	17
1.1.16 PUENTE DE UNION DE EQUIPOS	18
1.1.17 PUENTE DE UNION EN UN CIRCUITO	18

1.1.18	PUENTE DE UNION PRINCIPAL	18
1.1.19	PUENTEADO	19
1.1.20	TENSIÓN A TIERRA (RESPECTO A TIERRA)	19
1.1.21	CIRCUITO DE RETORNO A TIERRA	26
1.1.22	CORRIENTE DE TIERRA	20
1.1.23	CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA	20
1.1.24	MALLA DE TIERRA	20
1.1.25	MATERIAL DE TIERRA	20
1.1.26	SISTEMA DE PUESTO A TIERRA	21
1.1.27	RESISTENCIA A TIERRA	21
1.1.28	RESISTENCIA MUTUA DE ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA	21
1.1.29	POTENCIAL ELECTRICO	21
1.1.30	CONTORNO O LINEA EQUIPOTENCIAL	22
1.1.31	PERFIL DE POTENCIA	22
1.1.32	GRADIENTE DE POTENCIAL DE SUPERFICIE	22
1.1.33	TENSIÓN DE TOQUE	22
1.1.34	TENSIÓN DE PASO	22
1.1.35	RESISTIVILIDAD DEL MATERIAL	23
1.2	SEGURIDAD Y PROTECCIÓN DE UN SISTEMA DE TIERRA	23
1.3	ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DE TIERRAS	31
1.3.1	ELECTRODO	32
1.3.2	ELECTRODOS MULTIPLES	38
1.3.3	ELECTRODOS HORIZONTALES	39
1.3.4	CABLE SENCILLO ENTERRADO HORIZONTALMENTE	40
1.3.5	VARILLAS DE COPPERWELD	40
1.3.6	CARBON MINERAL	41
1.3.7	LA BENTONITA	41

1.3.8	METODO DE SANIK	42
1.3.9	RESINAS SINTETICAS	42
1.3.10	RESISTIVILIDAD DEL TERRENO	45
1.3.11	TIPO DE SUELO	47
1.3.12	ROCA VOLCANICA	47
1.3.13	ROCA SEDIMENTARIA	47
1.3.14	ROCA METAMORFICA	48
1.3.15	TEPETATE	48
1.3.16	ARENA	48
1.3.17	RELLENO SANITARIO	48
1.3.18	CONTENIDO DE HUMADAD Y SALES	49
1.3.19	EL TAMAÑO DEL GRANO Y SU DISTRIBUCIÓN	49
1.3.20	TEMPERATURA	49
1.3.21	METODO DE WENNER	50
1.3.22	METODO DE LEE	51
1.3.23	METODO DEL ELECTRODO CENTRAL	52
1.3.24	METODO DE LA CAIDA DE TENSION	53
1.3.25	CORRIENTE MÁXIMA DE FALLA	55
1.3.26	CALCULO LIBRE DE CONDUCTOR	57
1.3.27	TENSIONES DE PASO, CONTACTO Y DE MALLA DEL SISTEMA	58
1.3.28	LONGITUD DE CONDUCTOR	61
1.3.29	RESISTENCIA A TIERRA	61
1.4	TIPO DE SISTEMAS DE TIERRA	61
1.4.1	SISTEMA DE TIERRAS PARA NEUTROS	62
1.4.2	SISTEMA DE TIERRAS PARA ESTRUCTURAS Y PARTES METALICAS NO ENERGIZADAS	64
1.4.3	SISTEMAS DE TIERRAS PARA APARTARRAYOS	65
1.4.4	CLASIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE TIERRA POR TIPO DE SERVICIO	65

1.4.5	CLASIFICACION DE UN SISTEMA DE TIERRAS POR SU CONSTRUCCION	67
-------	--	----

CAPITULO SEGUNDO

FACTORES DE CORROSION DE UN SISTEMA DE TIERRAS

	INTRODUCCION	71
2.1	CORROSION DE UN SISTEMA DE TIERRAS	74
2.2	INSTALACIÓN DE EQUIPO SENSIBLE CON APEGO A LAS NORMAS OFOCOALES MEXICANAS	87
2.2.1	PUESTA A TIERRA DE EQUIPO SENSIBLE	87
2.2.2	EQUIPO QUE REQUIERE SER PUESTO A TIERRA	91
2.2.3	EQUIPO CONECTADO POR CABLEADO PERMANENTE	92
2.2.4	EQUIPO NO ELECTRICO PUESTO A TIERRA	94
2.2.5	EQUIPO RESIDENCIAL CONECTADO CON CORDÓN Y CLAVIJA	94
2.2.6	METODOS DE PUESTA A TIERRA DE GABINETES Y EQUIPO	95
2.2.7	PUESTA A TIERRA DE TABLEROS	96
2.2.8	CONTACTOS CON TIERRA AISLADA	99
2.2.9	PUESTA A TIERRA DE SISTEMA DE COMPUTO	103
2.2.10	PUESTO A TIERRAS DE SISTEMAS DERIVADOS (UPS)	113
2.2.11	UPS INDIVIDUAL, BYPASS NO AISLADO, ALIMENTACION ESTRELLA PUESTA A TIERRA	114
2.2.12	UPS INDIVIDUAL, BYPASS AISLADO	116
2.2.13	UPS INDIVIDUAL, BYPASS NO AISLADO, CENTRO DE DISTRIBUCION AISLADO	117

2.2.14	UPS INDIVIDUAL BY PASS DE TRES HILOS, CENTRO DE DISTRIBUCIÓN AISLADO, SERVICIO ESTRELLA ATERRIZADO	119
2.2.15	UPS INDIVIDUAL, BYPASS AISLADO, FUENTE CONECTADA EN DELTA	120
2.2.16	SISTEMA DE UPS MULTIPLE	121
2.2.17	UPS INDIVIDUAL CON INTERRUPTOR DE BYPASS PARA MANTENIMIENTO	123

CAPITULO TERCERO

CALCULO DE UN SISTEMA DE TIERRAS

	INTRODUCCIÓN	126
3.1	REQUISITOS DE CALCULO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TIERRAS	127
3.1.1	RESISTIVIDAD DEL TERRENO	128
3.1.2	CORRIENTE MÁXIMA DE FALLA	130
3.1.3	CORRIENTE MÁXIMA DEL CONDUCTOR	130
3.1.4	TENSIONAS DEL SISTEMA DE TIERRAS	131
3.1.5	LONGITUD DEL CONDUCTOR DE MALLA	133
3.1.6	CALCULOS DE RESISTENCIA A TIERRA	133
3.1.7	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPO SENSIBLE	141
3.2	PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE UNA RED DE TIERRAS	142

3.3	EJEMPLOS DE CALCULO	153
3.3.1	EL SUELO COMO CONDUCTOR DE ELECTRICIDAD	153
3.3.2	POTENCIALES PELIGROSOS	158
3.3.3	ELECTRODO Y RESISTIVIDAD DEL TERRENO	163
3.3.4	RED DE TIERRAS PARA EQUIPOS DE COMPUTACIÓN Y COMUNICACION	173
3.3.5	RED DE TIERRAS DE SUBESTACIONES INDUSRIALES DE MEDIANA TENSION	178

CAPITULO CUARTO

EQUIPOS DE MEDICION

	INTRODUCCION	190
4.1	EQUIPOS DE MEDICION DE RESISTENCIA A TIERRA	190
	CONCLUSIONES	201
	BIBLIOGRAFÍA	

PROLOGO

En los inicios del uso de la electricidad en forma comercial, los sistemas de puesta a tierra se usaban para tener un voltaje más de referencia, con el transcurso del tiempo se han encontrado otras aplicaciones actualmente se utilizan para limitar las sobre tensiones debidas a descargas atmosféricas, a fenómenos transitorios en los circuitos, a contactos accidentales de mayor tensión así como limitar la diferencia de potencial a tierra del circuito durante su operación normal, una conexión sólida a tierra facilita también la operación de los dispositivos de protección contra sobre tensiones, necesitan de una conexión a tierra para su correcta operación.

Los sistemas de tierra se emplean en subestaciones de potencia, en plantas generadoras, en líneas de transmisión, en sistemas de distribución. En los sistemas de distribución se utilizan diferentes diseños, en el cual en forma general se tienen dos categorías, mediana tensión y baja tensión.

Los diseños para mediana tensión se basan principalmente en evitar los potenciales peligrosos, mientras que los diseños de baja tensión, denominados, como tierra física, se basan en el valor de resistencia a tierra.

Los fabricantes de computadora exigen un ohm máximo y los fabricantes de conmutadores 3 ó 5 ohms, es decir, no hay criterio unificado sobre el diseño del sistema de tierras. Un gran numero de fallas en baja tensión, sobre todo donde existen sistemas de computo, se deben a una mala conexión de la tierra física, es común conectar invertidos el neutro y la tierra física, ya que ambos no llevan potencial en condiciones normales.

En los diseños de las redes de tierra se están teniendo mayores cuidados ya que el uso generalizado de los sistemas de computo y comunicaciones, en sí equipos con componentes electrónicos no se pueden permitir elevaciones de

potencial ya que este tipo de elementos se dañan con la menor elevación de potencial, peor aun, en los sistemas de cómputo, con un impulso de sobre tensión se puede introducir un dato erróneo, lo cual puede ser más perjudicial que si dañara el equipo.

En el transcurso de los años la tecnología a logrado grandes logros en computación y electrónica, redes, software, hardware, y equipos de medición etc., para que operen correctamente estos equipos sensibles necesitan estar protegidos por un conjunto de elementos o equipo que sirve para eliminar interferencias externas e internas, por lo que nos daremos a la tarea de analizaran diferentes técnicas que existen para disminuir estas interferencias y proteger a estos equipos.

Existen diferentes fuentes de interferencia, que pueden llegar a ocasionar daño a los equipos electrónicos de cualquier sistema. Los sistemas electrónicos que se utilizan para la medición y/o transmisión de información, manejan señales de tensión y de corriente relativamente pequeñas, comparadas con las que llegan a tener prácticamente en los sistemas de distribución de la energía eléctrica: esto ocasiona, que los circuitos electrónicos se vean afectados por la presencia de interferencias de tipo eléctrico, magnético, y en ocasiones de tipo electromagnético.

El principal problema de los sistemas de tierra se debe a que estos, van enterrados y por lo tanto están expuestos a la corrosión, a falsos contactos, en sí, por regla general una vez que se instala la red de tierras es olvidada, esperando que funcione en forma adecuada por tiempo indefinido, lo cual no sucede. Por esto es recomendable checar el estado de la red, sí bien, esto no es posible ya que va enterrada, se pueden efectuar mediciones periódicas de resistencia cada año y durante la época más seca del año.

Esta tesis tiene como objetivo que los Ingenieros Electricistas se familiaricen con los sistemas de tierra ya que la información existente se encuentra muy dispersa, y aun existen incongruencias entre los reglamentos y las exigencias de los fabricantes de equipo. Es necesario seguir estudiando los sistemas de tierras y llevar estadísticas de los equipos de fallados para en un futuro próximo establecer un criterio unificado.

CAPITULO PRIMERO.

**ELEMENTOS Y SISTEMAS QUE CONFORMAN UNA TIERRA
ELÉCTRICA.**

INTRODUCCIÓN

Para iniciar nuestro primer capítulo acerca de un sistema de tierras mencionaremos conceptos y definiciones que nos ayudaran a relacionarnos con el tema de una manera más sencilla.

Los conceptos que se manejen son completamente amplios y claros en el ámbito de ingeniería eléctrica, que nos explicaran desde que es una tierra, una tierra eléctrica, una puesta a tierra, los elementos que la conforman y como objetivo fundamental llegar a entender que un sistema de tierra eléctrica es importante para protección de los equipos y del mismo personal. Así mismo tener un funcionamiento perfecto sin ningún peligro, y facilitar la operación de maquinaria, equipos y dispositivos sensibles a cualquier fallo, obteniendo una buena tierra física.

Se describirán los conductores de puesta a tierra de este tipo de maquinaria, equipos y dispositivos que trabajan a mediana y baja tensión que dependen y están en contacto con la electricidad y que por lo tanto tienen y requieren de una tierra física como motores, gabinetes, canalizaciones, interruptores, contactos, UPS, computadoras, apartarrayos, pararrayos, solo por mencionar algunos.

En la protección de equipos lo importante es evitar las corrientes elevadas y drenar las corrientes estáticas y de fuga a tierra. El drenado a tierra de las corrientes estáticas y de fuga ayudan a reducir el ruido eléctrico que puede causar problemas y errores en los datos del equipo electrónico sofisticado. Las computadoras, circuitos electrónicos y equipos especializados requieren protección contra elevación de voltaje y ruido eléctrico.

Para eliminar al máximo este ruido se necesita primero que nada un cableado adecuado puesta a tierra y blindaje de las líneas de alimentación, también incluye el uso apropiado de los conductores de tierra y neutro. Regularmente se conecta mal el neutro y la tierra. El conductor neutro siempre deberá conducir la corriente de desbalanceo de carga normal y el conductor tierra deberá conducir únicamente la corriente de falla. La corriente medida en el conductor neutro será igual a la corriente medida en el conductor de fase bajo condiciones normales de operación. La corriente medida en el conductor de tierra siempre será igual a cero bajo condiciones normales de operación.

En este capítulo también tocaremos el tema de la protección del personal, la conducción de corrientes elevadas de falla a tierra en las instalaciones eléctricas, debido a descargas atmosféricas, fallas de equipo, etc., obliga a tomar precauciones para que las tensiones resultantes no ofrezcan peligro a los operadores o en general a todo el personal que se encuentre cerca de las áreas de trabajo y riesgo. Las causas más frecuentes de sufrir una descarga eléctrica son: exceso de confianza, aislamientos dañados, falta de sistema de tierras y falta de puesta a tierra de equipos. Existen diversos casos que se pueden presentar al hacer contacto físicamente con una superficie a diferente potencial, la corriente de fibrilación ventricular se produce al existir una diferencia de potencial entre dos partes del organismo.

Las personas asumen que cualquier objeto aterrizado puede ser tocado con seguridad, cuando la resistencia a tierra del sistema es baja, es probable que esta creencia ha ocasionado accidentes.

Los efectos más comunes de la circulación de la corriente eléctrica por el cuerpo humano son; percepción, contracciones musculares, inconsciencia, fibrilación ventricular, bloqueo de los nervios respiratorios y quemaduras

Uno de los elementos que forman un sistema de tierras es el "electrodo".

Un electrodo es la parte metálica conductora, enterrada en el suelo, y forma una unión conductora con el terreno. Existen otras clases de electrodos que se pueden aprovechar, a estos se le conocen como "*electrodos naturales*", son estructuras metálicas que pueden existir enterradas y que puedan aprovecharse para la puesta a tierra (redes hidráulicas, estructuras metálicas de edificios etc.). y los "*electrodos artificiales*" son los fabricados por la industria y están constituidos normalmente por barras, tubos, placas y otros elementos metálicos.

Existe cierta confusión con respecto al electrodo de puesta a tierra, algunas personas piensan que el electrodo solo es una varilla enterrada, sin embargo un electrodo consiste en un conductor enterrado en forma vertical u horizontal, una placa enterrada, una varilla con relleno químico, varias varillas en paralelo, mallas de cables enterrados ó también llamados electrodos múltiples, que veremos a detalle más adelante..

La forma del electrodo de tierra, el valor de superficie y la resistividad del terreno, son los más importantes para el diseño y la configuración de los electrodos para puesta a tierra.

En la resistividad del terreno como su nombre lo indica debe de proporcionar una baja impedancia para que la corriente de falla fluya por donde tenga menor resistencia.

Por esta causa, en ocasiones existe la necesidad de desplazar los sistemas de tierra, como por ejemplo las proximidades de zonas regables (jardines)

Las características del suelo son tan diferentes en este aspecto, que hay suelos que no conducen la electricidad, es decir, son aislantes, por otro lado hay suelos que son buenos conductores de la electricidad, como los suelos húmedos.

Para conocer que tan buen conductor de la electricidad es el suelo, es necesario conocer su resistividad o resistencia específica, las rocas, la arena y suelos secos tienen una alta resistividad es decir no conducen la electricidad, los suelos con alto contenido de humedad tienen baja resistividad, conoceremos las características que tienen el carbón mineral, la bentonita, resinas sintéticas, los diferentes tipos de suelo y lo que contienen.

La resistividad se mide en ohms-metro, ohms-centímetro, etc. Existen dos formas para determinarla, una es empírica mediante tabulaciones y conocimiento del terreno y la otra efectuando la medición directamente en el terreno.

En la actualidad existen varios métodos que se explicaran detalladamente para medir la resistividad del suelo uno de ellos es el método de Wenner, el método de Lee, el método del electrodo central, el método de la caída de tensión.

Al llegar a este punto ya conocemos para que sirve y que son los conductores y los electrodos, sin embargo para unir estos elementos se necesitara de otro elemento llamado "conector".

Al construir la red de tierras se necesitan las uniones o empalmes, por ejemplo para cerrar la malla, para unir las varillas al cable, para dejar salidas que conectan equipo y estructuras, en fin se requieren uniones y estos deben soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos a que se somete la red.

Entre los más comunes tenemos las exotérmicas, es decir a base de calor (cadweld) y los mecánicos que son a base de conectores. Regularmente los conectores utilizados son conectores atornillables, de presión y soldables.

Analizaremos teóricamente, para después aplicarlo en forma matemática en los siguientes capítulos los dos tipos de tensiones que se encuentran debajo de un sistema de tierras dado el caso si se estuviese en una subestación de mediana tensión cuando una persona se acerca paso a paso hacia el lugar donde se localiza el electrodo de tierra, esta sometido a una tensión entre los dos pies que se denomina ***"tensión de paso"*** que se refiere a la distancia que existe entre pie y pie. También existen tensiones de contacto en estructuras conectadas a tierra, existe la posibilidad que un objeto tocado a distancia superior de 1 metro, este conectado directamente o indirectamente a la malla. En este caso la tensión de contacto se llama ***"tensión de malla"***

Existen varios tipos de sistema de tierras y se pueden clasificar de acuerdo con la función que desempeñan y pueden ser interconectados entre sí con otros sistemas de tierra, es decir, interconectar el sistema de tierras eléctrico con el sistema de tierras de computo y telecomunicaciones.

En el sistema de tierras para neutros como se sabe en la transmisión de energía eléctrica encontramos que por lo general siempre se hace en tres hilos que corresponden a cada una de las fases del sistema y neutro.

Cabe preguntar para que se necesita un neutro.

La función que desempeña un neutro conectado a tierra entre otras cosas es ***"mantener fijo el centro de un sistema trifásico"***, es decir, mantenerlo balanceado. Se puede conectar el neutro a tierra para el regreso de corriente en conexión estrella y en delta se le proporciona un neutro a la base de un transformador especial el cual también se conecta a tierra.

Se describirán los sistemas de tierra por el tipo de sistema que prestan es decir como lo son por:

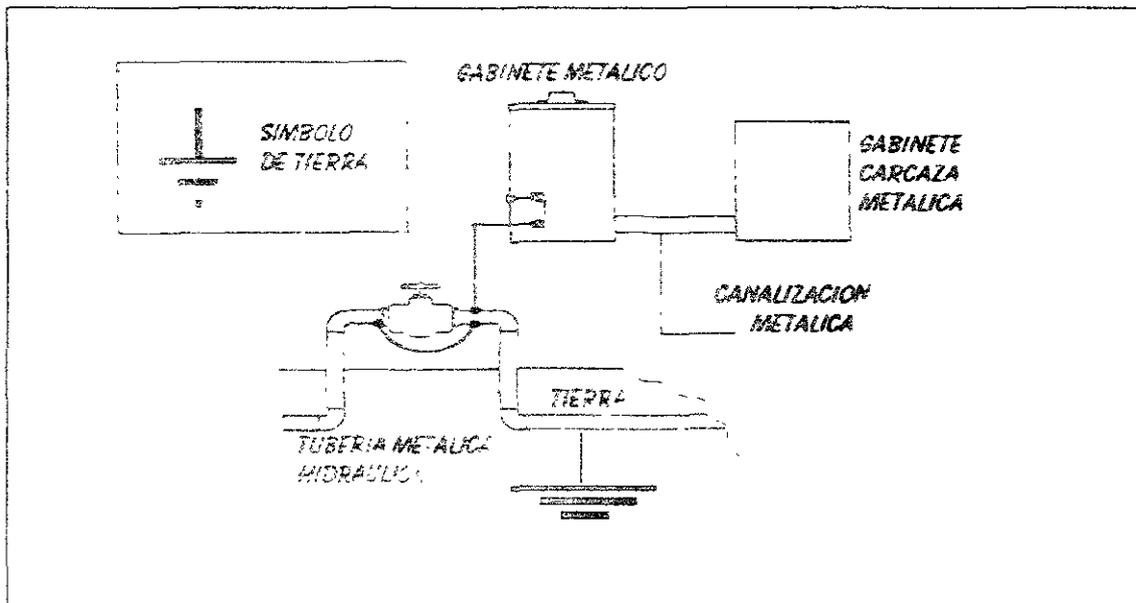
- Funcionamiento
- Protección
- Trabajo

Así mismo la configuración de un sistema de tierras se basa principalmente en las condiciones que se tengan del lugar donde sean construida y estas son por ejemplo de tipo:

- Radial
- En anillo
- En forma de malla.

1.1 PUESTA A TIERRA

Es una conexión de un equipo a tierra en sus partes conductoras de electricidad en contacto con alguna parte metálica o tierra natural.



La figura 1.1 (1) muestra como un gabinete metálico, puede ser puesto a tierra utilizando una canalización metálica un gabinete o carcasa metálica, un pedazo

de conductor o una tubería hidráulica utilizado como un cuerpo conductor hasta alcanzar la tierra.

1.1.2 TIERRA

El termino *tierra* se define como una conexión conductiva por la cual un equipo o circuito es conectado a tierra, analizando esta definición de tierra se interpretaría como:

“una conexión conductora ya sea intencional o accidental, entre un circuito eléctrico o equipo y la tierra o algún cuerpo conductor que sirve en lugar de la tierra”.

Existen dos conexiones que son la conductora intencional FIG. 1.1.2 (1), y la conductora accidental FIG. 1.1.2 (2) entre un circuito y la tierra o a algún conductor.

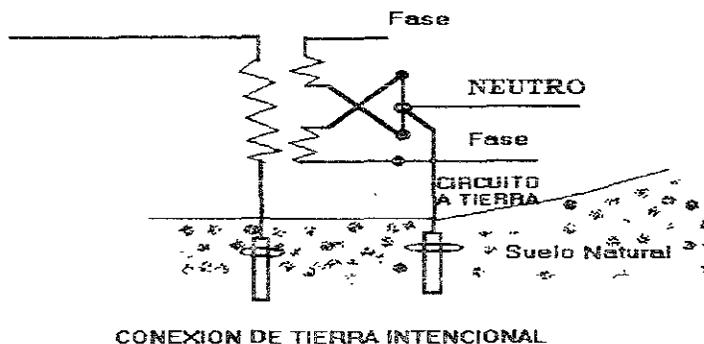


FIGURA 1.1.2 (1) CONEXIÓN A TIERRA INTENCIONAL

La tierra intencional se debe efectuar para la operación adecuada de equipos y sistemas eléctricos.

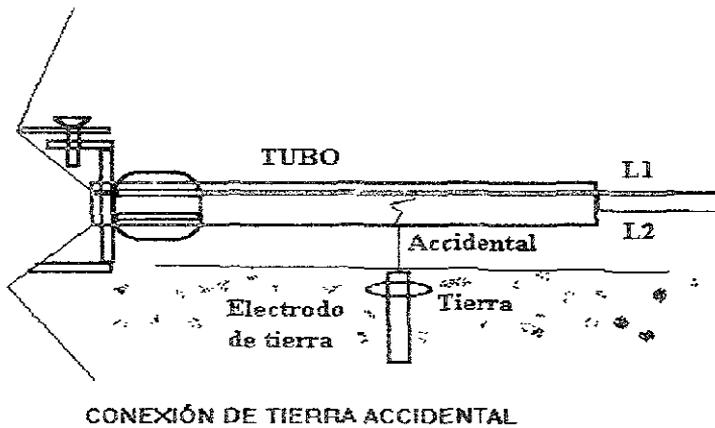


FIGURA 1.1.2 (2) CONEXIÓN A TIERRA ACCIDENTAL.

Una tierra consiste:

- * Conductor de puesta a tierra.
- * Un conector.
- * Electrodo de puesta a tierra.
- * Suelo de contacto con el electrodo.

Uno de los objetivos fundamentales de la tierra eléctrica es:

1. limitar el potencial entre las partes no conductoras de corriente (gabinetes, medios de canalización, cajas de registro, carcasas de motores, generadores y en general todas las cubiertas metálicas).
2. Evitar que equipos de baja tensión sean víctimas de potenciales ilimitados en su suministro que puedan dañar dispositivos electrónicos, tarjetas de unidad de proceso central (CPU) o incluso un equipo completo.

3. Proporcionar al sistema una trayectoria de retorno de baja impedancia.
4. Entre esas partes y tierra sirve para asegurar valores bajos en todas las condiciones de operación del sistema tanto normales como anormales. Para la protección del personal que esté en contacto con ellos no pueda ser lesionado o los componentes de los mismos sean dañados.

Estas condiciones anormales en los sistemas de tierras tienen varias aplicaciones de protección. Para fenómenos naturales tales como descargas atmosféricas, corrientes de falla en el sistema y equipo eléctrico; la tierra eléctrica ayuda para asegurar una operación rápida de los dispositivos de protección contra sobrecorriente. Eliminando así los potenciales extraños tan rápidamente como sea posible sin causar ningún daño al personal y al equipo utilizado.

1.1.3 LA TIERRA FÍSICA

Se usa para conectar a tierra en el punto requerido las cubiertas metálicas de los equipos, las canalizaciones metálicas y otras partes metálicas que pudieran transportar corrientes indeseables a través de ellas.

1.1.4 TIERRA DEL SISTEMA

Se usa para una mayor protección del equipo y del personal que opera el mismo, para dispersar las corrientes producidas por formación de arcos durante maniobras de interruptores accionados con carga, corrientes vagabundas que pudiesen existir en el sistema, por fallas de fase a tierra (o de cortocircuito).

1.1.5 NEUTRO

El neutro siempre esta conectado a tierra para el regreso de corriente de las fases en un sistema trifásico.

Lo que cabe preguntar *para que se necesita un neutro*.

La función que desempeña un neutro conectado a tierra entre otras cosas es *“mantener fijo el centro de un sistema trifásico”*, es decir, mantenerlo balanceado.

Una de las claves para entender la puesta a tierra es ser capaz de interpretar y cambiar con facilidad desde el termino de *“tierra”* (Ground) a *“puesto a tierra”* (Grounded) o a *“de puesta a tierra”* (Grounding).

1.1.6 CONDUCTOR PUESTO A TIERRA (GROUNDED CONDUCTOR)

La figura 1.1.6 (1) siguiente nos muestra como un conductor de un sistema o circuito es puesto a tierra intencionalmente.

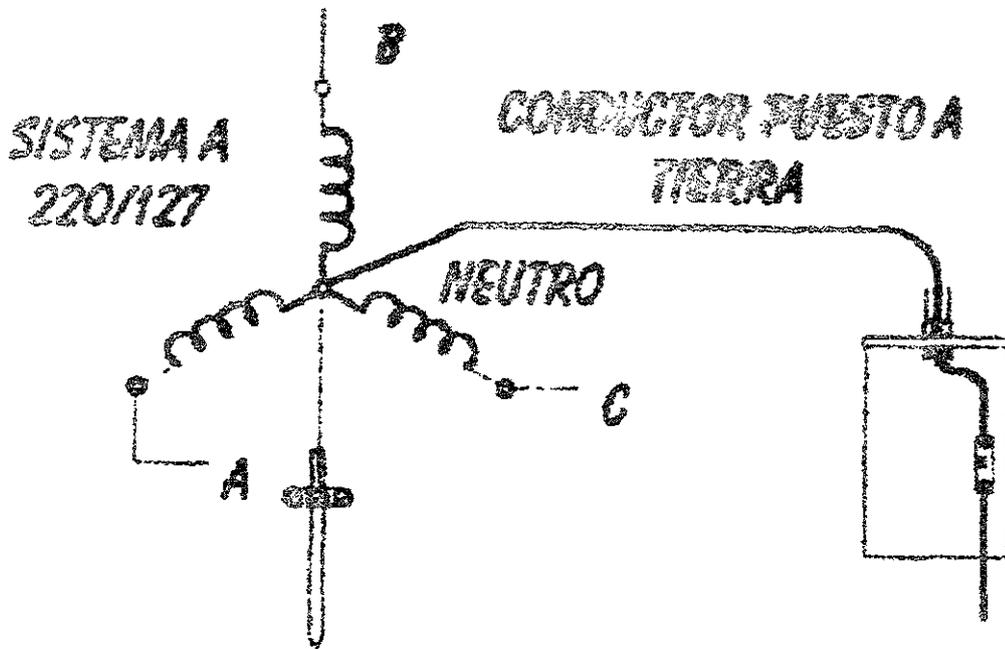


FIGURA 1.1.6 (1) DEFINICION DE CONDUCTOR PUESTO A TIERRA.

La definición del termino, conductor puesto a tierra, indica que el conductor ha sido conectado intencionalmente a tierra como el neutro puesto a tierra para un sistema trifásico a cuatro hilos. 220/127 Volts.

1.1.7 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA (GROUNDING)

Un conductor utilizado para conectar equipo o un circuito de un sistema a tierra a un electrodo o electrodos de puesta a tierra.

Los sistemas de tierra se pueden clasificar de acuerdo con la función que desempeñen, es decir que pueden ser interconectado entre sí con el sistema de tierras eléctrico, de computo y de comunicaciones.

1.1.8 PUESTA A TIERRA DE EQUIPO

Cuando un gabinete o canalización es puesto a tierra, como lo establece la definición de puesto a tierra, el gabinete o canalización es conectado a tierra en algún punto como se muestra en la figura 1.1.8 (1) Cuando es conectado efectivamente a tierra, este viene siendo parte de todo el sistema de puesta a tierra y los gabinetes metálicos tendrán un potencial cero a tierra.

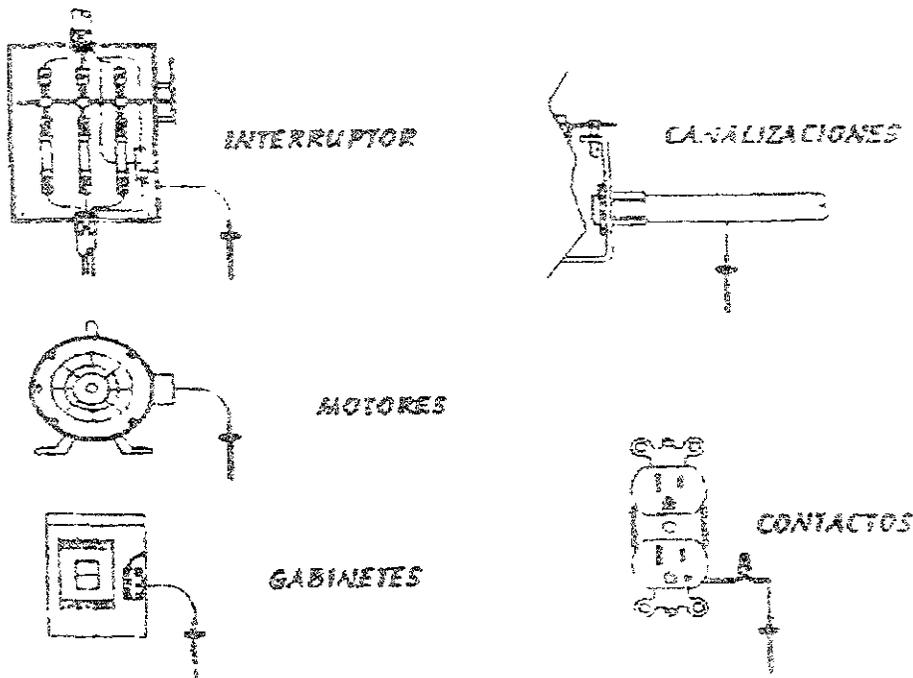
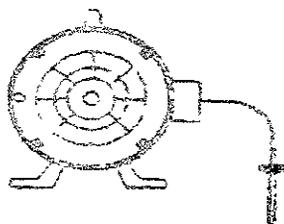
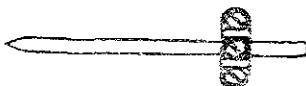


FIGURA 1.1.8 (1) EQUIPO Y GABINETES PUESTOS A TIERRA

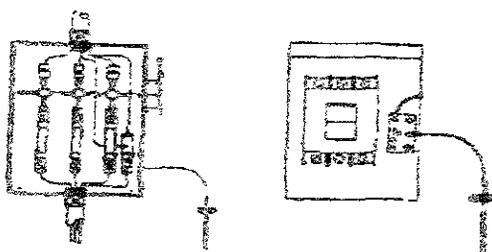
Regularmente nos hacemos la pregunta "porque son puestos a tierra los materiales conductivos y gabinetes del equipo eléctrico". La respuesta esta en la figura 1.1.8 (2).



1. LIMITAR EL VOLTAJE A TIERRA



2. FACILITAR LA OPERACION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE



3. DRENAR LAS CORRIENTES ESTATICAS Y DE FUGA A TIERRA

FIGURA 1.1.8 (2) RAZONES PARA LA PUESTA A TIERRA DE MATERIALES CONDUCTORES QUE ENCIERRAN EQUIPO ELECTRICO (GABINETES)

Parte de la razón para la puesta a tierra tiene que ver con el voltaje y con la corriente. El equipo eléctrico y los gabinetes puestos a tierra toman en consideración ambos parámetros porque estos dos trabajando juntos representan el mayor peligro para el equipo y personal.

Algunos de los conductores que se deben de poner a tierra se mencionan a continuación:

1.1.9 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DEL EQUIPO.

Es el conductor utilizado para conectar las partes metálicas no conductoras de corriente del equipo (canalizaciones, gabinetes) al sistema del conductor de tierra.

1.1.10 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE APARTARRAYOS.

Es el conductor que liga la conexión a tierra con el apartarrayos para proporcionar una trayectoria a tierra de las descargas atmosféricas.

Son los equipos o dispositivos usados para la protección de los sistemas eléctricos y se conectan al sistema de tierra propio de la subestación y también es recomendable que la bajada a tierra sea lo mas directa posible y el electrodo se encuentre cerca, como se muestra en la figura 1.1.10 (1).

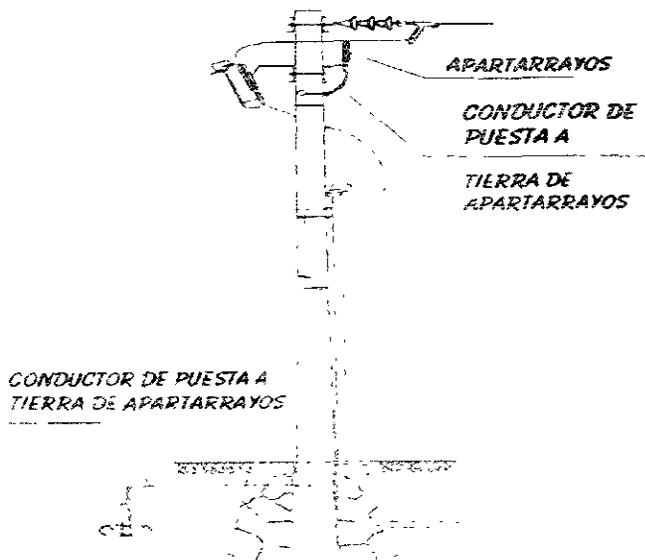


FIGURA 1.1.10 (1) CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE APARTARRAYOS

1.1.11 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE PARARRAYOS.

Es el conductor o dispositivo que capta las descargas atmosféricas, ofreciendo una trayectoria adecuada a tierra, donde disipa la energía del rayo, sin causar daños en su trayectoria como se muestra en la figura 1.1.11 (1). Esta definición aunque parece sencilla no es tan fácil de cumplir, esto es porque los rayos como muchos elementos de la naturaleza, no se controlan. Lograr que la descarga del rayo pase a tierra en forma directa sin causar daño, no es tan sencillo, sobre todo porque en la actualidad los equipos se componen por partes electrónicas que son muy sensibles a las sobre tensiones, de aquí que los sistemas de tierra para los pararrayos necesitan cumplir con ciertos requisitos.

El numero de electrodos de tierra está en función del numero de bajadas del pararrayos, mientras que en la protección tipo "Franklin" es una, en el tipo "Jaula de Faraday" son varias una por cada 30 metros de perímetro protegido o cuando menos 2.

Cada conductor de bajada debe terminar en un electrodo de tierra ya que la trayectoria a tierra debe ser lo más directa posible. Los conductores de tierra y los electrodos no se deben usar en otras aplicaciones, es decir deben ser exclusivamente de los pararrayos, incluso deben de estar separados dos metros de cualquier otro conductor eléctrico pero si no se puede lograr esto, es recomendable interconectar en una tierra común todos los conductores de tierra, incluyendo pararrayos, servicio eléctrico, teléfonos, y otros sistemas de puesta a tierra, antenas, sistemas de tuberías metálicas de agua, etc.

En cuanto al valor de la resistencia a tierra que deben tener la tierra de los pararrayos en las normas Americanas no se menciona algún valor mientras que en la Norma Británica (op326) se recomienda un valor de 10 ohms como máximo, sin embargo y como opción el valor de la resistencia a tierra de los pararrayos

debe ser muy similar al de otras tierras cercanas, para evitar arcos y a la vez debe ser un valor, lo mas bajo posible.

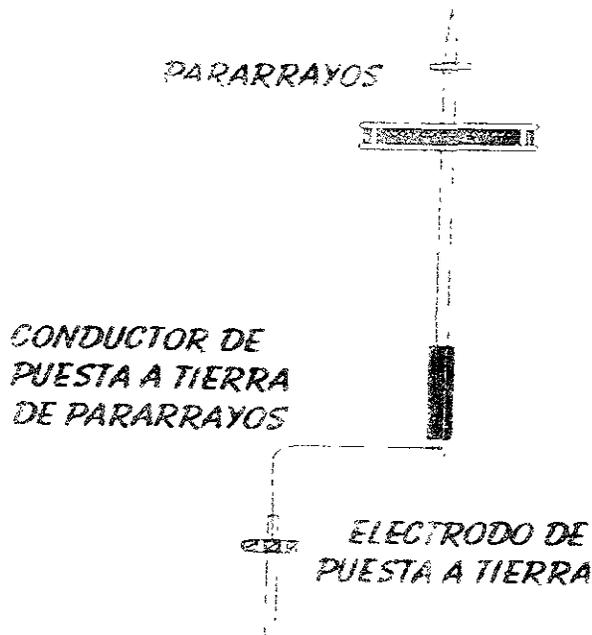


FIGURA 1.1.11 (1) CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE PARARRAYOS

Se tiene que mencionar que existe una diferencia entre un apartarrayos y una punta de pararrayos, ya que mientras el apartarrayo es un dispositivo de protección contra descargas atmosféricas que se interconectan entre el sistema eléctrico y tierra, el pararrayo no se interconecta al sistema eléctrico.

1.1.12 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE PARTES METÁLICAS NO CONDUCTORAS DE CORRIENTE ELÉCTRICA.

Es el conductor que se usa para conectar a tierra las cubiertas metálicas de los equipos, canalizaciones y otras partes metálicas que pudieran transportar corrientes indeseables a través de ellas. Comúnmente llamada *tierra física*.

1.1.13 CONDUCTOR PUESTO A TIERRA DEL SISTEMA.

Es el conductor de un circuito o sistema que intencionalmente se conecta a tierra, como es el uso de neutro y se muestra en la figura 1.1.13 (1)

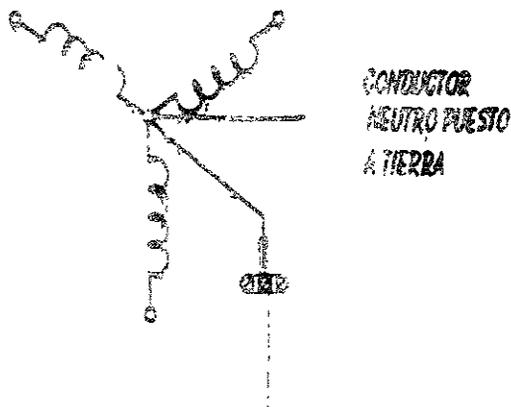


FIGURA 1.1.13 (1) CONDUCTOR PUESTO A TIERRA DEL SISTEMA

1.1.14 CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.

Es el que se utiliza para conectar el electrodo de puesta a tierra a los conductores de puesta a tierra del equipo o del sistema a través del puente de unión.

1.1.15 PUENTE DE UNIÓN.

Es un conductor que sirve para proporcionar la conductividad eléctrica requerida en partes de metal que hayan de ser conectadas eléctricamente. Como se muestra en la figura 1.1.15 (1)

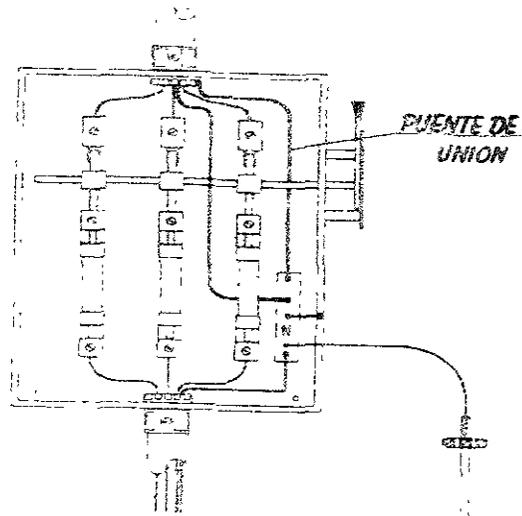


FIGURA 1.1.15 (1) PUENTE DE UNION

1.1.16 PUENTE DE UNIÓN DE EQUIPOS.

Es la conexión entre dos o más partes del conductor de puesta a tierra de equipos.

1.1.17 PUENTE DE UNIÓN EN UN CIRCUITO.

Es la conexión entre dos o más partes del conductor en un circuito para mantener la capacidad de corriente requerida en el circuito.

1.1.18 PUENTE DE UNIÓN PRINCIPAL.

Es la conexión entre el conductor de puesta a tierra del circuito y el conductor de puesto a tierra de equipos, en la acometida como se muestra en la figura 1.1.18 (1)

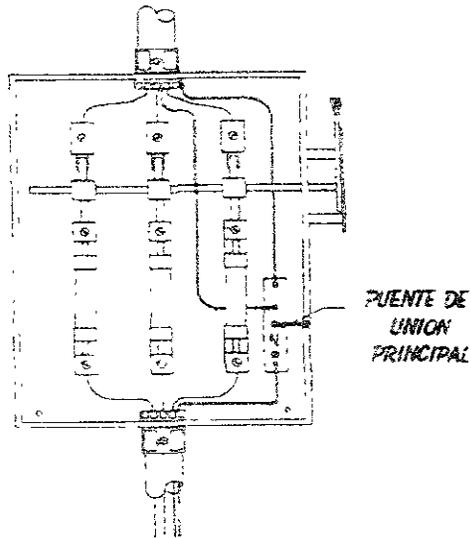


FIGURA 1.1.18 (1) PUENTE DE UNION PRINCIPAL

1.1.19 PUENTEADO.

Es la interconexión permanente de las partes metálicas para formar un camino conductor que garantice la continuidad y capacidad de conducción eléctrica.

Conectado a tierra de manera permanente o través de una conexión de puesta a tierra que tenga una impedancia suficientemente baja, para que la corriente de falla a tierra que pueda ocurrir no cause la aparición de tensiones peligrosas a las personas o al equipo conectado.

1.1.20 TENSIÓN A TIERRA (RESPECTO A TIERRA).

Es la tensión entre un conductor dado y el punto o conductor del circuito que está puesto a tierra.

Otras definiciones dadas para la interpretación de puesta a tierra y que son necesarias son las mencionadas a continuación:

1.1.21 CIRCUITO RETORNO A TIERRA.

Un circuito en el cual la tierra es utilizada para completar el circuito.

1.1.22 CORRIENTE DE TIERRA.

Corriente fluyendo a tierra o en una conexión de puesta a tierra.

1.1.23 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA.

Una conexión utilizada en el establecimiento de una tierra consiste de un conductor de puesto a tierra, un electrodo de puesto a tierra y de la tierra (suelo) que circunda el electrodo o algún cuerpo conductor que sirve en lugar de la tierra.

1.1.24 MALLA DE TIERRA.

Un sistema de electrodos de puesta a tierra consiste de conductores enterrados en la tierra e interconectados para proporcionar una tierra común para los dispositivos electrónicos y estructuras metálicas.

1.1.25 MATERIAL DE TIERRA.

Un sistema de conductores, sobre o bajo de la superficie de la tierra, conectadas a una tierra o malla de tierra para proporcionar protección contra tensiones de toque peligrosas.

1.1.26 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

Consiste de todas las conexiones de puesta a tierra interconectadas a una área específica.

1.1.27 RESISTENCIA A TIERRA.

La resistencia ohmica entre el electrodo de puesta a tierra y un electrodo de puesta a tierra remoto de resistencia a tierra.

Por remoto entiéndase a una distancia tal que la resistencia mutua de los dos electrodos es esencialmente cero.

1.1.28 RESISTENCIA MUTUA DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.

Es igual al cambio de tensión en uno de ellos producido por un cambio de un ampere de corriente directa en el otro, y es expresada en Ohms.

1.1.29 POTENCIAL ELÉCTRICO.

La diferencia de potencial entre el punto y alguna superficie equipotencial usualmente la superficie de la tierra, la cual es elegida arbitrariamente teniendo un potencial cero (tierra remota).

Un punto que tiene un mayor potencial que una superficie cero, es decir, para tener un potencial positivo, uno teniendo un potencial mas bajo tiene un potencial negativo.

1.1.30 CONTORNO O LÍNEA EQUIPOTENCIAL.

La gama de puntos teniendo el mismo potencial a un tiempo dado.

1.1.31 PERFIL DE POTENCIAL.

Una representación gráfica de potencial como una función de distancia a lo largo de una trayectoria específica.

1.1.32 GRADIENTE DE POTENCIAL DE SUPERFICIE.

La inclinación de un perfil de potencial, la trayectoria de la cual se interceptan las líneas equipotenciales en ángulos rectos.

1.1.33 TENSIÓN DE TOQUE.

La diferencia de potencial entre dos puntos sobre la superficie de la tierra separada por una distancia igual al alcance máximo normal en una posición horizontal de un metro.

1.1.34 TENSIÓN DE PASO.

La diferencia de potencial entre dos puntos sobre la superficie de la tierra, separada por una distancia de un paso que será considerado de un metro, en dirección del máximo gradiente de potencial.

Esta diferencia de potencial será peligrosa cuando la corriente fluya a través de la tierra o material sobre la cual una persona está parada, particularmente bajo condiciones de falla.

1.1.35 RESISTIVIDAD (DEL MATERIAL).

Un factor tal que la densidad de conducción de corriente es igual al campo eléctrico en el material dividido por la resistividad.

1.2 SEGURIDAD Y PROTECCIÓN DE UN SISTEMA DE TIERRAS

Como ya se ha mencionado, en los sistemas eléctricos se tiene la necesidad de proteger al personal y equipo de trabajo, por lo que es necesario contar con un sistema de seguridad adecuado. Para lograrlo es de vital importancia la correcta identificación de los conductores de conexión a tierra. Generalmente en los sistemas de tierras se utiliza el cable como conductor, pero en el caso de la conexión de neutros y partes metálicas no energizadas puede emplearse el alambre.

En las instalaciones eléctricas se requiere del uso de conductores, conectores electrodos y otros materiales que sirvan de conexión eléctrica a tierra. Los sistemas de tierra juegan un papel importante durante los periodos cortos de tiempo en que se presenta una falla, o cuando se presenten repentinas sobretensiones ocasionadas por descargas atmosféricas o por fenómenos transitorios originados por la apertura y cierre de interruptores.

La necesidad de contar con una red de tierras en la instalación eléctrica, es la de cumplir con las siguientes funciones:

- 1. Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de corriente de falla a tierra producidas por la operación de un apartarrayo o el deterioro en los aislamientos de los equipos y materiales.*

2. Evitar que durante la circulación de estas corrientes a tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre diferentes puntos de la instalación, que puedan ser peligrosos para el personal.
3. Facilitar mediante relevadores la eliminación de las fallas a tierra en los sistemas eléctricos.
4. Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

Si la resistencia de un sistema de tierras es finita la corriente que circula por ella da lugar, "a un aumento de la tensión en el equipo conectado al sistema en relación con puntos distantes, y a gradientes de potencial eléctrico en sentido horizontal sobre la superficie de la tierra, especialmente en las proximidades del electrodo del sistema".

Estos peligros son menores si se reduce la resistencia del sistema, la cual, por otra parte, es imposible de eliminar por completo, por esta razón existen cinco razones por la que los sistemas y circuitos son puestos a tierra:

1. Las sobré tensiones y descargas atmosféricas,
2. fenómenos transitorios,

y para

3. contacto accidental con líneas de mayor tensión y
4. la estabilización de la tensión a tierra durante la operación normal,
5. facilitar la operación de los dispositivos de protección contra sobré tensiones en caso de una falla a tierra en un sistema sólidamente aterrizado.

A las cinco razones por las que los sistemas y circuitos son puestos a tierra se deben sumar dos conceptos mas que son:

1. *Protección del equipo*
2. *Protección del personal*

En la protección del equipo, las partes metálicas (gabinetes de material conductor, conductores eléctricos o equipo), son puestos a tierra para *“limitar la tensión a tierra, facilitar la operación de los dispositivos de protección contra sobre corrientes y drenar las corrientes estáticas y de fuga a tierra.*

El drenado a tierra de las corrientes estáticas y de fuga ayudan a reducir el ruido eléctrico que puede causar problemas y errores en los datos del equipo electrónico sofisticado. Las computadoras, circuitos electrónicos y equipos especializados requieren protección contra picos de voltaje y ruido eléctrico, para eliminar al máximo este ruido se necesita:

* Cableado adecuado, puesta a tierra y blindaje de las líneas de alimentación. Esto incluye el uso de un adecuado sistema de tierras y también asegura el uso apropiado de los conductores de tierra y neutro. El conductor neutro siempre deberá conducir la corriente de desbalanceo de carga normal. El conductor tierra deberá conducir únicamente la corriente de falla. La corriente medida en el conductor neutro será igual a la corriente medida en el conductor de fase bajo condiciones normales de operación. La corriente medida en el conductor de tierra siempre será igual a cero bajo condiciones normales de operación.

* Un adecuado calibre de los conductores de tierra y neutro.

* Asegurarse de que todas las conexiones estén bien unidas y apretadas. La pérdida de las conexiones causa ruido arqueos lo cual puede dañar las computadoras y otros equipos con circuitos electrónicos.

Un sistema de puesta a tierra común puede actuar como una gran antena y conducir ruido eléctrico, que puede causar interferencia en equipo sensible.

Para reducir los problemas de equipo sensible causado en áreas de alto ruido eléctrico, se pueden utilizar un contacto con puesta a tierra aislada, (un contacto de tierra aislada, es una trayectoria separada de puesta a tierra).

En la protección del personal, la conducción de corrientes elevadas de falla a tierra en las instalaciones eléctricas, debido a descargas atmosféricas, fallas de equipo, etc., obliga a tomar precauciones para que los gradientes eléctricos o las tensiones resultantes no ofrezcan peligro a los operadores o en general a todo el personal que se encuentre cerca de las áreas de trabajo y riesgo. Las causas mas frecuentes de sufrir una descarga eléctrica son: exceso de confianza, aislamientos dañados, falta de sistema de tierras y falta de puesta a tierra de equipos.

Existen diversos casos que se pueden presentar al hacer contacto físicamente con una superficie a diferente potencial. Las siguientes selecciones cubren con detalle los principios y criterios de la protección de la vida humana.

La corriente fibrilacion es la que se produce al existir una diferencia de potencial entre dos partes del organismo. El potencial tolerable del cuerpo humano esta en función de esta corriente, que al circular por el corazón, primeramente le produce una arritmia cardiaca, procediendo a detenerlo por completo causándole la muerte. A continuación se muestra en las figuras paso a paso las consecuencias de una descarga eléctrica de corriente.

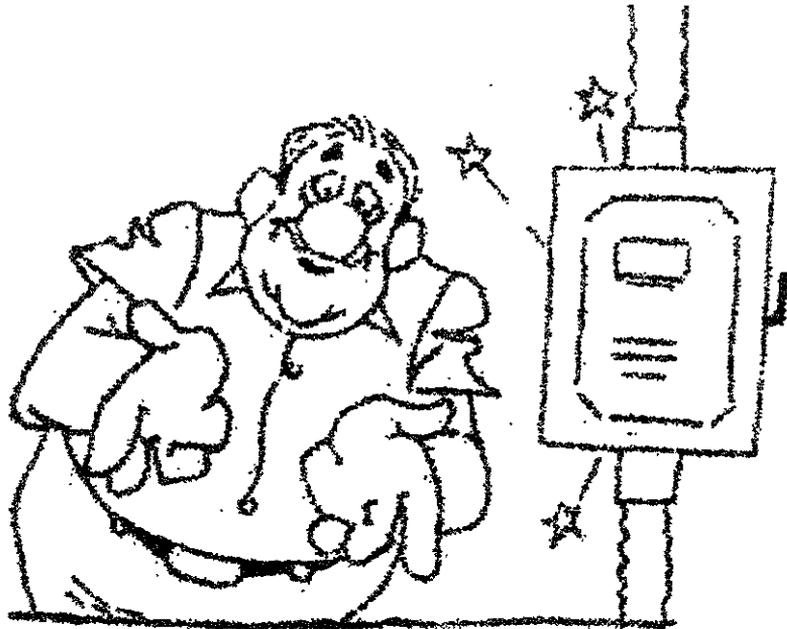


FIGURA 1.2 (1)

**Una corriente de 1 miliampere
no produce ninguna sensacion o efecto.**

La resistencia del cuerpo humano varia segun las condiciones fisicas y sioquicas del sujeto

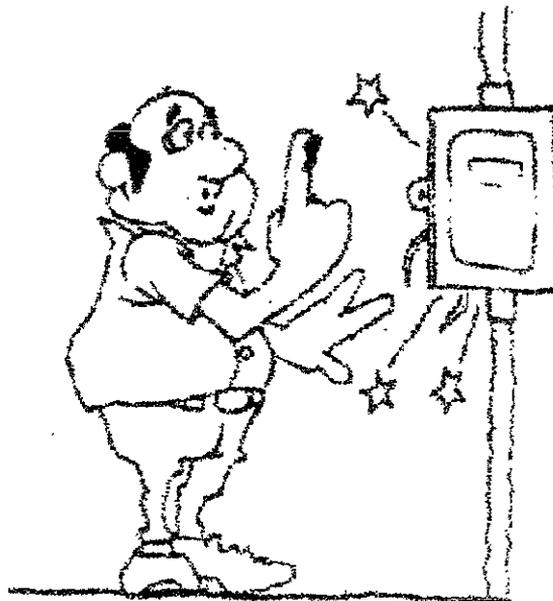


FIGURA 1.2 (2)

**Una corriente entre 1 a 8 miliamperes produce un choque indoloro
y el individuo puede soltar los conductores**

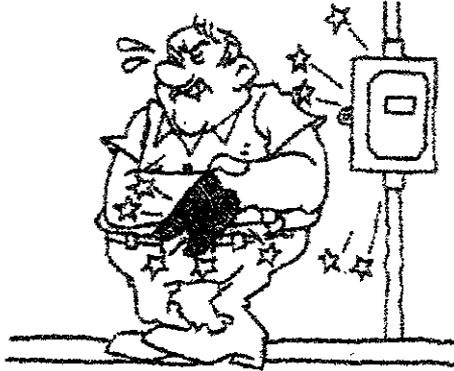
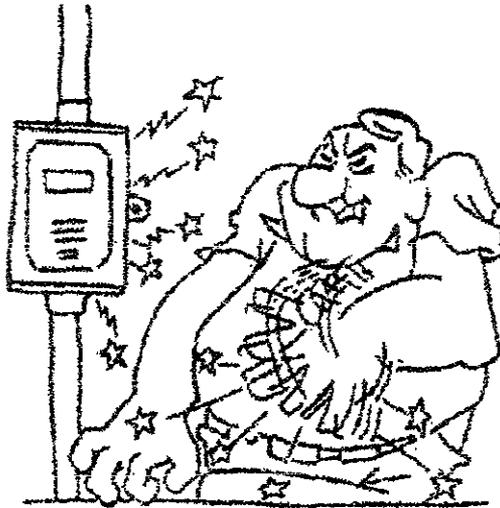


FIGURA 1.2 (3)

De 8 a 15 miliamperes produce un choque doloroso pero sin pérdida del control muscular

la resistencia del cuerpo humano tambien depende del grado de humedad generalmente se estima en promedio que su valor es de 3,000 (ohm)



De 15 a 20 miliamperes produce un choque doloroso con perdida del control de los musculos afectados

FIGURA 1.2 (4)

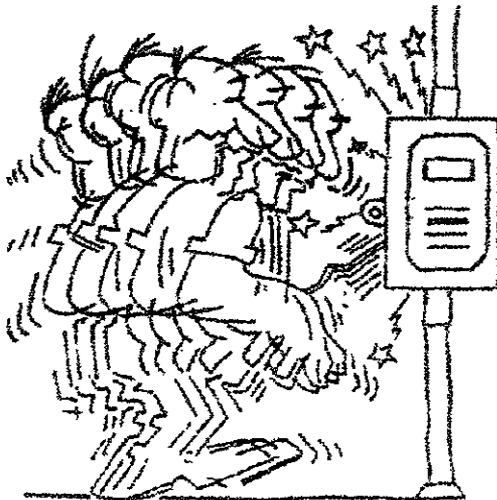


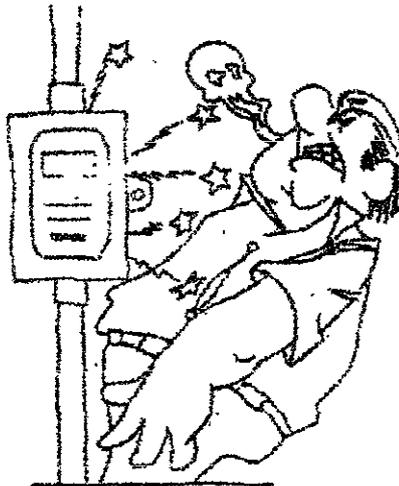
FIGURA 1.2 (5)

En la figura 1.2 (5) a la persona le llega un contacto de 20 a 50 miliamperes, produce un choque dolorosa y contracciones musculares muy fuertes.



FIGURA 1.2 (6) De 50 a 100 miliampere, puede causar fibrilacion ventricular

Cuando el sujeto no logra desprenderse del contacto se debe a fenomenos de tetanizacion o sea, contracciones de los musculos de las articulaciones.



De 100 a 200 miliampere mata siempre a la victima por fibrilacion ventricular
FIGURA 1.2 (7)

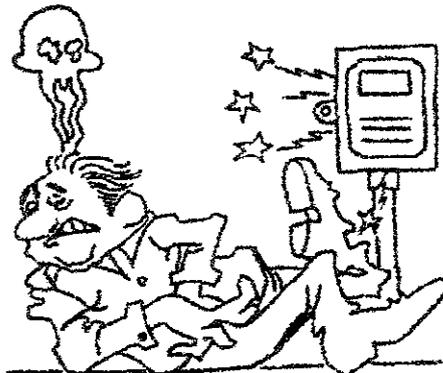


FIGURA 1.2 (8)

En la figura 1.2 (8) se muestra que mas de 200 mili amperes, produce quemaduras y fuertes contracciones musculares que oprimen el corazón y mata instantáneamente.

De algunos experimentos con animales se llevo a estas ecuaciones:

$$I = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \text{ para } 50 \text{ Kg} \quad \text{y} \quad I = \frac{0.157}{\sqrt{t}} \text{ para } 70 \text{ Kg.}$$

Donde:

I = Corriente de fibración

t = tiempo que circula la corriente.

Los efectos más comunes de la circulación de la corriente eléctrica por el cuerpo humano son; percepción, contracciones musculares, inconsciencia, fibrilación ventricular, bloqueo de los nervios respiratorios y quemaduras. Con 1 mili ampere generalmente se presenta la percepción, que es justo el momento en que se tiene conciencia de que circula una corriente por el cuerpo, generalmente en dedos y manos.

Corriente de 1 a 6 ma. traen como consecuencia el engarrotamiento de los músculos, es decir se pierde el control de los músculos. También existen otras corrientes ya mencionadas, tal como es "*Tensión de paso*", V_p se define como la diferencia de potencial durante el funcionamiento de un sistema de tierras, y es el resultado que existe entre el pie de una persona apoyada en el suelo y el otro pie de la misma.

La "*Tensión de contacto*", V_c es la tensión a la cual se puede ver sometido el cuerpo humano por el contacto con alguna carcasa o estructura metálica que normalmente no esta energizada.

La tensión de paso puede resultar muy peligrosa en determinadas circunstancias, sobre todo si el sistema de tierras no esta lo suficientemente profundo.

1.3 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DE TIERRAS

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobré tensiones y fallas a tierra en las instalaciones eléctricas, es la de disponer una red de tierras adecuada a la cual se conecten los neutros de los aparatos y equipos, los apartarrayos, estructuras metálicas, los tanques y gabinetes de los equipos y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

En términos generales, una instalación eléctrica que carezca en lo absoluto de un sistema de tierras, pueden funcionar correctamente en condiciones normales, pero el día en que sus condiciones normales de funcionamiento se alteren, será cuando se lamentara no tenerlo.

Esta alteración puede ser desde un ligero desbalanceo de la carga, la descarga recibida en una línea aérea por un rayo o una falla que provoque la fuga de corriente de fase a tierra, o simplemente una falla de aislamiento en los equipos que provoque dichas fugas.

Cabe mencionar que ninguno de los conductores de puesta a tierra esta diseñado para conducir la corriente de carga o de desbalanceo. El conductor de puesta a tierra únicamente conducirá corriente originada bajo condiciones de falla en el sistema. El material de los conductores generalmente es de cobre, aluminio, o aluminio revestido de cobre, aunque en ocasiones se puede utilizar otro tipo de

conductores de materiales diferentes, pero se deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Alta conductividad eléctrica.
- b) Un bajo índice de corrosión por efecto del terreno.
- c) Un bajo índice de corrosión debido a la corrosión galvánica.

Para reducir el índice de corrosión galvánica, se emplea acero galvánico o galvanizado, que retarda el efecto de corrosión.

Otro elemento importante en el sistema de tierras es el “*electrodo*”, pero nos preguntamos “que es un electrodo.”

1.3.1 ELECTRODO.

Un electrodo es la parte metálica conductora, enterrada en el suelo, y forma una unión conductora con el terreno. Estos electrodos se clavan en terrenos mas o menos blandos y sirven para encontrar las zonas mas húmedas, y por lo tanto con menor resistividad eléctrica.

También existen otras clases de electrodos que se pueden aprovechar, a estos se le conocen como “*electrodos naturales*”, son estructuras metálicas que pueden existir enterradas y que puedan aprovecharse para la puesta a tierra (redes hidráulicas, estructuras metálicas de edificios , como se muestra en la figura 1.3.1 (1).

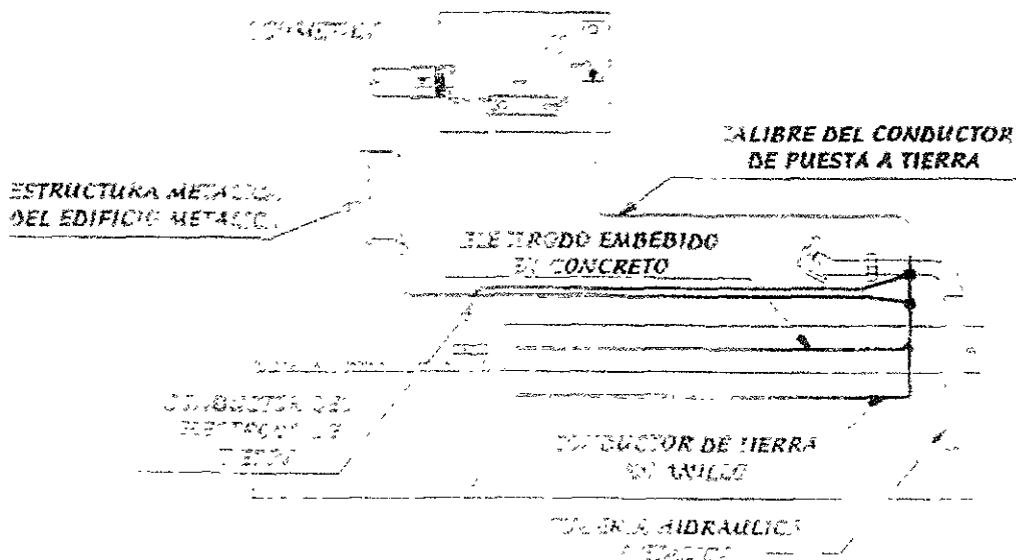


FIGURA 1.3.1 (1) TUBERIA HIDRAULICA UTILIZADA COMO ELECTRODO DE TIERRA

y los “*electrodos artificiales*” son los fabricados por la industria exclusivamente para obtener la puesta a tierra y están constituidos normalmente por barras, tubos, placas y otros elementos metálicos, donde estos elementos deben ser metales inalterables a la humedad y la acción química (cobre, hierro o acero galvanizado), los electrodos naturales y artificiales se utilizaran siempre que cumplan las condiciones establecidas en la Nom-001-Semp-1994.

Existe cierta confusión con respecto al electrodo de puesta a tierra, algunas personas piensan que el electrodo solo es una varilla enterrada, sin embargo un electrodo puede consistir en un conductor enterrado en forma vertical u horizontal figura 1.3.1 (2), una placa enterrada 1.3.1 (3), una varilla con relleno químico 1.3.1 (4), varias varillas en paralelo, mallas de cables enterrados . Algunos de estos electrodos se muestran en la siguientes figuras:

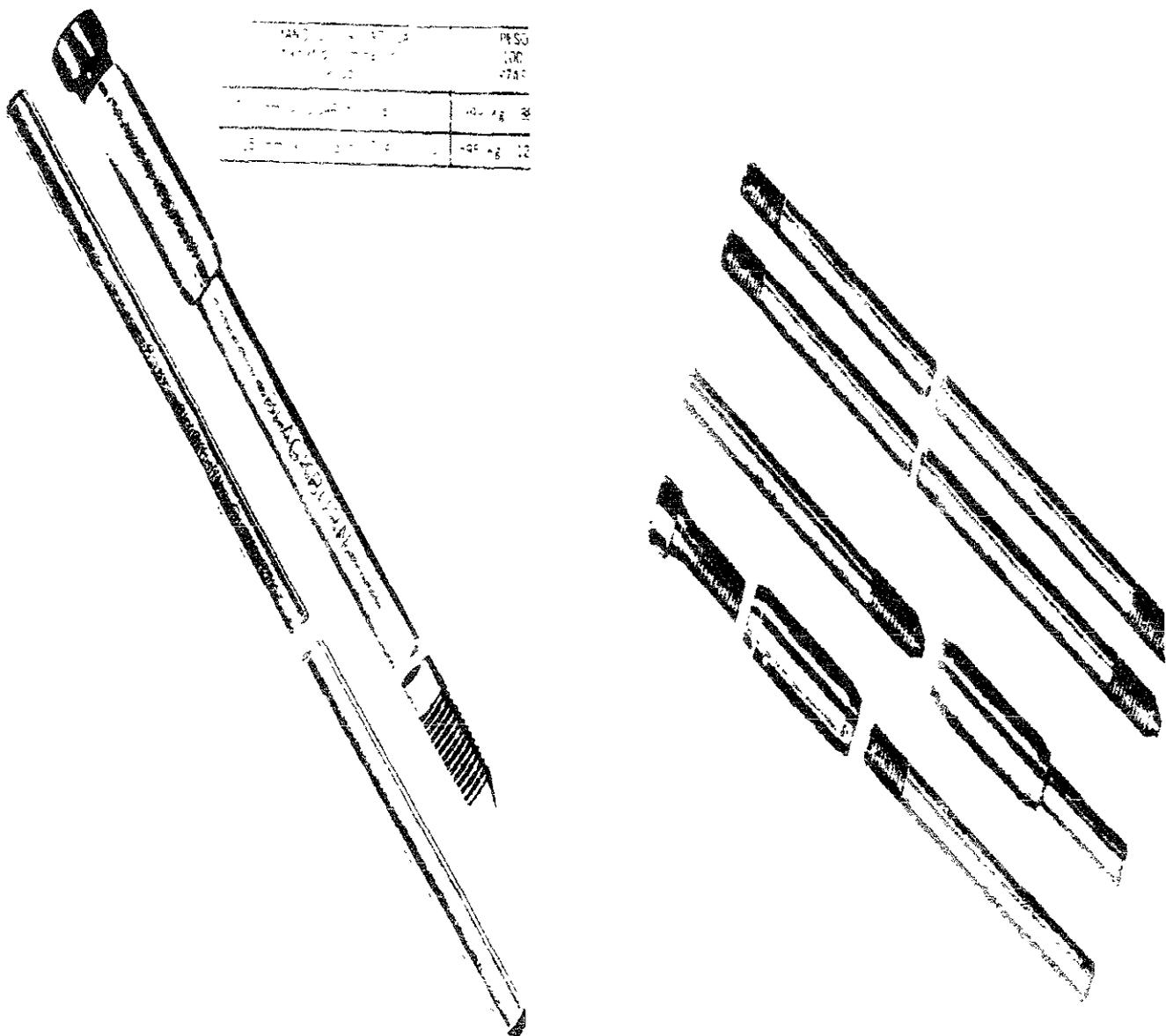
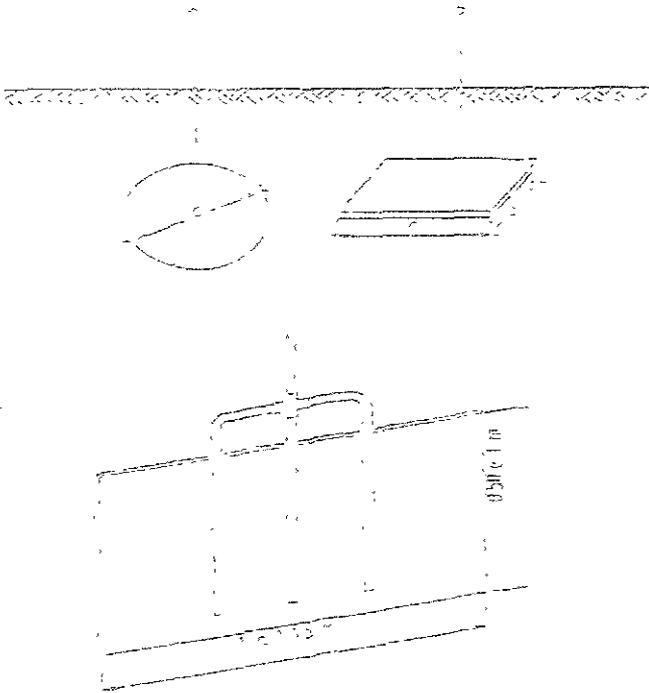


FIGURA. 1.3.1(2) ELECTRODOS DE BARRA



**FIG.1.3.1 (3) ELECTRODO ARTIFICIAL
DE PLACA**



**FIG. 1.3.1 (4) ELECTRODO
ELECTROQUIMICO**

En realidad lo que importa es el valor de resistencia a tierra y como ya se menciono, para tensiones elevadas, también se incluyen los potenciales peligrosos; de paso, de contacto y transferidos.

Para poder entender la naturaleza de un electrodo de tierra y su resistencia debemos considerar un electrodo hemisférico como se muestra en la siguiente figura 1.3.1 (5).

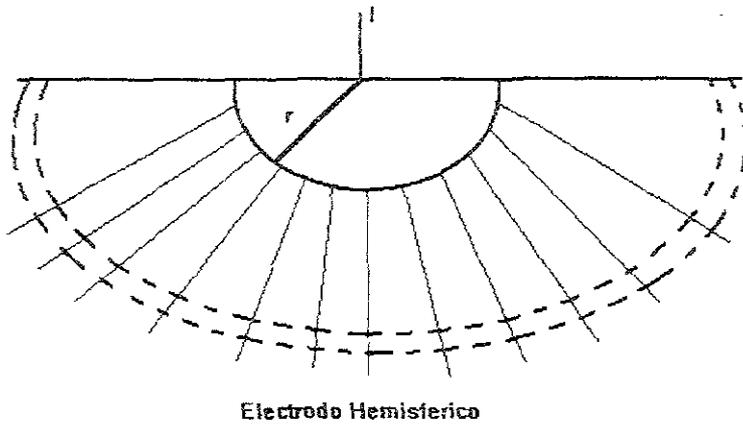


FIG. 1.3.1 (5) ELECTRODO HEMESFERICO

La resistencia total del electrodo puede ser dividida en tres partes:

- a) La resistencia propia del conductor.
- b) La resistencia de contacto entre el electrodo y tierra.
- c) La resistencia de la masa de tierra que rodea al electrodo.

La última representa el valor más significativo de resistencia a tierra ya que los otros dos valores, comparativamente son despreciables, si consideramos los flujos de corriente en todas direcciones, como lo muestra la figura anterior y además consideramos que la corriente tiene una trayectoria infinita, el valor de resistencia será:

$$R = \frac{\rho}{2(3.1416)r}$$

Ecuación general para resistencia de electrodos.

Para poder aplicar esta fórmula en cualquier electrodo tenemos:

$$R = \frac{\textcircled{a}}{2 (3.1416) c}$$

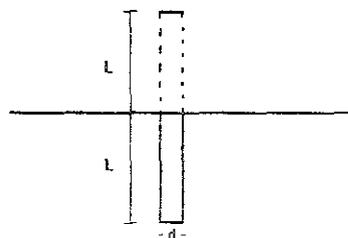
donde "c" es la capacidad electrostática de un electrodo combinada con su imagen en la superficie de la tierra.

Una buena aproximación de un electrodo es, considerándolo como la mitad de un elipsoide de revolución, en el cual el eje mayor es muy largo comparándolo con el eje menor como se muestra en la figura 1.3.1 (6), por lo que se puede emplear.

$$C = \frac{a}{2 \text{Ln} (2a / b)}$$

donde "a" es la longitud del eje mayor y "b" la del eje menor de un elipsoide; sustituyendo en la fórmula general y con los valores de la figura tenemos:

$$R = \frac{\textcircled{a}}{2 (3.1416)L} \text{Ln} \frac{4L}{d}$$



Electrodo con su imagen

FIGURA 1.3.1 (6) ELECTRODO CON SU IMAGEN

Existen diferentes formas de conectar los electrodos los más comunes son:

1.3.2 ELECTRODOS MÚLTIPLES.

Estos electrodos es el mas común, es un medio económico de instalar un sistema de tierra, sin embargo, generalmente su valor de resistencia a tierra es alto, por lo que frecuentemente se deben colocar varios electrodos en paralelo.

Calcular el valor de dos o más electrodos en paralelo representa un margen de error, si se considera suelo homogéneo en condiciones ideales, que en la practica no acontece.

Para calcular resistencias combinadas, se necesita primero calcular la capacidad de un caso análogo electrostático, puede hacerse por el método de la carga uniforme, usado en el calculo de la resistencia de un electrodo sencillo, o sea suponer que las cargas están distribuidas uniformemente sobre ambos electrodos, los electrodos se sustituyen por electrodos hemisféricos, para simplificar los cálculos y así el potencial de una esfera de radio " r " es:

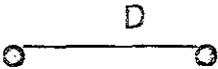
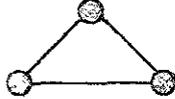
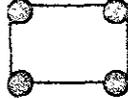
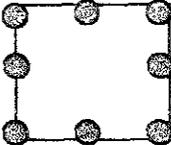
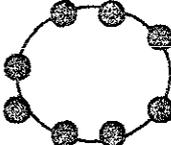
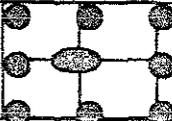
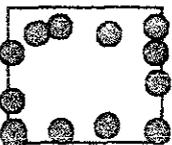
$$V = \frac{Q}{r}$$

donde Q es la carga de la esfera
el potencial a una distancia "d" de la esfera es:

$$Vd = \frac{Q}{d}$$

este procedimiento no debe emplearse para electrodos muy cercanos, aunque este caso no se da en la practica.

ELECTRODOS MÚLTIPLES

<p>Dos electrodos en paralelo reducen al 55% la resistencia de uno</p>	
<p>Tres electrodos en línea recta reducen al 35%</p>	
<p>Tres electrodos en delta reducen al 38%</p>	
<p>Cuatro electrodos en cuadro reducen al 28%</p>	
<p>Ocho electrodos en cuadro reducen al 17%</p>	
<p>Ocho electrodos en círculo reducen al 16%</p>	
<p>Nueve electrodos en cuadro sólido reducen al 16%</p>	
<p>Doce electrodos en cuadro reduce al 12%</p>	

En la gráfica anterior el valor de la resistencia a tierra de un electrodo se reduce dependiendo donde coloquemos el electrodo, si colocamos otro electrodo en paralelo, en línea recta, en delta.

1.3.3 ELECTRODOS HORIZONTALES.

Se utilizan cuando no es posible colocar electrodos vertical, estos electrodos horizontales requieren de espacio y con frecuencia es hurtado; factores que representan desventajas, por lo que su aplicación se reduce a

lugares donde hay suficiente área y no tienen acceso fácil evitándose su hurto, en sistemas de distribución básicamente su aplicación se reduce a fraccionamientos.

1.3.4 CABLE SENCILLO ENTERRADO HORIZONTALMENTE.

Es un cable sencillo enterrado horizontalmente con una longitud $2L$, y radio "a" y una profundidad $s/2$.

La resistencia a tierra se determina calculando la capacidad electrostática, tomando en cuenta el efecto de la tierra superficial, la profundidad y su imagen arriba de la superficie.

1.3.5 VARILLAS DE COPPERWELD.

Consiste en una barra circular de fierro forrada con una delgada capa de cobre de 0.25mm, con una longitud aproximada de 3 m., el hierro le da la dureza y el cobre le da conductividad y resistencia a la corrosión, se introducen en el suelo por medio de golpes ya que tienen la suficiente consistencia, algunas varillas se pueden unir por medio de conectores por lo que se puede tener longitudes mayores.

En los suelos como tepetate y roca no es fácil introducir electrodos comunes por lo que se recurre a otros medios para lograr una tierra efectiva, además de su dureza, tiene alta resistibilidad, lo cual dificulta su aterrizaje ya que requiere de instalaciones especiales, lo que quiere decir que con uno o dos electrodos no basta, por lo que se requiere modificar el medio que rodea el electrodo bajando la resistibilidad del suelo, los mas usuales son:

1.3.6 CARBON MINERAL (COKE).

Ha venido a sustituir el carbón vegetal por tener mejores cualidades aunque requiere en cierta medida de la humedad. Como prueba se instalo un electrodo con coke en terreno basáltito es decir roca, teniendo una eficiencia de 40% es decir una resistencia a tierra original de 34 ohms se redujo a 21 ohms.

Los **sulfatos** han caído en desuso debido a sus cualidades corrosivas sobre los metales en particular el cobre.

Las **sales** También, al igual que los sulfatos ya no se usan, además de ser corrosivas se diluyen fácilmente en el agua.

1.3.7 LA BENTONITA.

Se usa también como medio artificial para bajar la resistividad del terreno y a la vez reducir el valor de resistencia a tierra. La bentonita su principal propiedad es la capacidad de absorber y retener agua.

Básicamente consiste en ocupar las grietas, aberturas y huecos que existen o hacen en el terreno, mediante una masa que envuelve las partículas del mismo y los une eléctricamente, formando una gran superficie de contacto, haciendo un buen camino para las corrientes eléctricas que se drenan a tierra.

Cuando la resistencia es demasiado alta, aún con el uso de bentonita, se puede mejorar provocando grietas a base de explosiones.

La bentonita es de difícil manejo debido a que en contacto con el agua forma una película impermeable, su mezclado con agua no es fácil, necesiándose dos meses para absorber el agua al 100 %.

1.3.8 MÉTODO DE SANIK.

Inventado por el sueco Sanik, consiste en dos soluciones salinas que reaccionan entre sí, formando una mezcla gelatinosa estable, la cual es conductora de la electricidad e insoluble en agua, tiene cualidades higroscópicas excelentes, es decir, absorbe agua fácilmente. La eficiencia de un electrodo tratado con éste procedimiento varia del 25 al 80 %.

1.3.9 RESINAS SINTETICAS.

Son resinas de bajo peso molecular del tipo electrolítico con un elemento endurecedor, dando un elemento de baja resistividad que se mantiene por largo tiempo, este método lo han desarrollado profesores de las Universidades de China, su eficiencia va del 80 al 90 %.

La forma del electrodo de tierra, el valor de la superficie y la resistividad del terreno, son los mas importantes para el diseño y la configuración de los electrodos para puesta a tierra.

Conocemos ya para que sirve y que son los conductores y los electrodos, sin embargo para unir estos elementos se necesitara de otro elemento llamado **"conector"**.

Al construir la red de tierras se necesitan las uniones o empalmes, por ejemplo para cerrar la malla, para unir las varillas al cable, para dejar salidas que conectan equipo y estructuras, en fin se requieren uniones y estos deben soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos a que se somete la red.

Entre los mas comunes tenemos las exotérmicas, es decir a base de calor (cadweld) y los mecánicos que son a base de conectores.

Regularmente los conectores utilizados son "conectores atornillables", que son abrazaderas fabricadas de bronce de alto contenido de cobre, unidas por un tornillo cuyo material les da la resistencia mecánica y de corrosión. Existen otros conectores no atornillables "conectores de presión", son mas económicos pero dan mayor garantía de contacto, como lo muestra la figura 1.3.9 (1), los "conectores soldables" son utilizados para conectar a tierra los rieles de los transformadores, tuberías, etc, como se muestra en la figura 1.3.9 (2)

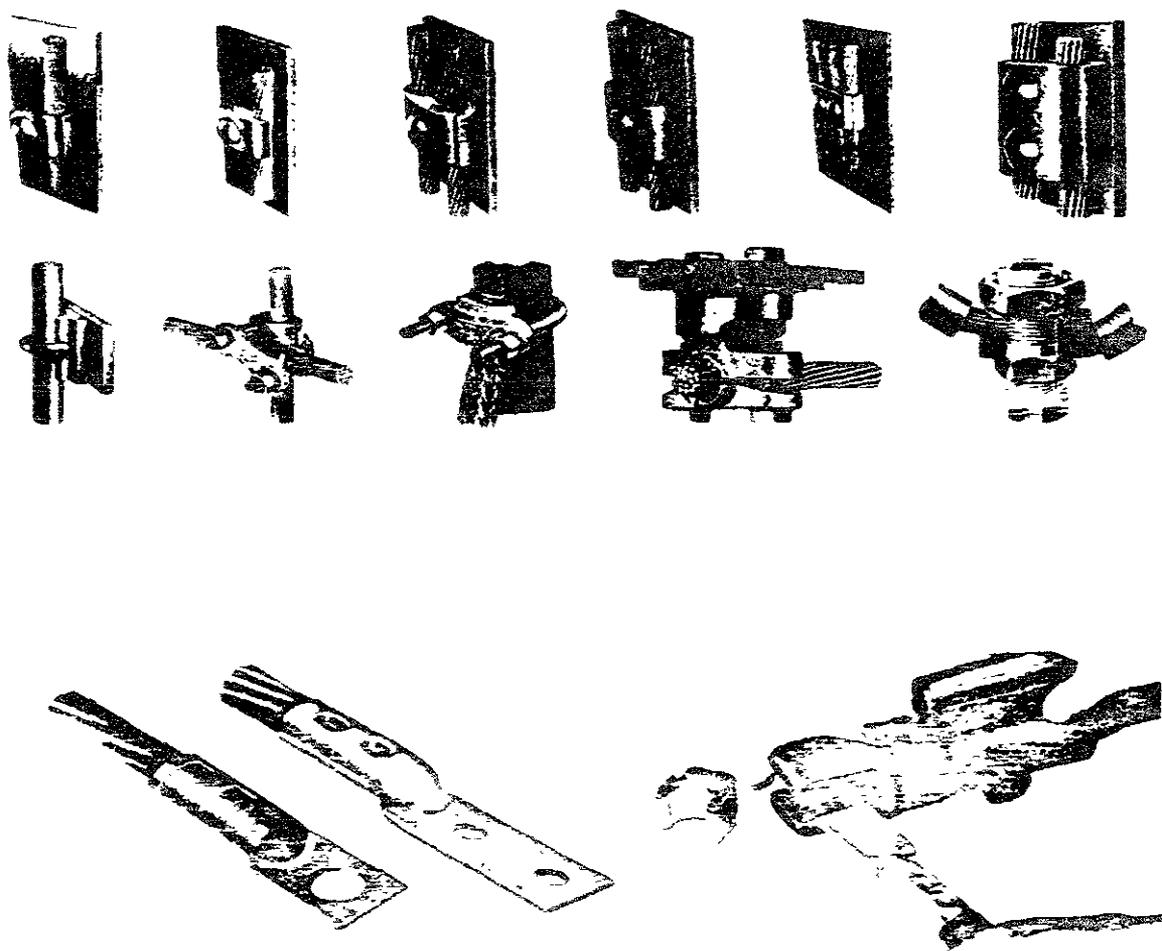


FIGURA 1.3.9 (1) CONECTORES A PRESION

Un sistema de conexión a tierra, para ser totalmente efectivo, debe:

1. *Proporcionar una baja impedancia a tierra para protección del personal y del equipo, así como una eficaz apertura del circuito.*
2. *Resistir y disipar fallas y corrientes de falla.*
3. *Proporcionar resistencia a la corrosión de los residuos químicos, para asegurar el buen funcionamiento de por vida del equipo que protege.*
4. *Proporcionar fuertes características mecánicas para facilitar su colocación con mínimo esfuerzo y daño a la varilla a tierra.*

Para dar cumplimiento a los requisitos básicos de un sistema de tierras así como la puesta a tierra de equipos, se deben tomar en cuenta los factores de diseño. Los principales factores de diseño para el cálculo de tierras son principalmente:

1. ***Restividad del terreno***
2. ***Corriente máxima de falla de fase a tierra.***
3. ***Calibre del conductor del sistema.***
4. ***Tensiones de paso, contacto y de malla del sistema.***
5. ***Longitud del conductor enterrado.***
6. ***Resistencia a tierra.***

1.3.10 RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

Se llama tierra en general, a los elementos que constituyen al terreno tales como: arena, grava, arcilla, etc. Para determinar la restividad del terreno, depende esencialmente de las siguientes características:

1. *Tipo de suelo.*
2. *Contenido de humedad y sales*
3. *Tamaño del grano y su distribución*
4. *Temperatura*

Por esta causa, en ocasiones existe la necesidad de desplazar los sistemas de tierras hasta encontrar terrenos adecuados, como por ejemplo las proximidades de zonas regables (jardines). En caso de subestaciones construidas en azoteas, el sistema de tierras se construye remotamente y generalmente se localiza en las partes bajas a la subestación.

En los sistemas con neutro a tierra es suelo se comporta como un conductor, mas aun, en los sistemas denominados SWER (sistema de retorno por tierra) el suelo es un conductor.

Las características del suelo son tan diferentes en este aspecto, que hay suelos que no conducen la electricidad, es decir, son aislantes, por otro lado hay suelos que son buenos conductores de la electricidad, como los suelos húmedos.

Para conocer que tan buen conductor de la electricidad es el suelo, es necesario conocer su resistividad o resistencia especifica, las rocas, la arena y suelos secos tienen una alta resistividad es decir no conducen la electricidad, los suelos con alto contenido de humedad tienen baja resistividad.

La resistividad también conocida como resistencia especifica, es la propiedad que tiene un suelo para conducir electricidad, la cual esta determinada por el tipo de suelo, el contenido de humedad del mismo, su composición química y la temperatura entre otros factores.

La resistividad se mide en ohms-metro, ohms-centímetro, etc. Existen dos formas para determinarla, una es empírica mediante tabulaciones y conocimiento del terreno y la otra efectuando la medición directamente en el terreno.

Una clasificación general es:

Tierra orgánica húmeda	10 ohms-metro
Tierra húmeda	100 ohms-metro
Tierra seca	1000 ohms-metro
Roca	5700 ohms-metro

1.3.11 TIPO DE SUELO.

En la ciudad de México en general el suelo es muy heterogéneo, teniendo zonas localizadas como; Roca en el sur, Tepetate y Arena en el Poniente, Tierra húmeda en el Oriente, Roca o Tepetate en el Norte etc. Sin embargo no tenemos un mapa con el tipo de terreno bien definido y el tipo de suelo puede cambiar de características en unos cuantos metros de separación.

Existen diferentes tipos de suelos como los que se mencionan a continuación:

1.3.12 ROCA VOLCÁNICA.

La cual es producto de erupciones y se encuentra sobre todo en formaciones montañosas, la ciudad de México se encuentra dentro del cinturón volcánico mexicano, por lo cual existen zonas con este tipo de roca.

1.3.13 ROCA SEDIMENTARIA.

Este tipo de roca se formo con la sedimentación de sales y no necesariamente se encuentra en el fondo de los mares, ya que algunas montañas han emergido y este tipo de rocas se puede encontrar en la ciudad de México, por ejemplo el cerro del Tenayo que esta compuesto por roca roja de este tipo.

1.3.14 ROCA METAMÓRFICA.

Esta formada por una composición de las dos anteriores.

1.3.15 TEPETATE.

El Tepetate en Nahuatl significa "cama de piedras" esta considerado como una roca, aunque no entra en la clasificación anterior, se formo de la sedimentación de las cenizas volcánicas, y en realidad es una arcilla pero que con el calor excesivo de las erupciones se convirtió en piedra.

El Tepetate se encuentra en la zona del cinturón volcánico mexicano.

Su principal característica es su dureza al impacto o a la penetración, de hecho el Tepetate, al estar formado por arcilla, es un buen conductor de la electricidad, sin embargo, dado su dureza, se tiene que efectuar una perforación previa con aparatos especiales antes de introducción de la varilla.

1.3.16 ARENA.

La arena es muy mala conductora de la electricidad por dos razones, la primera que no retiene humedad y por regla general esta muy seca, la segunda, tiene muchos huecos que ocupa el aire.

1.3.17 RELLENO SANITARIO.

El material de relleno por regla general lleva material orgánico, el cual desaparece con el tiempo, dejando grandes huecos, también lleva pedazos de tabique y piedras, por lo que su resistividad no es buena.

1.3.18 CONTENIDO DE HUMEDAD Y SALES.

Este aspecto es el mas importante para que un suelo sea conductor de la electricidad, y el por ciento de agua del suelo depende del contenido de arcilla, materia orgánica, clima, lugar, época del año etc., la arena no retiene la humedad y como resultado tiene una resistividad muy alta, las arcillas retienen la humedad y son conductoras de la electricidad.

El agua con grandes cantidades de sales es buena conductora de electricidad por el contrario sin sales (agua destilada) es poco conductora, por lo que podemos decir que entre mayor contenido de sales tenga el suelo húmedo mayor conductor de la electricidad será.

1.3.19 EL TAMAÑO DEL GRANO Y SU DISTRIBUCIÓN.

Es importante en la conducción eléctrica ya que si se tienen granos con grandes espacios se reduce el área de contacto mientras que si se tienen granos con diferentes tamaños los espacios son pequeños y aumenta el área de contacto llenando el agua el resto, por ejemplo las rocas no tienen espacio y el agua no penetra lo que da una alta resistividad, siempre que no tengan un alto contenido de partículas metálicas.

1.3.20 TEMPERATURA.

El agua a temperaturas bajas es mala conductora y la resistibilidad de un terreno está en función del contenido de humedad, por lo que en zonas frías la resistividad puede ser grande.

En la actualidad existen varios métodos para efectuar la resistividad del suelo mencionados a continuación.

1.3.21 MÉTODO DE WENNER.

Es método llamado Frank-Wenner, denominado también “de los cuatro electrodos”, el equipo de medición utilizado es el megger de tierra y la medición se efectúa como se muestra en la siguiente figura 1.3.21 (1)

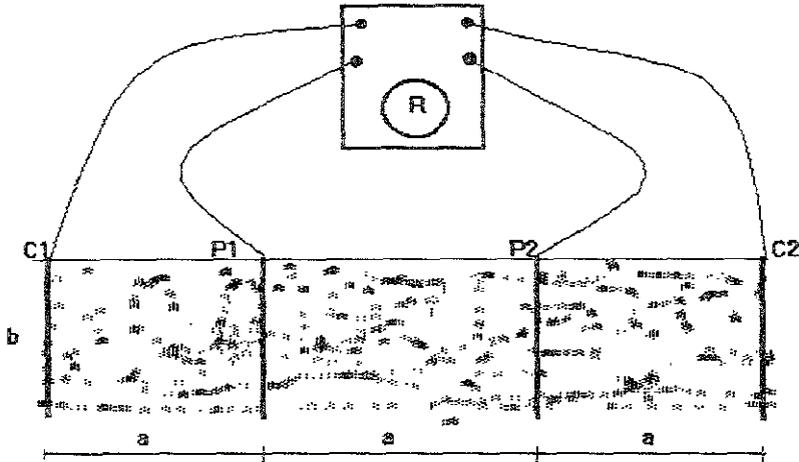


Fig. Metodo de Wenner o de las 4 electrodos

FIGURA 1.3.21 (1) METODO DE WENNER

Donde:

@ = Resistividad en Ohms-metro

a = Separación entre electrodos en metros

b = Profundidad

R = Lectura de megger en ohms

Se recomienda una relación:

$$\frac{a}{b} > 20$$

Donde "b" es generalmente de 50 cm. y "a" de 10 m.

Entonces la resistividad será:

$$\rho = 2 (3.1416) aR$$

Nota: Se debe efectuar varias mediciones dependiendo del tamaño del terreno.

El método de Wenner a pesar de que se publicó en el año de 1915 continúa vigente, y los métodos diferentes para medir la resistividad que se han desarrollado se basan en su teoría. Cabe aclarar que este método es para un suelo homogéneo, esto quiere decir que cuando el suelo es de una sola capa se pueden efectuar mediciones de resistividad con diferentes separaciones de electrodos y el valor de resistividad será el mismo.

Si el suelo es heterogéneo, es decir, cambia sus propiedades a cierta profundidad en dos o más capas entonces las mediciones de resistividad cambiarán con la separación de los electrodos.

1.3.22 MÉTODO DE LEE.

Consiste en enterrar 5 electrodos como se muestra en la figura 1.3.22 (1), en la medición solo se utilizan cuatro, circulando una corriente en los extremos y midiendo la caída de potencial en A y B ó en B y C, la resistividad estará dada por:

$$\rho = 4 (3.1416) a R_{AB}$$

$$\rho = 4 (3.1416) a R_{BC}$$

Donde:

- 4 el numero de electrodos o puntos de medición
- a distancia entre los electrodos
- RAB , RBC medición de resistencia entre los electrodos

tiene la ventaja de poder efectuar dos mediciones y si los resultados difieren el suelo no es homogéneo en la parte superficial.

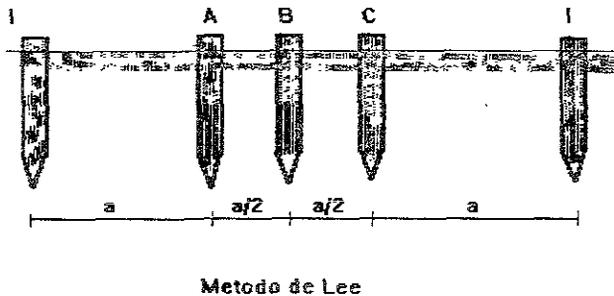


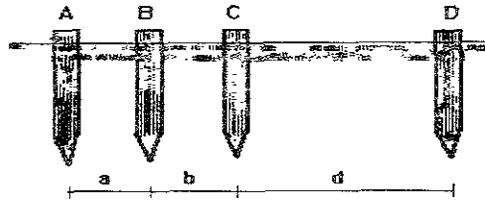
FIG. 1.3.22 (1) METODO DE LEE

1.3.23 MÉTODO DEL ELECTRODO CENTRAL.

Es una variante del método Wenner y si hay que efectuar varias mediciones solo se mueven dos electrodos, mientras que en el de Wenner se mueven los cuatro, la resistividad estará dada por:

$$\rho = \frac{2(3.1416) a(a+b)R}{b}$$

El arreglo se muestra en la figura 1.3.23 (1).



Método del electrodo central

FIGURA 1.3.23 (1) MÉTODO DEL ELECTRODO CENTRAL

En la configuración de Wenner el arreglo de electrodos usual se basa en circular una corriente por los extremos midiendo la potencial en los electrodos centrales (c p p c).

Sin embargo se puede tomar otro arreglo de electrodos como se muestra en la siguiente tabla.

ARREGLO DE ELECTRODOS	FORMULA DE RESISTIVIDAD
C P P C P C C P	@1 = 2 (3.1416) aR1
C C P P P P C C	@2 = 6 (3.1416) aR2
C P C P P C P C	@3 = 3 (3.1416) aR3

1.3.24 MÉTODO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN.

Este método descrito es de "la caída de tensión". Consiste en circular una corriente entre dos electrodos fijos, uno auxiliar (C2) y el otro el de prueba (C1), midiendo la caída de tensión entre otro electrodo auxiliar (P2) y el electrodo bajo

medición (P1), este segundo electrodo auxiliar (P2) se va desplazando y conforme se mueve se van tomando lecturas y graficando hasta obtener un resultado como se muestra en la siguiente figura 1.3.24 (1).

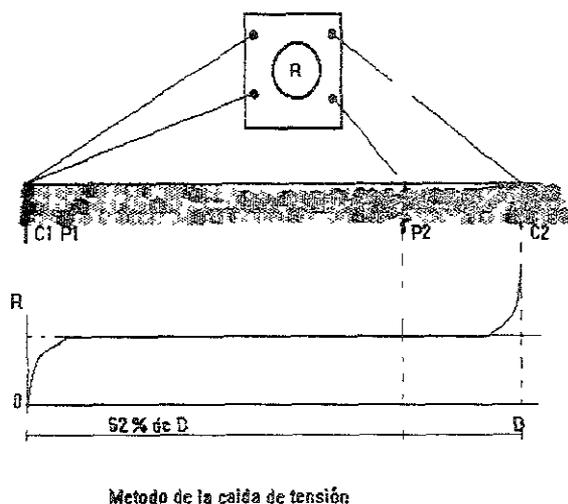


FIG. 1.3.24 (1) METODO DE LA CAIDA DE TENSIÓN

El valor de resistencia a tierra de la red es el que se obtiene en la intersección del eje de resistencia (R) con la parte paralela de la gráfica al eje de las distancias (D).

Si la curva no presenta un tramo paralelo, quiere decir que la distancia escogida no es suficiente.

Actualmente se encuentran equipos de medición que solo traen tres bornes de prueba, con cables calibrados a cierta distancia y se conectan de la siguiente manera; verde al electrodo de prueba (C1P1), amarillo al electrodo auxiliar (P2) y rojo al electrodo auxiliar (C2).

Este método ha sido probado con éxito en sistemas de tierra muy grandes como lo es de la central nuclear de Laguna Verde. Consiste en colocar el electrodo auxiliar (P2) a 62 % de la distancia en que se encuentra (C2).

La lectura en estos casos es directa. En los casos en que el electrodo bajo prueba se encuentra conectado de alguna forma al hilo de guarda, será necesario desconectarlo para efectuar la medición, aunque existen equipos que no requieren de esto, pero su costo es elevado y solo se justifica cuando se mide la resistencia a tierra de las torres de líneas de transmisión.

1.3.25 CORRIENTE MÁXIMA DE FALLA.

Esta es utilizada para el calculo y diseño de la red de tierras, se determina por medio de métodos de componentes simétricos en donde se obtendrán las impedancias del sistema positiva, negativa y cero. Después se determina la corriente de cortocircuito de falla a tierra o monofásica.

Existen diferentes tipos de fallas a tierra, siendo difícil determinar que tipo de falla y en que lugar el flujo de corriente será mayor, por estas razones practicas solo se consideraran fallas de línea a tierra y fallas de línea a línea a tierra.

En el caso de una falla de línea a línea a tierra la corriente de falla de secuencia cero es:

$$I_0 = \frac{E (R_2 + jX_2)}{(R_1 + jX_1) (R_0 + R_2 + 3R_f + (X_0 + X_2)) + (R_2 + jX_2) (R_0 + 3R_f + jX_0)}$$

En el caso de una falla de línea a tierra la corriente de secuencia cero es:

$$I_0 = \frac{E}{3R_f + (R_1 + R_2 + R_0) + j(X_1 + X_2 + X_0)}$$

Para cuestiones practicas se anula el efecto de los términos de resistencia quedando:

Falla de línea a línea a tierra:

$$I_0 = \frac{EX_2}{X_1(X_0 + X_2) + X_2X_0}$$

Falla de línea a tierra.

$$I_0 = \frac{E}{X_1 + X_2 + X_0}$$

donde:

I_0 = Valor simétrico rms de la corriente de falla de secuencia cero en amperes.

E = Potencial de fase a neutro en volts.

R_f = Resistencia mínima estimada en la falla (normalmente se asume $R_f = 0$)

R_1 = Resistencia del sistema equivalente de secuencia positiva, ohms por fase en el lugar de la falla.

R_0 = Resistencia del sistema equivalente de secuencia cero, ohms por fase en el lugar de la falla.

R_2 = Resistencia del sistema equivalente de secuencia negativa, ohms por fase en el lugar de la falla.

$X1$ = Reactancia del sistema equivalente de secuencia positiva, ohms por fase en el lugar de la falla.

$X2$ = Reactancia del sistema equivalente de secuencia negativa, ohms por fase en el lugar de la falla.

Xo = Reactancia del sistema equivalente de secuencia cero, ohms por fase en el lugar de la falla.

Si la falla es la ruptura de un aislamiento dentro de la subestación se puede asumir que la resistencia es cero, de cualquier forma si nulificamos la resistencia mínima estimada en la falla (normalmente $R_f = 0$) el valor obtenido estará del lado de la seguridad.

1.3.26 CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR

Todos los elementos del sistema de tierra tendrán las siguientes características para su diseño:

1. *Los elementos sean mecánicamente resistentes en alto grado, especialmente en aquellos lugares en que están expuestos a un daño físico.*
2. *Las uniones eléctricas no se fundan o deterioren en las condiciones más favorables de magnitud y duración de la corriente de falla a que queden expuestas.*
3. *Tengan suficiente conductividad para que no se contribuyan apreciablemente a producir diferencias de potencial locales.*

Cumpliendo con todos los puntos anteriores se podrá empezar el calculo del calibre del conductor adecuado para el sistema de tierras. El calibre del

conductor se debe seleccionar tomando en cuenta el esfuerzo mecánico y térmico a que esta expuesto.

Las primeras normas AIEE e IEEE recomendaban calibres mínimos de 1/0 y 2/0 de conductor de cobre para construir mallas y en recientes encuestas en diferentes compañías de distribución eléctrica se tiene que la mayor parte usa conductor calibre 4/0 y unos pocos usan calibre 500 MCM. Solo el 25 % usa calibre del 1/0 menos sin reportar a la fecha daños mecánicos.

1.3.27 TENSIONES DE PASO, CONTACTO Y DE MALLA DEL SISTEMA.

Las personas asumen que cualquier objeto aterrizado puede ser tocado con seguridad, cuando la resistencia a tierra del sistema es baja, es probable que esta creencia ha ocasionado accidentes. No es fácil determinar la relación entre resistencia del sistema de tierras y la corriente máxima en la cual una persona puede resultar dañada.

En un sistema de tierra cuando una persona se acerca paso a paso hacia el lugar donde se localiza el electrodo de tierra, esta sometido a una tensión entre los dos pies que se denomina "*tensión de paso*" (figura 1.3.27 (1)) que se refiere a la distancia que existe entre pie y pie, esta tensión puede resultar peligrosa en determinadas circunstancias, sobre todo si el electrodo no se encuentra lo suficientemente profundamente enterrado.

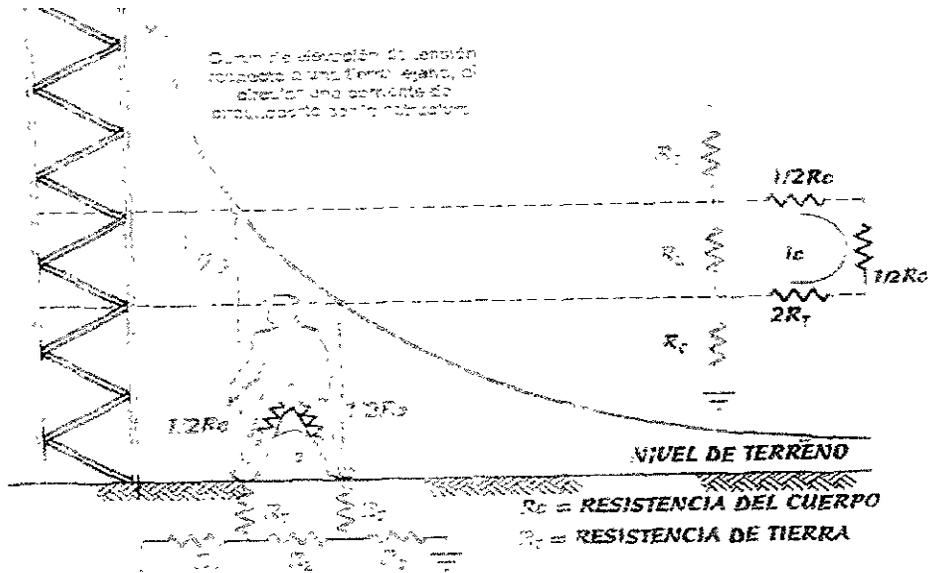


FIGURA 1.3.27 (1) TENSIÓN DE PASO

La tensión de paso es el potencial que puede soportar un individuo que se encuentra parado o caminando cerca del lugar de la falla, si se rebasa este potencial, se produce una contracción muscular en las piernas, es decir, no responden a los impulsos del cerebro y el individuo cae al piso, donde queda expuesto a las corrientes que circulan por el corazón esta dada por la siguiente ecuación.

$$\text{Potencial de paso} = \frac{116 + 0.7 @s}{\sqrt{t}} \text{ para } 50 \text{ Kg}$$

$$\text{Potencia de paso} = \frac{157 + @s}{\sqrt{t}} \text{ para } 70 \text{ Kg}$$

Donde:

- @s = Resistividad de la superficie del suelo en ohms-metro
- t = Duración de la falla en segundos.

También existen tensiones de contacto en estructuras conectadas a tierra, existe la posibilidad que un objeto tocado a distancia superior de 1 metro, este conectado directamente o indirectamente a la malla. En este caso la tensión de contacto se llama **“tensión de malla”** (figura 1.3.27 (2)) .

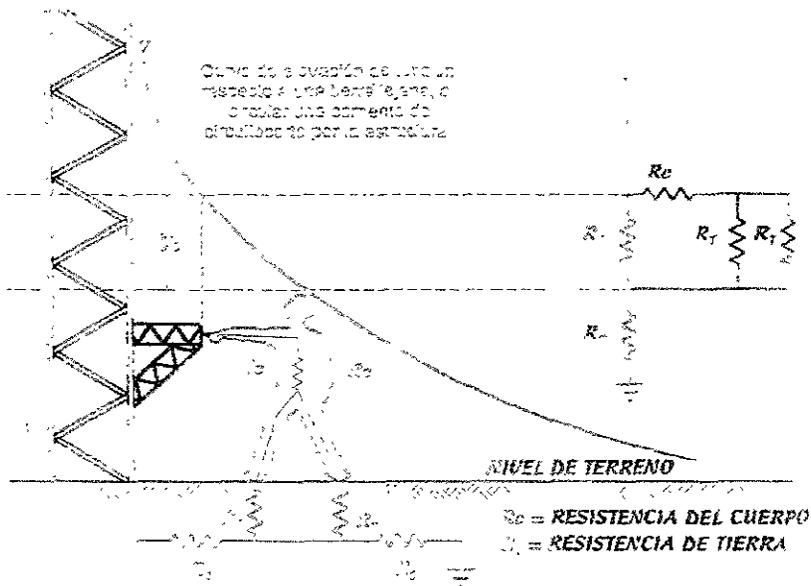


FIGURA 1.3.27 (2) TENSION DE MALLA O CONTACTO

Este potencial se presenta cuando se toca una corriente de falla. Tomando las consideraciones de corriente de fibración y de resistencia del cuerpo humano, el potencial que podemos soportar esta dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Potencial de Toque} = \frac{116 + 0.17 @s}{\sqrt{t}} \quad \text{para 50 Kg.}$$

$$\text{Potencial de Toque} = \frac{157 + 0.24 @s}{\sqrt{t}} \quad \text{para 70 Kg.}$$

Por desgracia la mayor parte de accidentes por electrocución ocurren en el hogar por causa de este potencial. Todas las tensiones producidas pueden ser peligrosas para todos los seres vivos. Por esta razón se debe de realizar un calculo de tensiones antes de instalar un sistema de tierra.

1.3.28 LONGITUD DEL CONDUCTOR.

Cuando se tengan ya calculadas las tensiones de paso, contacto ó malla, se comparan dichas tensiones con los valores tolerables del cuerpo humano para saber si lo calculado queda en los limites permisibles de seguridad requeridos por la Norma Oficial Mexicana, en caso de no ser así, se calcula la longitud total del conductor para así quedar dentro de los limites permisibles de la NOM.

1.3.29 RESISTENCIA A TIERRA.

Como la tierra es relativamente infinita en su tamaño comparado a los sistemas de puesta a tierra. Prácticamente la corriente ilimitada a través del suelo es transmitida a través de él, por lo que alrededor del electrodo, la resistencia del suelo variara dependiendo de su constitución, es decir, cada vez que se instale un sistema de tierras se deberá hacer cálculos de diseño y protección con respecto al suelo.

1.4 TIPOS DE SISTEMAS DE TIERRA

Los sistemas de tierra se pueden clasificar de acuerdo con la función que desempeñen. Sin embargo se pueden interconectar con el fin de darle mayor solidez.

El sistema de tierras se puede clasificar de la siguiente manera:

Sistema de tierras para neutros.

Sistema de tierras para estructuras y partes metálicas no energizadas.

Sistema de tierras para apartarrayos.

El sistema de tierras puede ser interconectado entre sí con otros sistemas de tierra, es decir, interconectar el sistema de tierras eléctrico con el sistema de tierras de computo y telecomunicaciones.

1.4.1 SISTEMA DE TIERRAS PARA NEUTROS.

Como se sabe en la transmisión de energía eléctrica encontramos que por lo general siempre se hace en tres hilos que corresponden a cada una de las fases del sistema. Si se hace con una conexión estrella, el neutro de esta conectado a tierra para el regreso de corriente, o si se hace con una conexión delta, se le proporciona un neutro a base de un transformador especial el cual también se conecta a tierra. Como norma general siempre debemos seleccionar los secundarios de un sistema de transformación para mandar el neutro a tierra y se deberá seleccionar la conexión delta - estrella, ya sean elevadores o reductores de tensión.

Lo que cabe preguntar *para que se necesita un neutro.*

La función que desempeña un neutro conectado a tierra entre otras cosas es ***“mantener fijo el centro de un sistema trifásico”***, es decir, mantenerlo balanceado.

Existe un ejemplo claro y sencillo para entender mejor como funciona un neutro a tierra como se indica en la figura 1.4.1 (1). Se trata de tres resortes

iguales unidos en sus extremo extremos formando una Y simétrica. Si tres personas de fuerzas distintas tiran de cada uno de sus extremos, el centro de Y se desplazará hacia la persona que tire mas fuerte. Ahora supongamos el mismo caso pero el centro de Y firmemente anclado a un lugar fijo, lo que sucede es que los resortes se estiraran o encogerán, pero el centro de Y no se desplaza hacia ningún lado.

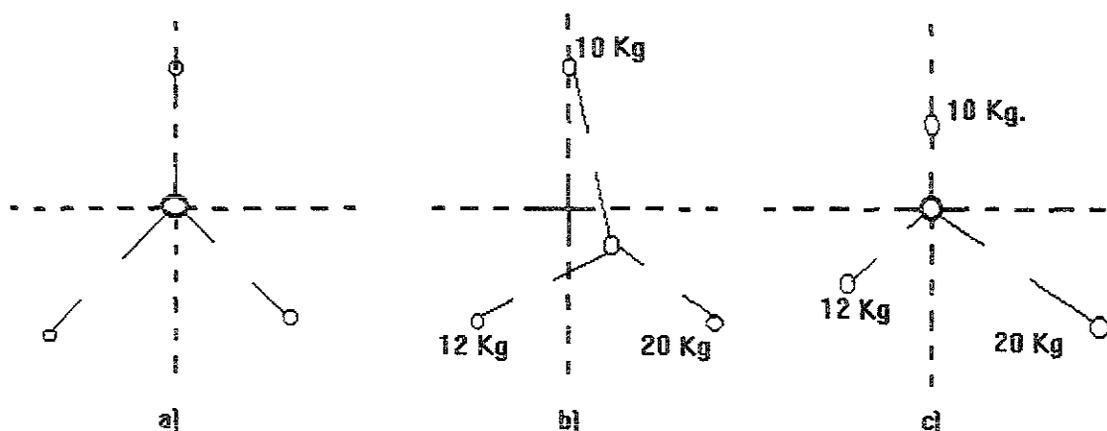


Figura 1.3 a) Resortes conectados en Y. b) Desbalanceo de resortes. c) Neutro de la Y firmemente anclado.

FIG. 1.4.1 (1) LA FUNCIÓN QUE HACE UN NEUTRO CONECTADO A TIERRA

En ocasiones no es conveniente tener el neutro conectado a tierra sólidamente porque provoca una fuerte elevación de corriente que incluso podría llegar a esta supeditada a la pura reactancia del transformador.

Por esta razón en algunas ocasiones es necesario conectar el neutro a tierra a través de una resistencia o una reactancia con el fin de limitar la corriente de falla que fluya a tierra.

Un sistema adecuadamente puesto a tierra con resistencia, tiende a limitar la corriente de falla por las siguientes razones:

- 1. Para reducir los efectos de incendio y fusión en los equipos con fallas*
- 2. Para reducir esfuerzos mecánicos en circuitos y aparatos que conduzcan las corrientes de falla.*
- 3. Para reducir los peligros de descarga eléctrica al personal, causadas por corrientes de falla a tierra descarriadas o desviadas en la trayectoria de retorno a tierra.*
- 4. Para reducir la caída momentánea de tensión de línea ocasionada por ocurrencia y apertura de una falla a tierra.*

1.4.2 SISTEMA DE TIERRAS PARA ESTRUCTURAS Y PARTES METÁLICAS NO ENERGIZADAS.

Como medida de precaución para el personal que pueda estar en contacto con las partes metálicas no energizadas es de que exista la posibilidad de que dichas partes puedan conducir corriente eléctrica, es necesario contar con una conexión y un sistema de tierras para estas estructuras, en caso de haber una falla de una línea que haga contacto con la carcasa o gabinete de un equipo, éste no tendrá el peligro de quedar al potencial de la línea y esto da por resultado una protección a las personas que tengan contacto con esas partes.

En función de la intensidad de corriente y del tiempo de la falla se selecciona el calibre del conductor bajo el criterio de que el conductor pueda alcanzar temperaturas elevadas durante la falla, siempre y cuando no llegue muy cerca a el punto de fusión del conductor.

En algunas ocasiones se encuentra que la sección del conductor resulta por calculo, muy pequeña, pero se debe tomar en cuenta la conveniencia de tener

buena resistencia mecánica, es por eso que en algunos casos se recomienda un calibre mayor.

1.4.3 SISTEMA DE TIERRAS PARA APARTARRAYOS.

Para hacer una conexión a tierra de los apartarrayos, se debe considerar principalmente la intensidad de corriente a la que va a estar sometido el conductor de puesta a tierra, pero debemos de tomar en cuenta que una onda provocada por un rayo en las líneas no siempre se va a meter a la subestación de alta capacidad o no siempre tocara una línea de muy alta tensión. Por lo que el cable para puesta a tierra no se rige por la corriente solamente, sino también por su duración.

Existen algunas condiciones en las que no es recomendable interconectar el conductor de puesta a tierra del apartarrayo al sistema general de tierras, ya que en el caso de que se provoque una sobretensión sobre la línea y de origen a una onda de frente escarpado, esta puede alcanzar a meterse por el neutro del transformador y dañar sus aislamientos, esta condición puede presentarse cuando la distancia entre el apartarrayo y el equipo protegido sea muy grande, por lo que lo más recomendable es que estos se ubiquen lo más cerca del equipo al cual protegerán.

1.4.4 CLASIFICACION DE UN SISTEMA DE TIERRAS POR TIPO DE SERVICIO.

Otra clasificación de los sistemas para puesta a tierra es por el tipo de servicio que prestan, es decir, existe la puesta a tierra para:

Funcionamiento

Protección

Trabajo

La "Puesta a tierra para funcionamiento" en un sistema, es necesario establecer una conexión a tierra en determinados puntos de una instalación eléctrica con el fin de mejorar su funcionamiento y una mayor seguridad, se debe de conectar a tierra los neutros de los alternadores, transformadores, apartarrayos etc.

La "Puesta a tierra para protección" generalmente es necesario conectar eléctricamente a tierra todas aquellas partes de las instalaciones eléctricas que no se encuentren sujetas a tensiones normalmente, pero pueden tener diferencias de potencial a causa de fallas accidentales, dichas partes pueden ser: tableros, interruptores, carcasas de maquinas rotatorias, estructuras metálicas como se indica en la figura 1.4.4 (1).

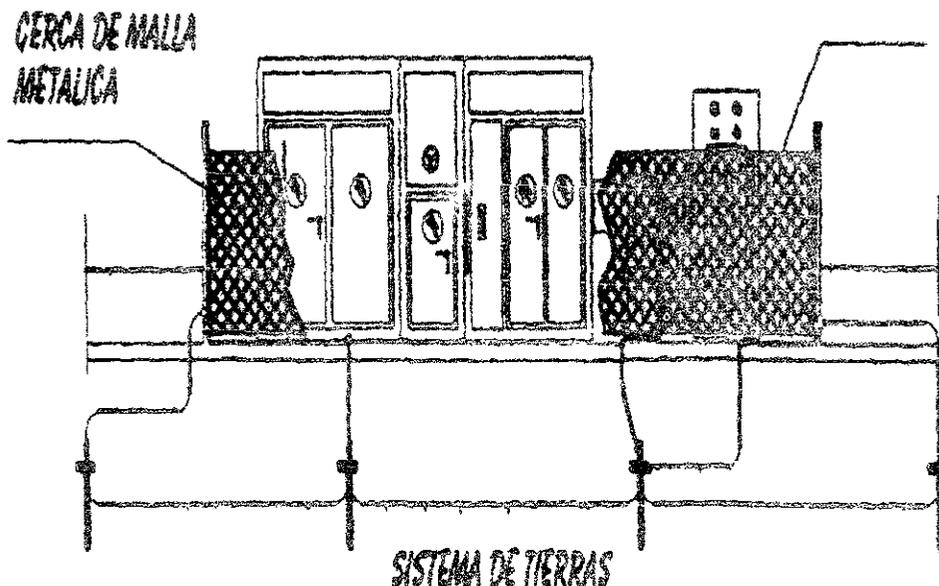


FIGURA 1.4.4 (1) PUESTA A TIERRA DE LOS GABINETES

La "Puesta a tierra para trabajo" siempre que se le da mantenimiento a una instalación eléctrica, ampliaciones, reparaciones, etc., es necesario realizar una conexión a tierra temporal con partes de instalación puestas en servicio como se indica en la figura 1.4.4 (2).

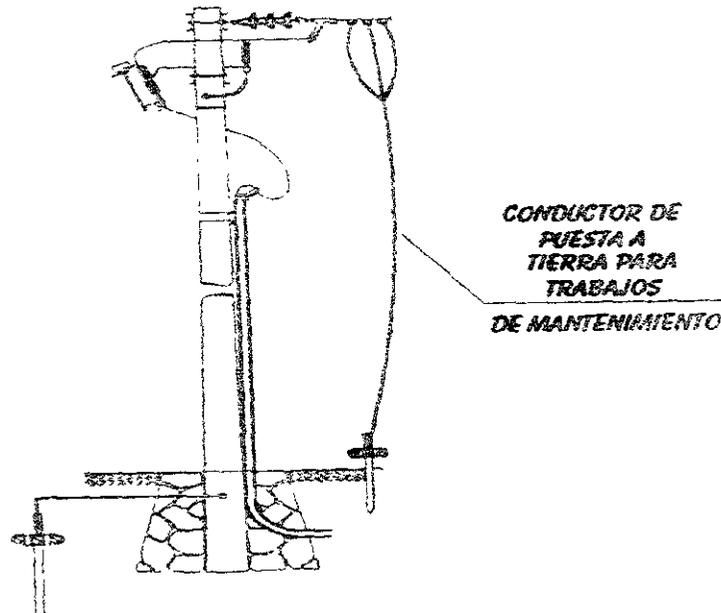


FIGURA 1.4.4 (2) PUESTA A TIERRA PARA TRABAJOS DE MANTENIMIENTO A EQUIPO

1.4.5 CLASIFICACION DE UN SISTEMA DE TIERRAS POR SU CONSTRUCCION

La configuración del sistema de tierras, se basa principalmente en las condiciones que se tengan del lugar donde será construida. Los sistemas de tierra se construyen de tres formas principalmente, estas son:

- Radial
- En anillo
- En forma de malla

El sistema *radial* (figura 1.4.5 (1)) es el mas barato pero el menos satisfactorio, ya que al producirse una falla en un aparato se producen grandes gradientes de potencial. El sistema consiste de uno o varios electrodos enterrados a los que se les conecta derivaciones a cada aparato.

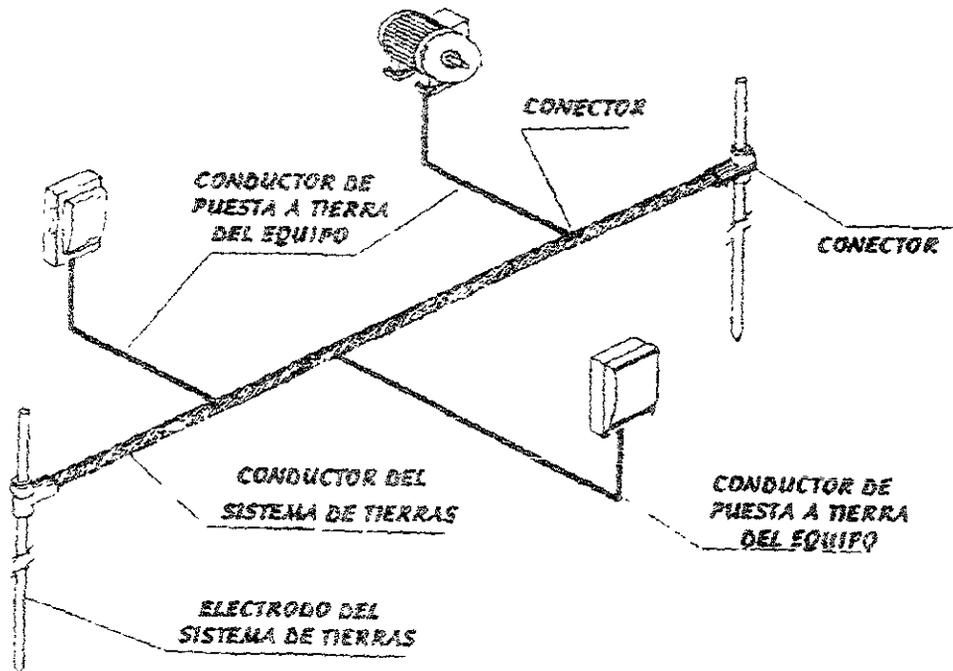


FIGURA 1.4.5 (1) SISTEMA DE TIERRAS RADIAL

El sistema de *anillo* (figura 1.4.5 (2)) se obtiene, colocando en forma de anillo un cable, generalmente de cobre, alrededor de la superficie ocupada por los equipos de instalación y conectando derivaciones a cada aparato, utilizando un cable mas delgado. Es un sistema económico y eficiente, en el se eliminan grandes distancias de descarga a tierra del sistema radial.

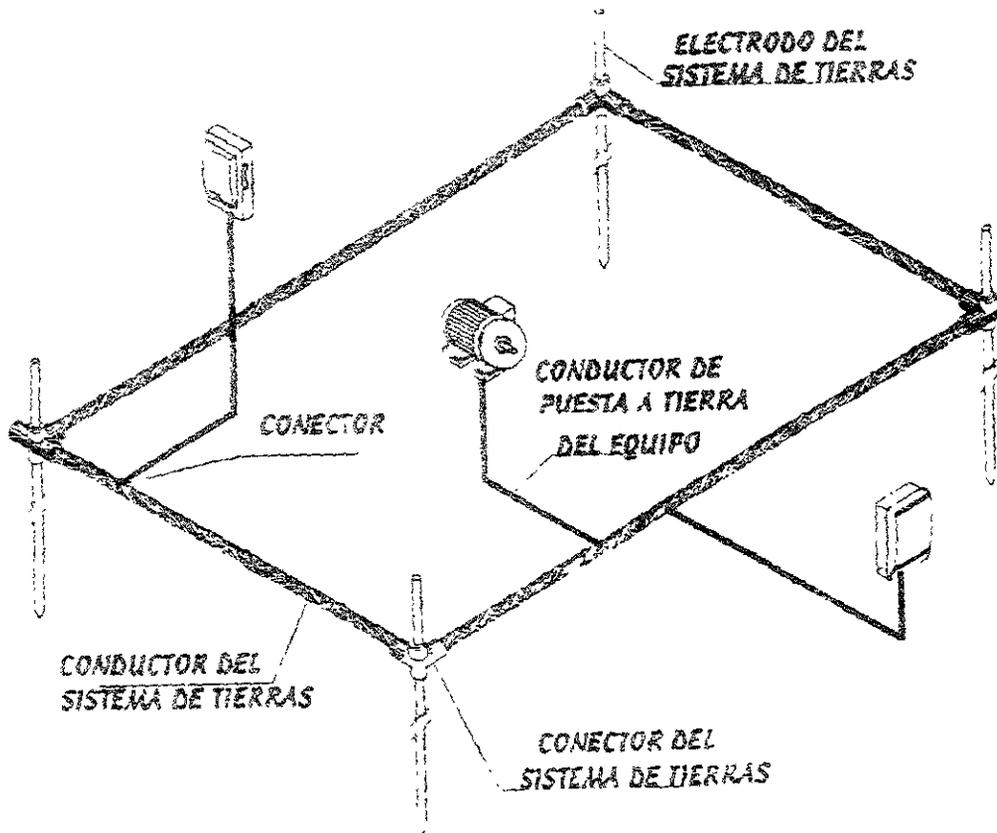


FIGURA 1.4.5 (2) SISTEMA DE TIERRAS EN ANILLO

El sistema de *malla* (figura 1.4.5 (3)) es el más utilizado actualmente en las instalaciones de subestaciones eléctricas y consiste en una malla formada con conductor de cobre, generalmente desnudo, y conectado a través de electrodos enterrados en partes más profundas para buscar las zonas de menor resistencia. Este sistema es el más eficiente pero el más costoso. En este tipo de arreglos es posible que los fabricantes vendan las mallas ya prefabricadas, únicamente para ser instaladas.

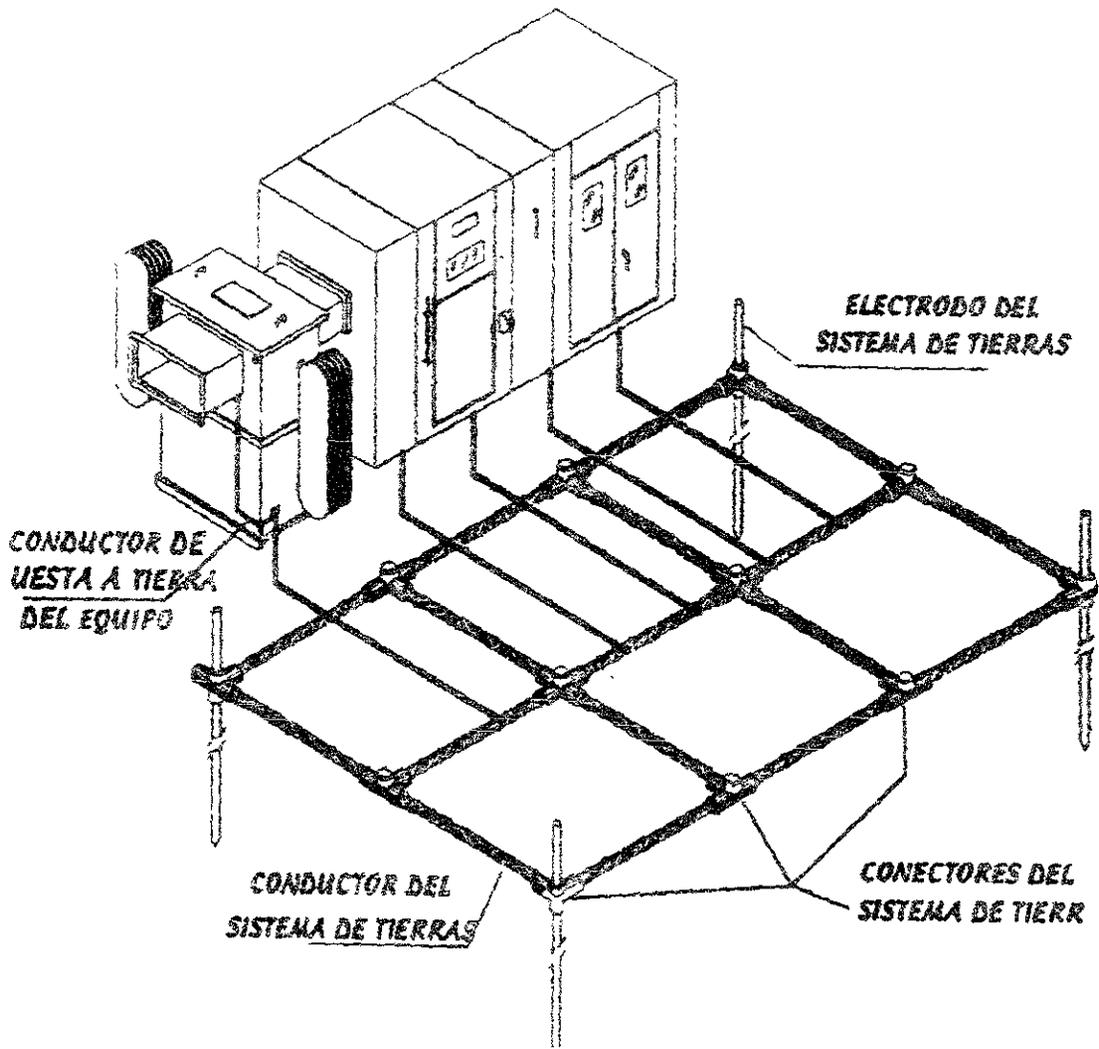


FIGURA 1.4.5 (3) SISTEMA DE TIERRAS EN MALLA

CAPITULO SEGUNDO.

FACTORES DE CORROSION DEL SISTEMA DE TIERRAS.

INTRODUCCION.

En el segundo capitulo seguiremos mencionando y aportando las diferentes características que influyen en un sistema de tierras, al mismo tiempo analizaremos las soluciones para controlar este tipo de variables asegurando el buen funcionamiento de un sistema de tierras y que este sea compatible y dentro de las Normas Oficiales Mexicanas.

En él capitulo anterior se explico que los elementos que constituyen un sistema de tierras lo son un conductor, un electrodo, un conector y un suelo de contacto o comúnmente tierra, pero estos elementos se ven afectados por un elemento natural llamado *corrosión*, ya que al estar enterrados en el suelo, de este mismo dependerá el grado de corrosión, como en los suelos húmedos se tiene una mejor conductividad y una menor resistencia a la corriente eléctrica pero se tiene una mayor corrosión en los materiales formándose una resistencia en ellos lo que podría causar un sistema de tierras inadecuado a través del tiempo.

Además de la influencia del suelo, otros factores que pueden causar la corrosión es entre los diferentes tipos de materiales con los que se unen un conductor, un conector y un electrodo llamado *efecto galvánico* donde se explicara por medio de una tabla los diferentes tipos de materiales y su potencial dando ejemplos y llegando a las conclusiones que entre mayor sea la diferencia de potencial entre los materiales que se unan para hacer una malla protectora de tierra física se hará corrosiva mas rápidamente y se puede decir que a mayor potencial, mayor será la corriente y por lo tanto mayor será la relación de corrosión entre los diferentes materiales de unión.

A sí mismo se explicara *el método de protección catódica* que es la más usual para proteger un sistema de tierras contra la corrosión, este método

consiste en cambiar el área anódica que se desea proteger por una catódica eliminando la corrosión explicando las diferentes alternativas como lo son:

- *ánodos galvánicos*
- *Sistemas de corriente impresas*

Se explicara la medición de voltaje entre una red de tierras y el medio que lo rodea y esto se logra a través de un electrodo de referencia conocido también como *media celda*, este electrodo estará en contacto con soluciones como por ejemplo, solución de sulfato de cobre saturado, existen otras soluciones que se mencionaran y serán otra opción o ayudaran a esta solución, obteniendo una medición de voltaje adecuado, pero sobre todo que se tenga una resistividad en ohms- metro baja esto de acuerdo con unas tablas mostradas en este subtema.

Así que se puede decir que para una malla adecuada de sistema de tierras necesitamos de una resistividad baja en el suelo, pero estos son regularmente los suelos húmedos que causan una corrosión muy alta, la cual compensaremos en escoger adecuadamente los materiales de unión y poniendo protecciones catódicas ayudadas de soluciones químicas en los electrodos enterrados o en si en toda la malla que conforman el sistema de tierras para obtener una corrosión mínima un buen funcionamiento por parte de la malla.

Proseguiremos después con las instalaciones de tierras físicas para equipo sensible con apago a la (NOM) , Normas Oficiales Mexicanas, ya que estas rigen dentro del territorio nacional, y sus pruebas y estudios son de carácter de avance tecnológico, modificando y mejorando todas las características que se relacionen con la electricidad, solo veremos los artículos que nos interesen y se relacionen con tierra física o sistemas de tierra para equipo sensible y sus periféricos como canalizaciones, gabinetes y estructuras de tableros de distribución solo por mencionar algunos.

El propósito de la NOM es proteger a la gente, instalaciones y equipos contra daños que se ocasionen por el uso de la energía eléctrica y que por lo tanto son oficiales y sus artículos son de gran importancia en todo tipo de instalaciones eléctricas.

El artículo 250 en su parte E se explicara ampliamente sobre la puesta tierra de equipo sensible y sus características dividiendo ya sea de uso residencial o industrial por ejemplo de equipo fijo, equipo no eléctrico, partes metálicas no conductoras como gabinetes, equipo conectado únicamente por cordón y clavija, equipos eléctricos instalados en lugares húmedos o mojados, equipos conectados por cable permanente, estructuras y armazones de tableros de distribución, grúas y elevadores de carga, carcasas y armazones de motores, circuitos de control remoto y señalizaciones de comunicación y todos los equipos que requieren ser puestos a tierra.

Así mismo las acometidas o alimentaciones de energía que suministran a nuestros equipos de baja tensión sensibles como lo son sistemas de computo y equipos de procesamiento tienen que tener una buena tierra física ya que además de dañarse con cualquier variación de voltaje, existe un problema mas que es el ruido eléctrico y muy comúnmente es por vía canalización ya que se introducen en él, cables de potencia o alto voltaje mezclados con cable de comunicación y aun siendo éste blindado puede introducir un dato erróneo, o distorsión de señales que impidan la calibración y mal funcionamiento de los equipos.

Estos equipos derivados que se encuentran las diferentes ramas industriales como equipos de computo, equipos médicos, equipos de automatización, (UPS) sistemas power uninterruptible y todos aquellos equipos que manejen tarjetas y señales electrónicas de comunicación deben tener conductores de puesta a tierra aislado. Dando un ejemplo común es el de las salas de computo a través de los pisos de un edificio, estos pueden ser de loza o

falsos los cuales tendrán una tierra aislada tomadas de la estructura metálica de acero del mismo edificio, para esto es necesario mantener separado el sistema de tierras de computo del sistema de tierras eléctrico dividiendo señal y potencia y conectando juntos únicamente en un punto como lo seria un electrodo de una malla de la subestación, y en todo este trayecto estarán separados.

Siguiendo este tema se hace una ampliación de los diferentes sistemas (UPS) ya que es necesaria la importancia de estos a nivel industrial y de ellos depende que una nave industrial siga funcionando en su maquinaria de una manera ininterrumpida estos equipos son conectados a las acometidas de corriente alterna generales de las empresas y cuando existe un apagón o falta de energía por parte de Luz y Fuerza, estos equipos entran en operación teniendo ellos almacenados corriente directa , transformándola en corriente alterna por medio de un inversor y seguir suministrando de energía eléctrica de corriente alterna a la parte de la nave industrial a la que fue conectado y principalmente son a equipos de comunicación y procesamientos para que estos no pierdan ninguna información y no se enteren de algún cambio en la energía eléctrica que se suministra ya que esto Es en cuestión de microsegundos, y cuando la energía se restablece los UPS hacen un cambio reversible quedando solo como un puente de unión entre la acometida y la maquinaria, de ahí que estos equipos deban tener un excelente sistema de tierra física ya que por algún momento ellos tienen toda la carga que se suministra a una empresa o parte específica de ella a la que fue conectado.

2.1 CORROSION DE UN SISTEMA DE TIERRAS.

En los sistemas de tierras se componen de elementos que van enterrados directamente, en contacto directo con el suelo, el cual por lo general esta húmedo, estos elementos, se ven atacados por la corrosión. Así, es común

encontrar redes de tierra que no funcionen en forma adecuada, porque algunos de sus elementos se han corroído.

Entre los casos más comunes donde se presenta la corrosión están; lugares donde se rectifica la corriente, como centros de computo, vías de tranvía, trolebuses, etc.. Lugares cercanos a canales de agua residuales, ya que estas aguas se les agrega sustancias químicas que atacan a los metales y al cobre en particular, sin embargo, un metal enterrado tiende a corroerse con el transcurso del tiempo.

Otra forma de corrosión en los metales se da por el efecto galvánico, esto se da por la unión de metales diferentes como se muestra en la figura 2.1 (1).

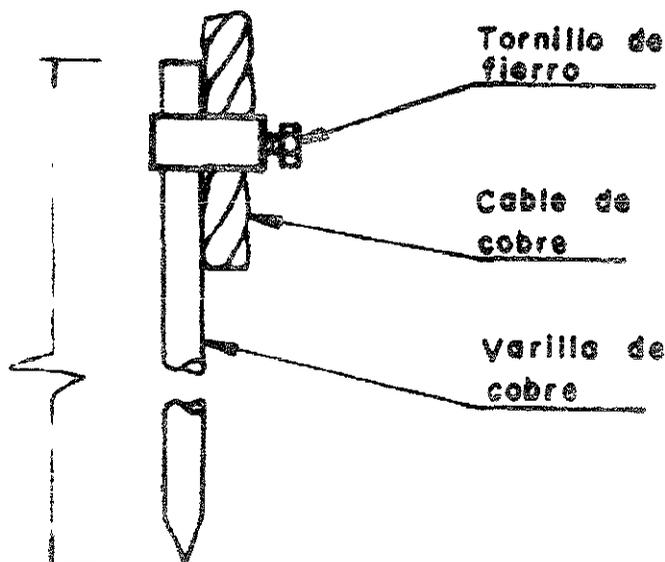


FIGURA 2.1 (1) EFECTO GALVÁNICO ENTRE LA UNIÓN DEL FIERRO CON EL COBRE, DONDE EL FIERRO SE VA A CORROER

Los metales tienen un potencial propio el cual se da en la tabla siguiente:

MATERIAL	POTENCIAL
Potacio	-2.922
Magnecio	-2.340
Aluminio	-1.670
Zing	-0.762
Cromo	-0.710
Hierro	-0.440
Niquel	-0.250
Hidrogeno	-0.000
Cobre	+0.345
Plata	+0.800
Platino	+1.200
Oro	+1.680

Los metales con los valores negativos están sobre la terminal catódica o noble; estos metales deberán proteger. De ahí el nombre de *Protección Catódica*.

Para que exista corrosión por efecto galvánico se debe cumplir con lo siguiente:

- 1) Unir dos metales diferentes y entre mas activo o anódico, se corroe mas rápido, es decir entre mayor diferencia de potencial entre ambos metales, la corrosión será mayor.
- 2) Cuando mas se incremente la diferencia de potencial mas se incrementa la corrosión por efecto galvánico.

- 3) Si la unión de metales se encuentra inmersa en un electrolito, la corrosión se acelera.
- 4) Si unimos fierro con cobre, pero la masa de fierro es mucho mas grande que la del cobre, se disminuye la corrosión.

El cobre, el metal comúnmente utilizado para sistemas de tierra, es un metal noble y puede tener serios efectos corrosivos sobre las estructuras subterráneas de hierro o acero las cuales son conectadas eléctricamente al cobre.

Estas estructuras incluyen tuberías hidráulicas subterráneas, tuberías conduit, estructuras de acero de un edificio, tanques enterrados y pantallas de cables enterrados. En la siguiente figura 2.1(2) se muestra una celda galvánica resultante cuando el acero y el cobre son conectados eléctricamente entre si.

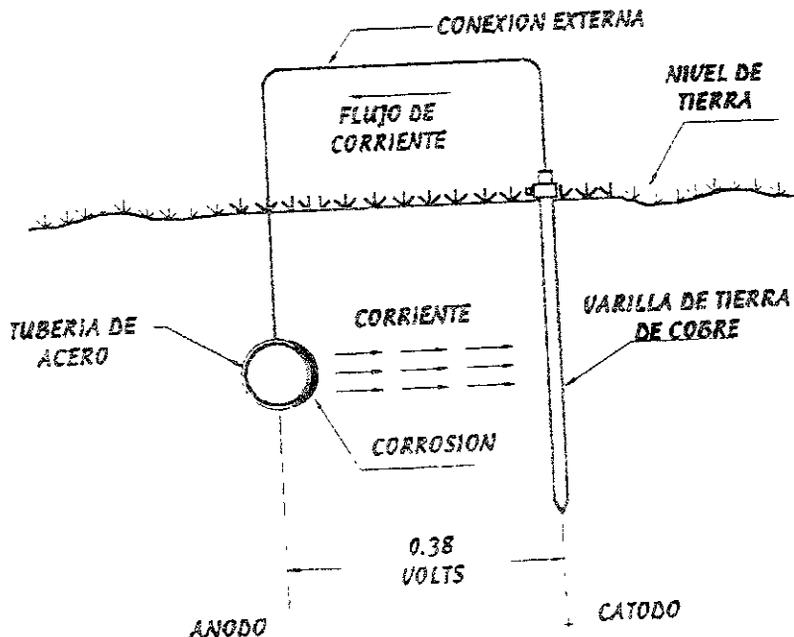


FIGURA 2.1 (2) CELDA GALVANICA - METALES DISTINTOS

El acero mencionado puede ser una tubería hidráulica o tubería conduit, el cobre de una varilla o electrodo de tierra, y la conexión externa será la misma tubería conduit, y la conexión externa será través de la tubería de acero o a través de la varilla de tierra conectada directamente al conduit. Las posiciones relativas del acero y cobre en la serie electromotriz mostrada anteriormente produce un potencial de 0.38 V, y de acuerdo por la ley de Ohm, una corriente fluye, con el electrodo (el suelo), cerrando el circuito. Aquí es donde la corriente alcanza al acero (ánodo) y entra al suelo presentándose el problema, llamado, *corrosión*.

Si por un año fluye una corriente de 1 A de C.D., deberá corroer aproximadamente 9.072 Kg de acero, 9.9792 Kg de cobre, 34.02 Kg de plomo o 11.7936 Kg de zinc. De este modo veremos que cantidad de corriente es asociada con la corrosión. Con una mayor corriente, se corroe mas el metal.

La diferencia de potencial entre dos metales influye en la cantidad de corriente que fluirá entre ellos. A mayor potencial, mayor será la corriente y por lo tanto mayor será la relación de corrosión.

La corriente de la tierra (electrolito) limitara el flujo de corriente.

Mientras que la corriente total es dependiente de la diferencia de potencial entre los dos metales y la resistencia entre ellos, la intensidad de corriente del ánodo es una función de la relación del área, la intensidad de corriente es pequeña. Este es uno de los principios básicos en ingeniería de corrosión y es utilizado como el factor de control en diseño.

No se deben instalar un ánodo pequeño y un cátodo grande. En este caso, la corriente total es confinada en un espacio pequeño y la densidad de corriente es grande. Un ejemplo de esto es estando una tubería subterránea corriendo arriba por encima de un grupo de tuberías. El par resultante acero - cobre esta mal

hecho cuando la tubería esta revestida o pintada, si no esta pintada o recubierta la efectividad será de 100 %. Pueden aparecer pequeños agujeros en la pintura o acabado que tenga la tubería, exponiendo al acero a la corrosión. Entonces la corriente estará concentrada en esos agujeros, causando corrosión y presentándose fugas en la tubería en un tiempo muy corto.

Cuando se presenta la corrosión en un sistema de tierras es conveniente protegerlo de forma adecuada. El método de la protección catódica es el mas usual para proteger elementos metálicos enterrados, pero nos preguntamos que es la protección catódica:

“ Es la reducción o eliminación de la corrosión, haciendo al metal un cátodo por medio de una corriente directa impresa o empleando un ánodo de sacrificio el cual puede ser de magnesio, aluminio o zinc”.

Para aclarar esto, podemos ampliaremos los conceptos de la corrosión electro-química, esto es, existe un flujo de corriente eléctrica de ciertas áreas de un metal a través de una solución capaz de conducir electricidad, agua salada por ejemplo.

El termino ánodo es usado para describir la parte del metal que se corroe y de donde sale la corriente para entrar en la solución.

El termino cátodo es usado para describir la parte del metal en que la corriente deja la solución y entra al metal, como se muestra en la figura 2.1 (3).

ESTRUCTURA NO SABLE
DE LA BARRERA

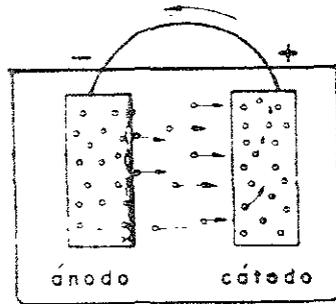


FIGURA 2.1 (3) FLUJO DE CORRIENTE ENTRE UN ÁNODO Y UN CÁTODO EN UN ELECTROLITO

La solución capaz de conducir electricidad se llama electrolito, el electrolito que forma un medio corrosivo puede ser una solución, lluvia o un medio húmedo, como el suelo por ejemplo.

Este método consiste en cambiar el área anódica que se desea proteger por una catódica eliminando la corrosión. Esto se puede lograr aplicando una corriente directa eléctrica al metal que se corroe volviéndolo un cátodo como se indica en la figura 2.1(4).

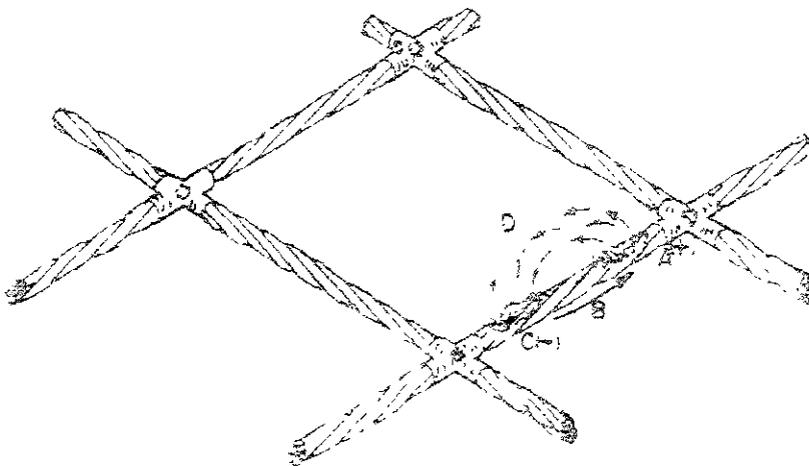


FIGURA 2.1 (4) FLUJO DE CORRIENTE DIRECTA EN UNA MALLA QUE PRESENTA CORROSIÓN

- A = Área anódica, cuando la corriente deja el metal para entrar en el terreno que lo circunda, el metal es corroído en este punto.
- B = Flujo de corriente a través del conductor regresa la corriente del área catódica al área anódica, cerrando el circuito.
- C = Área catódica sin corrosión.
- D = Flujo de corriente a través del terreno del área anódica a la catódica.

Como se observa en la figura la corriente fluye directamente de las áreas anódicas a las catódicas y completa el circuito a través del conductor, cuando el flujo de corriente va del terreno al cable o al área catódica, no hay corrosión. Cuando se protege una malla de tierras en forma catódica, el objetivo es que la red de tierras en su totalidad reciba la corriente del medio ambiente, entonces la red será un cátodo y la corriente se detiene como se muestra en la figura 2.1 (5).

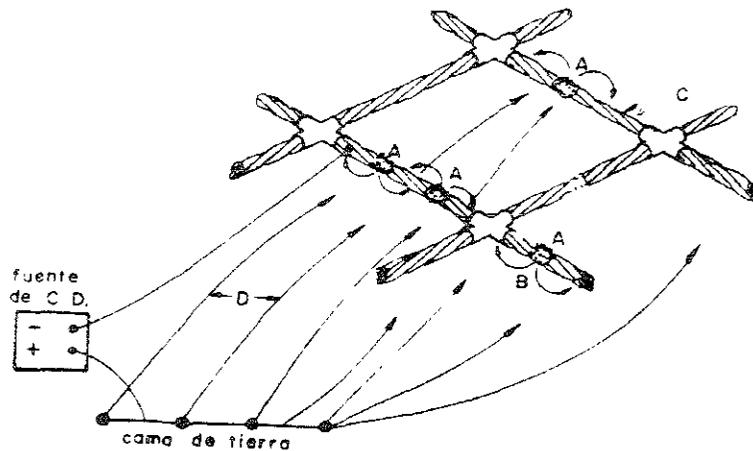


FIGURA 2.1 (5) USO DE CORRIENTE DIRECTA PARA DETENER LA CORROSIÓN

- A = Áreas que originalmente son anódicas.
- B = Líneas de flujo de corriente que se neutralizan con la protección.
- C = Malla protegida
- D = Líneas de flujo de corriente de la cama de tierra a la superficie protegida.

De la figura anterior podemos observar que la protección catódica provoca un flujo de corriente a través del medio de la cama de tierra, compuesta por ánodos de sacrificio o material de consumo, donde ocurre la corrosión, la corrosión no se a detenido con la aplicación de la protección catódica pero se ha transmitido a otro lugar, el material anódico se gasta por lo que hay que reponerlo.

Para convertir la red de tierras en un cátodo se necesita un flujo de corriente eléctrica para lo cual existen diferentes alternativas:

a) Ánodos galvánicos (sacrificio).

Un ánodo es el miembro que se corroe, dando un flujo de corriente hacia la red protegida, cediendo sus electrones, es decir, su material, se puede aplicar o conectar directamente, como se muestra en la siguiente figura 2.1 (6).

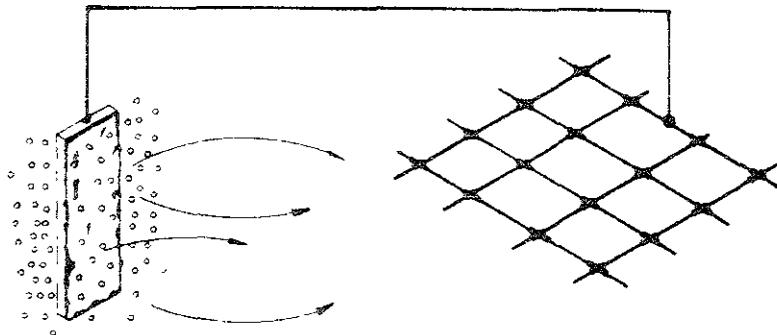


FIGURA 2.1 (6) PRINCIPIO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA USANDO ÁNODOS DE SACRIFICIO

Existen varios requisitos para que funcionen los ánodos de sacrificio.

- 1) El potencial entre el ánodo y la malla a proteger debe ser suficientemente grande para convertirla de ánodo a cátodo.
- 2) El material del ánodo debe tener suficiente energía eléctrica para tener una vida útil duradera.
- 3) Los ánodos deben tener una eficiencia ya que los metales se pasivan, es decir se protegen de la corrosión, bajando su rendimiento.

El contenido de la energía eléctrica de un ánodo depende de las características del metal usado.

Por ejemplo un ánodo de zinc puro tiene una energía contenida de 372 amperes hora libra, no convertimos a Kilogramo porque el mercado se consiguen los ánodos en peso por libra.

b) Sistemas de corriente impresas

En este método la protección catódica se logra por medio de una fuente de energía externa de corriente directa. Consiste de conectar un potencial entre la red de tierras y la cama de tierras compuestas por ánodos de sacrificio. La terminal positiva siempre se debe conectar al material de sacrificio y la terminal negativa a la estructura a proteger. La fuente de energía más común es un rectificador. Como se muestra en la siguiente figura 2.1 (7).

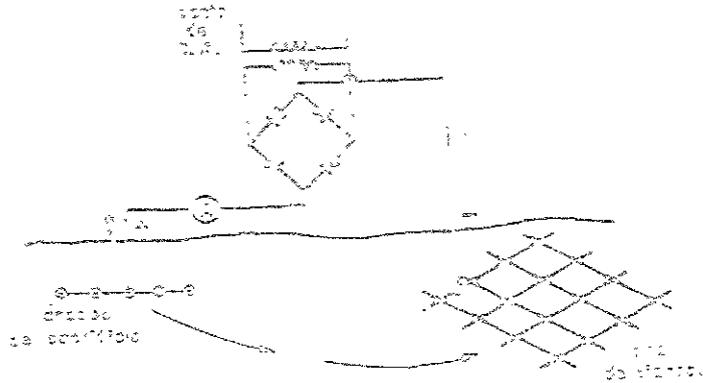


FIGURA 2.1.1 (7) CIRCUITO BÁSICO DE UNA PROTECCIÓN CATÓDICA CON ENERGÍA EXTERNA RECTIFICADA

Las mediciones de potencial son usadas comúnmente como base para un criterio de la protección, si la corriente fluye hacia la red de tierras hay un cambio en el potencial de la red con respecto al medio. Esto es lógico que al existir una corriente hay una caída de tensión por la resistencia que encuentra el flujo de corriente. El resultado es que la red protegida es mas negativa con respecto al medio que la rodea como se muestra en la figura 2.1.1 (8).

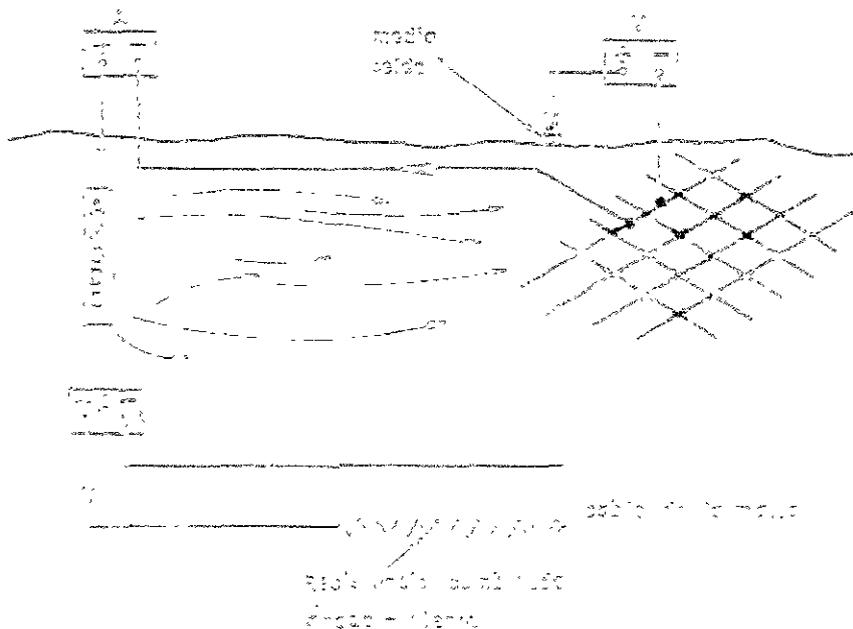


FIGURA 2.1.1 (8) PROTECCIÓN CATÓDICA QUE MUESTRA UN VOLMETRO QUE MIDE EL POTENCIAL RESPECTO A TIERRA CUANDO SE ENERGIZA LA FUENTE DE CD Y SU DIAGRAMA ELECTRICO.

Hasta aquí no habíamos mencionado la medición de voltaje entre una red de tierras y el medio que lo rodea, esta se puede lograr a través de un electrodo de referencia conocido como media celda mostrado en detalle en la figura 2.1.1 (9)

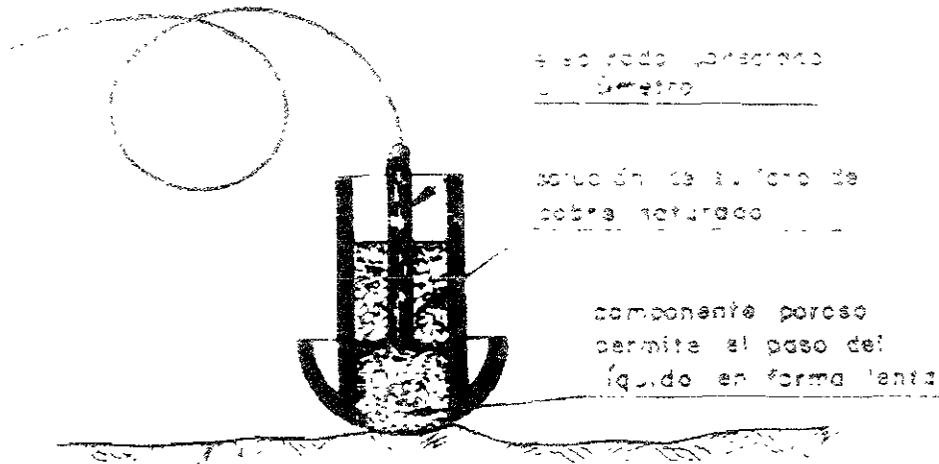


FIGURA 2.1 (9) MEDIA CELDA DE SULFADO DE COBRE SATURADO.

Si se tiene un potencial negativo de -0.85 v. de CD en una malla a proteger, la protección contra la corrosión es adecuada.

Existen otros elementos para la media celda aparte del sulfato de cobre saturado, como se muestra en la tabla siguiente:

Tipo de electrodo de referencia	Corrección de la lectura con respecto al electrodo de sulfato de Cobre Saturado.
Calumel Saturado	Agregue - 0.072 Volts
Cloruro de Plata / Plata (solución 0.1 NKCL)	Agregue - 0.010 Volts

Zinc Puro
(Especial de alto grado)

Agregue - 1.10 Volts

La resistividad del medio también es muy importante y se trato ampliamente en los capítulos anteriores, la medición se puede efectuar con el método de Wenner u otros. La importancia de la resistividad radica que es inversamente proporcional a la corrosión, es decir para una resistividad alta la corrosión es baja, para un terreno con baja resistividad la corrosión es alta.

Esto es obvio se muestra en la siguiente tabla:

Resistividad Ohms-metro (@)	Grado de Corrosión
5 ó menos	Muy corrosivo
5 a 10	Corrosivo
10 a 20	Moderadamente Corrosivo
20 a 100	Medianamente corrosivo
100 ó más	Progresivamente menos corrosivo

2.2 INSTALACIÓN DE EQUIPO SENSIBLE CON APEGO A LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

La conexión a tierra es una forma de brindar seguridad al personal, al equipo y a las instalaciones eléctricas en forma general. En este punto se presenta una interpretación grafica de los requisitos establecidos en la NOM-001-SEMP-1994.

La NOM no intenta ser un manual de diseño y especificaciones. El propósito de la NOM es proteger a la gente y propiedades contra daños que se ocasionen por el uso de la energía eléctrica. En la NOM no hay nada que prohíba hacer una mejor instalación. En el caso de los sistemas de computo, la instalación tiene que ser por lo menos mejor que los requisitos mínimos establecidos en dichas normas.

2.2.1 PUESTA A TIERRA DE EQUIPO SENSIBLE.

Parte de la razón para la puesta a tierra tiene que ver con el voltaje y con la corriente. El equipo eléctrico y los gabinetes puestos a tierra toman en consideración ambos parámetros porque estos dos trabajando juntos representan el mayor peligro para el personal y equipos.

Otro buen ejemplo de cómo las NOM requieren de la puesta a tierra , lo es *la sección 300-9* ,Capitulo 3 bajo los *Requisitos Generales* para los métodos de instalación . La *sección 300-9* indica cuales son los gabinetes metálicos que deben ser puestos a tierra , de acuerdo con el *Articulo 250*:

1. Canalizaciones metálicas
2. Cajas
3. Gabinetes

4. Cables armados
5. Accesorios

En las Normas Oficiales Mexicanas con respecto a la puesta a tierra de equipo se habla acerca de equipo eléctrico para usos residenciales e industriales, los nuevos equipos eléctricos están siendo diseñados para que su montaje sea más fácil y rápido , ayudando de esta manera a que el instalador efectúe su trabajo con mejor calidad.

El equipo debe fabricarse para funcionar con seguridad . Una parte de la seguridad es la puesta a tierra efectiva del equipo eléctrico no tomando en cuenta su tamaño , existen algunas secciones de la NOM que se relacionan con el Artículo 250.La figura 2.2.1 (1) ilustra algunas de esas relaciones . Por ejemplo:

3. En las secciones 384-11 y 384-3 (c) de Tableros de Distribución, la puesta a tierra de los tableros de distribución se relaciona con el Artículo 250.

En la sección 384-11 nos indica, los marcos y las estructuras de los tableros de distribución que soportan equipos de interrupción, se deben conectar a tierra, también existe una excepción que dice, los marcos de 2 hilos de los tableros de distribución de corriente directa, no requieren estar aterrizados, si están aislados de tierra en forma efectiva.

En la sección 384-3 © nos indica que usado como equipo de acometida. Cada tablero de distribución o gabinete de control que se use como equipo de acometida, debe estar provisto de un puente de unión, con una sección o calibre conforme a la sección 250-79(d), o el equivalente dentro del gabinete de control, o una de las secciones del tablero de distribución para conectar el conductor de puesto a tierra, en su lado de alimentación al tablero de distribución o al marco del gabinete de control. Todas las secciones de un tablero de distribución deben estar unidas entre

si utilizando un conductor de puesta a tierra del equipo, seleccionando de acuerdo con la tabla 250-95.

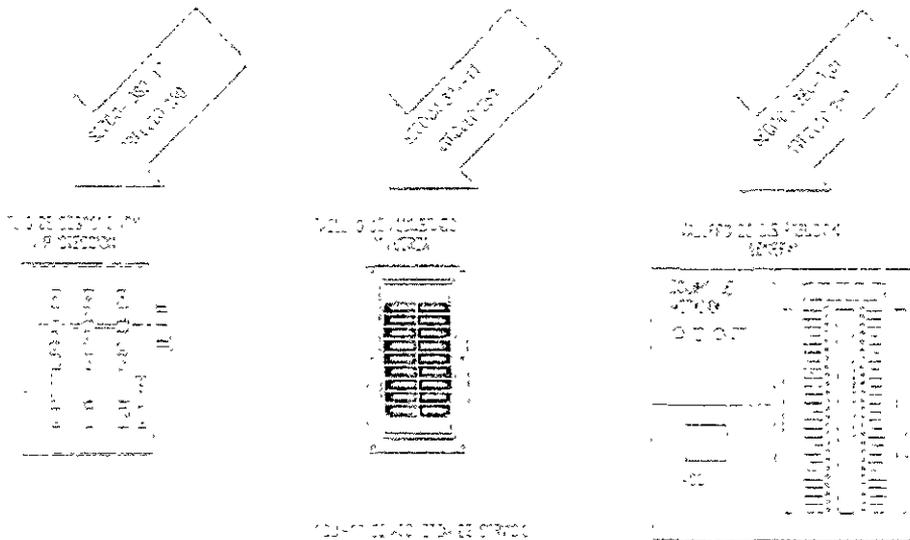


FIGURA 2.2.1 (1) LA PUESTA A TIERRA DE GABINETES ESTA RELACIONADA CON OTRAS PARTES DE LA NOM.

La parte E, Puesta a tierra de equipo, del Artículo 250 proporciona las regulaciones para la puesta a tierra de las partes metálicas no conductoras de corriente expuestas del equipo eléctrico. Lo siguiente es un breve pero interesante resumen de la parte E.

1. Equipo fijo.

- a). Se aplica a todas las partes expuestas no conductoras de corriente del equipo eléctrico fijo.
- b). Conectado por un método de cable permanente.

- c). Información sobre el lugar y ubicación.
- d). Condiciones de instalación.

2. Equipo fijo (lista específica).

- a). Conectado por un método de cableado permanente.
- b). Identificar la lista de equipo específico o fijo de tal manera que no haya equivocaciones en la pieza en particular del equipo eléctrico a ser aterrizado.

3. Equipo no eléctrico. Lista específica de equipo no eléctrico que es requerido que tenga sus partes metálicas no conductoras puestas a tierra.

4. Equipo conectado por cordón y clavija.

- a). Lugares peligrosos.
- b). Más de 150 volts a tierra.
- c). En aparatos y equipos residencial
- d). En otros aparatos y equipos residenciales.

Las excepciones en la parte E del Artículo 250 permiten que el equipo sea instalado sin ser puesto a tierra tomando en cuenta los siguientes puntos:

- 1. Piezas específicas del equipo
- 2. Doble aislamiento
- 3. Guardas del equipo
- 4. Equipo aislado.

2.2.2 EQUIPO QUE REQUIERE SER PUESTO A TIERRA.

En la figura 2.2.2 (1) se ilustran las distancias a las que el equipo debe estar desde la tierra o una superficie puesta a tierra antes de que esta pueda ser montada en una superficie no puesta a tierra. Cuando el equipo se instale con distancias menores a las indicadas el equipo debe ser puesto a tierra.

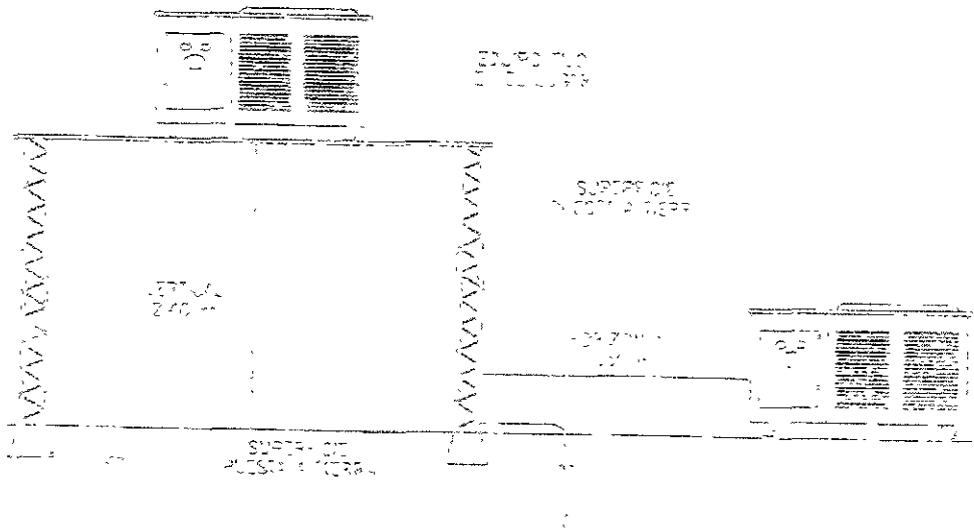


FIGURA 2.2.2 (1) DISTANCIAS DE SEPARACIÓN SIN PUESTA A TIERRA PARA EQUIPO ELÉCTRICO

Cuando el equipo eléctrico este localizado en un lugar húmedo o mojado, este debe ser puesto a tierra. La figura 2.2.2 (2) muestra un ejemplo de ello, cuando una unidad exterior de aire acondicionado es instalada al nivel de tierra o el área donde se localice el motor de una motobomba. Toda persona que pueda caminar arriba de y/o tocar el equipo y que al mismo tiempo que esta parado sobre la tierra que pueda estar húmeda o mojada, puede representar un peligro si no es puesto a tierra.

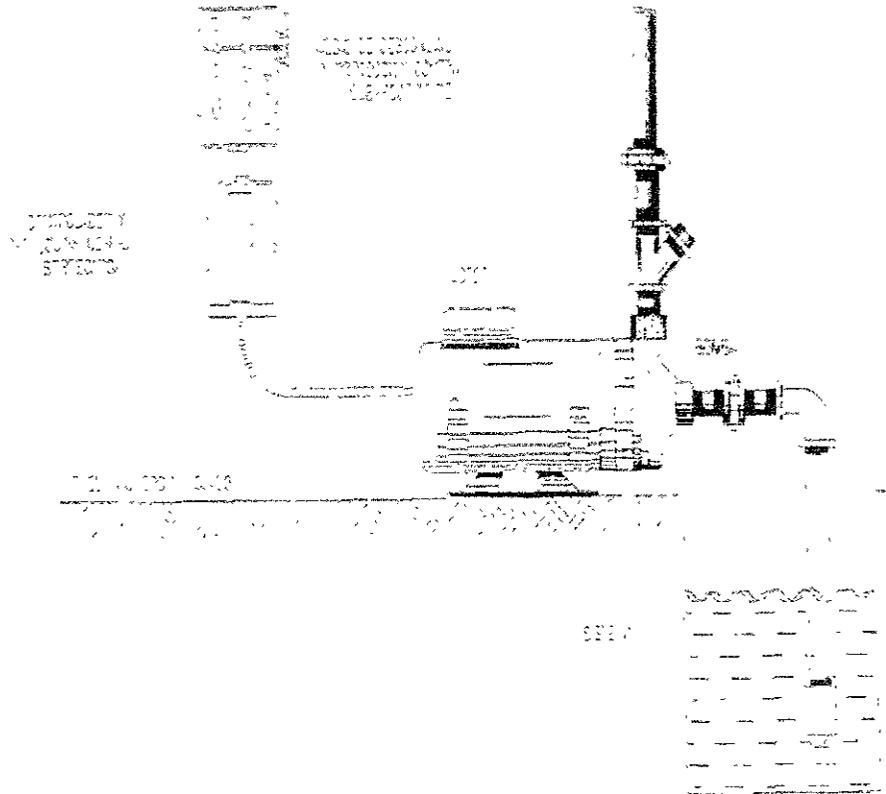


FIGURA 2.2.2 (2) EL EQUIPO ELÉCTRICO INSTALADO EN UN LUGAR HÚMEDO O MOJADO, DEBERÁ SER PUESTO A TIERRA.

Cuando un gabinete para equipo eléctrico esta conectado con metal que puede estar posiblemente energizado a través de una falla en el gabinete. En este caso, este deberá ser puesto a tierra

2.2.3 EQUIPO CONECTADO POR CABLEADO PERMANENTE.

Cuando el equipo es alimentado por cualquiera de los métodos de cableado metálico ,estos métodos de instalación de conductores y gabinetes incluyen:

- Conduit rígido metálico
- Conduit intermedio metálico

Tubing eléctrico metálico
Conduit metálico flexible
Tubing flexible metálico
Canalización superficial metálica
Ducto metálico bajo piso
Electroducto
Cualquier método de instalación con cubierta metálica.

Cuando el equipo es alimentado por cualquiera de los cables con cubierta metálica deberá ser puesta a tierra. Dicho ensamble incluye:

1. Cable tipo AC (armado)
2. Cable tipo MC
3. Cable tipo MI (cable con aislamiento mineral)
4. Cualquier otro tipo de cable con cubierta metálico

La Sección 250-43 de la NOM contiene una lista de equipo específico que esté fijo en el lugar de su instalación y debe ser puesto a tierra, sin hacer caso del nivel de tensión.

- a). Estructuras y armazones de tableros de distribución
- b). Órganos
- c). Carcasas armazones de motores
- d). Cubiertas de controladores de motores.
- e). Grúas y elevadores de carga
- f). Cocheras comerciales, teatros y estudios de cine móviles
- g). Anuncios eléctricos
- h). Equipos de proyección de cine
- i). Circuitos de control remoto, señalización de protección contra el fuego.

- J). Luminarias
- k). Bombas de agua operadas con motor
- l). Ademe metálico para pozo de agua

2.2.4 EQUIPO NO ELÉCTRICO PUESTO A TIERRA.

Existen situaciones que se producen cuando alguna pieza del equipo eléctrico se monta sobre equipo no eléctrico, el cual probablemente podrá causar que las partes metálicas del equipo no eléctrico sean energizadas completamente. En estas instalaciones, las partes metálicas no conductoras del equipo eléctrico deberán ser puestas a tierra por ejemplo:

- a). Grúas
- b). Cabaina de ascensores
- c). Elevadores eléctricos
- d). Separaciones metálicas
- e). Casas móviles y vehículos de recreo

2.2.5 EQUIPO RESIDENCIAL CONECTADO CON CORDÓN Y CLAVIJA.

Donde se utilice equipo conectado con cordón y clavija y las partes metálicas no portadoras de corriente estén expuestas, pudiendo estar energizadas, el equipo deberá estar puesto a tierra.

Hay lugares en los cuales se utiliza el equipo conectado con cordón y clavija: uno es en residencias y el otro en las industrias y comercios.

Los lugares húmedos o mojados tienden a presentarse condiciones peligrosas ya sea para uso residencial o cualquier otro equipo conectado con cordón y clavija a continuación se resume una lista.

Refrigeradores

Congeladores

Equipos de aire acondicionado

Lavadoras de ropa y de vajillas

Máquinas de secado

Hornos eléctricos de microondas

Equipos eléctricos para acuarios

Herramientas manuales con motor

Lámparas manuales

Equipos de computo, procesamiento de datos y electrónico

Herramientas utilizadas en lugares húmedos y mojados

Personal que trabaje dentro de calderas

2.2.6 MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA DE GABINETES Y EQUIPO.

La sección 250-57 lista la forma en que es permitido que los equipos conectados con cordón y clavija sean puestos a tierra. Estas son:

1. Por el uso de gabinetes y/o canalizaciones metálicas, o el uso de cubiertas metálicas de algunos cables y accesorios listados para dicho propósito. La canalización o cable debe contener los conductores del circuito sirviendo al equipo.
2. Por el uso de un conductor de puesta a tierra para el equipo contenido dentro de la misma canalización
3. La sección 250-59(c) permite la puesta a tierra del equipo conectado con cordón y clavija por los siguientes medios:
 - a). Un conductor flexible separado

- b). Una cinta flexible separada
- c). Conductor o cinta- permitiendo que sea aislada o desnuda
- d). Conductor o cinta- protegiéndola contra daño físico

2.2.7 PUESTA A TIERRA DE TABLEROS.

La figura 2.2.7 (1) requiere de una barra de puesta a tierra para las conexiones del conductor neutro y una barra de puesta a tierra para las conexiones del conductor de puesta a tierra del equipo en los tableros de distribución donde se utilicen canalizaciones no metálicas.

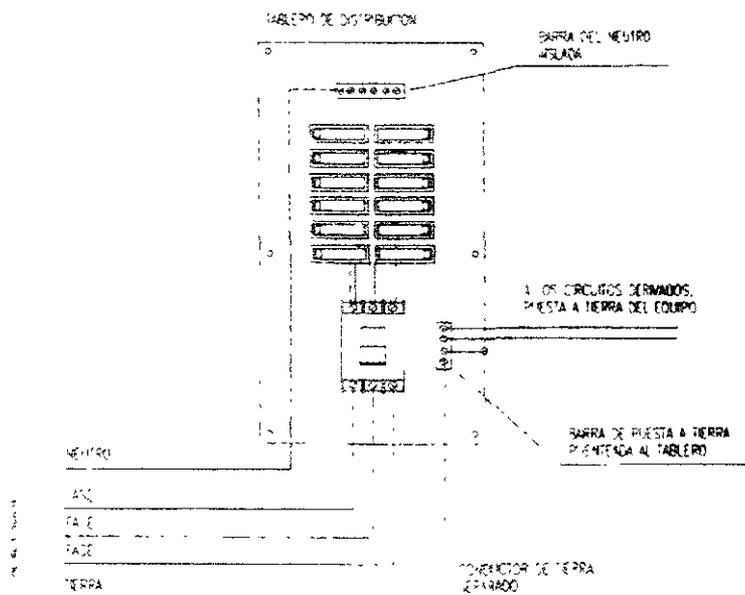


FIGURA 2.2.7 (1) PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS EN TABLEROS

Para una instalación utilizando canalización no metálica, cuando el conductor se utiliza para la puesta a tierra del equipo. Estas son:

1. Gabinetes y carcasas metálicas estarán en contacto directo y manteniendo la continuidad
2. Se debe utilizar una barra terminal aprobada
3. La barra terminal debe estar fija dentro del gabinete
4. La barra terminal será específicamente para la conexión de los conductores de puesta tierra del equipo
5. Los conductores de puesta a tierra del equipo pueden ser para circuitos derivados o alimentadores.
6. La barra de terminales de puesta a tierra del equipo estará puenteada al gabinete o marco del tablero
7. Para un sistema derivado separado, la barra de terminales de puesta a tierra del equipo será localizada en el primer medio de desconexión del sistema o dispositivo de protección contra sobre corriente.
8. La barra de puesta a tierra del equipo no será conectada a la barra neutra en cualquier otro tablero del equipo de servicio.

Razón: Teniendo dos barras separadas una para el neutro y otra para la puesta a tierra del equipo el flujo de corriente (flujo de electrones) esta controlado, como se ilustra en la figura 2.2.7 (2). Por lo que únicamente hay una trayectoria para el flujo de corriente, aún cuando el conductor puesto a tierra (el neutro) proporciona la trayectoria de retorno para el flujo de corriente.

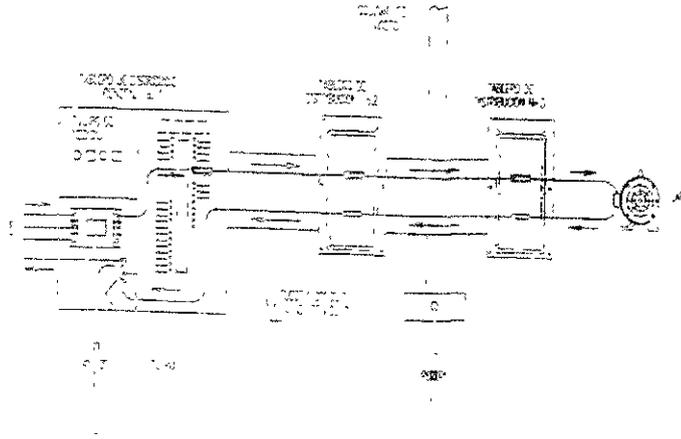


FIGURA 2.2.7 (2) FLUJO DE CORRIENTE CONTROLADO CUANDO LA BARRA NEUTRA SE CONECTA ÚNICAMENTE AL GABINETE DE ACOMETIDA.

Cuando el conductor neutro es puenteado a otros tableros diferentes al equipo de acometida, se crean algunas trayectorias y los electrones tomarán cada una de todas las trayectorias ofrecidas. Entonces no hay control sobre el flujo de electrones como lo muestra la figura 2.2.7 (3). Los electrones tienen ahora una multitud de trayectorias para el retorno a la fuente, estableciéndose las trayectorias para las corrientes circulantes a tierra, y esto es precisamente una forma de generar el ruido o suciedad eléctrica.

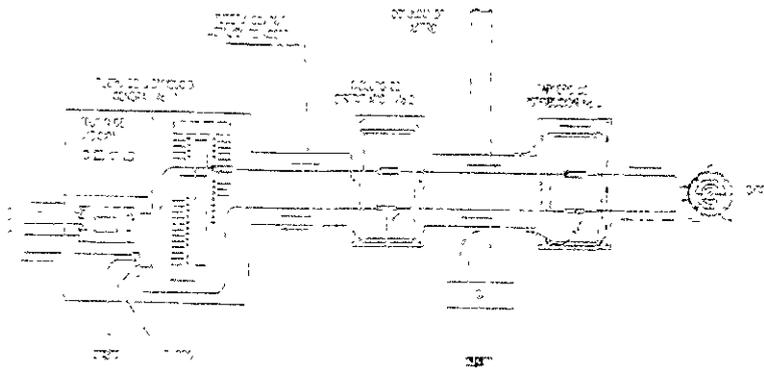


FIGURA 2.2.7 (3) FLUJO DE CORRIENTE NO CONTROLADO CUANDO LA BARRA NEUTRA SE PUENTEAA CADA GABINETE. SE CREAN TRAYECTORIAS PARA CORRIENTES CIRCULANTES.

La figura 2.2.7 (4) muestra un sistema monofásico a 240/120 Volts con el neutro del transformador conectado a tierra a través de un electrodo de puesta a tierra el cual mide una resistencia a tierra de 10 Ohms.

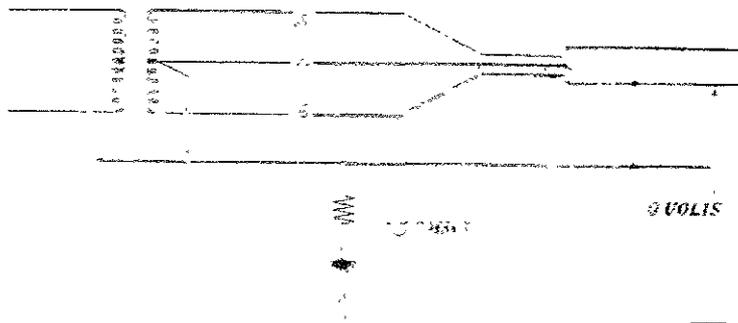


FIGURA 2.2.7 (4) SISTEMA MONOFASICO

2.2.8 CONTACTOS CON TIERRA AISLADA.

La Excepción a la Sección 284-20 habla de un conductor aislado de puesta a tierra para equipos. El conductor de puesta a tierra aislado se utiliza en conjunto con un contacto de tierra aislada, como se muestra en la figura 2.2.8 (1).

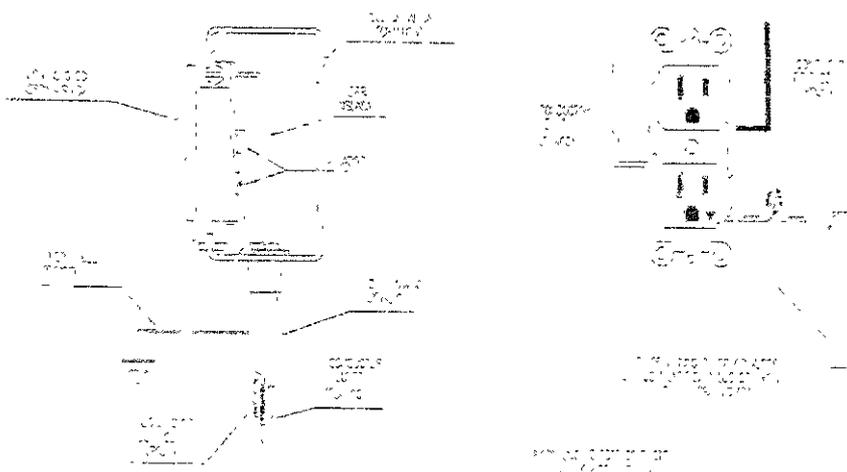


FIGURA 2.2.8 (1) CONTACTO DE TIERRA AISLADA

Los contactos con tierra aislada se utilizan ampliamente con hospitales. También se utilizan en equipos de procesamiento de datos y de computo. Cuando se utilicen los contactos de tierra aislada, se permite que un conductor aislado de puesta a tierra del equipo este a lo largo de la trayectoria para contar con el retorno a la conexión del conductor de puesta a tierra del electrodo en la acometida, como se muestra en la figura 2.2.8 (2).

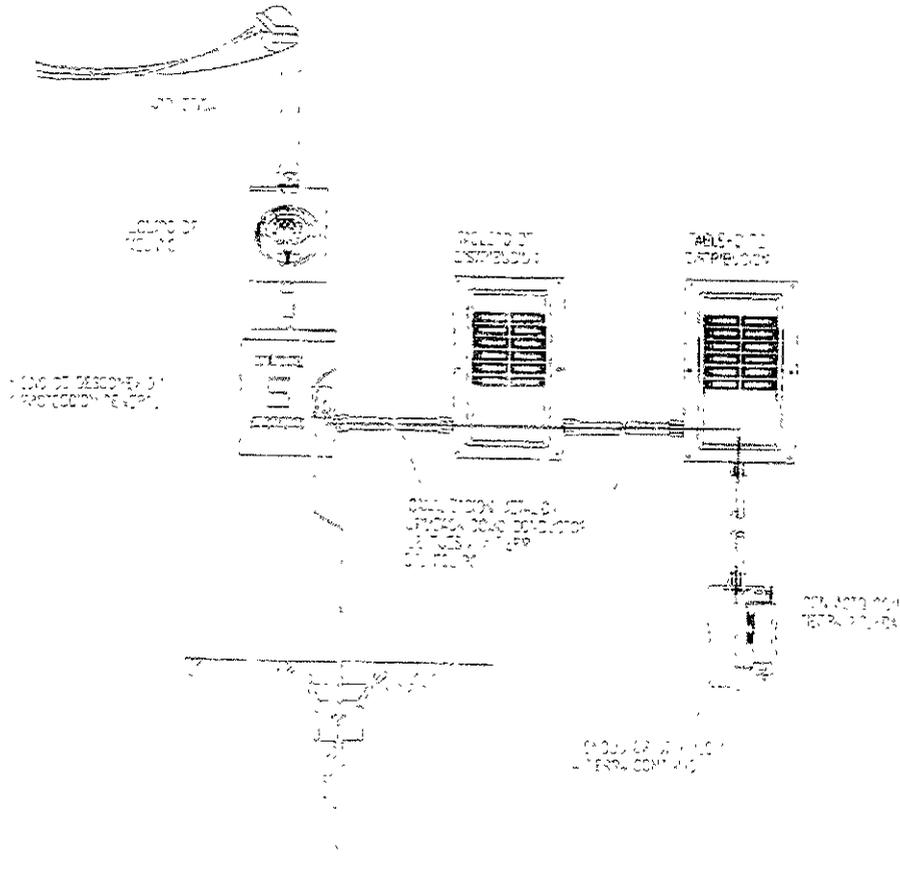


FIGURA 2.2.8 (2) INSTALACION DE UN CONTACTO DE TIERRA AISLADA

Realmente aquí hay dos conductores involucrados de puesta a tierra. Uno es aislado, conectado a la terminal verde en el contacto de tierra aislada que conducirá todas las corrientes de retorno a la alimentación.

La caja metálica (el gabinete) que aloja al contacto de tierra aislada también debe ser puesta a tierra, pero no el contacto. Cuando el contacto esta

provisto con canalización metálica efectivamente puesta a tierra, esta vendría siendo el segundo conductor de puesta a tierra para el equipo.

Un conductor de puesta a tierra se instala de la terminal de puesta a tierra del contacto, regresando a la fuente de alimentación. Este se instala en la misma canalización metálica con los conductores del alimentador y circuitos derivados. La canalización metálica es entonces utilizada como el conductor de puesta a tierra para otros equipos diferentes a los contactos de tierra aislada. En esta ilustración en particular (la fuente de alimentación es un sistema derivado separado) existe mas de una forma en la que la fuente de alimentación se instale. Por ejemplo:

1. Esta puede estar conectada a través de una barra de tierra regresando al punto de conexión del conductor de puesto a tierra del electrodo.
2. Esta puede ser llevada directamente de regreso al punto de conexión del conductor de puesta a tierra del equipo.

Razón : El contacto de tierra aislada y el conductor aislado de puesta a tierra ayudan a eliminar el ruido eléctrico producido, el cual causa problemas para computadoras y otros equipos microelectronicos.

Cuando una caja metálica se instala en una canalización no metálica y se monta sobre ella un contacto con tierra aislada, la siguiente nota de la Excepción 4 de la sección 250-74 indica que las NOM requieren que la caja este puesta a tierra. Esto requiere de dos conductores de puesta a tierra del equipo, uno para la caja y otro para el contacto de tierra aislada. La sección 250-114 requiere de todos los conductores de puesta a tierra entren en una caja para conectarse conjuntamente. La excepción 4 de la sección 250-74 permite la instalación de contactos aislados sin conectarse juntos los dos conductores de puesta a tierra.

La regla básica requiere de un conductor de puesta a tierra que regrese a la acometida para un contacto con tierra aislada. Cuando la acometida esta a en un edificio y el contacto con tierra aislada, no es necesario instalar el conductor de regreso al edificio donde se localiza la acometida como se muestra en la figura 2.2.8 (3). El conductor de puesta a tierra del equipo, únicamente es necesario que se instale de regreso a la fuente de alimentación entrando al segundo edificio.

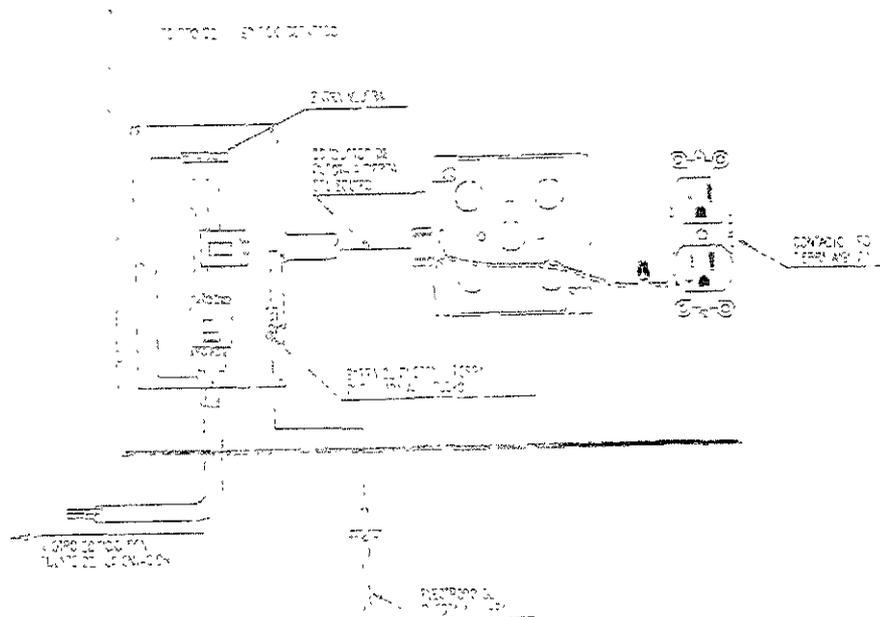


FIGURA 2.2.8 (3) CONEXIONES PARA EL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPO EN EDIFICIOS SEPARADOS

La sección 380-12 requiere que las caras de placa metálica para interruptores estén efectivamente puestas a tierra donde estén instaladas en un gabinete no metálico y utilizadas con un método de instalación que incluye o proporciona una tierra para el equipo. Las placas metálicas no vienen con un medio de puesta a tierra. Por lo que, esta regulación indica que dichas placas no son utilizadas con interruptores en cajas no metálicas.

2.2.9 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS DE COMPUTO.

Nos indica la NOM que existen ***“Corrientes indeseables en los conductores de puesta a tierra”*** donde *La puesta a tierra de conductores de sistemas eléctricos, conductores de circuitos, pararrayos, materiales y partes conductoras que no transportan corriente, deben instalarse y disponerse de manera que no circulen corrientes indeseables en los conductores de puesta a tierra o en el camino de puesta a tierra.*

Para eliminar estas corrientes indeseables la NOM también nos indica que existen ***“Modificaciones para eliminar las corrientes indeseables”***. *Si el uso de conexiones múltiples a tierra resulta en un paso de corriente indeseable, se puede hacer una de las siguientes modificaciones.*

- 1) *Desconectar una o mas de tales conexiones a tierra pero sin desconectar todas.*
- 2) *Cambiar la ubicación de la conexión a tierra.*
- 3) *Interrumpir la continuidad del conductor o de la trayectoria conductora que une las conexiones de puesta a tierra.*

En la NOM no reconocen las corrientes que causan ruido o errores de datos en equipo electrónico como son las corrientes indeseables.

Por corrientes indeseables se refiere a que son aquellas corrientes, posiblemente corriente de fuga, que estarán viajando de regreso a la fuente de alimentación por medio del conductor puesto a tierra o mejor dicho el conductor neutro.

Un equipo electrónico incluye, computadoras, equipo de procesamiento de datos y equipo similar. La Norma Oficial Mexicana *nos indica que se colocaran puentes de unión donde sea necesario en las canalizaciones metálicas, charolas*

de cables, armaduras de cables, cubiertas metálicas de cable, cubiertas de equipo, estructuras accesorios y otras partes metálicas que no transportan corriente y que deben de servir como conductores de puesta a tierra. Sin embargo existe una excepción en sistemas de computo que permite que la continuidad entre una canalización y un gabinete metálico sea interrumpida cuando hay un problema con el ruido eléctrico (interferencia electromagnética) como se indica en la figura 2.2.9 (1), propiciando que:

1. El gabinete del equipo sea alimentado por un circuito derivado.
2. El circuito derivado no se extiende más allá del gabinete del equipo.
3. El aislamiento es el adecuado.
4. El gabinete del equipo es puesto a tierra por medio de un conductor de puesto a tierra.

La excepción permite aislar el gabinete del equipo por medio de un separador o accesorio no metálico, instalado en el punto unión. Este separador será de un material aislante.

Cuando la continuidad de la canalización se interrumpe con el separador, también se interrumpe pudiendo establecer cualquier trayectoria de corriente circulante a la canalización metálica. Esto no significa, por lo tanto, que el gabinete este puesto a tierra; la excepción también requiere de un conductor aislado de puesto a tierra se conecte al gabinete. El equipo electrónico puede frecuentemente mostrar una susceptibilidad al ruido entre los conductores de entrada de alimentación y tierra, lo cual puede efectuar cualquier señal digital o analógica.

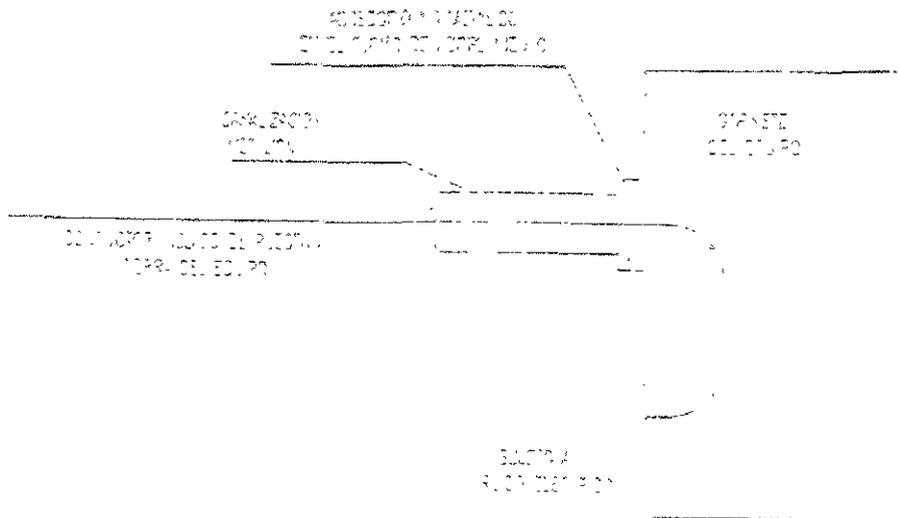


FIGURA 2.2.9 (1) EQUIPO AISLADO PARA PROTEGER CONTRA LA TRANSMISIÓN DE RUIDO ELÉCTRICO VIA CANALIZACIÓN METÁLICA

Los requisitos establecidos por la NOM para la puesta a tierra de equipos de computo se basan especialmente en el Artículo 250, incluyendo:

- a) *Electrodo de puesta a tierra.*
- b) *Conductor puesto a tierra.*
- c) *Puente de unión principal.*
- d) *Conductor de puesta a tierra.*
- e) *Puente de unión y puesta a tierra de equipo y gabinetes.*

1. Todas la partes metálicas de equipo y gabinetes deben estar puestos a tierra de tal manera que no exista diferencia de potencial entre una pieza del equipo y tierra.(sección 250-81)

2. Todos los electrodos de puesta a tierra deben puentearse y unirse (sección 250-81).

En cada inmueble o estructura a servirse, el sistema de electrodos de puesta a tierra se formara solamente interconectando:

a) Electrodos de acero con cubierta de cobre. consiste en una varilla redonda con una longitud de 3m o mas, con diámetro de 13mm, 16mm o 19mm, el acero le da la dureza y el cobre resistencia a la corrosión y mejor conductibilidad, el espesor de cobre debe tener 0.25mm como mínimo.

b) Tubería metálica de agua enterrada. consiste en una tubería enterrada con 3m o mas en contacto directo con la tierra y que sea eléctricamente continua hasta los puntos de conexión del electrodo de puesta a tierra.

La continuidad eléctrica de la trayectoria de puesta a tierra o la conexión a la tubería interior no podrá basarse en la conexión a través de medidores de agua. La tubería subterránea para agua se complementará con un electrodo adicional (electrodo de acero con cubierta de cobre ó electrodos artificiales). Este electrodo complementario se podrá puntear en un punto conveniente al conductor puesto a tierra de la acometida, la canalización y la cubierta de acometida de puesto a tierra, o la tubería metálica de agua enterrada.

Cuando el electrodo complementario este construido de **electrodo químico** (*Bentonita* (arcilla colocada alrededor del electrodo que absorbe el agua y la retiene y forma un camino de las corrientes eléctricas para drenar a tierra), *Carbón mineral o coque* (se extrae de las minas y se usa en hornos de fundición)) ó **electrodos múltiples** (se colocan electrodos de diferentes cantidades y configuraciones, espaciados a una distancia determinada uno del otro, regularmente a 3m y las configuraciones utilizadas son: 2 electrodos en línea, 3 en línea, 3 en delta etc.).

c) Estructura metálica del inmueble.

d) Electrodo empotrado en concreto estos electrodos son aceptables si está formado por lo menos de 6m de una o mas barras o varillas de acero reforzado de no menos de 1.25cm de diámetro; o consistente en una barra desnuda de cobre de al menos 6m de longitud y de sección transversal de 21.15mm^2 , embutido al menos 5cm dentro de una plancha o base de concreto directo a tierra.

e) Anillo a tierra que consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor de 33.6mm^2 de longitud no menor de 6m, enterrado en contacto directo con la tierra a una profundidad de 80cm del nivel del terreno y que rodee al inmueble o estructura.

3. Donde se utilice un sistema derivado separadamente, éste deberá cumplir con la instalación de sistemas derivados separadamente.

Las NOM permiten lo siguiente:

1. Un sistema de tierra aislado (Sección 250-74 Excepción 4, y Sección 384-20 Excepción 1).

La sección 250-74 excepción 4 nos dice: La conexión del terminal de puesta a tierra del contacto a la caja se conectara cuando es requerido para reducir el ruido eléctrico (interferencia electromagnética) en el circuito de puesta a tierra, se puede permitir el uso de un contacto en el cual el contacto de tierra está voluntariamente aislado del medio de montaje del contacto. El contacto de tierra del contacto debe ponerse a tierra por un conductor aislado de puesta a tierra del equipo instalado junto con los conductores del circuito. Se permitirá que el conductor puesto a tierra pase a través de uno o mas tableros sin conectarlo a la terminal del tablero con puesto a tierra, excepto cuando termina la estructura o en

un inmueble en la terminal del conductor de puesta a tierra del equipo del sistema derivado o acometida.

La Sección 384-20 Excepción 1 nos dice: Donde se proporciona un conductor aislado para conectar a tierra el equipo, este conductor aislado para aterrizar el equipo que se instala con los conductores del circuito, puede pasar a través del gabinete de control sin ser conectado a la barra colectora terminal para aterrizar el equipo del gabinete de control.

2. Es necesario que para el equipo protegido por un doble aislamiento o un equivalente no sea indispensable que este puesto a tierra (Sección 250-42, Excepción 4)

La Sección 250-42 Excepción 4 nos dice: El equipo de protección con un sistema de doble aislamiento o su equivalente, no se requiere que sean puestos a tierra. Cuando tal sistema es empleado, el equipo deberá estar marcado para su identificación.

3. Cuando la fuente de energía y la fuente de alimentación para computadoras son comunes, se permite establecer un electrodo de puesta a tierra separado, pero este será puenteado al electrodo de puesta a tierra del equipo de acometida (Sección 250-91(c)).

La Sección 250-91(c) nos dice: Se permitirá el uso de electrodos de puesta a tierra adicionales para aumentar los conductores de puesta a tierra adicionales para aumentar los conductores de puesta a tierra de equipos especificados, estos equipos especificados son:

1. Conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. Ese conductor puede ser sólido o cableado, aislado, recubierto o desnudo, y en forma de alambre o de barra de cualquier forma.
2. Tubería rígida metálica.
3. Tubería metálica intermedia.
4. Tubería eléctrica metálica
5. Tubería metálica flexible cuando esta y sus accesorios estén aprobados para la puesta a tierra.
6. La armadura de los cables tipo AC.
7. Cable de cubierta mineral aislada y de cubierta metálica.
8. La cubierta metálica de los cables tipos MC o la combinación de esa cubierta con el conductor de puesta a tierra.
9. Charolas para cables.
10. Otras canalizaciones metálicas eléctricamente continuas, específicamente para el propósito de puesto a tierra.
11. Una solera o barra.

Pero la tierra no debe de usarse como único conductor de puesta a tierra de equipos.

4. Se permite que un sistema derivado completamente separado, dedicado para equipo de computo se instale con un electrodo de puesto a tierra separado (Sección 250-26)

La Sección 250-26 nos dice que: Un sistema de corriente alterna derivado separadamente que deba ser puesto a tierra, se pondrá a tierra como lo indica a continuación:

- a) Electrodo de puesta a tierra. El electrodo de puesta a tierra estará lo mas cerca posible y preferiblemente en la misma área de conexión del

conductor de puesta a tierra de la misma. El electrodo de puesta a tierra será: (1) el elemento metálico de la estructura efectivamente puesto a tierra mas cercana, o (2) la tubería metálica de agua efectivamente puesta a tierra mas cercana, o (3) cuando no se dispone de los electrodos indicados en la (1) y (2) anteriores.

Un sistema de computo tiene su propio sistema de tierras aislado, común con el electrodo de puesta a tierra de la acometida. Todos los conductores de puesta a tierra deben ser de cobre aislado, recorriendo la distancia mas corta posible. Todos deben llegar a la barra de puesta a tierra especial en el tablero de distribución general y regresar al electrodo de puesta a tierra por medio de un conductor aislado sin interrupciones.

Un conductor de puesta a tierra aislado se utiliza en conjunto con un contacto de tierra aislada estos contactos se utilizan ampliamente en hospitales. También se utilizan en equipo de procesamiento de datos y de computo. Cuando se utilicen los contactos de tierra aislada, se permite que un conductor aislado de puesto a tierra del equipo este a lo largo de la trayectoria para contar con el retorno a la conexión del conductor de puesta a tierra del electrodo en la acometida.

La caja metálica (el gabinete) que aloja al contacto de tierra aislada también debe ser puesto a tierra, pero no el contacto. Un conductor aislado de puesta a tierra se instala de la terminal de puesta a tierra del contacto, regresando a la fuente de alimentación. Este se instala en la misma canalización metálica con los conductores del alimentador y circuitos derivados. La fuente de alimentación es un sistema derivado separado.

La razón de el contacto de tierra aislada y el conductor aislado de puesta a tierra ayudan a eliminar el ruido eléctrico producido, el cual causa problemas para computadoras y otros equipos micro electrónicos.

Cuando se utilice un piso falso en el área de computo (fig. 2.2..9 (2)) y este montado sobre pedestales metálicos, se permite que los pedestales sean puenteados y conectados a la barra de tierra especial en el tablero de distribución de energía.

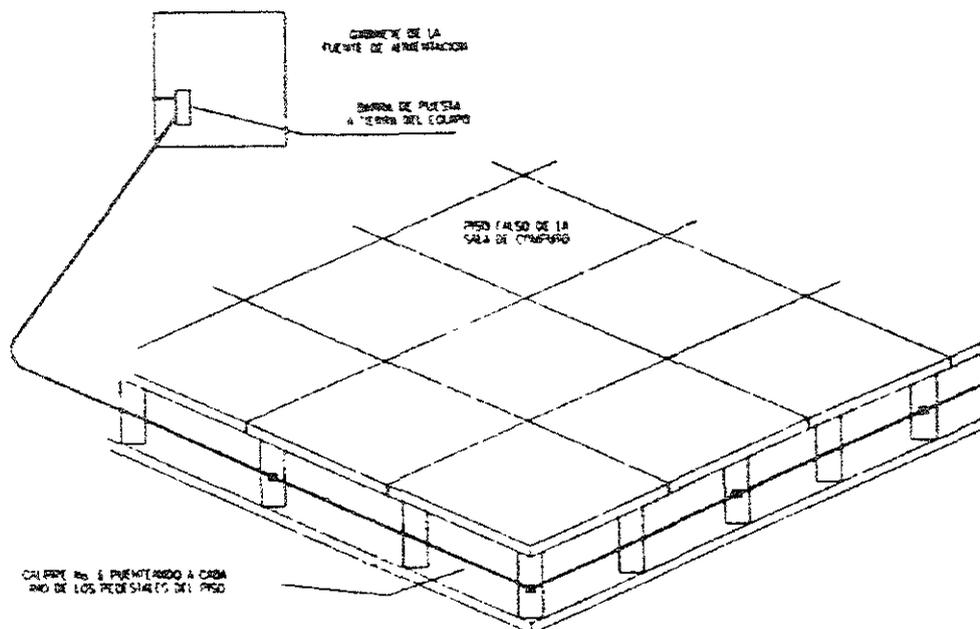


FIGURA 2.2.9 (2) METODO DE PUESTA A TIERRA PARA EL PISO DE LA SALA DE COMPUTO

El uso de un conductor de cobre aislado instalado como un conductor del electrodo de puesta a tierra subiendo por el edificio para la puesta a tierra del sistema de computo. La elevación del conductor es utilizada para establecer un electrodo de puesta a tierra común para los sistemas derivados separados sobre diferentes pisos. El conductor es conectado a un electrodo de puesta a tierra separado o al electrodo de puesta a tierra de la acometida. Cuando se conecte a un electrodo separado, este será puenteados al electrodo de la acometida. Donde

el equipo de computo este interconectado sobre pisos diferentes, se establecerá el mismo punto de referencia a tierra sobre todos los pisos. Este es utilizado en lugar de la estructura de acero del edificio en un piso y la tubería hidráulica sobre cualquier otro piso para un sistema derivado separadamente.

Punto único de conexión. Para prevenir corrientes descarriadas continuas o corrientes circulantes que efectúen las señales de computadora y su operación, es necesario mantener separado el sistema de tierras de computo del sistema de tierras de los componentes del equipo eléctrico y conectados juntos únicamente en un punto. Es conveniente mantener el sistema de tierras del sistema de computo completamente aislado del sistema de tierras del equipo y del sistema de tierras de energía eléctrica, excepto donde los dos sistemas de tierras son conectados juntos, a un punto único que es el punto de la acometida o a la salida de las terminales del transformador.

Donde se construya un centro de computo y este integrado con algunos gabinetes, las conexiones internas de puesta a tierra, no la puesta a tierra de los gabinetes, serán dirigidas a un punto de conexión, dentro del ensamble del gabinete, y este será el único punto conectado a tierra como se indica en la figura 2.2.9 (3). La unión de las tierras individuales será en forma de un sistema de distribución radial, o un "árbol", sin ninguna trayectoria paralela a tierra.

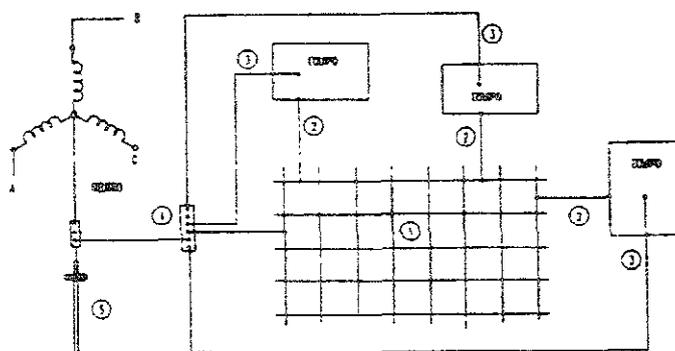


FIGURA 2.2.9 (3) METODO DE PUESTA A TIERRA DE LA SALA DE COMPUTO

La conexión interna de la puesta a tierra deberá ser conectada al gabinete en lugar de aislarlo del gabinete, entonces todos los gabinetes de los componentes necesitan ser aislados de tierra o de un piso conductor que este soportándolos. La tierra colectiva de gabinete-senal será conectada a la estructura del edificio mas cercano y este efectivamente puesto a tierra.

Si los sistemas de tierras computación-senal separados son aislados desde el gabinete y llevados juntos a ese punto común, entonces no es conveniente o necesario aislar los gabinetes de las computadoras del piso conductor.

2.2.10 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS DERIVADOS (UPS).

Otro procedimiento correcto de seguridad del personal, protección del equipo y funcionamiento de los sistemas electrónicos sensibles son los sistemas de energía uninterruptibles (UPS). La puesta a tierra del UPS es muy importante cuando dichos sistemas alimentan energía a cargas criticas de computo.

Un sistema UPS es una fuente derivada separada y para instalarla nos indica la NOM que un sistema de circuito principal alimentado de un generador, transformador y en nuestro caso de un convertidor y que no tenga ninguna conexión eléctrica directa, incluyendo un conector puesto solidamente a tierra para alimentar conductores que se originen en otro sistema.

Un requisito de la NOM, es que el conductor puesto a tierra del circuito (normalmente neutro) de un sistema derivado separadamente sea puentado a su fuente al conductor de puesta a tierra local o mas cercano que este conectado efectivamente puesto a tierra: *estructura metálica del edificio, tubería hidráulica metálica y electrodos de puesta a tierra artificiales.*

Una de las prohibiciones específicas de las NOM es conectar el conductor puesto a tierra del circuito (neutro) al conductor de puesta a tierra en más de un punto. Si el neutro fuese conectado al conductor de puesta a tierra en más de un punto, algunas de las corrientes normales del neutro se les permitirá fluir en el conductor de puesta a tierra del circuito entre los puntos de conexión. Además de ser un peligro para la seguridad, esta práctica anula los esquemas de protección de falla a tierra.

Los UPS más comunes tienen un inversor conectado en estrella a la salida y frecuentemente requieren la entrada de bypass para que sea alimentado desde una fuente conectada en estrella. El módulo de la porción inversora UPS es un sistema derivado separadamente, en el que la entrada al rectificador-cargador está aislado eléctricamente de la salida del inversor.

Sin embargo, porque el neutro de entrada del bypass está conectado directamente al neutro de la salida del inversor, el UPS como sistema puede o no ser considerado un sistema derivado separadamente, dependiendo del arreglo particular para el neutro de entrada del bypass. Por lo que esta configuración de UPS encuentra los más severos problemas de puesta a tierra.

Las diferentes configuraciones de UPS son:

2.2.11 UPS INDIVIDUAL, BYPASS NO AISLADO, ALIMENTACIÓN ESTRELLA PUESTA A TIERRA.

En este arreglo como se muestra en la figura 2.2.11 (1), la alimentación con estrella aterrizada está conectada a la entrada principal y la entrada (de reserva) del bypass del UPS, y el centro de distribución de energía no contiene un transformador de aislamiento. El neutro, el cual está, puenteado al conductor de puesta a tierra en la entrada del equipo de servicio, está llegando dentro del UPS.

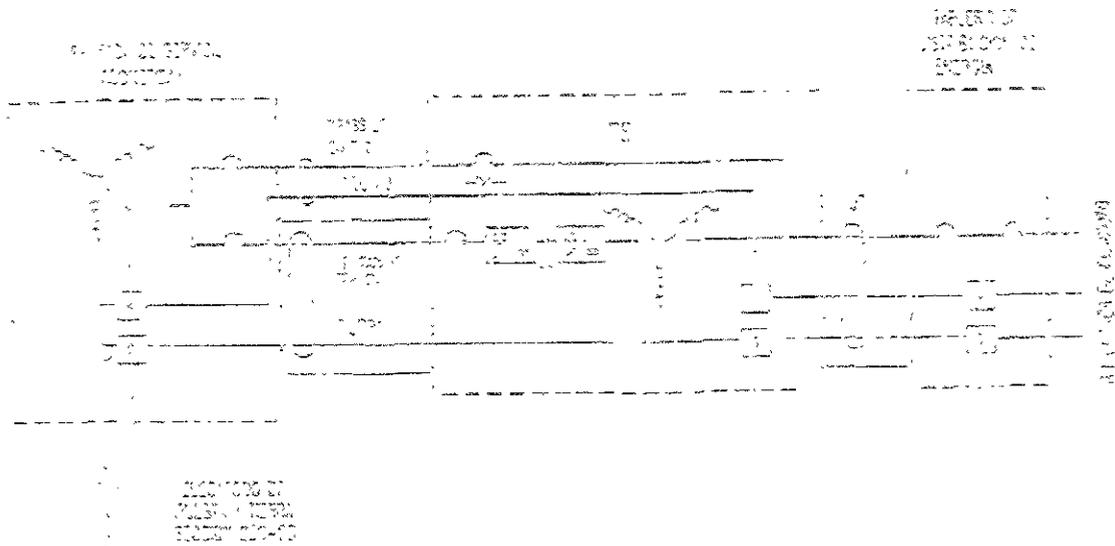


FIGURA 2.2.11 (1) UPS INDIVIDUAL, BAYPAS NO AISLADO, ALIMENTACION ESTRELLA PUESTA A TIERRA

En vista de que el neutro de salida del UPS está conectado sólidamente al neutro de entrada del bypass (entrada de servicio), el UPS no se considera un sistema derivado separadamente de acuerdo con lo establecido por las NOM. En este sistema:

- a) El neutro del UPS no está puenteado al conductor de puesta a tierra del equipo y
- b) ningún conductor para electrodo de puesta a tierra será instalado al UPS.

Aun cuando esta disposición pueda ser típica para el sistema de 208V de entrada 208V de salida del UPS, esto no proporciona cualquier aislamiento o modo común de atenuación del ruido para cargas sensibles. Esto muestra que la corriente de falla a tierra desde el inversor puede afectar adversamente el relevador de protección colocado en la entrada de servicio.

2.2.12 UPS INDIVIDUAL, BYPASS AISLADO.

En esta configuración como se muestra en la figura 2.2.12 (1) , se utiliza un transformador de aislamiento para alimentar la entrada al bypass del UPS. El transformador del bypass y el UPS conjuntamente constituyen un sistema derivado separadamente, ya que no hay una conexión eléctrica directa entre los conductores del circuito de entrada (alimentación) y los conductores del circuito de salida.

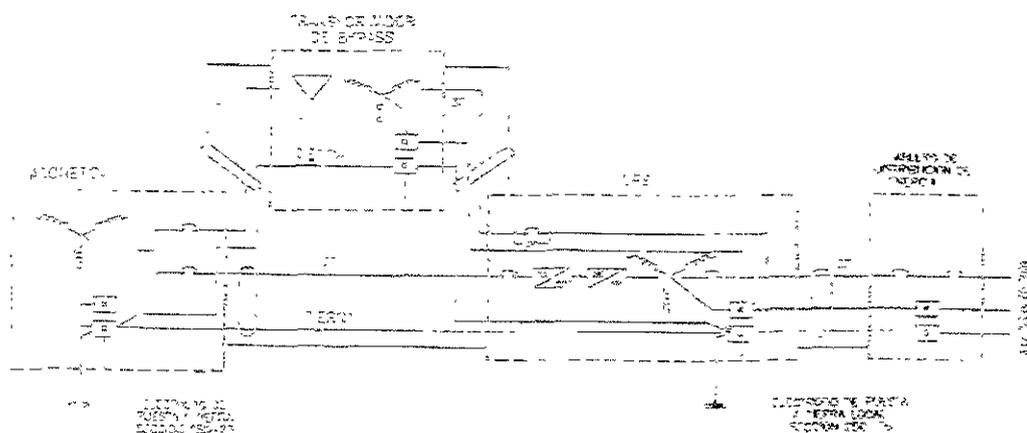


FIGURA 2.2.12 (1) UPS INDIVIDUAL, BIPASS AISLADO CON TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

Ya que esta configuración se considera como una fuente derivada separadamente, el neutro del UPS será puenteadada al conductor de puesta a tierra del equipo, y a un electrodo de puesta a tierra local donde sea instalado el modulo, como se indica en la Sección 250-26 de las NOM. (En este sistema particular, el puente de unión del neutro al conductor de puesta a tierra deberá hacerse al transformador de alimentación al bypass o al UPS. El UPS se elige para el punto del puente de unión porque esta en el flujo normal de energía y esta eléctricamente reservado para la carga). El transformador es utilizado en la entrada del bypass para proporcionar aislamiento y reducción del voltaje si es necesario (por ejemplo, en una configuración de 480V de entrada/ 208V salida).

Con esta disposición, el aislamiento se lleva a cabo desde la entrada, y la atenuación del ruido de modo común se puede obtener para las cargas sensibles si el UPS y el transformador son localizados eléctricamente cerrados (la recomendación es de 15.2 m o menos) al centro de distribución de energía y las cargas sensibles.

2.2.13 UPS INDIVIDUAL, BYPASS NO AISLADO, CENTRO DE DISTRIBUCIÓN AISLADO.

En esta configuración como se muestra en la figura 2.2.13 (1) ; figura el modulo principal de entrada del UPS y la entrada del bypass están conectados a una alimentación estrella aterrizada de la misma forma como en la configuración 1.

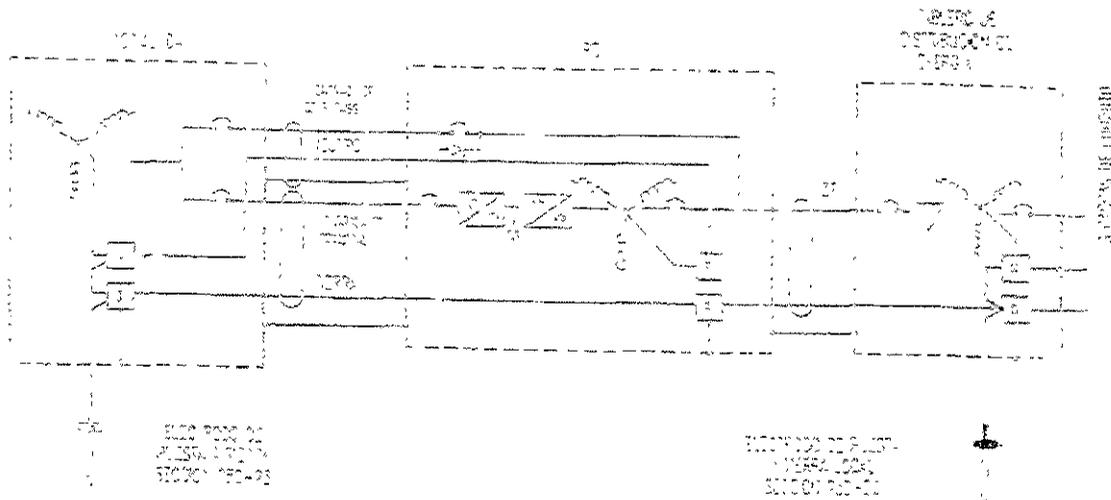


FIGURA 2.2.13 (1) UPS INDIVIDUAL, BIPASS NO AISLADO Y CENTRO DE DISTRIBUCION AISLADO

El UPS no es considerado como una fuente derivada separadamente, por lo que el neutro es puentado al conductor de puesto a tierra en el equipo de la entrada de servicio y sólidamente conectado al neutro de la salida del UPS. Por lo tanto, el neutro del UPS no será puentado al conductor de puesta a tierra del equipo en el UPS. Sin embargo, el centro de distribución de energía esta provisto

con un transformador de aislamiento y es considerado como una fuente derivada separadamente. Por lo tanto, el neutro del centro de distribución de energía será puenteado al conductor de puesta a tierra del equipo y será conectado al electrodo de puesta a tierra local para cumplir con lo indicado en la sección 250-26 de las NOM. La reducción del nivel de tensión se llevara a cabo en el centro de distribución de energía. La atenuación del ruido de esta disposición es mejor que la configuración 1 o 2.

La puesta a tierra con conductores aislados. Las NOM reconocen que el equipo sensible con cordón y clavija tal como una caja registradora, mini computadoras, impresoras, etc. puede ser adversamente afectadas por el flujo de corrientes en los conductores de puesta a tierra de equipos comunes, tales como la tubería conduit, conductor verde o barra de tierra, estructura metálica de un edificio, etc. Para reducir dichos problemas, las NOM, en la sección 250-74 Excepción 4 nos indica: *Cuando es requerido para reducir el ruido eléctrico (interferencia electromagnética) en el circuito de puesta a tierra, se puede permitir el uso de un contacto en el cual el contacto de tierra esta voluntariamente aislado del medio del montaje del contacto. El contacto de tierra del contacto debe ponerse a tierra por un conductor aislado de puesta a tierra del equipo instalado junto con los conductores del circuito. Se permitirá que el conductor puesto a tierra pase a través de uno o más tableros sin conectarlo a la terminal del tablero con puesta a tierra como se permite que este conductor aislado para aterrizar el equipo que se instala con los conductores del circuito, puede pasar a través del gabinete de control sin ser conectado a la barra colectora terminal para aterrizar el equipo del gabinete de control, excepto cuando termina en la estructura o en el inmueble en la terminal del conductor de puesta a tierra del equipo del sistema derivado o acometida.*

Esta sección nos permite que un conductor aislado de puesta a tierra para que corra todo el camino desde la terminal de puesta a tierra aislada del contacto y regrese al punto de puesta a tierra del equipo de servicio eléctrico o a la terminal de puesta a tierra de la terminal aislada de puesta a tierra del contacto

todo el camino de regreso al punto punto de puesta a tierra del equipo de servicio o a la terminal de puesta a tierra del sistema derivado separadamente sirviendo al contacto. Este conductor debe correr en la canalización, con el conductor sirviendo a la carga de ese contacto. Este conductor separado generalmente es verde con una tira amarilla. El conductor no será conectado a cualquier bus de tierra o puntos comunes entre el contacto de carga y la ubicación de tierra básica. Este sistema elimina mucho ruido en el equipo electrónico sensible conectado a la clavija.

2.2.14 UPS INDIVIDUAL, BYPASS DE 3 HILOS, CENTRO DE DISTRIBUCIÓN AISLADO, SERVICIO ESTRELLA ATERRIZADO.

Esta configuración de la figura 2.2.14 (1) es similar a la configuración anterior excepto que el neutro de la entrada de servicio no esta incluida en la entrada de alimentación de energía del bypass.

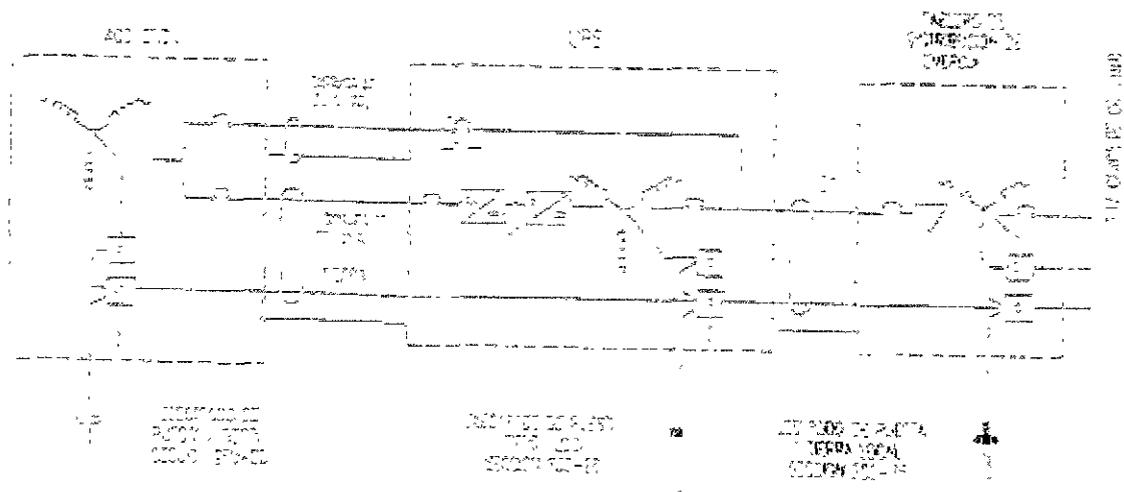


FIGURA 2.2.14 (1) UPS INDIVIDUAL BYPASS DE 3 HILOS, CENTRO DE DISTRIBUCIÓN AISLADO, SERVICIO ESTRELLA ATERRIZADO

En esta configuración, el neutro del equipo de la entrada de servicio no se lleva hasta el UPS. El UPS se considera entonces como una fuente derivada

separadamente. Como tal, el neutro será puenteado al conductor de puesta a tierra del equipo y deberá instalarse un electrodo de puesta a tierra del equipo y deberá instalarse un electrodo de puesta a tierra local para dar cumplimiento a lo indicado en la sección 250-26 de la NOM. Por lo tanto si el centro de distribución de energía contiene un transformador de aislamiento, también es una fuente derivada separadamente. Este neutro también deberá estar puenteado al conductor de puesta a tierra del equipo y a un electrodo de puesta a tierra local.

El esquema mostrado en la figura anterior sirve como una alternativa, cuando el neutro no esta disponible para la entrada del bypass, proporcionando que:

1. La entrada principal del bypass son alimentadas desde la misma fuente
2. La fuente es un sistema estrella sólidamente aterrizada.
3. Y cuando no se necesita el neutro para la carga del UPS.

Con algunos sistemas de UPS, el neutro estará incluido con la entrada del bypass, aunque no sea necesario para la salida, porque el neutro es utilizado para el censo y monitoreo de la entrada del bypass.

Como en la configuración anterior, aunque el centro de distribución de energía contiene un transformador de aislamiento, y reducción de ruido ocurre cuando el centro es localizado y cerrado a la carga como es practico.

2.2.15 UPS INDIVIDUAL, BYPASS AISLADO, FUENTE CONECTADA EN DELTA.

Esta configuración de la figura 2.2.15 (1) es similar a la configuración 2.2.14 (1), con la excepción que la fuente de alimentación de entrada esta conectada en delta. Algunos UPS requieren que la entrada del bypass se alimente desde una fuente conectada en estrella. Por lo tanto, cuando el UPS se utiliza con otra fuente conectada en estrella, la entrada del bypass debe alimentarse desde un transformador con un secundario conectado en estrella.

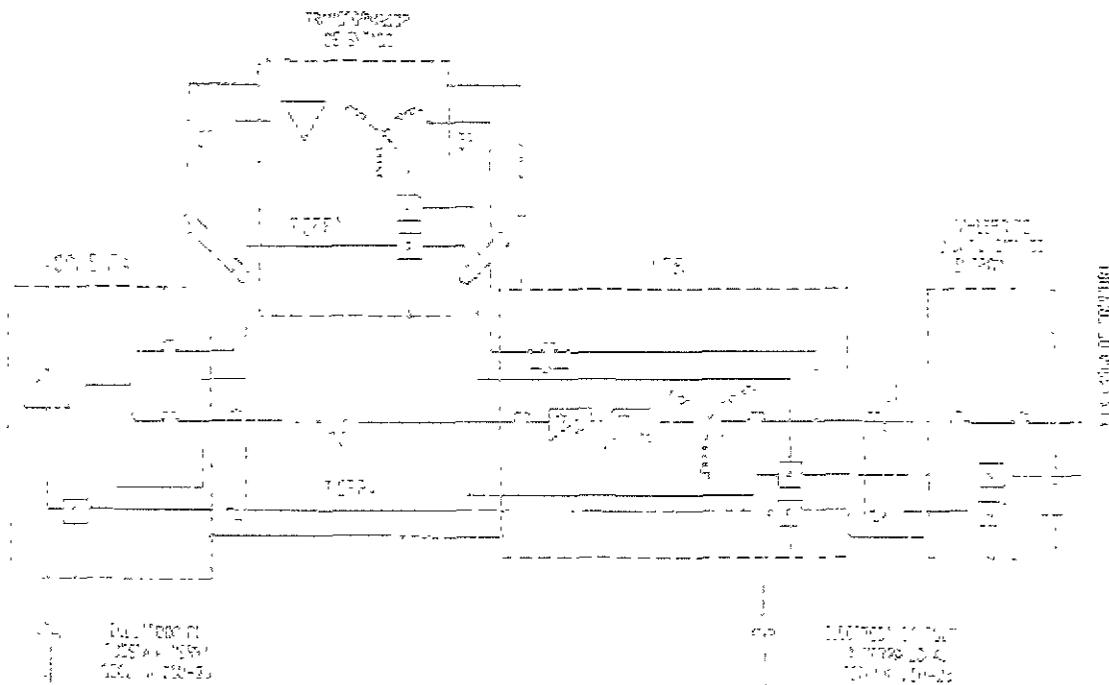


FIGURA 2.2.15 (1) UPS INDIVIDUAL, BYPASS AISLADO, FUENTE CONECTADA EN DELTA

En esta configuración, el neutro del UPS será puenteado al conductor de puesta a tierra del equipo y a un electrodo de puesta a tierra local instalado de acuerdo con la sección 250-26 de las NOM.

Con esta disposición, como en la configuración 2, el aislamiento desde la entrada se lleva a cabo y la atenuación del ruido se puede obtener para las cargas sensibles si el UPS y el transformador de bypass están localizados eléctricamente cerrados (recomendado 15.2 m o menos) al centro de distribución de energía y a las cargas sensibles.

2.2.16. SISTEMA DE UPS MULTIPLE.

En general, un sistema múltiple de UPS puede considerarse que sea una extensión de un sistema particular de un UPS individual, excepto que el conjunto de UPS ahora esta compuesto por mas de un UPS, y cada uno de ellos

(incluyendo el bypass) alimentado a través de un interruptor de transferencia estático. Como un ejemplo considérese la siguiente figura 2.2.16 (1) como extensión múltiple del mismo esquema mostrado en la configuración anterior.

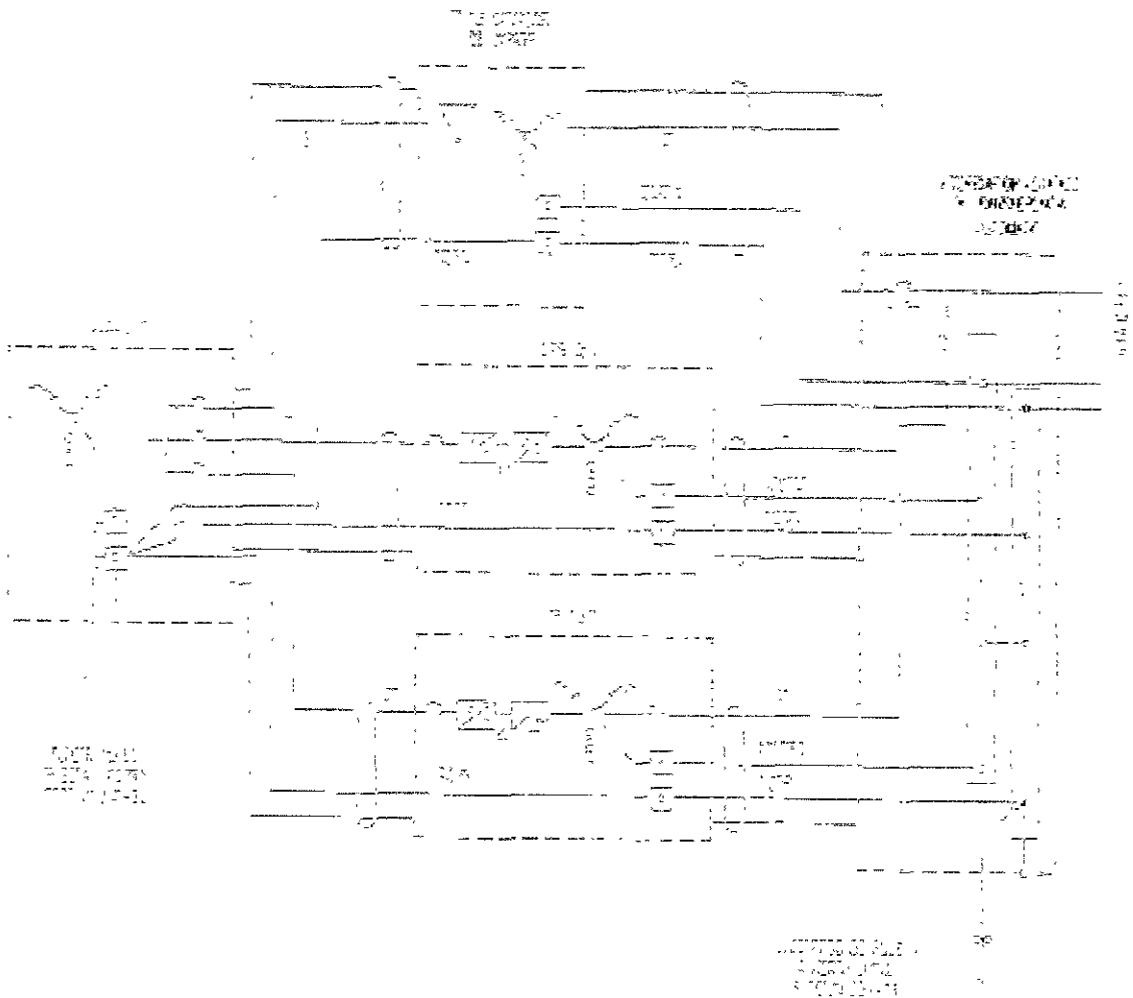


FIGURA 2.2.16 (1) UPS MULTIPLE

En esta configuración, el transformador de bypass y el UPS 1 y 2 se consideran que sean sistemas derivados separadamente, por lo que no hay una conexión eléctrica directa entre los conductores de los circuitos de entrada y salida. En el orden para proporcionar un punto central para el puente de unión al neutro de salida del UPS a la tierra para el esquema completo del UPS, utilizando el interruptor estático. (Cuando el neutro es puentado al conductor de puesta a tierra en el interruptor estático, los neutros de calibre completo deben correr desde el UPS y transformador de bypass al interruptor estático, haciendo caso

omiso de que si el neutro es necesario para las cargas del interruptor estático.) El puente del conductor neutro puesto a tierra y el electrodo de puesta a tierra local serán instalados de acuerdo con la sección 250-26 de las NOM.

Utilizando el interruptor estático para proporcionar el punto central del puente de unión al conductor puesto a tierra como en esta configuración muestra de UPS múltiples, un UPS será retirado de, o agregado a, todo el esquema sin poner en riesgo la integridad del sistema de puesta a tierra.

Dependiendo de la configuración múltiple, se pueden aplicar los conceptos de puesta a tierra de las configuraciones individuales mostradas de 1 a 5.

2.2.17 UPS INDIVIDUAL CON INTERRUPTOR DE BYPASS PARA MANTENIMIENTO.

El interruptor de bypass para mantenimiento es utilizado para aislar completamente al UPS de la carga crítica de C.A durante el mantenimiento y pruebas como se muestra en la figura 2.2.17 (1).

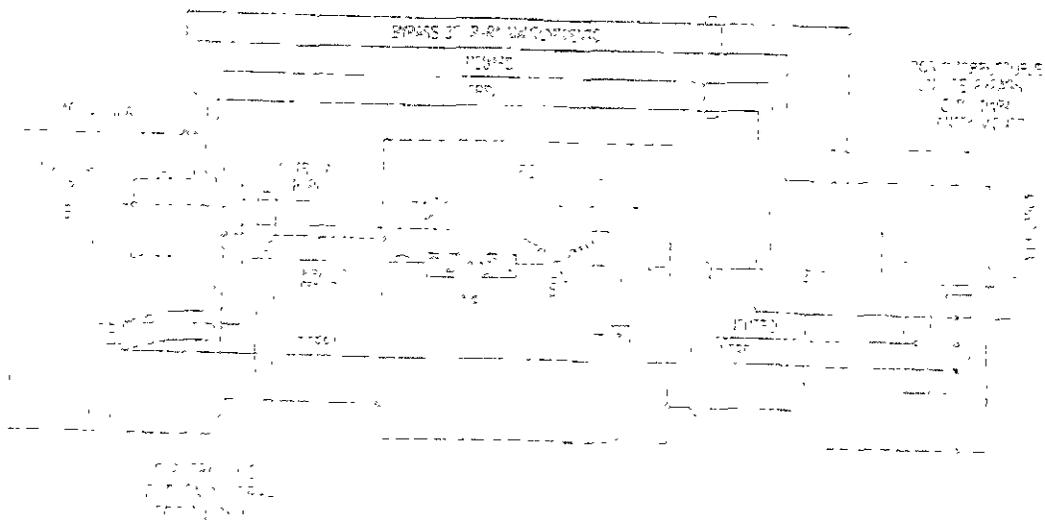


FIGURA 2.2.17 (1) UPS INDIVIDUAL CON INTERRUPTOR DE BYPAS PARA MANTENIMIENTO A CUATRO HILOS

Una alimentación conectada en estrella aterrizada a la principal y una entrada de bypass de un UPS individual y al interruptor de bypass (derivación) para mantenimiento. Si el neutro es necesario para la carga crítica, el neutro (el cual es puenteado al conductor de puesta a tierra del equipo en la entrada del servicio) será llevado hasta el UPS y el interruptor de bypass para mantenimiento. Aun cuando el neutro de la salida del UPS y el neutro del interruptor de bypass para mantenimiento son conectados al neutro de la entrada de servicio, el UPS no será considerado un sistema derivado separadamente de acuerdo con las NOM. En este sistema:

- a) Los neutro de la salida del UPS y el interruptor de bypass para mantenimiento no deben ser puenteados al conductor de puesta a tierra de equipos, y*
- b) no deben instalarse electrodos de puesta a tierra locales.*

Esta disposición no proporciona aislamiento alguno o atenuación del ruido para las cargas sensibles. Si se proporciona un centro de distribución de energía con un transformador de aislamiento bajo del sistema de UPS (cerca de la carga sensible), la atenuación del ruido de esta disposición será mejorada ampliamente. También, entonces el centro de distribución de energía con transformador requiere únicamente una entrada trifásica, tres hilos mas tierra, el conductor neutro no es necesario conectarlo desde la entrada de servicio al bypass del UPS y desde la entrada de servicio o salida del UPS al interruptor de bypass para mantenimiento como se muestra en la figura 2.2.17 (2).

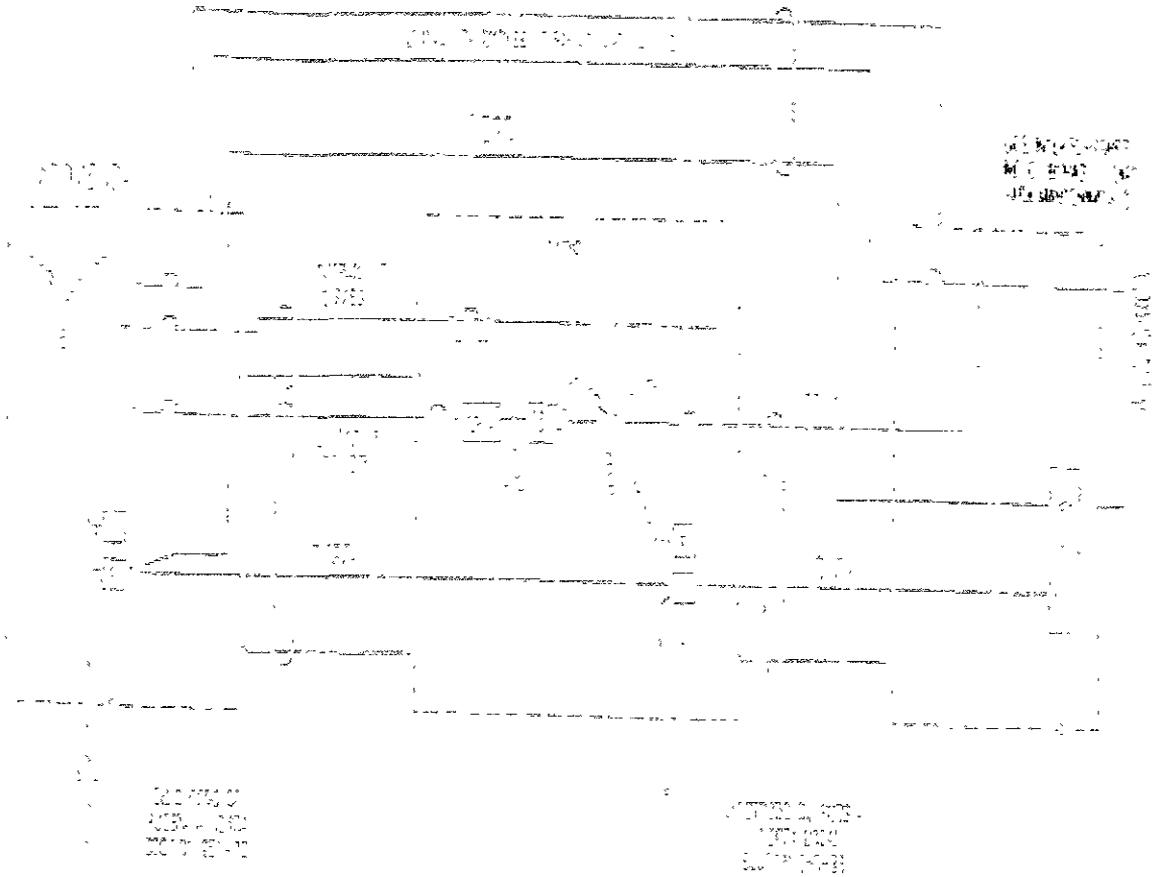


FIGURA 2.2.17 (2) UPS INDIVIDUAL CON INTERRUPTOR DE BYPAS PARA MANTENIMIENTO A TRES HILOS

CAPITULO TERCERO.
CALCULO DE SISTEMAS DE TIERRAS.

INTRODUCCION.

En el capítulo 3 se mostraran ejemplos de los procedimientos para el calculo total de un sistema de tierras en diferentes casos y situaciones de acuerdo a las exigencias de protección para lo que se utilice dicho sistema de tierras.

Para la comprensión de estos cálculos se retomaran algunas formulas ya antes mencionadas y explicadas en forma amplia en los capítulos anteriores. Los cálculos de sistemas de tierras y mas aún para equipo sensible han sido estudiadas y mantenidas a prueba hasta hacerlas más precisas, tomando una mayor importancia en los últimos años ya que la tecnología el control y la automatización de equipos de proceso y comunicación requieren de una mayor protección en sus componentes, por lo cual su alimentación eléctrica debe ser estable y estar preparada para cualquier anomalía ya sea naturales o causada por la subestación del lugar.

Para un calculo y diseño del los diferentes sistemas de tierras veremos procesos a seguir , constitución del terreno resistividad y temperatura del mismo en donde se podrá realizar arreglos químicos para su mejor operación, también se encontrara la corriente máxima de falla, corriente en corto circuito de línea a línea o línea a tierra, el calculo de calibre de conductor por la ecuación de Onderdark, y así mismo se calcularan los voltajes de paso toque y malla. Para que se encuentren dentro del limite calculado para el sistema de tierras en esta parte se encontraran coeficientes para el numero de conductores espaciamentos, diámetros y profundidades en si la forma en que se construirá el sistema de tierras, y así realizar los cálculos de longitud del conductor de toda la malla.

La siguiente característica de calculo será el de resistencia a tierra esto es, la resistencia del electrodo, entre el electrodo y el suelo, así mismo se presentan formulas según los arreglos de las mallas y sobre todo arreglos de electrodos.

El calibre de conductor se designara por la corriente de consumo que se tenga para los equipos alimentados y por lo tanto para sus sistema de tierras esto indicara por ejemplo, que el conductor de puesto a tierra de equipo de equipo no necesita ser mayor que los conductores de circuito o que el conductor de puesto a tierra de equipo no será menor al calibre No 18 así los procedimientos y cálculos se darán paso a paso hasta obtener el diseño muy particular de nuestro sistema de tierras ya sea para una subestación industrial, maquinaria o equipo sensible.

El propósito de este capitulo es mostrar todos los cálculos necesarios para la construcción de un sistema de tierras en donde se verán ejemplos reales con características adversas para la construcción de estos sistemas de tierras, como subestaciones de mediana tensión, potenciales peligrosos para seguridad del personal y del equipo así como usuarios en lugares cercanos.

3.1 REQUISITOS DE CALCULO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TIERRAS.

Para dar cumplimiento a los requisitos básicos para el diseño de un sistema de tierras así como la puesta a tierra de equipo sensible se deben tomar en cuenta todos los factores implicados en el diseño. Los principales factores del diseño que se deberán considerar para el cálculo de un sistema de tierras son principalmente:

- Resistividad del terreno
- Corriente máxima de falla
- Calibre del conductor del sistema
- Tensiones de paso contacto y de malla del sistema
- Longitud del conductor enterrado
- Resistencia a tierra

3.1.1 RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

Ya se ha mencionado que la tierra en general son los elementos que constituyen al terreno tales como: arena, grava y arcilla etc.

Para determinar la resistencia eléctrica de un sistema de tierras es importante conocer la resistividad del terreno donde se localice dicho sistema. La resistividad del terreno depende esencialmente de las siguientes características:

Constitución o naturaleza del terreno

Humedad

Temperatura

de efectuar un tratamiento químico para corrección del terreno. La resistividad del suelo de agua en la superficie del suelo no necesariamente indica una baja resistividad.

Varia con la profundidad de la superficie y concentración de compuestos químicos diluidos en el terreno. En otras palabras, la resistividad es la del electrolito formado en el suelo. La presencia La constitución de la naturaleza del terreno normalmente se toman muestras hasta una profundidad razonable que pueda permitir comparar las condiciones y homogeneidad del terreno así como los niveles de aguas friáticas y su grado de humedad. Ya hemos mencionado los métodos y aparatos aprobados para estos fines como por ejemplo los terrometros o también llamados megger, las mediciones deben incluir datos sobre temperatura y condiciones de humedad del terreno.

Naturalmente, cuanto menor es la resistividad del terreno, tanto más fácilmente se pueden alcanzar valores bajos para la resistencia del sistema de tierras, los terrenos rocosos por ejemplo no son aceptables o recomendables por

su alta resistividad y habrá necesidad Los valores representativos de la resistividad para diferentes tipos de suelos son dados en la siguiente tabla.

RESISTIVIDADES DE DIFERENTES TERRENOS

Resistividad en ohms-cm.

TERRENO	PROMEDIO	MINIMO	MÁXIMO
Rellenos (cenizas, escorias, desechos Salinos).	2, 370	590	7, 000
Arcillas, Esquistos, suelos arcillosos, Margas.	4, 060	340	16, 300
Idem, con cantidades variables de Arena y grava.	15, 800	1, 020	135, 000
Gravas, arena, piedras, con pequeño Contenido en arcilla o marga.	94, 000	59, 000	458, 000

La resistividad del suelo se puede reducir en cualquier lugar de un 15 a 90 % por medio de un tratamiento químico, (dependiendo de la bondad y textura del suelo). Hay un número apropiado de productos químicos para este propósito, incluyendo el cloruro de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de cobre , cloruro de calcio, bentonita y GEM. Estos productos generalmente se aplican colocándolos en una trinchera circular alrededor del electrodo.

El factor de la humedad afecta decreciendo o acrecentando bruscamente la resistividad del terreno por ejemplo es conveniente el contenido de sales, ácidos o álcalis o con una mayor humedad pero por el contrario no deben instalarse sistemas de tierra dentro del agua directamente resulta mala conductora y existe mayor peligro de corrosión.

La temperatura ejerce también una influencia apreciable sobre la resistividad del terreno, a menos de 0 °C la resistividad crece bruscamente y a mayores temperaturas decrece.

3.1.2 CORRIENTE MAXIMA DE FALLA.

La corriente máxima de falla es la corriente de corto circuito máximo que pueda presentarse en el sistema de línea a línea o de línea a tierra y se determina por el método de componentes simétricas de secuencia positiva, negativa y cero, explicadas las formulas en el capítulo 2 para las secuencias mencionadas.

3.1.3 CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR.

La ecuación de ONDERDONK permitirá seleccionar el calibre del conductor de cobre para el sistema de tierras, la formula es la siguiente:

$$I = A \sqrt{\frac{\log 10 \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1}{33 t}}$$

- en donde:
- I Corriente de falla de fase a tierra en Amperes.
 - A Sección transversal del cobre, en circular mil.
 - T_m Temperatura máxima permisible, en grados centígrados.
 - T_a Temperatura ambiente, en grados centígrados
 - t Tiempo durante el cual circula la corriente I, en segundos

Pueden suponerse normalmente los siguientes valores técnicos reales:

$$T_a = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T_m = 1083^{\circ}\text{C} \quad \text{Temperatura de fusión del cobre}$$

$T_m = 430^{\circ}\text{C}$ Temperatura permisible para la soldadura del latón.

$T_m = 250^{\circ}\text{C}$ Temperatura permisible para las Uniones con conductores.

3.1.4 TENSIONES DEL SISTEMA DE TIERRAS.

Las tensiones que se tendrán en el momento de falla del sistema deben ser permisibles tanto para el cuerpo humano como para hacer eficaz el sistema de tierras como se explico ampliamente en el capitulo 2, y sus valores deben estar dentro del limite calculado por el diseño, las formulas que precisarán este calculo son las siguientes:

$$V_p = 0.1 \text{ a } 0.15 \rho i$$

$$V_c = 0.6 \text{ a } 0.8 \rho i$$

$$V_{\text{malla}} = \rho i$$

Donde:

- V_p Tensión de paso, de una distancia horizontal de un metro en volts.
- V_c Tensión de contacto a una distancia horizontal de un metro de conductor de la malla de tierras expresada en volts
- V_{malla} Diferencia de la potencial, en volts, del conductor de la malla y la superficie del terreno al centro del rectángulo de la malla
- ρ Resistividad eléctrica del terreno, en Ohms-m.
- i Corriente, en amperes por cada metro de conductor enterrado, que fluye a tierra.

Las fórmulas anteriores son aproximadas y para tomar en cuenta la profundidad de enterramiento, las irregularidades en el flujo de la corriente en partes diferentes de la red, el diámetro de los conductores y su espaciamento, pueden utilizarse las siguientes fórmulas:

$$V_{\text{malla}} = K_m K_i \frac{I}{L} \rho$$

donde:

K_m es un coeficiente que toma en cuenta el efecto del número de conductores en paralelo, es espaciamiento D , el diámetro d y la profundidad de enterramiento h de los conductores que forman la red del sistema de tierras.

Su valor se calcula como se indica a continuación:

$$K_m = \frac{1}{2(\pi)} \log e \left[\frac{D^2}{16hd} \right] + \frac{1}{(\pi)} \log e \left[\frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} \right] \dots \text{etc}$$

El número de factores en el segundo término es de dos menos que el número de conductores paralelos en la red básica, excluyendo las conexiones transversales.

K_i es un factor de corrección por irregularidad para tomar en cuenta el flujo de corriente no uniforme de partes diversas del sistema.

I es la corriente total efectiva máxima, en amperes, que fluye entre la red de tierras y la tierra.

L es la longitud total del conductor enterrado expresado en metros.

ρ es la resistividad media del terreno.

Por lo que toca al factor de irregularidad K_i , este fluctúa entre 1.0 y algo más de 2 depende de la geometría de la red. Este factor se determina con la fórmula:

$$K_i = 0.65 + (0.172) n$$

donde:

n es el número de conductores paralelos de longitud más larga.

La forma del electrodo de tierra, el valor de su superficie y la resistividad del terreno determinan la forma de efectuar la difusión de corriente.

3.1.5 LONGITUD DEL CONDUCTOR DE MALLA.

La formula del calculo de la longitud del conductor de la malla nos asegurará estar dentro de los limites establecidos de seguridad, en caso de que los cálculos de tensiones de paso contacto y malla no se encuentre dentro de éstos límites requeridos.

$$L = \frac{K_m \quad K_i \quad \rho \quad I_{cc} \sqrt{t}}{116 + 0.117 \rho s}$$

donde:

ρs es la resistividad del terreno inmediata bajo los pies, en Ohms-m.

t es el tiempo de duración de la falla en segundos.

3.1.6 CALCULO DE RESISTENCIA A TIERRA.

La resistencia a tierra de un electrodo artificial se eleva con:

- (1) Resistencia del electrodo
- (2) Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo
- (3) Resistencia del suelo, desde la superficie exterior del electrodo, en el ajuste de Geometría para el flujo de corriente exterior desde el electrodo a la tierra infinita.

Las primeras dos resistencias son o pueden ser tan pequeñas con respecto a la tercera (fracción de un ohm) y pueden ser despreciables para todos los fines prácticos.

Alrededor de un electrodo de puesta a tierra, la resistencia del suelo es la suma de la resistencia en serie de capas virtuales de tierra, localizadas progresivamente al exterior de la varilla. Las capas cercanas a la varilla tienen la más pequeña área circunferencial o sección transversal, esta tiene la más alta resistencia. Sucesivamente una de estas capas exteriores tienen áreas mayores progresivamente, y sus resistencias más bajas consecutivamente.

La siguiente tabla muestra el resultado de conducir las corrientes de falla a tierra fuera de este cálculo basado en la distancia de 7.62m (25 pies) representando el 100% de la resistencia total de tierra.

Resistencia a un radio r del electrodo de varilla de longitud de 3 m por 16mm de diámetro

Distancia de la superficie del electrodo (R)		Porcentaje aproximado la resistencia total
m	(pies)	%
0.03	(0.1)	25
0.06	(0.2)	38
0.09	(0.3)	46
0.15	(0.5)	52
0.3	(1.0)	68
1.5	(5.0)	86
3.0	(10.0)	94
4.6	(15.0)	97
6.1	(20.0)	99
7.6	(25.0)	100
30.5	* (100.0)	(104)
305.0	* (1000.0)	(117)

Esta figura muestra que por algunas razones prácticas la mayoría de la resistencia para tierra remota ocurre dentro de los 7.6 m (25 pies) del electrodo, es decir, a 305 m la resistencia es únicamente 17% mayor que la de 7.6 m (25 pies).

La resistencia a tierra puede ser calculada y medida. El cálculo tiene que ser simplificado para una gran extensión de fórmulas desarrolladas.

Una fórmula simplificada para el tipo de electrodo que es más utilizado, con una seguridad del 15% (resistencia de un electrodo individual tipo varilla de 3 m(10 pies) de longitud por 16 mm de diámetro (5/8 de pulgada), en tierra uniforme de resistividad de ohms-cm, es:

$$R_g (\text{ varilla}) = \frac{\rho (\text{ohms-cm})}{335 \text{ cm}}$$

Los electrodos múltiples en paralelo producen una resistencia a tierra más baja, que un electrodo individual. Los electrodos múltiples son utilizados comúnmente para proporcionar la resistencia a tierra más baja, necesaria para instalaciones de alta capacidad.

Una regla útil es que el sistema de tierras de 2 a 24 varillas colocadas a una longitud de una varilla en línea, en arreglo en triángulo, círculo o cuadrado proporcionará una resistencia a tierra dividida por el número de varillas y multiplicada por el factor F tomado de la siguiente Tabla.

Factor multiplicado por varillas múltiples

NUMERO DE VARILLAS	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

La fórmula más utilizada comúnmente para un solo electrodo de tierra, desarrollada por el profesor H. R. Dwight es la siguiente:

$$R = \frac{\rho}{2(\pi)L} \left[\frac{(\ln 4L) - 1}{r} \right]$$

donde:

R = resistencia en Ohms de la varilla de tierra a la tierra (o suelo)

L = longitud del electrodo de puesta a tierra, m

r = radio del electrodo de puesta a tierra, m

ρ = resistividad promedio en Ohms-cm

A continuación en la figura 3.1.6 (1) se presentaran las fórmulas para calcular la resistencia a tierra de los diferentes arreglos de electrodos múltiples.

CAPITULO TERCERO

IFórmulas aproximadas incluyendo los efectos de imágenes. Las dimensiones deberán estar en centímetros para obtener la resistencia en Ohms.

- ρ = resistencia específica de la tierra en Ohms por cm²
- a = radio
- L = longitud.
- s = espaciamiento.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA
	Una varilla, Radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
	2 varillas a tierra Longitud L , Radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} (\log_2 \frac{4L}{a} - 1)$
	2 varillas a tierra $s > L$, espaciamiento s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_2 \frac{4L}{a} - 1) - \frac{\rho}{4\pi s} (\log_2 \frac{4s}{a} - 1) + \frac{\rho}{8\pi L^2} (\frac{s^2}{L} - \frac{2L^2}{5}) + \dots$
	2 varillas a tierra $s < L$, espaciamiento s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_2 \frac{4L}{a} - 1) - \log_2 \frac{4L}{s} - 2 + \frac{\rho}{2L} - \frac{s^2}{8L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots$
	Alambre enterrado horizontalmente longitud $2L$, profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_2 \frac{4L}{s} - 1) - \log_2 \frac{4L}{s} - 2 + \frac{\rho}{2L} - \frac{s^2}{8L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots$
	Cuadrado en ángulo recto de alambre longitud de un lado L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_2 \frac{2L}{a} + \log_2 \frac{2L}{s} - 2.2372 + 0.2148 \frac{s}{L} + 0.1025 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots)$
	Estrella de 3 puntas Longitud de un lado L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} (\log_2 \frac{2L}{a} + \log_2 \frac{2L}{s} - 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots)$
	Estrella de 4 puntas Longitud de un lado L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{3\pi L} (\log_2 \frac{2L}{a} + \log_2 \frac{2L}{s} - 2.212 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.646 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots)$
	Estrella de 6 puntas Longitud de un lado L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi L} (\log_2 \frac{2L}{a} + \log_2 \frac{2L}{s} - 6.251 - 3.107 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.490 \frac{s^4}{L^4} \dots)$
	Estrella de 8 puntas Longitud de un lado L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{L} (\log_2 \frac{2L}{a} + \log_2 \frac{2L}{s} - 11.251 - 5.217 \frac{s}{L} + 2.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.720 \frac{s^4}{L^4} \dots)$
	Círculo Radio a , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi a} (\log_2 \frac{2a}{s} + \log_2 \frac{2a}{a})$
	Alambre enterrado horizontalmente longitud $2L$, profundidad $s/2$, espaciamiento s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_2 \frac{4L}{a} - 1) - \frac{\rho}{2\pi s} (\log_2 \frac{4s}{a} - 1) - \log_2 \frac{4L}{s} - 2 + \frac{\rho}{2L} - \frac{s^2}{8L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots$
	Redonda Radio a , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{2a} (\log_2 \frac{2a}{s} + \log_2 \frac{2a}{a}) - \frac{\rho}{2\pi s} (\log_2 \frac{4s}{a} - 1) - \log_2 \frac{4L}{s} - 2 + \frac{\rho}{2L} - \frac{s^2}{8L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots$
	Redonda Radio a , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{2a} (\log_2 \frac{2a}{s} + \log_2 \frac{2a}{a}) - \frac{\rho}{2\pi s} (\log_2 \frac{4s}{a} - 1) - \log_2 \frac{4L}{s} - 2 + \frac{\rho}{2L} - \frac{s^2}{8L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots$

FIGURA 3.1.6 (1) FORMULAS PARA CALCULAR RESISTENCIAS.

El valor mínimo de la resistencia a tierra en suelo uniforme puede ser determinada por medio de la fórmula de una placa metálica circular a cero profundidad una vez que haya sido determinado la resistividad del suelo:

$$R = \frac{\rho}{4} \frac{\pi}{\sqrt{A}}$$

donde:

R = resistencia del sistema de tierras en Ohms.

ρ = resistividad promedio de la tierra en Ohms-cm

A = área ocupada por la red de tierras en m²

Esta fórmula será utilizada únicamente cuando se desea obtener un valor de resistencia a tierra para la máxima corriente de falla estimada.

En la fórmula anterior se puede obtener el límite superior de la resistividad del lugar donde se encuentra la red agregándole un segundo término, tal y como fue propuesto por Laurent y Niumann:

$$R = \frac{\rho}{4} \frac{\pi}{\sqrt{A}} \frac{\rho}{L}$$

donde:

L es la longitud total de los conductores (en m).

Las ecuaciones anteriores pueden utilizarse con razonable seguridad para mallas enterradas a menos de 0.25 m. Para mallas enterradas entre 0.25 y 2.5 m,

se necesita ser una corrección para la profundidad de la malla. Utilizando la aproximación de Sverak's:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 A}} \left(1 + \frac{1}{1 + \sqrt{h 20/A}} \right) \right]$$

donde:

h es la profundidad de la malla. Para mallas sin varilla de tierra, esta fórmula tiene que probarse para producir resultados que sean prácticamente idénticos a aquellos obtenidos con la fórmula de Schawrz.

Las dos últimas fórmulas serán de ayuda en el cálculo de la elevación de potenciales para la evaluación de un diseño preliminar, para determinar la longitud aproximada de los conductores enterrados y necesarios para el control de las tensiones de paso y contacto.

La resistencia total de un sistema que consiste de una combinación de electrodos horizontales (malla) y verticales (varilla) es más baja que la resistencia de cualquier componente solo, pero aún más alto que el de su combinación en paralelo.

La resistencia total es:

$$R_g = \frac{(R_1 * R_2) - R_{12}}{(R_1 + R_2) - 2R_{12}}$$

donde:

R_1 = resistencia de los conductores de la malla

R_2 = resistencia de todas las varillas de tierra

R_3 = resistencia mutua entre el grupo de conductores de la malla y el

grupo de varilla de tierra.

Sin embargo, en la práctica, es deseable frecuentemente clavar varillas en la tierra para alcanzar más suelo conductivo. En las fórmulas siguientes, las expresiones de R_2 y R_{12} tienen que modificarse para dicha posibilidad.

$$R_1 = (\rho_1 / \pi l_1) (\ln (2l_1/h') + K_1 (l_1/\sqrt{A}) - K_2)$$

$$R_2 = (\rho_a / 2n \pi l_2) [\ln (8 l_2 / d_2) - 1 + 2 K_1 (\sqrt{l_2} / \sqrt{A}) (n-1) 2]$$

$$R_{12} = (\rho_a / \pi l_1) [\ln (2 l_1 / l_2) + K_1 (l_1 / \sqrt{A}) - K_2 + 1]$$

donde:

ρ_1 = resistividad del suelo encontrada por los conductores de la malla enterrados a una profundidad h en Ohms-m.

ρ_a = resistividad aparente del suelo vista por una varilla de tierra en Ohms-m.

H = espesor de la capa superior del suelo en m

ρ_2 = resistividad del suelo desde la profundidad descendente H en ohms-m.

l_1 = longitud total de los conductores de la malla en m.

l_2 = longitud promedio de una varilla de tierra en m.

h = profundidad de enterramiento de la malla en m.

$h' = \sqrt{d_1 h}$ para conductores enterrados a una profundidad h , o $0.5 d_1$ para conductores a $h = 0$ (sobre la superficie de la tierra).

A = área cubierta por una malla de dimensiones $a * b$ en m^2 .

n = número de varillas de tierra colocadas en el área A

K_1, K_2 = constantes relacionadas con la geometría del sistema

d_1 = diámetro del conductor de la malla en m.

d_2 = diámetro de las varillas de tierra en m.

- a = longitud del lado más corto de la malla en m.
- b = longitud del lado más largo de la malla en m.

Las fórmulas anteriores son validas para un suelo de dos capas, con la capa superior de espesor H, en la cual las varillas de tierra penetran a las capas conductivas más bajas.

3.1.7 CALIBRE DEL CONDUCTOR DE PUESTA TIERRA DE EQUIPO SENSIBLE.

Las regulaciones para el cálculo del calibre del conductor de puesta a tierra de equipo se cubren en la siguiente tabla, figura 3.2.7 (1), tomando en cuenta la corriente de consumo del equipo se designa el calibre del conductor.

Tabla 250-95 Sección transversal mínima de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de sobrecorriente ubicado antes del equipo, tubería, etc. No mayor en (amperes)	Sección transversal		Sección transversal	
	Cobre		Aluminio	
	mm ²	AWG KMC	mm ²	AWG KCM
15	2.082	14	3.307	12
20	3.307	12	5.260	10
30	5.260	10	8.367	8
40	5.260	10	8.367	8
60	5.260	10	8.367	8
100	8.367	8	13.30	6
200	13.30	6	21.15	4
300	21.15	4	33.62	2
400	27.67	3	42.41	1
500	33.62	2	53.48	1/0
600	42.41	1	67.43	2/0
800	53.48	1/0	85.01	3/0
1000	67.43	2/0	107.2	4/0
1200	85.01	3/0	126.7	250
1600	107.2	4/0	177.3	350
2000	126.7	250	202.7	400
2500	177.3	350	304.0	600
3000	202.7	400	304.0	600
4000	253.4	500	405.4	800
5000	334.7	700	612.0	1200
6000	405.4	800	612.0	1200

FIGURA 3.1.7 (1) TABLA DE SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CABLE

A continuación se darán algunas normas que se utilizan con respecto a la tabla anterior:

1. Cuando los conductores en paralelo se alojan en más de una canalización el conductor de puesta a tierra del equipo se selecciona de acuerdo a la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobre corriente.
2. Cuando los conductores son ajustados en calibre para compensar la caída de tensión, el conductor de puesta a tierra del equipo debe corresponder al calibre ajustado
3. Cuando se instala más de un circuito en una sola canalización, puede instalarse un conductor para la puesta a tierra del equipo en dicha canalización; este será seleccionado para el dispositivo de protección contra sobre corriente de mayor capacidad.
4. Se permite el uso de un conductor de puesta a tierra de equipo no menor que el calibre No 18 A o más.
5. El conductor de puesta a tierra de equipo no necesita ser mayor que los conductores del circuito.
6. Cuando el dispositivo de protección contra sobre corriente sea un interruptor instantáneo o un protector de motor, el conductor de puesta a tierra de equipo se selecciona de acuerdo a la capacidad del dispositivo de protección contra sobrecarga del motor.

3.2 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE UNA RED DE TIERRAS.

Los cálculos de la red de tierras para una subestación o en particular para algún equipo o maquinaria que requiera una red de tierras individual deben

realizarse de acuerdo a la aplicación de cada uno de los parámetros que se han descrito con anterioridad así como con la normatividad aplicable en cada caso, para mayor facilidad se ha previsto una memoria de cálculo de la red de tierras, como la presentada a continuación en el ejemplo de cálculo de la red de tierras para un sistema de las siguientes características.

Paso 1. Consideraciones generales. Calculando una red de tierras de una subestación de 500 kVA, 13.2 kV – 220/ 127V, conexión delta-estrella localizada en un local de 6m x 10m = 60 m².

Todas las partes metálicas, estructuras, carcasas y tanques así como el neutro del transformador serán puestos a tierra.

Se utilizarán electrodos tipo varilla (copperweld) de 0.0158m de diámetro por 3.05m de longitud, conductor desnudo de cobre, el calibre mínimo será determinado en éste cálculo. La red será enterrada a una profundidad de 0.50 m como lo establecen las NOM-001- SEMP- 1994.

Paso 2. Cálculo de la corriente de corto circuito. Para determinar la corriente monofásica de cortocircuito es necesario hacer el análisis por el método de componentes simétricas, para llegar a dicho valor de corriente de falla, para efectos de este ejemplo, consideraremos una corriente de falla monofásica de 1237 Ampers simétricos debido a que la corriente de corto circuito y los cálculos, se consideran conocidos por la amplitud de este tema

Paso 3. Ajuste de la corriente de corto circuito. Ajustando la corriente de corto circuito con los siguientes factores:

a. *Por ampliación de capacidad.* Si la instalación sufre cambios de ampliaciones a futuro, se agregarán transformadores independientes, por lo que el factor de ampliación será unitario $A = 1$.

b. la tabla siguiente *Por tiempo de duración de la falla.* Al presentarse una falla a tierra, o entre fases (de cualquier tipo), los interruptores termo magnéticos abren en un tiempo mínimo aproximado de 8 ciclos, los fusibles limitadores de corriente en baja y mediana tensión lo hacen en $1/4$ de ciclo máximo, los fusibles en mediana tensión no limitadores de corriente en 6 ciclos. Por lo que se aplica el factor de decremento de acuerdo con el tipo de dispositivo de protección que se tenga y según:

Duración de la falla (ciclos)	factor de decremento (D)
1 / 2	1.65
6	1.25
15	1.10
30 ó más	1.10

por lo que el valor de la corriente quedará ajustada como:

$$I_{cc} \text{ ajustada} = I_{cc} \times A \times D$$

$$I_{cc} \text{ ajustada} = 1237 \times 1 \times 1.25 = 1546.25 \text{ Ampers}$$

Tomamos como ejemplo el valor de 1.25 para efectos de calculo si la falla se realizo en 6 ciclos.

Paso 4. Calculo de la resistividad del terreno. Para llegar a este valor, es importante realizar las mediciones de la resistencia del terreno, que lo más recomendable es utilizar un terrómetro de cuatro terminales, en caso de que no se cuente con dicho aparato, se puede efectuar la medición con un instrumento de

tres terminales. Aplicando en este caso la fórmula correspondiente a la resistividad del terreno por el método de las tres terminales

$$\rho = \frac{2 \pi r L}{2.943 L \ln \frac{L}{d}}$$

de la formula anterior, se tiene que:

- ρ Ohms – metro
- r resistencia del terreno medida 120 Ohms
- L profundidad a la que se entierre el electrodo de prueba
- d diámetro del electrodo de prueba 0.0158 m

$$\rho = \frac{2 \pi (120) (0.6)}{2.943 (0.6) \ln \frac{0.6}{0.0158}}$$

Paso 5. Calculo del calibre del conductor. Para determinar el calibre del conductor que será utilizado en la red de tierras, utilizaremos la ecuación de Onderdonk:

$$A = \frac{I}{\sqrt{\frac{\log_{10} \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1}{33 t}}}$$

en donde:

- I es la corriente de falla en Ampers = 1546.25
- A es la sección del conductor en Circular Mil
- Tm Temperatura máxima admisible en °C
250 °C para conectores mecánicos
450 °C para conectores soldables
- Ta Temperatura ambiente = 30 °C
- t Tiempo de duración de la falla en segundos = 0.1 (6 ciclos)

$$A = \frac{I}{\sqrt{\frac{Tm - Ta}{\text{Log } 10 \frac{234 + Ta}{33 t} + 1}}} = \frac{1546.25}{\sqrt{\frac{250 - 30}{\text{Log } 10 \frac{234 + 30}{33 (0.1)} + 1}}}$$

A = 5474.7 Circular Mil (se utilizaría un conductor cai. No 12 establecido por tablas, donde se indica el área transversal del conductor en la NOM.)

Paso 6 Cálculo de la longitud del conductor. Aplicando la fórmula correspondiente tendremos que:

$$L = \frac{Km \quad Ki \quad \rho \sqrt{icc} \quad t}{116 + 0.117 \quad ps}$$

en donde :

L Longitud del conductor enterrado

Km Factor que depende del número de conductores en paralelo n, su espaciamiento D, su diámetro d y la profundidad h a la que esta enterrado

Ki Factor de corrección por irregularidades de flujo de corriente a tierra.

ρ Resistividad del terreno = 95. 92 Ohms – metro

Icc Corriente de falla ajustada = 1546.25 Ampers

t tiempo de duración de la falla = 0.1 segundos

ρ_s Resistividad de la superficie del terreno = 3500 Ohms-metro

Calculando Km con la fórmula correspondiente :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{D^2}{16hd} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \dots n \right)$$

como se trata de un área de 6 x 10 metros, se propone un arreglo con el conductor

espaciado a cada 2 metros, por lo que se tiene que:

D espaciamiento entre conductores = 2 metros

d diámetro del conductor calibre No. 4 / 0 = 11.684 mm (0.011684

h profundidad de enterramiento = 0. 50 m

n número de conductores en paralelo = 4 – 2 = 2

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left[\frac{(2)^2}{16 (0.5) (0.011684) 4} \right] + \frac{1}{\pi} \ln \left[\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \right]$$

$$K_m = 0.4482$$

Calculando K_i :

$$K_i = 0.650 + 0.172 n$$

$$K_i = 0.650 + 0.172 (7)$$

$$K_i = 1.85$$

Por lo que la longitud del cable será:

$$L = \frac{(0.4482) (1.85) (95.92) (1546.25) \sqrt{0.1}}{116 + 0.117 (3500)}$$

$$L = 74 \text{ m}$$

Con esa longitud de conductor, se mantendrá una tensión de malla dentro de los límites de seguridad.

La longitud de la malla en este caso sería la siguiente:

4	varillas de 3.05 m	12.2 m
4	tramos de 6 m	24.0 m
6	tramos de 10 m	60.0 m
	total	96.2 m

Paso 7. Calculando ahora el potencial de contacto de la malla:

$$V_c = K_m K_i \rho_s \frac{I_{cc}}{L}$$

$$V_c = (0.4482) (1.85) (95.92) \frac{1546.25}{96.2}$$

$$V_c = 1278.37 \text{ Volts}$$

Comparando éste valor con el potencial de contacto permisible para el cuerpo humano:

$$V_{ch} = \frac{165 + 0.25 \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$V_{ch} = \frac{165 + 0.25 (3500)}{\sqrt{0.1}} = 3288.76 \text{ Volts.}$$

Por lo tanto, la red de tierras es segura ya que la tensión del cuerpo humano toleraría en caso de presentarse dicho potencial es mayor que la de malla.

Paso 8. Calculando el potencial de paso. Aplicando la formula:

$$V_p = K_s K_i \frac{I_{cc}}{L}$$

En donde el coeficiente Ks involucra h, D, y d ya definidos en la siguiente fórmula:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots \right)$$

sustituyendo valores:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 \times 0.5} + \frac{1}{2 + 0.5} + \frac{1}{2 \times 2} + \frac{1}{3 \times 2} \right)$$

$$K_s = 0.5782$$

Por lo tanto:

$$V_p = (0.5782) (1.85) (95.92) \frac{1546.25}{96.2}$$

$$V_p = 1649.16 \text{ Volts}$$

Nuevamente comparando este valor con el valor de tensión de paso tolerable por el cuerpo humano:

$$V_p = \frac{165 + \rho s}{\sqrt{t}}$$

$$V_p = \frac{165 + 3500}{\sqrt{0.1}} = 11,589.7 \text{ Volts}$$

Paso 9. Calculo de la resistencia de la red : Aplicando la fórmula de Laurent y Niewman:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

donde:

r radio equivalente de un círculo que tenga la misma área que la malla.

L Longitud total del conductor enterrado = 96.2 m

ρ Resistividad del terreno = 95.92 Ohms - metro

Calculando $r = \pi r^2$, $r = 4.37$ m

$$R = \frac{95.92}{4(4.370)} + \frac{95.92}{96.20} = 6.484 \text{ Ohms}$$

Paso 10 . Calculo del potencial de transferencia. Es el máximo aumento del potencial en la malla con respecto a tierra de un punto remoto y se calcula como:

$$V = R I_{cc}$$

donde:

V	potencial máximo al que llega la red respecto a tierra
R	resistencia de la red en Ohms
I _{cc}	corriente de circuito corto

$$V = 6.484 \times 1546.25 = 10,025.88 \text{ Volts}$$

Por lo que el arreglo físico de la red de tierras para el área de la subestación quedará como se muestra en la figura 3.2 (1) siguiente:

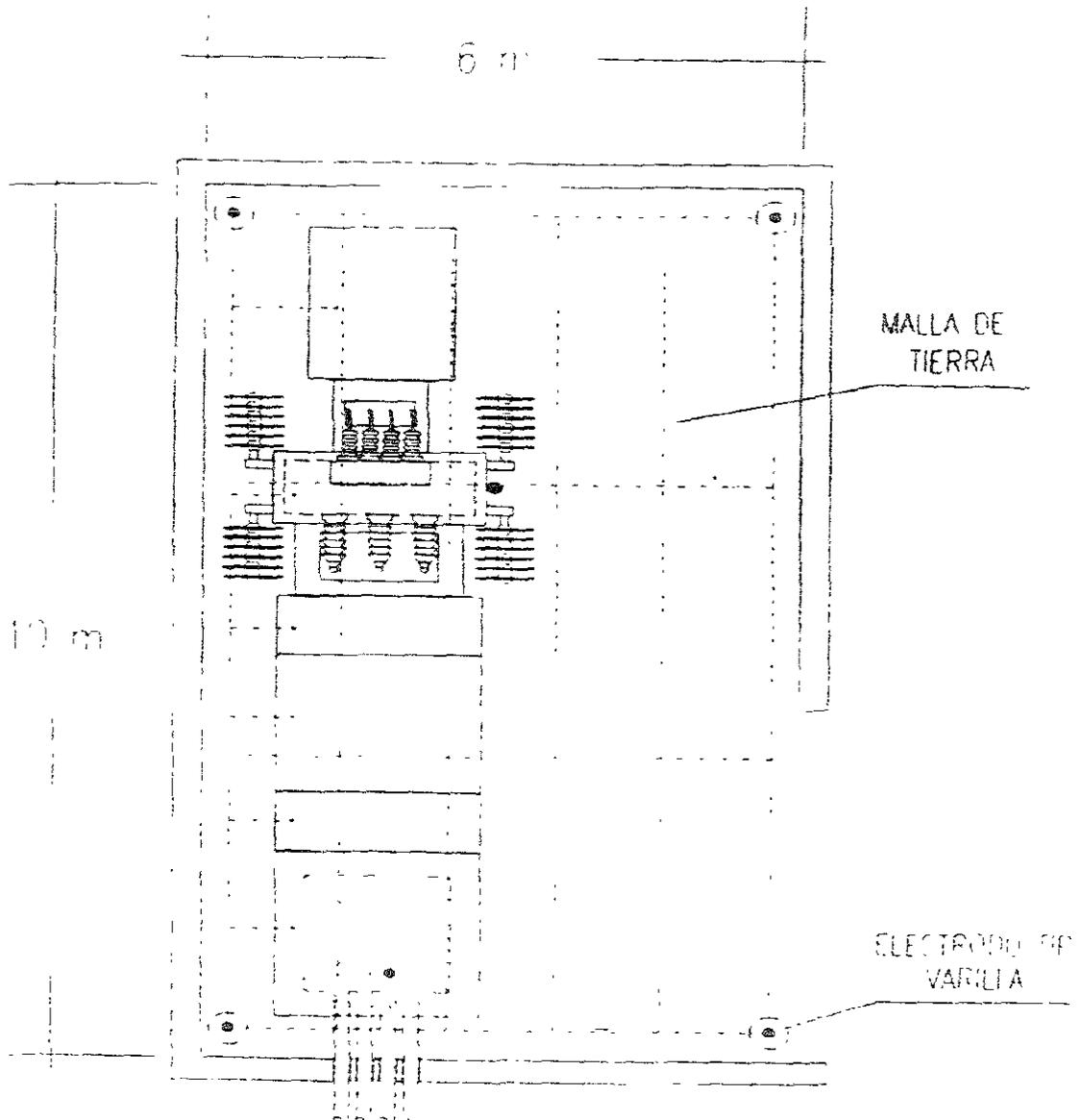


FIGURA 3.2 (1) EJEMPLO DE SISTEMA DE TIERRAS EN UNA SUBESTACIÓN.

3.3 EJEMPLOS DE CALCULO.

A continuación se presentarán ejemplos resueltos en una forma clara y precisa de cómo se calcula una red de tierras enfocados a los sistemas que requieren una puesta a tierra de equipo sensible.

Para llegar a tener un buen sistema de tierras tenemos que tomar en cuenta todas las variables y características que influirán sobre el sistema como se ha mencionado repetidamente en los capítulos anteriores y por lo cual se presentaran ejemplos diversos sobre diferentes situaciones favorables y adversas donde se construirá un sistema de tierras que nos llevara a presentar otras opciones de cálculos y nos ampliara el conocimiento y comprensión de la importancia de un sistema de tierras con un alto porcentaje de protección para los equipos que lo requieran y sobre todo como una seguridad ante nuestra persona de poder estar en el área y operar los equipos o maquinaria con plena confianza.

A continuación se presentan algunos ejemplos resueltos que muestran una forma clara como se calcula:

- El suelo como un conductor de la electricidad.
- Los Potenciales peligrosos.
- El Electrodo de puesta a tierra.
- y el Diseño de un sistema de tierra.

3.3.1 EL SUELO COMO UN CONDUCTOR DE LA ELECTRICIDAD.

1.- En un terreno en el cual se construirá una subestación de potencia se tomaron las siguientes mediciones de resistividad.

a) Se escogió método de Wanner o de los cuatro electrodos de 50 cm. De profundidad con una separación de en línea recta de 10 m. Dando las lecturas siguientes:

Datos

$$R1 = 1.4$$

$$R2 = 1.7$$

$$R3 = 1.2$$

$$R4 = 1.9$$

Se pide calcular la resistividad promedio.

$$b = \text{Profundidad} = 50 \text{ cm.}$$

$$a = \text{Separación de Electrodo} = 10 \text{ m.}$$

Solución

Como "a es mucho mayor que b" escogemos la siguiente fórmula

$$@ = 2 * a * R$$

$$@ = 2 * 10 * 1.4 = 88$$

$$@ = 2 * 10 * 1.7 = 107$$

$$@ = 2 * 10 * 1.2 = 75$$

$$@ = 2 * 10 * 1.9 = 119$$

Total	389

b) En un terreno que se va a construir una subestación de mediana tensión con terreno limitado de 8*10 m se tomaron las siguientes mediciones por el método de Wenner o de los 4 electrodos.

Colocando 4 varillas en línea recta a una profundidad de 40 cm con una separación de 30 metros, dando las lecturas siguientes:

$$R1 = 6.4$$

$$R2 = 7.3$$

$$R3 = 6.9$$

Se pide calcular la resistividad promedio.

Respuesta:

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$a = 3 \text{ m}$$

Como "a" no es mucho mayor que "b" se usara la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{4(3.1416) aR}{1 + \frac{(2a)}{\sqrt{(a + 4b)}} - \frac{a}{\sqrt{(a + b)}}$$

Sustituyendo:

$$\rho = \frac{4 * 3.14 * 3 * R}{1 + \frac{2 * 3}{\sqrt{(3 + 4(0.4))}} - \frac{3}{\sqrt{(3 + 0.4)}}$$

$$4 * 3.14 * 3 * R$$

$$\textcircled{=} = \frac{\text{-----}}{1 + 6/3.10 - 3/3}$$

$$\textcircled{=} = 19.8 * R$$

$$\textcircled{=} = 19.8 * 6.4 = 126.7$$

$$\textcircled{=} = 19.8 * 7.3 = 144.5$$

$$\textcircled{=} = 19.8 * 6.9 = 136.6$$

SUM 407.8

407.8

$$\textcircled{=} = \frac{\text{-----}}{3} = 136 \text{ ohms - metro}$$

c) Se va a construir una red de tierras para una subestación y se desea conocer la resistividad de dicho terreno para diseñarla en forma adecuada.

Se empleo el método de Lee con 5 electrodos, que se clavaron en línea recta a una profundidad de 40 cm y una separación "a" de 10 m. , los valores obtenidos fueron:

lect 1 : R = 2.6

R = 2.9

lect 2 : R = 2.4

R = 2.7

lect 3 : R = 2.1

R = 2.8

Respuesta:

$$@ = 4 \quad aR = 327 \text{ Ohms - metro}$$

$$@ = 4 \quad aR = 364 \text{ Ohms - metro}$$

$$@ = 4 \quad aR = 301 \text{ Ohms - metro}$$

$$@ = 4 \quad aR = 339 \text{ Ohms - metro}$$

$$@ = 4 \quad aR = 264 \text{ Ohms - metro}$$

$$@ = 4 \quad aR = 352 \text{ Ohms - metro}$$

$$\text{SUM } @ = 1947$$

$$\text{SUM } @ / 6 = 326 \text{ Ohms - metro}$$

$$\text{Resultado} = 326 \text{ Ohms - metro}$$

d) En un terreno en el cual se construirá una subestación de potencia se tomaron medidas de resistividad para el diseño de la red de tierras.

Se empleó el método del electrodo central, con los siguientes datos, profundidad de los electrodos 40 cm, distancia $a = 6$ m y $b = 4$ m. de las lecturas de resistencia fueron:

$$R = 3.6$$

$$R = 4.3$$

$$R = 3.7$$

$$R = 4.0$$

Se pide calcular la resistencia promedio.

Solución:

La formula es :

$$R = \frac{2 a (a+b) R}{b}$$

$$R = \frac{2 * 3.14 * 6 (6+4) * R}{4}$$

$$R = 94.2 * R$$

$$R = 339 \text{ ohms - metro}$$

$$R = 405 \text{ ohms - metro}$$

$$R = 348 \text{ ohms - metro}$$

$$R = 377 \text{ ohms - metro}$$

$$\text{SUM}R = 339 + 405 + 348 + 377 = 1469$$

$$R_{\text{prom}} = 1469/4 = 367 \text{ ohms - metro}$$

3.3.2 POTENCIALES PELIGROSOS.

a) Un trabajador se encuentra en una subestación de potencia donde la tensión máxima que se presenta en el momento de una falla, es de 3000 volts, esta dando mantenimiento a un tablero y está tocando la estructura en el momento que ocurre una falla de tierra.

El piso de la subestación donde se encuentra de pie es de grava con una resistividad de 3000 ohms-metro, opera la protección, abriendo el interruptor, en 1/2 segundo, desde que se inicia la falla hasta que se libera la corriente de

cortocircuito, el trabajador es de complejión robusta y pesa aproximadamente 70 kg.

La pregunta es, si el trabajador se daña al recibir una tensión de toque.

Respuesta:

$$Z = 3000 \text{ ohms-metro.}$$

$$T = 0.5 \text{ seg.}$$

La fórmula que empleará para calcular el potencial de toque máximo que soporta es:

$$P = \frac{157 + 0.240}{\sqrt{t}}$$

$$P = \frac{157 + 0.24 (3000)}{\sqrt{0.50}} = \frac{877}{.70} = 1253 \text{ volts.}$$

El trabajador es dañado ya que el voltaje máximo que soporta en el momento de la falla es de 1253 volts y el voltaje que se presenta es de 3000 volts.

b) Un niño por accidente inserta un tenedor metálico en un contacto de su casa con tensión de 127 vols. El piso donde se encuentra el niño tiene alfombra.

Se desea conocer si el niño sufre un accidente o solo un susto, el niño al sentir la corriente por su cuerpo retira el tenedor y el fusible de la protección no opera, el tiempo de exposición es de un segundo aproximadamente.

Respuesta:

@ = 5000 ohm-m (alfombra)

t = 1 seg.

La formula que usaremos será la de peso mínimo, en este caso es de 50 kg.

$$P = \frac{157 + 17@}{\sqrt{t}}$$

$$P = \frac{157 + 17 (5000)}{\sqrt{1}}$$

$$P = 1007 \text{ volts}$$

El voltaje que reporta es de 1007 volts por lo tanto, el niño solo sufre un susto.

c) Una mujer de 50 kg aroximadamente se encuentra bañándose y tiene una regadera eléctrica, por accidente la regadera tiene una conexión de fase a tierra y no opera la protección porque la tubería no esta aterrizada, la mujer toca la regadera en la parte metálica y sufre una descarga de 127 volts durante 3 segundos. Se desea conocer si el accidente es mortal o no.

Solución:

@s = 10 ohms-metro (suelo mojado)

t = 3 seg.

V = 127 volts. (voltaje presente)

La formula es:

$$P = \frac{116 + 0.17@s}{\sqrt{t}}$$

$$P = \frac{116 + 0.17(10)}{\sqrt{3}}$$

$$P = \frac{117.7}{1.732} = 68 \text{ volts}$$

Es decir con 68 volts se puede electrocutar, por lo tanto, la persona sufre un accidente mortal.

d) Una persona camina cerca de una torre de transmisión sin tocarla, en el momento en que ocurre una falla a tierra a través de la estructura, ésta persona tiene un peso de 70 kg aproximadamente.

El suelo está seco y se quiere conocerse el potencial que soporta antes de engarrotarse y caer al piso, la falla dura medio segundo, ya que opera la protección de la línea.

Resultado:

@s = 1000 ohms-metro. (suelo seco)

t = 0.5 seg. (potencial de paso)

La fórmula es:

$$P_p = \frac{157 + @s}{\sqrt{t}}$$

$$P_p = \frac{157 + 1000}{\sqrt{0.5}} = 1653 \text{ volts.}$$

En donde Pp es potencial de paso

e) Una persona delgada de aproximadamente 50 kg camina cerca de una subestación de potencia, en el camino en que ocurre una falla, ésta tiene un tiempo de ocurrencia de medio segundo ya que opera la protección, y el suelo es de grava.

¿Qué potencial de paso soporta esta persona?

Solución:

t = 0.5 seg

@s = 3000 ohms-metro (resistividad de la grava)

Peso = 50 kg

La formula es :

$$P_p = \frac{116 + 0.7 @s}{\sqrt{t}}$$

$$P_p = \frac{116 + 0.7 (3000)}{\sqrt{0.5}}$$

$$P_p = 3166 \text{ volts}$$

La persona soporta 3166 volts, si el voltaje en ese punto es menor, no sufrirá daño, si es mayor se le engarrotarán las piernas, pudiendo caer al suelo y se presenta un recierre, queda expuesto a corrientes que pueden circular por su corazón.

3.3.3. ELECTRODO PUESTO A TIERRA Y RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

a) Se desea conocer la resistencia a tierra de un electrodo de 3 metros de longitud y un diámetro de 5/8 pulgadas en un terreno que tiene una resistividad de 100 ohms metro.

DATOS

$$L = 3 \text{ m.}$$

$$@ = 100 \text{ Ohm-m.}$$

$$d = 5/8 \text{ " } = 0.0158 \text{ m.}$$

$$R = ?$$

FORMULA

$$R = \frac{\rho @}{2 * (3.1416) * 3} \ln \frac{4L}{d}$$

SUSTITUCION

$$R = \frac{100}{2 * (3.1416) * 3} \ln \frac{4 * 3}{5/8} = \frac{100}{6 * (3.14)} \ln \frac{12}{.0158}$$

$$R = 5.32 \ln 759$$

$$R = 35 \text{ Ohms}$$

Este ejemplo ilustra que, si tenemos una varilla de tierra normal de Copper-weld de 3 metros de longitud y 5/8 de pulgada de diámetro, en un terreno de resistividad de 100 Ohms - m (terreno de cultivo) tendremos un valor de resistencia a tierra de 35 m en dicho electrodo.

b) Tenemos enterrado un conductor de tierra de cobre desnudo calibre 4/0 con una longitud de 100 m. a una profundidad de 50 cm. y deseamos saber el valor de la resistencia a tierra si sabemos que la resistividad del terreno es de 100 Ohms - metro.

DATOS

$$L = 100 \text{ m.}$$

$$\rho = 100 \text{ Ohms - m.}$$

Calibre 4/0

$$\text{Radio} = 0.006 \text{ m} = a$$

Profundidad = 50 cm.

FORMULA

$$R = \frac{\rho}{4 \cdot (3.1416) \cdot L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{a} - 2 \right)$$

$$R = \frac{100}{4 \cdot 3.1416 \cdot 50} \left(\ln \frac{4 \cdot 50}{.006} + \ln \frac{4 \cdot 50}{1} - 2 \right)$$

$$R = \frac{1}{6.28} (10.4 + 5.3 - 2)$$

$$R = 2.18 \text{ Ohms.}$$

c) En un fraccionamiento en construcción denominado "jardines de la montaña" ubicado en el sur de la Ciudad de México, con terreno compuesto por roca. Se desea tener una resistencia a tierra menor de 5 Ohm. El costo por electrodo profundo es demasiado alto por lo que se quiere instalar un electrodo horizontal, colocando solo electrodos profundos en las bajadas de los apartarrayos en cada una de las cuatro acometidas. La alimentación esta dada por dos anillos con cables subterráneos y se desea poner a tierra el neutro y la carcasa de todos los transformadores.

Si se aprovecha la canalización de alta tensión que tiene 11,500 m de longitud con un radio aproximado de 1 Km. Cual seria la resistencia.

SOLUCION

Aplicando la formula de Laurent y Niemman.

$$R = \frac{R}{4 \cdot r} + \frac{R}{L}$$

DATOS

$$R = \text{Roca} = 5,700$$

$$r = 1 \text{ Km} = 1,00 \text{ m}$$

$$L = 11,500 \text{ m}$$

SUSTITUCION

$$R = \frac{5,700}{4 \cdot 1,000} + \frac{5,700}{11,500}$$

$$R = 1.425 + 0.49 = 1.92 \text{ Ohms.}$$

d) En un conjunto habitacional en el sur de la ciudad de México "Fuentes brotantes", con terreno compuesto por roca, tepetate y relleno se desea construir un sistema de tierras con un valor de resistencia de 10 Ohms máximos, se desea aprovechar la canalización del cable de mediana tensión para colocar el cable de tierra (electrodo horizontal) la longitud de 1660 m y se tiene 11 transformadores tipo pedestal de 23 Kv a baja tensión, el cable seria de cable desnudo cobre 4/0 AWG a una profundidad de 50 cm.

Se emplea la formula de Dwight.

$$R = \frac{\textcircled{a}}{4 \cdot 3.1416 \cdot L} \left(\ln \frac{4 \cdot L}{a} + \ln \frac{4 \cdot L}{a} - 2 \right)$$

DATOS

\textcircled{a} = Resistividad = 5,700 Ohms – metro

L = Longitud del conductor entre 2

a = Diámetro del conductor = 0.006 m

S = Profundidad por 2 = 1 m

DESARROLLO

$$L = \frac{1,660}{2} = 830 \text{ m}$$

$$R = \frac{5,700}{4 \cdot 3.1416 \cdot 830} \left(\ln \frac{4 \cdot 830}{0.006} + \ln \frac{4 \cdot 830}{1.0} - 2 \right)$$

$$R = 10.6 \text{ Ohms}$$

En los puntos de transición aéreo subterráneo se colocaron a las bajadas de los apartarrayos electrodos con bentonita para drenar las sobre tensiones directamente a tierra.

a) Se requiere una conexión de tierra física con un valor de resistencia a tierra de 25 Ohms máximas, el terreno es húmedo y el nivel freático es elevado, es decir a 2 mts de profundidad hay agua.

La medición de resistividad dio el siguiente resultado:

$$@ = 20 \text{ Ohms - metro.}$$

SOLUCION

Si colocamos una varilla Copper – weld de 3 metros, y un diámetro de ½" (1.27cm). Tendremos la formula:

$$R = \frac{@}{2 \cdot 3.1416 \cdot L} \left(\ln \frac{4 \cdot L}{d} \right)$$

SUSTITUCION

$$R = \frac{20}{2 \cdot 3.1416 \cdot 3} \ln \frac{4 \cdot 3}{0.0127}$$

$$R = 1.06 \cdot 6.85 = 7 \text{ Ohms}$$

El resultado fue satisfactorio.

b) Se requiere diseñar la red de tierras en un edificio ubicado en el sur de la ciudad de México, pero se necesita tener un valor de resistencia a tierra de 1 Ohm ya que el edificio tiene una red de computadoras así como un conmutador telefónico y las compañías de seguros exigen este valor.

SOLUCION

Como primer paso se efectuó una visita al lugar encontrando que el terreno es rocoso en un 100% por lo que la resistividad será:

$$\rho = 5,700 \text{ Ohms} - \text{metro.}$$

La ubicación del edificio se encuentra con tres posibles alimentaciones de las siguientes subestaciones.

Odon de Buen a 3.0 Km

Contreras a 4.0 Km

Nueva Olivar a 6.2 Km.

Se calcula la corriente de corto circuito por cualquier método o consultando los datos de la compañía suministradora.

SE'n	Icc a Tierra
Odon de Buen	2770 a
Nueva Olivar	1404 a
Contreras	2224 a

Se considera un factor de crecimiento para este caso 50% y se escoge la situación mas desfavorable de corto circuito.

$$2770 * 1.5 = 4155 \text{ Amperes.}$$

Se estudiaron las siguientes métodos de puesta a tierra:

Electrodos Profundos.

Electrodos Horizontales.

Electrodos Múltiples.

Electrodos Químicos.

Combinados.

Escogiendo el método de los electrodos profundos. Se procede a calcular los potenciales de paso y toque.

$$E_{\text{paso}} = 4261 \text{ Volts}$$

$$E_{\text{toque}} = 1234 \text{ Volts}$$

Estos son los potenciales que soporta el ser humano en las condiciones más desfavorables de falla en la subestación de mediana tensión.

La tensión máxima que se presenta en la SE'n de mediana tensión en el momento de una falla de corto circuito a tierra es la elevación de potencial de la malla:

$$E_{\text{malla}} = @ \text{ Km Ki } I_t$$

Donde

$$@ = \text{Resistividad del terreno } 5700 \text{ Ohms - metro.}$$

$$L = \text{Longitud del conductor de la malla en metros}$$

$$I_t = 4155 \text{ Amperes.}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot 3.14} \left(\ln \left(\frac{D^2}{16 \cdot H_d} + \frac{(D+2h)^2}{8 D d} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{11}}{K_h} \ln \frac{8}{3.14 (2n-1)} \right)$$

$$K_{11} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \text{ (no hay electrodos)}$$

$$K_h = 1 + \frac{h}{H_o}$$

ho = Referencia de la profundidad de la malla.

D = Espacio entre conductores paralelos en metros. = 2m.

h = Profundidad de la malla en metros = 0.5 m.

n = Numero de conductores paralelos en una dirección (5).

d = Diámetro del conductor = 4/0 = 0.013 m.

L = 64.5 metros.

$$K_{11} = \frac{1}{10^{2/5}} = 0.4$$

$$K_n = \sqrt{1 + 0.5} = 1.22$$

K11

$$\text{-----} = 0.33$$

Kn

$$K_m = \frac{1}{6.28} \left(\ln \left(\frac{4}{16 * 0.5 * 0.013} + \frac{(2 + 1)^2}{8 * 2 * 0.013} \right) \right)$$

$$- \frac{0.5}{4 * 0.013} \left) 0.32 \ln \frac{8}{3.14 * (10 - 1)} \right)$$

$$K_m = 0.6146$$

$$K1 = 0.65 + 0.172 \text{ m}$$

$$K1 = 1.51$$

5289

$$E_{\text{malla}} = \frac{5289}{64.5} * 4.155 = 34071 \text{ volts}$$

$$E_{\text{malla}} = 23 \text{ Kv (voltaje de la fuente)}$$

De aquí vemos que el voltaje de malla es muy elevado por lo que recurrimos al diagrama de la sección 4.8

$$V_{\text{malla}} = I_t \cdot R_t$$

Si V_{malla} menor o igual a V_{toque} .

3.3.4 RED DE TIERRAS PARA EQUIPOS DE COMPUTACION Y COMUNICACIÓN.

Se requiere diseñar la red de tierras en un edificio ubicado en el sur de la ciudad de México, pero se necesita tener un valor de resistencia a tierra de 1 Ohm ya que el edificio tiene una red de computadoras así como un conmutador telefónico y las compañías de seguros exigen éste valor.

SOLUCION.

Como primer paso se efectuó una visita al lugar encontrando que el terreno es rocoso en un 100% por lo que la resistividad será:

$$\rho = 5700 \text{ Ohms} - \text{m}$$

La ubicación del edificio se encuentra en tres posibles alimentaciones de las siguientes subestaciones.

Odón de buen	a	3.0 km
Contreras	a	4.0 km
Nueva olivar	a	6.2 km

Se calcula la corriente de corto circuito por cualquier método o consultando los datos de la compañía suministradora.

SE' n	Icc a Tierra
Odón de buen	2770 A
Nueva Olivar	1404 A
Contreras	2224 A

Se considera un factor de crecimiento para éste caso del 50 % y se escoge la situación más desfavorable de cortocircuito.

$$IT = 2770 * 1.5 = 4155 \text{ Ampers}$$

Se estudiaron los siguientes métodos de puesta a tierra :

- Electrodos profundos
- Electrodos Horizontales
- Electrodos Múltiples
- Electrodos Químicos
- Combinados.

Escogiendo el método de electrodos profundos, se procede a calcular los potenciales de paso y toque.

$$E \text{ paso} = 4261 \text{ volts}$$

El potencial de Toque.

$$E \text{ Toque} = 1234 \text{ volts.}$$

Estos son los potenciales que soporta el ser humano en las condiciones más desfavorables de falla en la subestación de mediana tensión.

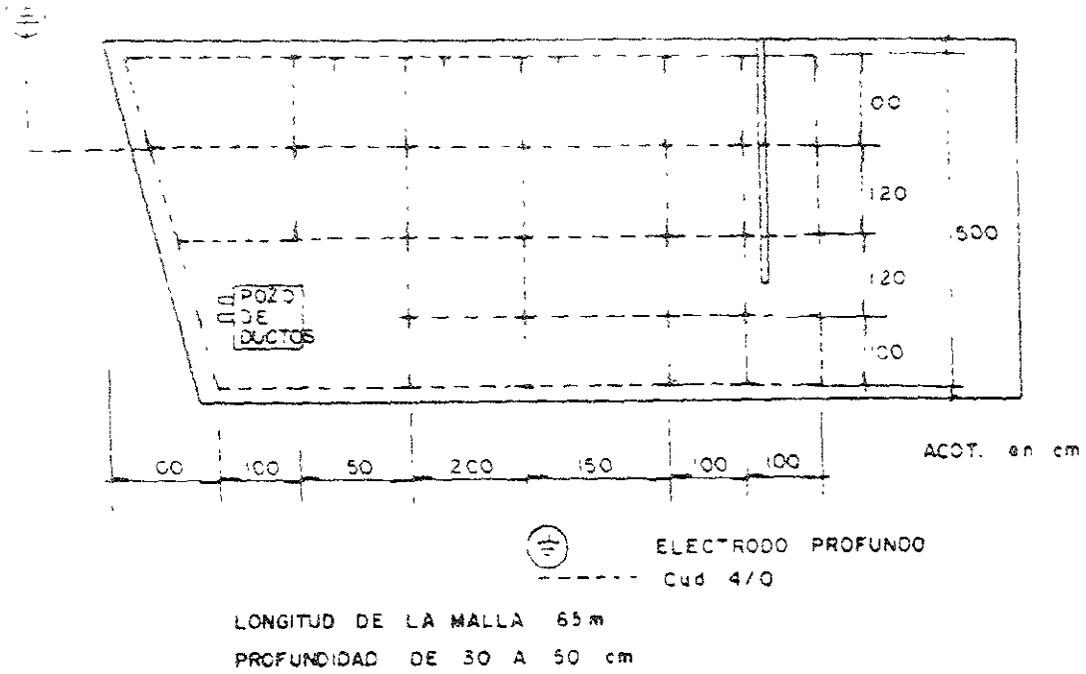


FIGURA 3.3.4 (1) SUBESTACIÓN DE MEDIANA TENSIÓN

La tensión máxima que se presenta en la S.E. de mediana tensión (figura 3.3.4 (1)) en el momento de una falla de corto circuito a tierra es la elevación de potencial de la malla:

$$E_{\text{malla}} = \rho K_m K_i I_T / L$$

Donde:

ρ = Resistividad del terreno 5 700 Ohms - m

L = Longitud del conductor de la malla en metros

I_T = 4 155 Ampers.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16 h D} + \frac{(D+2h)^2}{8 D d} - \frac{h}{4 d} \right) + \frac{K_{11}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi (2n-1)} \right]$$

$$K_{11} = \frac{1}{(2n)^2/n} \quad (\text{no hay electrodos})$$

$$K_h = 1 + \frac{h}{h_0}$$

h_0 = Referencia de profundidad de la malla.

D = Espacio entre conductores paralelos en metros = 2m

h = Profundidad de la malla en metros = 0.5 m

n = Numero de conductores paralelos en una dirección (5)

d = Diámetro del conductor = 4 / 0 = 0.013 m

L = 64.5 m

$$K_{11} = \frac{1}{10(2/5)} = 0.4$$

$$K_h = \sqrt{1 + 0.5} = 1.22$$

$$\frac{K_{11}}{K_h} = 0.33$$

$$K_m = \frac{1}{6.28} \left[\ln \left[\frac{4}{16 * 0.5 * 0.013} + \frac{(2+1)^2}{8 * 2 * 0.013} - \frac{0.5}{4 * 0.013} \right] \right]$$

$$0.32 \text{ Ln } \frac{8}{\pi * (10 - 1)}$$

$$K_m = 0.6146$$

$$K_i = 0.65 + 0.172 \text{ m}$$

$$K_i = 1.51$$

$$E_{\text{malla}} = \rho K_m K_i I_T / L$$

$$E_{\text{malla}} = (5700)(0.6146)(1.51)(4155) / (64.5)$$

$$E_{\text{malla}} = 340\,765 \text{ volts} = 340 \text{ kv}$$

$$E_{\text{malla}} = 23 \text{ kv (voltaje de la fuente)}$$

De aquí vemos que el voltaje de malla es muy elevado por lo que tendremos lo siguiente:

$$E_{\text{malla}} = I_T * R_T$$

Si el voltaje de malla E_{malla} es igual o menor al voltaje de toque E_{toque} la red de tierras será segura.

$$E_{\text{toque}} = E_{\text{malla}} = 1234 \text{ volts}$$

$$RT = \frac{E \text{ malla}}{I_{cc}} = \frac{1234}{4155} = 0.29 \text{ Ohms}$$

Si llevamos la resistencia a tierra a 0.29 Ohms, el voltaje máximo que se presenta durante una falla o sea el voltaje de malla será menor que el voltaje de toque la red de tierras será aceptable de lo contrario puede dañar al personal que labora en la SE'n.

Esto se puede lograr ya que el método que se escogió fue el de los electrodos profundos. Es decir se efectúa la perforación hasta obtener una resistencia a tierra de 0.29 Ohms.

3.3.5 RED DE TIERRA DE SUBESTACIONES INDUSTRIALES DE MEDIANA TENSIÓN.

EJEMPLO.

Se desea construir una red de tierras de una subestación de mediana tensión (23kv) en una nave industrial y las dimensiones del local son de 5 * 10 m, la resistividad del terreno es de 20 Ohms – m y la corriente de corto circuito es de 1500 Ampers. Ya considerando un factor de crecimiento y la protección opera en medio segundo.

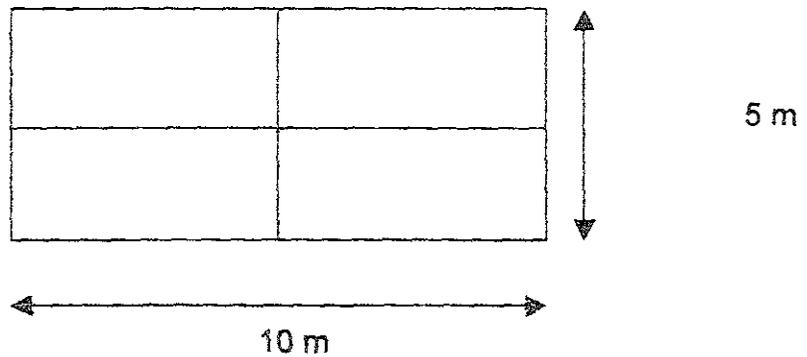
SOLUCION.

Datos:

$$\rho = 20 \text{ Ohms – m}$$

$$I_{cc} = 1500 \text{ Ampers}$$

Procedemos a efectuar un diseño simple.



Calculamos los voltajes tolerables de paso y toque, si la subestación tiene una tarima de madera cuya resistividad es de 3000 Ohms – m.

$$\text{Potencial de toque a 70 Kg} = \frac{116 + 0.17 \rho}{\sqrt{t}}$$

$$\text{Potencial de toque a 50 Kg} = \frac{157 + 0.24 \rho}{\sqrt{t}}$$

$$\text{Potencia de paso a 50 Kg} = \frac{116 + 0.7 \rho}{\sqrt{t}}$$

$$\text{Potencial de paso a 70 Kg} = \frac{157 + \rho}{\sqrt{t}}$$

$$PT50kg = \frac{116 + 0.17 (3000)}{\sqrt{0.5}} = \frac{626}{0.7} = 894 \text{ Volts}$$

$$PT70kg = \frac{157 + 0.024 (3000)}{\sqrt{0.5}} = 1240 \text{ Volts}$$

$$Pp50kg = \frac{157 + 0.7 (3000)}{\sqrt{0.5}} = 3192 \text{ Volts}$$

$$Pp70kg = \frac{157 + 3000}{\sqrt{0.5}} = 4464 \text{ Volts}$$

Efectuamos un cálculo de la resistencia a tierra de la red de tierras por la fórmula general:

$$R = \frac{\rho}{2 \pi L} \ln \frac{4 L}{d}$$

$$\rho = 20 \text{ Ohms} - \text{m}$$

$$L = 45 \text{ (cable)} + \text{ (varillas)} = 57 \text{ m}$$

$$d = 0.013 \text{ m (cable 4 / 0)}$$

$$R = \frac{20}{2 * 3.14 * 57} \text{ Ln } \frac{4 * 57}{0.013}$$

$$R = 0.05587 * 9.77 = 0.5459$$

Recurriendo al diagrama de flujo del procedimiento de diseño tomamos el potencial de toque más desfavorable:

$$\text{IRT} \leq E / \text{toque}$$

$$1500 * 0.54 \leq 894$$

$$810 \leq 894$$

El diseño es correcto.

Ejemplo.

El mismo diseño de la red de tierras del ejemplo anterior pero con una resistividad de 50 Ohms – m.

Datos:

$$\rho = 50 \text{ Ohms – m}$$

$$L = 57 \text{ m}$$

$$I_{cc} = 1500 \text{ Amperes}$$

$$d = 0.013 \text{ m (4 / 0)}$$

$$E_{\text{toque}} = 894 \text{ volts}$$

Solución:

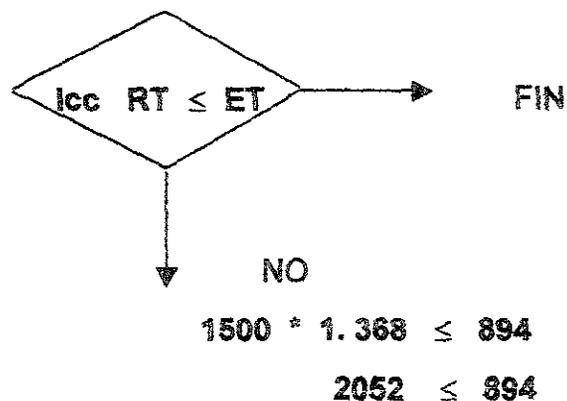
$$R = \frac{\rho}{2 L} \ln \frac{4 L}{d}$$

$$R = \frac{50}{6.28 * 57} \ln \frac{4 * 57}{0.013}$$

$$R = 0.14 \ln 17538$$

$$R = 1.368 \text{ Ohms}$$

Del diagrama



Como la respuesta es no, procedemos a efectuar los cálculos siguientes:

$$E_m = \rho K_m * K_i * I_{cc} / L$$

$$E_p = \rho K_p * K_i * I_{cc} / L$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \text{Ln} \left[\frac{D^2}{16hd} + \left[\frac{(D+2h)^2}{8Dd} + \frac{h}{4d} + \frac{K_{11}}{K_h} \right] \text{Ln} \frac{8}{(2n-1)} \right]$$

$K_{11} = 1$ (con electrodos en las esquinas)

$$K_h = \sqrt{1 + h/h_0}$$

$h = 0.5$ m (profundidad de la malla)

$h_0 = 1$

$K_h = 1.22$

$$D = 5$$

$$K_m = \frac{1}{6.28} \text{Ln} \left[\frac{25}{16 * 0.5 * 0.013} + \frac{(5+1)^2}{8 * 5 * 0.013} + \frac{0.5}{4 * 0.013} \right]$$

$$+ \text{Ln} \frac{8}{(2 * 3 - 1)}$$

$$K_m = 0.016 \quad \text{Ln} (240 + 69 - 9.6) + 0.55$$

$$K_m = 0.824$$

$$K_i = 0.656 + 0.172 n$$

$$K_i = 0.656 + 0.172 (3)$$

$$K_i = 1.172$$

$$E_m = 50 * 0 - 0.824 * 1.172 * 1500 / 57$$

$$E_m = 1270 \text{ Volts}$$

$$K_p = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} + w \right]$$

$$w = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$K_p = \frac{1}{3.14} \left[1 + \frac{1}{5.5} + \frac{0.5}{5} \right] = 0.4$$

$$E_p = 50 * 0.4 * 1.172 * 1500 / 57$$

$$E_p = 617 \text{ Volts}$$

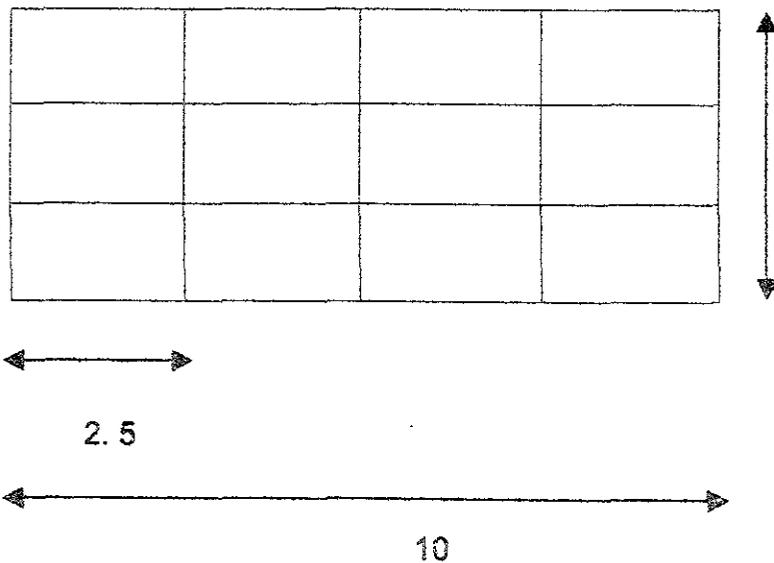
Voltajes máximos que Soporta el cuerpo humano (50 kg)		Voltajes máximos que se presentan en una falla a tierra
Ep	3224	617
ET	894	1270

De la tabla de resultados vemos que el potencial de paso que se presenta durante una falla es inferior al que soporta el cuerpo humano por lo que el diseño hasta este punto es adecuado.

El potencial de malla, es el potencial más alto que se presenta durante una falla y es superior al que soporta una persona en ésta subestación , por lo que el diseño no es el adecuado.

Por lo tanto procederemos a rediseñar la malla.

Diagrama del terreno de la red de tierras



Datos:

$$L = 75 + 12 = 87 \text{ m}$$

$$D = 2.5$$

$$n = 5$$

Procedemos a efectuar el cálculo de resistencia a tierra, por la formula general:

$$R = \frac{\rho}{2 \pi L} \ln \frac{4 L}{d}$$

$$R = \frac{50}{6.28 * 87} \ln \frac{4 * 87}{0.013}$$

$$R = 0.091 (10.195) = 0.9277 \text{ Ohms}$$

Del diagrama:

$$IRT = 1500 * 0.9277 = 1392$$

$$1392 < 894$$

Como la respuesta es no , procedemos a efectuar los cálculos siguientes:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left[\frac{D^2}{16 H d} + \frac{(D + 2h)^2}{8 D d} \frac{h}{4 d} \right] + \frac{K_{11}}{K_h} \right]$$

$$\text{Ln} \frac{8}{\pi (2n - 1)}$$

$$K_{11} = 1$$

$$K_h = 1.22$$

$$D = 2.5$$

$$K_m = \frac{1}{6.28} \left[\text{Ln} \frac{2.5^2}{16 * 0.5 * 0.013} + \frac{(2.5 + 1)^2}{8 * 2.5 * 0.013} \right]$$

$$- \frac{0.5}{4 * 0.013} \left] + \frac{1}{1.22} \text{Ln} \frac{8}{\pi (2 * 5 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0.16 \quad \text{Ln} \left[(60 + 47 - 9.6) + 0.82 \quad \text{Ln} 0.28 \right]$$

$$K_m = 0.16 (4.578 - 1) = 0.57$$

$$K_i = 0.656 + 0.172 (5) = 1.51$$

$$E_m = 50 * 0.57 * 1500 / 87$$

$$E_m = 742 \text{ Volts}$$

$$K_p = \frac{1}{3.14} \left[1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{2.5} * 1 \right]$$

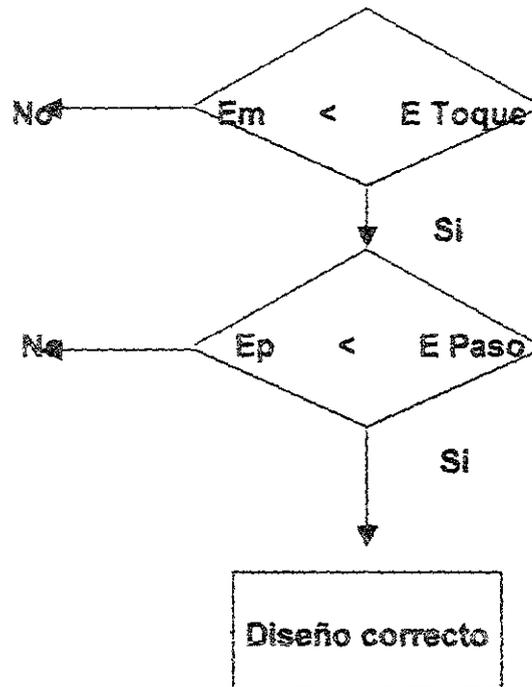
$$w = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} = 0.5 + 0.33 + 0.25 = 1.08$$

$$K_p = \frac{1}{3.14} \left[1 + 0.33 + 0.4 \right] = 0.55$$

$$E_p = 50 * 0.55 * 1.172 * 1500 / 87$$

$$E_p = 555 \text{ Volts}$$

De los diagramas



CAPITULO CUARTO
EQUIPOS DE MEDICIÓN.

INTRODUCCIÓN

En este capítulo nos ocuparemos de mencionar algunos equipos más usuales utilizados para medir la resistencia a tierra.

Estos instrumentos son utilizados para los diferentes tipos de sistemas y se ocupara el mas adecuado dependiendo del arreglo o condición que tengamos en el mismo. Por lo cual solo se mencionaran los instrumentos de medición dando algunas de sus características principales, no así describiendo a detalle los controles ya que no trata de ser este capítulo un manual de operación para cada equipo o instrumento de medición.

4.1 EQUIPO PARA LA MEDICION DE RESISTENCIA A TIERRA.

Los equipos y materiales necesarios para la medición de resistencia a tierra están disponibles en el mercado nacional, por lo que es importante que se tome encuentra su uso y comprobación mediante los métodos descritos para la medición de la resistencia a tierra de un electrodo o una malla de tierras, dichos equipos y materiales necesarios para efectuar dicha comprobación son los siguientes:

- 1) La resistencia a tierra puede medirse por instrumentos comercialmente disponibles, los cuales proporcionan las lecturas directamente sobre una escala dada en Ohms. Dichos instrumentos son de dimensiones pequeñas y muy fáciles de utilizar, además no requieren de una fuente de energía externa ya que cuentan con baterías o generadores pequeños integrados al mismo equipo.
- 2) Dos electrodos auxiliares de prueba además del electrodo de tierra bajo prueba.

3) Cable conductor calibre No. 14 AWG mínimo con aislamiento de 600 V. de suficiente longitud.

4) Pinzas sujeta cable para conectar a las terminales de prueba.

Es recomendable leer y seguir las instrucciones dadas por los fabricantes del equipo es sus instructivos para la conexión del mismo así como para llevar a cabo las mediciones correspondientes.

A continuación se presentan algunos modelos y manuales de instrucciones de equipos comúnmente utilizados en la medición de resistencia a tierra.

MEDIDOR DE RESISTENCIA A TIERRA MODELO 3610.

Este modelo, como se muestra en la figura 4.1 (1), esta diseñado para medir resistencia a tierra directamente desde 0 hasta 50 Ohms y de 0 a 500 Ohms rápida y seguramente. Simplemente hay que conectar los dos electrodos auxiliares y el electrodo de tierra bajo prueba al instrumento, se selecciona el rango adecuado, y la lectura de la medición de la resistencia a tierra se obtiene directamente en la escala.

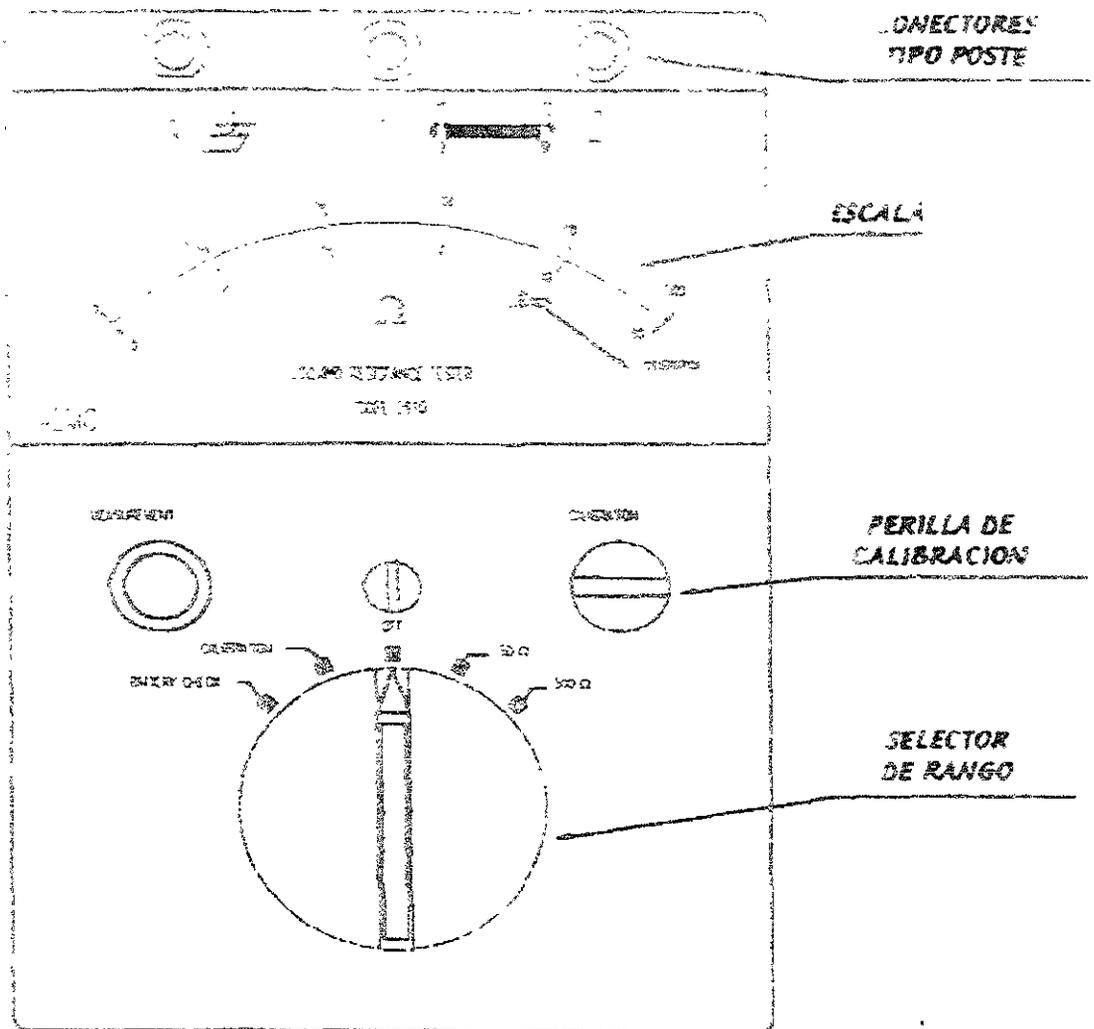


FIGURA 4.1 (1) MEDIDOR DE RESISTENCIA A TIERRA DE GANCHO MODELO 3610

MEDIDOR DE RESISTENCIA A TIERRA DE GANCHO MODELO 3700.

Este instrumento, mide la resistencia a tierra de varillas y mallas sin varillas auxiliares. Este puede ser utilizado en lugares donde es difícil desconectar los conductores de tierra y donde no es posible utilizar un instrumento de tres o cuatro terminales figura 4.1 (2).

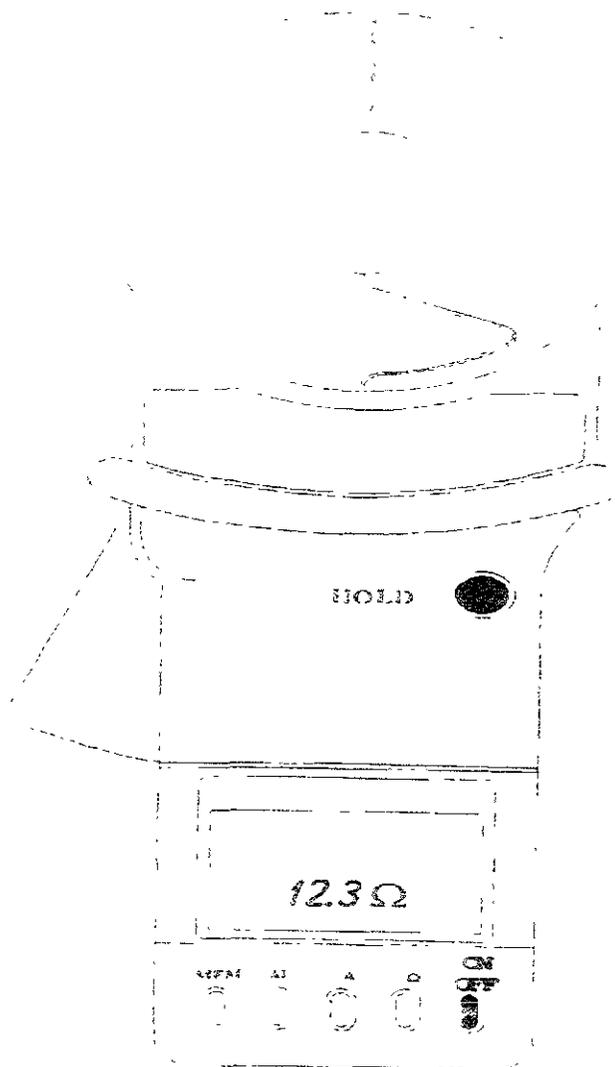


FIGURA 4.1 (2) MEDIDOR DE RESISTENCIA A TIERRA DE GANCHO
MODELO 3700

Este método de medición es completamente nuevo y único. Este ofrece la habilidad para medir la resistencia sin desconectar la tierra. Este tipo de medidor también ofrece la ventaja de incluir el puente de unión a tierra e incluye todas las conexiones y resistencias de puesta a tierra.

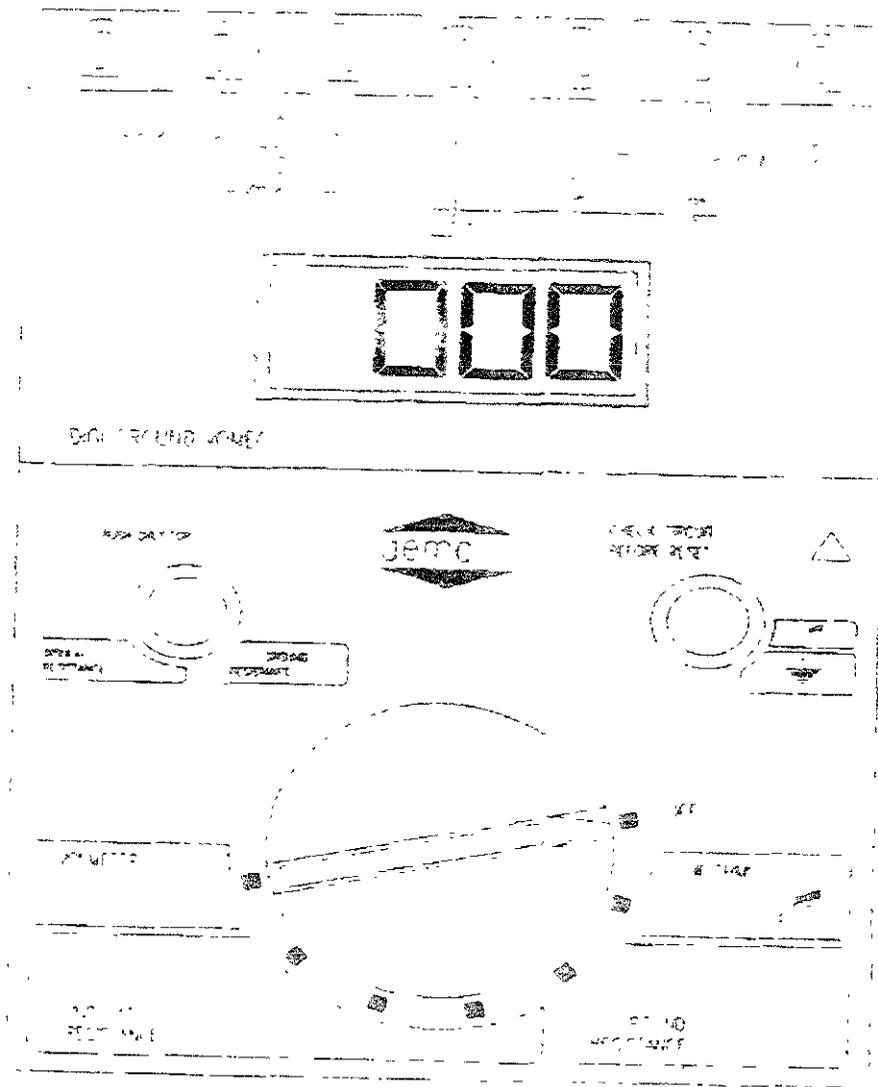


FIGURA 4.1 (4) MEDIDOR DE RESISTENCIA A TIERRA DIGITAL,
 MODELO 8400

Estos han sido los equipos mas comunes que se pueden encontrar para la medición de resistencia a tierra, es importante también mencionar que los manuales de cada uno de ellos sean leídos con detenimiento para evitar posibles daños al equipo, a continuación se presenta el manual de operación de un instrumento ampliamente utilizado para verificar las condiciones de los sistemas y electrodos de puesta a tierra.

Los siguientes son ejemplos de la medición de resistencia a tierra con el medidor de gancho en situaciones típicas de campo.

Transformador montado en poste. Se deberá retirar cualquier protección mecánica que cubra al conductor de puesta a tierra, y proporcionar suficiente espacio para colocar las mordazas del gancho. Las mordazas deben ser capaces de cerrar fácilmente alrededor del conductor. Las mordazas pueden colocarse alrededor de la varilla de tierra misma.

Nota: Las mordazas deben colocarse de tal manera que abracen la trayectoria eléctrica desde el sistema neutro o conductor puesto a tierra a la varilla de tierra o varilla que el circuito contenga.

Seleccione el rango de corriente "A" abrace el conductor de tierra y mida la corriente de tierra. El rango máximo es de 1.99 A. Si la corriente excede 1.99 A no es posible realizar la medición de resistencia a tierra.

Conociendo la corriente de tierra, seleccionar el rango en Ohms de la resistencia a tierra y medir dicho valor directamente. La lectura medida no indica la resistencia de la varilla, pero si la conexión al sistema neutro y todos los puentes de unión entre el neutro y la varilla.

Nótese que en la figura 4.1 (5) hay una placa en la base del poste y una varilla de tierra. En este tipo de circuito es necesario colocar el instrumento arriba del puente de unión entre la placa y la varilla de tal manera que ambas sean incluidas en la prueba. Para referencias futuras, anote la fecha, lectura en Ohms, lectura de corriente de tierra y numero de polos.

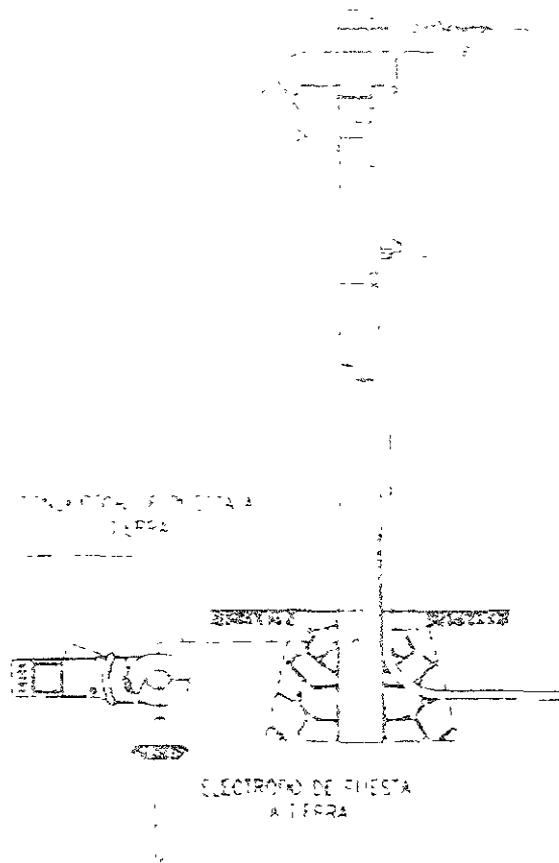


FIGURA 4.1 (5) MIDIENDO LA RESISTENCIA A TIERRA EN UN ELECTRODO CERCAÑO A UN POSTE

Una lectura alta indica uno o más de las siguientes acciones:

- 1) Una varilla de tierra de mala calidad o en mal estado.
- 2) Un conductor de puesto a tierra abierto.
- 3) Puentes de unión con resistencia alta sobre la varilla o conductores empalmados; presencia de burbujas de aire en las conexiones soldables abrazaderas, conectores mecánicos mal apretados, conectores de compresión mal presionados.

Entrada de Acometida. El siguiente procedimiento es básicamente el mismo que en el ejemplo anterior. Nótese que la figura 4.1 (6) muestra la posibilidad de contar con múltiples varillas de tierra.

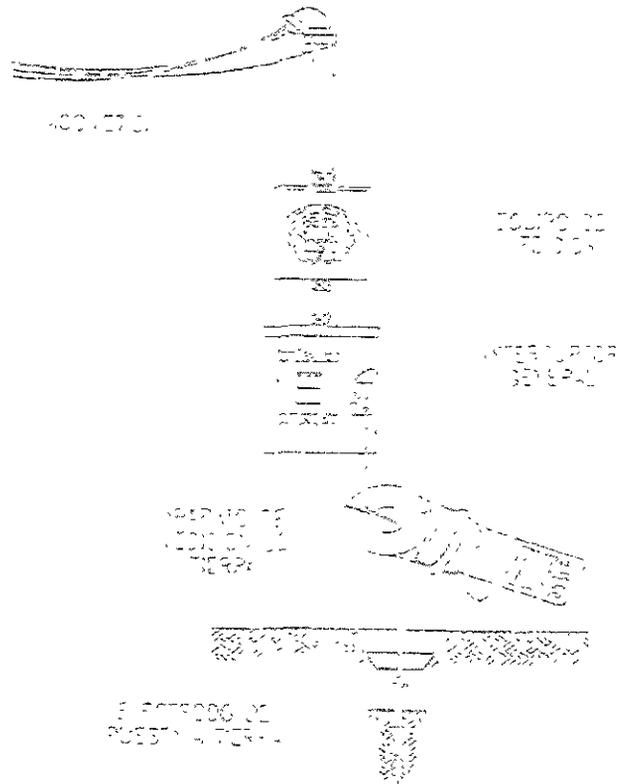


FIGURA 4.1 (6) MEDICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA EN ACOMETIDA

En la figura 4.1 (7) las varillas de tierra son reemplazadas por una tubería hidráulica. Se pueden tener ambos tipos de electrodos actuando como tierra. En estos casos, es necesario hacer las mediciones entre el neutro de la acometida y ambos puntos puestos a tierra.



FIGURA 4.1 (7) MEDICION DE RESISTENCIA A TIERRA EN ACOMETIDA CON ELECTRODO DE TUBERIA HIDRAULICA

Transformador de Pedestal. Lo primero que se realiza es localizar y numerar todas las varillas (generalmente se tiene únicamente una varillas en este tipo de arreglos). Si las varillas están dentro del gabinete, como se muestra en la figura 4.1 (8).

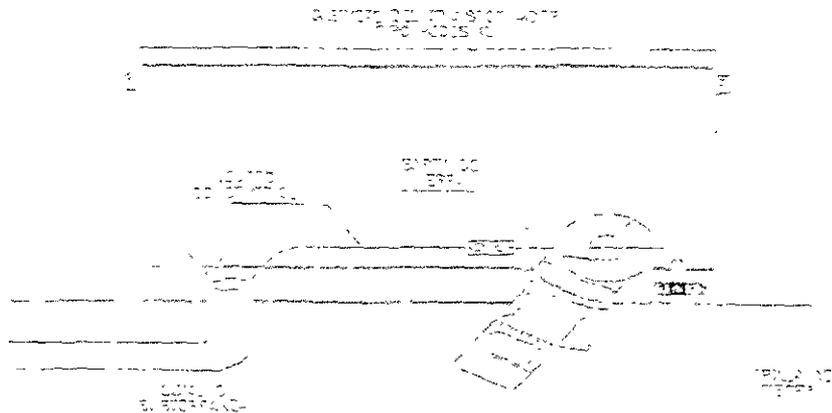


FIGURA 4.1 (8) ELECTRODO DENTRO DEL GABINETE DEL TRANSFORMADOR

y si están fuera del gabinete, también como se muestra en la figura 4.1 (9). Si únicamente se localiza una varilla dentro del gabinete, la medición debe hacerse justo antes del puente sobre la varilla de tierra. Frecuentemente, mas de un conductor de tierra esta unido a esta abrazadera, regresando en anillo al gabinete o neutro.

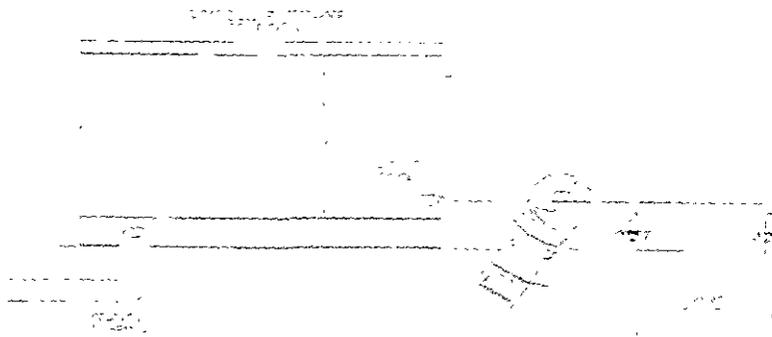


FIGURA 4.1 (9) ELECTRODOS FUERA DEL GABINETE DEL TRANSFORMADOR

En algunos casos, la mejor lectura se puede obtener abrazando a la varilla de tierra misma, bajo el punto donde los conductores de tierra son conectados o unidos a la varilla, estará midiéndose el circuito de tierra. Se debe tener cuidado de encontrar un conductor con una trayectoria de retorno al neutro únicamente.

Generalmente, una lectura muy baja (0.7) en el punto de medición indica que se esta sobre un anillo y se necesita probar cerrando a la varilla. En la siguiente figura, la varilla de tierra esta localizada fuera del gabinete. Abrazando en el punto de medición indicado para obtener la lectura correcta. Si existe más de una varilla en diferentes esquinas del gabinete, será necesario determinar cuantas hay conectadas para medir adecuadamente la resistencia a tierra.

CONCLUSIONES

La tecnología en la industria ha avanzado a pasos agigantados en los últimos años por lo cual la microelectrónica se encuentra en toda la maquinaria y equipos de procesamiento de datos industrialmente, y la operación y funcionamiento de los mismos son sensibles a variaciones de voltaje, situaciones anormales como un corto circuito, e incluso a ruidos indeseables.

De aquí parte la investigación de este trabajo de tesis sobre sistema de tierras para equipo sensible, basado en los principales e importantes libros acerca de tierras físicas eléctricas normas y leyes establecidas por la IEEE a nivel internacional.

Los sistemas de tierras han sido ubicados para proteger correctamente la funcionalidad de todo tipo de equipo, aparato o maquina que requiere de electricidad y evitar cualquier problema ajeno o anormal que pueda causar una falla o descompostura en el sistema o proceso o hasta un inútil funcionamiento de los mismos.

Esta tesis a nivel de Ingeniería alcanza ampliamente el objetivo sobre los conocimientos adquiridos para establecer las bases matemáticas cálculos parámetros sobre los sistemas de tierras, desde una comprensión definida sobre lo que es una tierra física, sus características, elementos que la constituyen, los tipos de suelo, los diferentes arreglos de mallas que existen, pero sobre todo los procedimientos para el calculo de un buen sistema de tierra física adecuado a las condiciones para las que se necesite, en un edificio de sistemas, una planta industrial o empresas que se dediquen a procedimientos de datos o comunicaciones, solo por mencionar unos ejemplos.

Para este efecto se dio a la tarea de investigar la NOM , las Normas Oficiales Mexicanas y apegarse a los artículos sobre tierras físicas, colocaciones y distribuciones y se hace una amplia explicación y reglamentaciones necesarias

sobre calibres de conductores, tuberías y canaletas adecuadas y equipos eléctricos que pueden o no llevar tierra física.

Las normas internacionales de calidad nos indican que todo tipo de equipo o maquinaria eléctrica debe estar obligado a conectarse a una tierra física para su protección y así asegurar que en cualquier parte del mundo funcione adecuadamente.

Se desea concluir en forma general que las investigaciones de los cálculos en los libros internacionales tienen una variación mínima ya que las características de los elementos que constituyen una tierra física varían en sus mediciones establecidas en sus fórmulas de cálculos, así mismo los proveedores que venden tal o cual equipo difieren sobre las mediciones de tierra física que deben tener sus equipos para que su funcionamiento sea correcto. Por lo consiguiente se busca en un futuro llegar a un criterio unificado con apego a normas internacionales sobre tierras físicas eléctricas.

Es por ello que esta tesis acerca de sistema de tierras para equipo sensible cumple con los requerimientos necesarios para ser tomado en cuenta como un libro de consulta para seguir los procedimientos de cálculos de una tierra física, en el cual todos los temas fueron investigados arduamente a nivel de Ingeniería y este tema en el campo de trabajo seguirá alcanzando un mayor auge e importancia así como una especialidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instalaciones de puesta a tierra
Vitorio Re
Edit. Marcombo
1989
2. Getting down to earth...
A manual on earth-resistance testing
For the practical man
Biddle instruments
Fourth edition
April 1981
3. IEEE Recommended practice for
Grounding of industrial and commercial
Power systems
IEEE std. 142-1991
4. IEEE Guide for safety in AC substation
Grounding
ANSI/IEEE std. 80-1996
5. IEEE Guide for measuring Earth
Resistivity, Grounding Impedance,
And Earth surface potentials of
A ground system
ANSI/IEEE std. 81-1983
6. IEEE Recommended Practice for
Electric Power Distribution
For industries Plants
Red Book
IEEE std. 141-1986
7. IEEE Recommended Practice for
Powering and Grounding Sensitive
Electronic Equipment
Emerald book
IEEE std. 1100-1992
8. Industrial power systems handbook
Donald Beeman
First edition
Edit. McGraw-hill Book Company
1955

9. Guide to the National Electrical Code
Thomas L Harman
Charles E. Allen
Edit. Mcgraw-Hill Book Company
1955
10. Understanding the National Electrical Code
Michael Holt
Edit. Delmar Publishers Inc.
1993 Edition
11. Electrical Grounding
Based on the 1993 National Electrical Code
Ronald
P.O.*Riley
Edit. Delmar Publishers Inc.
1993 edition
12. Norma Oficial Mexicana
NOM-001-SEMP-1994
Relativa a las Instalaciones Destinadas al
Suministro y Uso de la Energía Eléctrica
Secretaria de Energía Minas e Industria
Paraestatal
Diario Oficial de la Federación
Edición Octubre 1994
13. Sistemas de transmisión de energía eléctrica
J. Robert Eaton
Edit. Prentice Hall
1973
14. National Electrical Code Handbook
Earley, Caloggero, Murray
NFPA
1993 edition
15. Lighting Protection Code
ANSI/NFPA 78
Edition 1989
16. Normas VDE 0100 de Protección Eléctrica
Hornig / Schneider
Editorial Marcombo, S.A.
17. Periódicos de circulación nacional
18. C. F. Dalziel, Threshold 60-Cycle Fibrillating Currents
AIEE Trans., vol. 79, Parte III
1960

19. C. F. Dalziel y R. Lee, Revolutation of Lethal "Eléctric Currents
IEEE Transaction on industry and General Applications
Vol. IGA-4 num, 5, septiembre/octubre de 1968 pp. 467-476.
20. C. F. Dalziel A Study of the Hazard of impulse Currents
AIEE Trans., vol. 72 parte III, 1953, pp. 1032-1043