



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo de Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Reporte que para obtener el título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Proyecto de estadía realizado en la empresa Grupo Pecuario San Antonio

Nombre del Proyecto:

Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes eléctricas

Presenta: T.S.U.Flores Merlo Marcos Javier

Cuitláhuac, Ver., a 7 de Abril de 2015



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo de Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Nombre del Asesor Industrial:

Ing. Juan Pablo Jiménez Ávila

Nombre del Asesor Académico

Dr. Verónica Flores Sánchez

Nombre del Alumno:

T.S.U. Flores Merlo Marcos Javier

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

## RESUMEN

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen nuestros equipos en caso de una corriente transitoria peligrosa.

El objetivo de un sistema de puesta a tierra es:

- El de brindar seguridad a las personas.
- Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección.
- Establecer la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.
- La importancia de realizar una conexión a tierra en plantas emergentes eléctricas es mucha, ya que en estas áreas hay una gran cantidad de equipos electrónicos y una corriente indeseable o sobré tensión podría causar pérdidas muy costosa en estos equipos.

Los fenómenos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el organismo humano dependen del valor de la intensidad de la corriente, tiempo de duración del contacto, callosidad, sexo, estado de epidermis, peso, altura, estado de ánimo, estado del punto de contacto a tierra. La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1 m<sup>3</sup> de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.

En la resistividad del terreno influyen varios factores que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: Naturaleza del terreno, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación y las variaciones estacionales. Es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores.

Para realizar un sistema de puesta a tierra se necesitan electrodos de tierra, los cuales existen de muchos tipos, algunos mejores que otros en ciertas características como el costo, entre otras.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Los electrodos pueden ser artificiales o naturales. Se entiende por electrodos artificiales los establecidos con el exclusivo objeto de obtener la puesta a tierra, y por electrodos naturales las masas metálicas que puedan existir enterradas.

De acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-1999 (250-81), el sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos:

- Tubería metálica de agua enterrada.
- Estructura metálica del inmueble.
- Electrodo empotrado en concreto.
- Anillo de tierra.

Algunos de los métodos que se pueden utilizar para realizar la medición de la resistencia a tierra son los siguientes: método de los dos puntos, método del 62 %, método de caída de potencial, método de los cuatro puntos, etc.

Para medir la resistencia se utiliza un instrumento denominado terrómetro.

Este aparato se basa en el método de compensación y funciona con un generador magneto de c.a., que lleva un transformador en serie de relación exacta, es decir, que la intensidad por el primario es siempre igual a la del secundario.

La medición de resistencia a tierra de electrodos es una técnica que requiere conocer aparte del método de medición, algunos factores que afectan los resultados de las mediciones, y que son:

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

Por la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad, cualquier instalación de toma de tierra, deberá ser obligatoriamente comprobada por los servicios oficiales (unidades verificadoras) al dar la instalación de alta para el funcionamiento.

## Contenido

RESUMEN.....	1
CAPÍTULO 1.....	5
INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Planteamiento del Problema.....	6
1.2 Objetivo .....	6
1.3 Estrategias.....	7
1.4 Metas.....	7
1.5 Justificación del Proyecto.....	7
1.6 ¿Cómo y cuándo se realizó? .....	8
1.7 Limitaciones y Alcances .....	8
CAPÍTULO 2.....	9
DATOS GENERALES DE LA EMPRESA .....	9
2.1 ¿Quiénes somos? .....	9
2.2 San Antonioy Nuestras Certificaciones .....	11
2.2.1 ¿Qué es TIF? .....	12
2.2.3 ¿Qué es HACCP? .....	12
CAPÍTULO 3.....	13
MARCO TEÓRICO .....	13
3.1 ¿Qué es un Sistema de Puesta a Tierra? .....	13
3.2 ¿Porqué instalar un Sistema de Puesta a Tierra?.....	13
3.3 Conceptos generales .....	14
3.3.1 SISTEMAS DE TIERRA.....	16
3.4 RESISTIVIDAD DEL TERRENO .....	22
3.5 RESISTENCIA A TIERRA .....	24
3.6 CONECTORES.....	35
3.6.1 MEDICION DE LA RESISITIVIDAD DEL TERRENO Y LA RESISTENCIA DETIERRA.....	36
3.6.2 DETERMINACIÓN DEL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES DEL SISTEMA DETIERRA .....	45
CAPÍTULO 4.....	53
DESARROLLO DEL PROYECTO DE ESTADÍA.....	53
4.1 CONOCIMIENTOS DEL ÁREA.....	53
4.2 CONCEPTO GENERAL DE CONTROLADOR .....	53

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

4.3 ESTUDIOS DE SUELOS.....	55
4.4 RESISTIVIDAD DEL TERRENO. ....	56
4.5 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	58
CAPÍTULO 5.....	66
CONCLUSIONES.....	66
5.1 Resultados.....	67
5.2 Recomendaciones.....	68
BIBLIOGRAFÍA.....	69

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

La importancia de entender el comportamiento de la electricidad y cuáles son sus aplicaciones, hoy en día es un hecho que todas las personas se ven involucradas de cualquier modo con electricidad tanto en sus casas como en el trabajo. De ahí surge la importancia que tiene las protecciones tanto para el hombre como para los aparatos eléctricos.

Este trabajo está enfocado solo a una parte muy importante de las protecciones de electricidad como son las protecciones de puesta a tierra.

Como se verá en los capítulos de este trabajo existen normas que fiscalizan la importancia de la puesta a tierra y tienen por misión entregar parámetros a los usuarios para asegurar una buena puesta a tierra.

También se conocerán conceptos básicos como son los términos y lenguaje de ésta parte de la electricidad.

Por la importancia de los sistemas de puesta a tierra, es necesario conocer la mayor cantidad de factores que hacen variar la resistencia del sistema. Algunos de estos factores pueden ser: las condiciones climatológicas, estratigrafía, compactación del terreno, características físicas del electrodo de conexión a tierra, etc.

Debido a lo antes mencionado es que surge la necesidad de crear mejores sistemas de puesta a tierra y mejores instrumentos que midan las características del terreno en donde se va a instalar un sistema de puesta a tierra.

Es muy importante contar con instrumentos de alta precisión para poder entender cuál es el comportamiento de la tierra. Por eso este trabajo primero hace una mención de los elementos y la importancia de un sistema de puesta a tierra, así como algunos de los métodos más usados para poder realizar mediciones de la resistencia del terreno.

Otro tema importante mencionado en este trabajo son las características de los diferentes tipos de electrodos que hay para la conexión a tierra, así como las configuraciones de electrodos más usadas para la instalación de un sistema de puesta a tierra.

También se mencionaran los esquemas de conexión a tierra.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Otro aspecto importante que se menciona en este trabajo son las características que debe tener el conductor desistema a tierra, como son: la sección transversal, longitud, material, etc.

## 1.1 Planteamiento del Problema

San Antonio es una empresa que se dedica a la crianza y venta de aves, en esta área la empresa cuenta con diferentes instalaciones las cuales se conocen como, reproductoras, incubadoras y pollo de producción, en la etapa de producción del ave, se tienen instalaciones, tales como automáticas, semiautomática y rusticas, las cuales en la parte electrónica y eléctrica necesita sistemas de puesta a tierra.

Dentro de la producción existen controladores de plantas de emergencias que se encargan de suministrar energía eléctrica cuando CFE se encuentra ausente en cualquier de sus tres fases. Las cuales no cuentan con un sistema de puerta a tierra para sus controladores por lo tanto están en riesgo de averiarse comúnmente en tormentas eléctricas, y dañar nuestros equipos, las fallas de un controlador impactan en nuestra producción por la muerte de miles o en algunos casos millones de aves, y en costos muy elevados en la empresa.

## 1.2 Objetivo

Realizar un sistema de puestas a tierra en plantas emergentes eléctricas protegiendo las instalaciones, equipos eléctricos, electrónicos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos.

## 1.3 Objetivos específicos

- Determinar la resistividad aparente de suelos por medio del método Wenner.
- Determinar la resistividad de suelos por medio de la función  $\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$
- Determinar la impedancia más baja de nuestros controladores.
- Realizar procedimientos para la instalación de un sistema de puestas a tierra.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

- Establecer la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.
- Disipar la corriente asociada a descargas atmosféricas y limitar las sobre tensiones generadas.

## 1.3 Estrategias

Este proyecto se realizara con apoyo de diversos recursos de información; primeramente recolectaremos información de acuerdo al área donde se instala la puesta a tierra.

Para la realización de este proyecto es necesario la recopilación de diferentes fuentes bibliográficas de sistemas de puesta a tierra como son; libros, páginas web, estudios de suelos, instrumentos de medición como; multímetro, termómetro, tipos de proveedores, normas de seguridad, fórmulas matemáticas

## 1.4 Metas

Demostrar a la empresa Grupo Pecuario San Antonio que un sistema de puesta a tierra traerá grandes beneficios en la protección de las instalaciones, equipos eléctricos, electrónicos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos. Estableciendo la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.

## 1.5 Justificación del Proyecto

Las plantas emergentes cuentan con dispositivos electrónicos (controladores), estos a su vez contienen partes con bajas resistencias, estamos de acuerdo que las descargas atmosféricas buscan la manera de disiparse y cuando surgen estos fenómenos naturales logrando dañar

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

nuestros equipos, debido a esas fallas la empresa ha sufrido pérdidas monetarias tanto en producción, como en equipos electrónicos y eléctricos

Este proyecto de puesta a tierra disminuirá las fallas dentro de las instalaciones de nuestros controladores a lo cual la empresa San Antonio será beneficiada en la protección de sus equipos, garantizando la eficiencia de ellos cuando estos se requieran.

### 1.6 ¿Cómo y cuándo se realizó?

No.	Actividad	Producto (Evidencia de actividad realizada)	P/R	Semanas														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Investigación del tema.		P	X	X													
			R															
2	Estudio de consumo de energía de equipos eléctricos y electrónicos		P			X	X											
			R															
3	Estudio de tipo de suelos que existen en el área		P				X	X										
			R															
4	Tipos de de sistemas de puesta a tierras, así como la resistividaddel terreno.		P						X	X								
			R															
5	Excavación de fosa para el sistema de tierras física.		P								X							
			R															
6	Colocación del electrodo, orientación magnética y nivelación.		P								X	X	X					
			R															
7	Relleno de fosa con capas de compuestos orgánicas y tierra del lugar.		P										X	X	X			
			R															
8	Instalación de aterrizaje de equipos eléctricos y electrónicos.		P												X	X		
			R															
9	Medición del electrodo a un elemento de referencia a tierra.		P															X
			R															
10	Presentación Final.		P															
			R															

Tabla 1.6 fechas de actividades.

### 1.7 Limitaciones y Alcances

Este proyecto de sistema de puesta a tierra en plantas emergentes eléctricas solo se implementara en empresas que dependan de la energía eléctrica las veinticuatro horas del día y les afecte su producción.

Por otra parte el sistema de puesta a tierra será viable en la mayor parte de las empresas ya que aumentaran su productividad al no tener ausencia de voltajes, y en cuanto a la protección de equipos eléctricos y electrónicos serán más eficientes.

## CAPÍTULO 2

### DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

#### 2.1 ¿Quiénes somos?

Grupo Pecuario San Antonio fue fundado hace más de cuatro décadas en la ciudad de Córdoba, Veracruz. Es una empresa familiar dedicada a la producción avícola. En San Antonio trabajan más de dos mil personas, producimos mensualmente 5 millones de pollos, ocupando el cuarto lugar en la producción nacional. San Antonio tiene una cultura basada en el respeto a las personas, el aprovechamiento de los recursos y el cuidado del medio ambiente.



Figura 2.1.1 mapa de ubicación.

Grupo Pecuario San Antonio, S.A. de C.V. km 335 Carretera federal Fortín – Córdoba s/n  
C.P. 94540, Colonia San Nicolás, Córdoba, Veracruz, México.  
Tel. +52(271) 7170300 Fax +52(271) 7160989

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas



Figura 2.1.2 misión de la empresa.

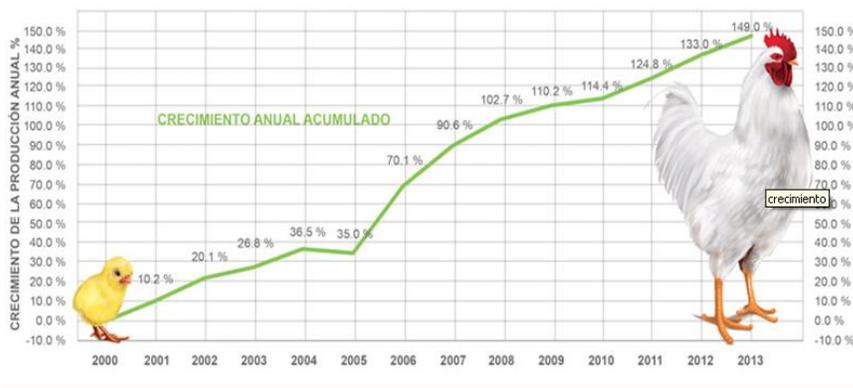
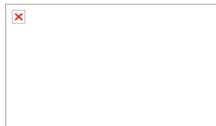


Figura 2.1.3 crecimiento de la producción anual.



### Planta de Alimento

Con materias primas naturales de alta calidad, se produce el alimento balanceado que damos a todas nuestras aves en cada una de las fases de crianza, postura y engorda, garantizándoles un sano desarrollo.



### Crianza

Todo empieza con la recepción de las pollitas de un día de nacidas. Aquí las cuidaremos durante 21 semanas para posteriormente trasladarlas a las granjas de postura.



### Postura

En estas granjas, al alcanzar su edad reproductiva, las gallinas ponen los huevos fértiles que posteriormente serán llevados a las plantas incubadoras.



### Incubación

En esta fase, los huevos fértiles son incubados durante 21 días bajo los mejores cuidados y condiciones para que nazcan pollitos sanos y fuertes.

Figura 2.1.4 proceso de producción.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

## 1 Pollo Vivo



Pollo en pie

## 2 Pollo Fresco



Pollo rosticero natural



Pollo rosticero escaldado pintado



Pollo mercado público eviscerado



Pollo AV

Figura 2.1.5 producto al mercado.

## 2.2 San Antonioy Nuestras Certificaciones



Figura 2.2 certificaciones.

Todos nuestros procesos y productos cumplen con las más estrictas normas y certificaciones, lo cual nos permite satisfacer las necesidades del mercado mediante nuestras líneas de pollo vivo y pollo procesado ofreciendo a nuestros clientes productos de calidad.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Nuestra Planta Procesadora de Aves cuenta con las Certificaciones TIF(Tipo Inspección Federal equivalente a USDA),HACCP, Kosher y Halal (ritual de sacrificio).

### 2.2.1 ¿Qué es TIF?

La certificación TIF (Tipo de Inspección Federal) es un reconocimiento que la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) otorga a las plantas procesadoras de carnes que cumplen con todas las normas y exigencias del Gobierno Mexicano, en cuanto a su tratamiento y manejo de sanidad se refiere. Esta certificación trae consigo una serie de beneficios a la industria cárnica, ya que le permite la movilización dentro del país de una manera más fácil ya que cuenta con la garantía de la calidad sanitaria con la que fue elaborado el producto. Del mismo modo, abre la posibilidad del comercio internacional, ya que los establecimientos TIF son los únicos elegibles para exportar.



Figura 2.2.1 TIF.

### 2.2.3 ¿Qué es HACCP?

Hazard Analysis Critical Control Points, mejor conocido como HACCP por sus siglas en inglés, es un sistema de aseguramiento de la calidad con una creciente penetración en la industria de alimentos a nivel mundial, como una vía para la obtención de alimentos seguros para la salud humana, al enfocarse hacia el cómo evitar o reducir las probabilidades de que se desarrolle cualquier propiedad biológica, química o física inaceptable para la salud del consumidor que influya en la seguridad del alimento.

## CAPÍTULO 3

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 ¿Qué es un Sistema de Puesta a Tierra?

Un “Sistema de Puesta a Tierra”, ó simplemente “Tierra Física”, es un conjunto de elementos formados por electrodos, cables, conexiones, platinas y líneas de tierra física de una instalación eléctrica, que permiten conducir, drenar y disipar al planeta tierra una corriente no deseada.

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de artefactos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que sufran daño, tanto las personas como nuestros equipos, en caso de una corriente de falla.

Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

Brindar seguridad a las personas.

Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección.

Establecer la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.

Mejorar la calidad del servicio eléctrico, disipar la corriente asociada a descargas atmosféricas y limitar las sobre tensiones generadas.

Por estas razones, se recomienda que se realicen las instalaciones de puesta a tierra debido a que la corriente eléctrica siempre busca el camino de menor resistencia, y al llegar a tierra se disipa.

#### 3.2 ¿Porqué instalar un Sistema de Puesta a Tierra?

Se debe instalar un sistema de *puesta a tierra* porque ante una descarga atmosférica o un corto circuito, sin tierra física, las personas estarían expuestas a una descarga eléctrica, los

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

equipos tendrían errores en su funcionamiento. Si las corrientes de falla no tienen un camino para disiparse, por medio de un sistema de conexión correctamente diseñado, entonces éstas encontrarían caminos no intencionados que podrían incluir a las personas.

1. Seguridad Humana
2. Seguridad de los Equipos eléctricos ó electrónicos
3. Buen funcionamiento de los equipos

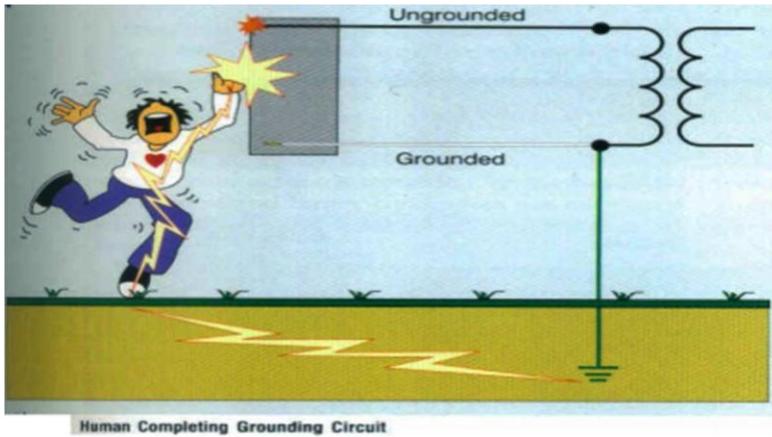


Figura 3.2 descarga eléctrica.



Figura 3.2.1 parte dañada de un controlador

### 3.3 Conceptos generales

En este capítulo se darán las definiciones de los conceptos más esenciales que se deben conocer para poder entender el lenguaje de un sistema de puesta a tierra.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

A continuación se presentan los conceptos más comunes, de acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999:

## CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA

Es aquel conductor de un circuito que se conecta a tierra intencionalmente. Este conductor garantiza la conexión física entre las partes metálicas expuestas a alguna falla y la tierra. Por medio de este conductor circula la corriente no deseada hacia la tierra.

## ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA

Es un cuerpo metálico conductor desnudo que va enterrado y su función es establecer el contacto con la tierra física.

## PUENTE DE UNION

Este puente es un conductor que nos sirve para proporcionar la conductividad eléctrica entre partes de metal que requieren ser conectadas eléctricamente.

## RED DE TIERRA

Es la porción metálica subterránea de un sistema aterrizado que dispara hacia la tierra todo flujo de corriente no deseado. Esta red se puede componer de varias mallas interconectadas.

## RESISTENCIA DE TIERRA

Es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores

## RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Es la propiedad del terreno que se opone al paso de la corriente eléctrica, la resistividad varía de acuerdo a las características del terreno.

## SISTEMA DE TIERRA

Son varios conductores desnudos que se interconectan con una o varias mallas o electrodos enterrados.

## SUPRESOR DE PICOS

No son más que elementos de protección contra sobretensiones transitorias.

## TIERRA AISLADA

Es un conductor de tierra con aislamiento que se conecta a algún equipo, este conductor se coloca en el mismo soporte donde se encuentran los cables de energía.

### 3.3.1 SISTEMAS DE TIERRA

#### Diferencia entre neutro y tierra

La diferencia de estos dos elementos es que el neutro lo usamos como regreso de nuestra línea de alimentación o en otras palabras es por donde pasa la corriente de regreso a los postes de suministro eléctrico. Por otro lado la conexión a tierra, es la conexión que usamos para que circule la corriente no deseada o descargas eléctricas hacia tierra para evitar que dañen a equipos eléctricos, electrónicos e incluso a personas, explicado de otra forma es la conexión que usamos para la protección personal y de equipos contra sobretensiones o descargas eléctricas de cualquier tipo.

#### Concepto y objetivo de un sistema de puesta a tierra.

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen los equipos en caso de una corriente transitoria peligrosa, o también que por falta de aislamiento en uno de los conductores y al quedar en contacto con las placas de los contactos y ser tocados por alguna persona pudiera ocasionarle lesiones o incluso la muerte.

Por estas razones, se recomienda que se realicen las instalaciones de puesta a tierra por que la corriente siempre busca el camino más fácil por donde poder pasar, y al llegar a tierra se disipa por esta razón si se tiene una resistividad muy baja en el terreno donde se realizó la instalación.

#### Importancia de los sistemas de puesta a tierra en los edificios inteligentes.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Como se acaba de mencionar la importancia de realizar una conexión a tierra en un edificio inteligente es mucha, ya que en estos edificios hay una gran cantidad de equipos electrónicos y una corriente indeseable o sobretensión podría causar una pérdida muy costosa en estos equipos. Además estos edificios normalmente son ocupados por una gran cantidad de personas y si un cable que no esté bien aislado hiciera contacto con la carcasa de algún contacto o algún material conductor que este expuesto al personal del edificio podría ocasionar algún accidente.

Otra razón por la que debe instalarse un sistema de puesta a tierra eficiente en un edificio es para evitar que las descargas atmosféricas caigan en lugares indeseados y puedan ocasionar algún accidente o dañar nuestros equipos, esto se logra mediante sistemas de pararrayos los cuales deben conectarse directo a tierra, es decir, el conductor que se use para la instalación del pararrayos no debe estar conectado a ningún otro equipo del edificio. Muchas personas piensan que al instalar un pararrayos este atraerá los rayos a sus viviendas pero esto es un gran error ya que lo único que se hace es proporcionar un camino por donde guiar a los rayos (por así decirlo), y de este modo evitar que caigan en alguna otra parte y nos ocasionen daños.

### Conexión a tierra de sistemas.

La forma en que debe de conectarse una instalación eléctrica a un sistema de puesta a tierra es mediante un cable que este conectado a un electrodo que este en contacto con la tierra, es decir que este electrodo se encuentre enterrado. Según la Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas NOM-001-SEDE-1999, este electrodo debe de estar enterrado a 3m de profundidad para asegurar el contacto con el terreno (además de que a esta profundidad hay mas humedad).

El conductor que se use para la instalación de puesta a tierra no debe de estar seccionado, es decir debe procurarse que sea un conductor continuo para asegurar la conexión a tierra, en caso de que tuviese que seccionar el conductor se recomienda que las uniones sean soldadas esto con el fin de que haya un buen contacto entre los conductores que estemos usando. También es recomendable que el cable usado para la instalación del sistema de puesta a tierra, sea un cable desnudo, en el caso de que se decida usar un cable forrado, por norma este conductor debe ser color verde con el fin de poder identificarlo mas fácilmente de

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

los cables de neutro y fase, por si se necesita hacer mantenimiento en el sistema de puesta a tierra.

### Elementos de un sistema de puesta a tierra

Los elementos que usamos para efectuar una instalación de puesta a tierra son los siguientes:

**Electrodos:** Estas son varillas (generalmente de cobre) que sean resistentes a la corrosión por las sales de la tierra, que van enterradas a la tierra a una profundidad de 3m para servirnos como el elemento que nos disipa la corriente en la tierra en caso de alguna falla de nuestra instalación o de alguna sobrecarga, las varillas más usadas para este tipo de instalaciones son las varillas de marca copperwell ya que son las que cumplen con las mejores características.

**Conductor o cable:** este como ya se había mencionado es el que nos permitirá hacer la conexión de nuestro electrodo hacia las demás partes dentro de nuestro edificio. Debe procurarse que este cable no sea seccionado

y en caso de ser necesario debe preferentemente ser soldado para poder asegurarse de su contacto y continuidad del sistema de conexión, pero hay que aclarar que no se puede usar cualquier soldadura sino que debe usarse soldadura exotérmica, ya que al calentar el cobre del conductor este puede dañarse y ya no tendría un buen contacto con la soldadura que se le coloque.

Otra cosa importante sobre este conductor es que debe procurarse usar un cable desnudo para que todas las partes metálicas de la instalación queden conectadas a tierra. En el caso de que se use un cable con aislante este debe ser color verde para poder distinguirlo de los otros cables.

Los fenómenos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el organismo humano dependen del valor de la intensidad de la corriente, tiempo de duración del contacto, callosidad, sexo, estado de epidermis, peso, altura, estado de ánimo, estado del punto de contacto a tierra.

Respecto al concepto de alta o baja tensión, se debe tener en cuenta que la corriente eléctrica provoca la muerte por fibrilación ventricular, al contrario de la de alta tensión, que lo hace por la destrucción de los órganos o por asfixia, debido al bloqueo del sistema nervioso.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Estos efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano varían en función del valor de la intensidad, de acuerdo a la tabla:

INTENSIDAD	EFFECTOS FISIOLÓGICOS
1 a 3 mA	Prácticamente imperceptibles. No hay riesgo
De 5 a 10 mA	Contracciones involuntarias de músculos y pequeñas alteraciones del sistema nervioso
De 10 a 15 mA	Principio de tetanización muscular, contracciones violentas e incluso permanentes de las extremidades
De 15 a 30 mA	Contracciones violentas e incluso permanentes de la caja torácica. Alteración del ritmo cardiaco
Mayor de 30 mA	Fibrilación ventricular cardiaca

Tabla 3.3. Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica.

Todos estos valores y efectos pueden variar según el tiempo que dure el paso de la corriente eléctrica. Los valores máximos de intensidad y corriente son:

Para tiempos inferiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 300 mA

Para tiempos superiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 30 mA

La fibrilación ventricular del corazón es una acción independiente de las fibras musculares cardiacas, que produce una contracción incordiada y que entraña la supresión inmediata de la actividad fisiológica del corazón.

Al no poder circular la sangre oxigenada, y en particular, no llegar al cerebro, se producen lesiones cerebrolulares graves.

Esto no alerta sobre la rapidez con que debe interrumpirse el paso de la corriente por el organismo. Existen otros fenómenos fisiológicos producidos por la intensidad de la corriente eléctrica o por el trayecto seguido por esta que pueden conducir a la muerte; lesiones encefálicas, bloqueo de la epiglotis, la rinoespasmo, espasmo coronario, y shock global.

Otra manifestación que puede provocar la corriente eléctrica en el cuerpo humano es la quemadura, generada de dos formas distintas:

Accidentes producidos por cortocircuitos: provocan radiaciones originadas por el arco eléctrico que dan lugar a lesiones por quemaduras.

Accidentes producidos por diferentes acoplamientos eléctricos: provocan quemaduras internas y externas en el cuerpo.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

## Factores que intervienen en el accidente eléctrico:

Valor de la intensidad de la corriente eléctrica

Valor de la tensión

Tiempo de paso de la corriente eléctrica

Valor de la resistencia óhmica que presenta el organismo

La trayectoria que siga la corriente por el organismo

Naturaleza de la corriente

Valor de la frecuencia en el caso de c.a.

Capacidad de reacción del organismo

De estos factores se destacan: Valor de la intensidad de la corriente eléctrica

Se suele llamar también umbral absoluto de intensidad y representa la máxima intensidad que puede soportar una persona sin peligro, independientemente del tiempo que dure su exposición a la corriente. Se fija para la corriente eléctrica alterna de frecuencia 50 Hz entre 10 y 30 mA, según el sexo y edad de la persona.

## Valor de la resistencia óhmica del cuerpo

Diversos estudios experimentales demuestran que la impedancia del cuerpo humano es siempre resistiva pura. Sea comprobado que para corriente alterna cuya frecuencia sea superior a 10kHz. No provoca más efectos que el de calentar los tejidos por donde paso la corriente.

En lo que a baja tensión respecta se puede considerar el comportamiento de los dipolos del cuerpo humano aproximadamente lineal. El valor de la resistencia en cada uno de ellos depende de diversas circunstancias. La más importante es la humedad de la piel, que llega a valores de 100000 ohms cuando está seca y desciende considerablemente en estado de humedad.

## Tiempo de paso de la corriente eléctrica.

Se denomina umbral absoluto de tiempo y representa el tiempo en que una persona puede soportar el paso de la corriente eléctrica sin peligro, en baja tensión, de intensidad por su cuerpo

## Causas de accidentes eléctricos

Falta de prevención  
Exceso de confianza  
Fallas técnicas  
Fallas humanas  
Imprudencia  
Ignorancia

Hay una fórmula que puede usarse para calcular la cantidad de corriente que pasa a través del cuerpo y es la siguiente:

$$I = K/t$$

En donde:

K = es una constante para hombres y mujeres y sus valores son los siguientes

K = 0.116 para mujeres (50Kg)

K = 0.157 para hombres (70Kg)

t = tiempo en segundos

Son por estos motivos que resulta necesario tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar este tipo de accidentes y contar con un sistema de puesta a tierra eficiente podemos evitar muchas lesiones ocasionadas por la corriente eléctrica, ya que en la actualidad casi todas nuestras actividades están vinculadas con el uso de la electricidad.

## 3.4 RESISTIVIDAD DEL TERRENO

### Definición de resistividad del terreno

La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1 m<sup>3</sup> de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.

### Factores que afectan la resistividad del terreno

En la resistividad del terreno influyen varios factores que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: naturaleza del terreno, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación y las variaciones estacionales.

#### Naturaleza del Terreno:

Esta se refiere a que la resistividad varía según el tipo de terreno, es decir se tiene una resistividad más elevada en un terreno rocoso que en uno donde haya arena.

#### Humedad:

Aquí varía la resistividad según la humedad del terreno, mientras más húmedo sea éste más baja será la resistividad del terreno y mientras más seco este el terreno mayor será la resistividad de éste, es por esta razón que debe procurarse un terreno un poco más húmedo para obtener mejores valores

#### Temperatura:

Aquí también la temperatura afecta en las mediciones ya que el calor crea una resistencia en el terreno, ya que es como si se tuviera un terreno seco. Y por el contrario a temperaturas muy bajas la poca humedad que hay en el terreno puede congelarse (solo la superficie del agua), y como se sabe el hielo no es un buen conductor por lo que se eleva la resistividad del terreno.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

## Salinidad:

Como se sabe el agua por si sola no conduce la electricidad pero con sales se convierte en un excelente conductor, es por esto que mientras más sales contengan el terreno y este húmedo más bajo serán los valores de resistividad.

## Estratigrafía:

Esta afecta por el exceso de rocas y piedras de tamaño considerable en un terreno ya que las rocas y piedras provocan una mayor resistencia en el terreno.

## Compactación:

Aquí la resistividad disminuye mientras más compactado este un terreno ya que cuando no está bien compacto hay pequeños espacios de aire los cuales impiden que la corriente eléctrica se pueda esparcir por el terreno.

## Variaciones estacionales:

Las estaciones también intervienen en el valor de la resistividad de un terreno ya que en una estación calurosa como lo es primavera el terreno estará más seco que si se tuviera una estación con muchas lluvias y por estos valores cambiarían según la estación del año en que nos encontremos es por esto que se recomienda hacer varias mediciones en diferentes estaciones del año para determinar la resistividad promedio.

Debido a la uniformidad del terreno, cuando se mide la resistividad del terreno en un punto, por cualquier método, el valor que se obtiene es llamado resistividad media o aparente. Por esto se recomienda hacer varias mediciones en el terreno en diferentes posiciones y después sacar un promedio de estas para obtener un valor de resistividad más exacto.

## 3.5 RESISTENCIA A TIERRA

### Definición de resistencia a tierra

La resistencia a tierra se puede definir como la resistencia que ofrece un sistema de tierra al paso de la corriente eléctrica. Este valor de resistencia depende de la resistividad del terreno, las características físicas del electrodo a tierra (diámetro, área, longitud, etc.), también de la longitud y el área de los conductores.

El valor de resistencia a tierra es la resistencia óhmica entre un conductor puesto a tierra y un punto a potencial cero.

### Resistencia del electrodo de tierra.

La resistencia de tierra de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno, y varía también con la profundidad.

La Tabla 2 da, a título de orientación, unos valores de la resistividad para un cierto número de terrenos. Con el fin de obtener una primera aproximación de la resistencia de tierra, los cálculos pueden efectuarse utilizando los valores medios indicados en la Tabla 3.

Bien entendido que los cálculos efectuados a partir de estos valores no dan más que un valor muy aproximado de la resistencia de tierra del electrodo. La medida de resistencia de tierra de este electrodo puede permitir, aplicando las fórmulas dadas en la Tabla 4, estimar el valor medio local de la resistividad del terreno; el conocimiento de este valor puede ser útil para trabajos posteriores efectuados en unas condiciones análogas.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

<b>NATURALEZA DEL TERRENO</b>	<b>RESISTIVIDAD EN OHM*M</b>
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Tabla 3.5 Valores de resistividad de algunos materiales

<b>Naturaleza del terreno</b>	<b>Valor medio de la resistividad en Ohm*m</b>
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables..	3.000

Tabla 3.5.1 Valores de resistividad de algunos suelos

### Variación de la resistencia según el área de los conductores

A) En función a su profundidad

A través de la expresión mostrada en la figura 1 que se muestra abajo, se puede calcular los efectos de la variación de la resistencia de tierra en función de la profundidad alcanzada por un electrodo.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

La norma de instalaciones eléctricas (NOM 001) especifica que la profundidad mínima de enterrado de unavarilla debe ser de 2.4 metros (8 pies).

Para varillas de acero de sección circular, se requiere que su diámetro no sea menor a 1.59 cm (5/8) y paravarillas de cobre o de acero recubiertas de cobre el diámetro mínimo debe de ser de 1.27 cm (1/2), paraterrenos duros como el tepetate es recomendable varillas con un diámetro de 1.91 cm (3/4).

B) En función del diámetro:

Ciertamente, la resistencia de un electrodo de sección circular se reduce al incrementarse su diámetro, sin embargo tiene un límite en el que ya no es recomendable aumentarlo debido a que el valor de la resistencia del terreno permanece prácticamente constante.

Un ejemplo de lo anterior es usando los siguientes datos:

Resistividad del terreno ( $\rho$ ) = 1000  $\Omega$ .cm

Electrodo tipo varilla copperweld: Longitud = 300 cm

Radio = 0.7935 cm

Sustituyendo los datos en la expresión mencionada, el primer resultado es  $R = 33.5 \Omega$ , sin embargo si duplicamos el diámetro del electrodo, el nuevo resultado será  $R = 29.8 \Omega$  que solo representa una reducción del 11%, y si lo aumentamos 20 veces el diámetro original el valor obtenido será  $R = 17.6 \Omega$  lo que representa solo una reducción del 47.4 %.

Es por esto que se puede decir que no es recomendable invertir en electrodos de gran diámetro, ya que no se reduce considerablemente la resistencia, por lo cual deberán practicarse otros métodos.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

## Conexión a tierra de instalaciones interiores a baja tensión

Deberán conectarse a tierra toda parte metálica al descubierto, que forma parte de un equipo que no transporte corriente, pero que tenga posibilidades de ser recorrida por una corriente, debe ser puesta a tierra. Se exceptuarán de esta exigencia los siguientes casos:

Cubiertas de interruptores o disyuntores accesibles exclusivamente a personal calificado.

Armaduras metálicas de dispositivos calentados eléctricamente, aprobados por el laboratorio de superintendencia, para el uso de dichas condiciones, siempre que esta armadura esté convenientemente aislada de tierra.

Métodos portátiles que funcionen a menos de 100 w.

Equipos eléctricos alimentados a través de transformadores de aislamiento.

Deberán conectarse a tierra, los siguientes equipos no eléctricos:

Armaduras y rieles de grúas accionadas eléctricamente.

Los cables de tracción de ascensores eléctricos.

Todo otro equipo similar.

## ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

### Tipos y configuraciones de electrodos de tierra

Para realizar un sistema de puesta a tierra se necesitan electrodos de tierra, los cuales existen de muchos tipos, algunos mejores que otros en ciertas características como el costo, entre otras.

Cuando se instala un electrodo de tierra, es común tener un registro, el cual puede ser de un pedazo de un tubo de albañal o bien, construir un registro. El objetivo de tener este registro

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

es para poder ubicar el lugar donde se encuentra con facilidad y para que después de un cierto tiempo se le pueda dar mantenimiento. (el uso de un registro es opcional).

### Tipos de electrodos

Como se mencionaba anteriormente los electrodos de tierra se pueden encontrar en diferentes tamaños, formas, y con diferentes características. A continuación se describen los tipos de electrodos más comunes:

a) Varilla Copperweld.

Esta varilla es una de las más usadas, ya que es de bajo costo de material. Este tipo de electrodo está hecho de acero y recubierto de una capa de cobre, su longitud es de 3.05 metros y un diámetro de 16 milímetros. Esta varilla se debe enterrar en forma vertical y a una profundidad de por lo menos 2.4 metros, esto por norma. También por norma se acepta que la varilla vaya enterrada en forma horizontal, siempre y cuando sea en una zanja de mínimo 80cm de profundidad, pero no es muy recomendable. La varilla copperweld no tiene mucha área de contacto, pero sí una longitud considerable, con la cual es posible un contacto con capas de tierra húmedas, lo cual se obtiene un valor de resistencia bajo.

b) Varilla.

Este tipo de electrodo de tierra tiene un área de contacto más grande que la varilla copperweld, por lo que no necesita mucha longitud. Este electrodo se forma por un perfil de acero galvanizado, y puede ser en forma de cruz, de ángulo recto o en T.

d) Placa.

Debido a que este electrodo tiene una gran área de contacto es recomendado en terrenos que tengan alta resistividad. Según el artículo 250-83 debe tener un área de por lo menos 2000cm<sup>2</sup> y un espesor mínimo de 6.4mm en materiales ferrosos y mínimo de 1.52mm en materiales no ferrosos.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

### e) Electrodo en estrella.

Este tipo de electrodo se puede hacer con cable de cobre desnudo con ramificaciones de 60° de ángulo. Estoselectrodos se utilizan en el campo, ya que por la longitud del cable se obtiene un valor de resistencia menor.

### f) Electrodo de anillos.

Este electrodo consiste en una espira de cable de cobre desnudo, con un diámetro mínimo de 33.6mm<sup>2</sup> y unalongitud mínima de 6m en contacto con la tierra, también el articulo 250-81 establece que debe tener unaprofundidad de por lo menos 80cm, así como también dice que se le pueden conectar electrodos.

### g) Malla.

La malla se hace armando una red de conductores de cobre desnudos, esta malla se puede mejorar con algunos electrodos. Esta malla es muy utilizada en las subestaciones eléctricas, ya que reduce el riesgo de descargas.

### h) Placa estrellada.

Este tipo de electrodo es una placa que tiene varias puntas en su contorno, esta se conecta por medio de unabarra atornillable. Su principal ventaja es que ayuda a que se disipe la energía a través de sus puntas.

### i) Electrodo de varillas de hierro o acero.

Prácticamente este electrodo son las varillas que se aprovechan en la construcción de algún edificio, lasvarillas deben tener por lo menos 16mm de diámetro.

### j) Electrodo de tubo metálico.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Este tipo de electrodo puede ser la tubería metálica del agua. El diámetro debe ser de mínimo 19mm, si el tubo es de acero o hierro tiene que tener una cubierta de otro metal para que lo proteja de la corrosión, la tubería debe estar enterrada por lo menos 3m.

k) Electrodo empotrado en concreto.

Este tipo de electrodo se debe encontrar en una cimentación que este enterrada y tenga una longitud de por lo menos 6m, con varillas desnudas con 13mm de diámetro mínimo. El electrodo debe estar incrustado en concreto como mínimo 5 cm.

l) Electrodo de aluminio.

Los electrodos de aluminio según el artículo 250-83 no están permitidos, ya que el aluminio se corroe rápidamente al estar en contacto con la tierra.

m) Electrodo horizontal o contra-antena.

El electrodo horizontal es un conductor de cobre desnudo enterrado de forma horizontal en una zanja de 50cm mínimo de profundidad, se pueden hacer varias configuraciones, pero la más utilizada es la línea recta. Su principal inconveniente es que la excavación es muy costosa.

n) Electrodo profundo.

Este tipo de electrodo no es más que una varilla copperweld unida a un conductor de cobre desnudo de gran longitud. Este electrodo es utilizado en terrenos donde haya mucha roca, se hace una perforación vertical profunda hasta encontrar las capas húmedas de la tierra, ya que la humedad aumenta la conductividad.

o) Electrodo en espiral.

El electrodo en espiral es un cable de cobre desnudo en espiral de diferentes diámetros y enterrados a diferentes profundidades para hacer contacto con las diferentes capas de la tierra.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

### p) Electrodo químicos.

Los electrodos químicos son aquellos electrodos a los que se les adiciona algún compuesto químico para aumentar la conductividad y de esta forma disminuir el valor de resistencia. De acuerdo a pruebas que se han realizado a los electrodos mencionados anteriormente se puede decir que el más utilizado es la varilla copperweld, gracias a su gran eficiencia y bajo costo de material e instalación.

### Naturaleza de los electrodos

Los electrodos pueden ser artificiales o naturales. Se entiende por electrodos artificiales los establecidos con el exclusivo objeto de obtener la puesta a tierra, y por electrodos naturales las masas metálicas que puedan existir enterradas.

Para las puestas a tierra se emplearan principalmente electrodos artificiales. No obstante los electrodos naturales que existirán en la zona de una instalación y que presenten y aseguren un buen contacto permanente con el terreno, pueden utilizarse bien solos o conjuntamente con otros electrodos artificiales. En general, se puede prescindir de éstos cuando su instalación presente serias dificultades y cuando los electrodos naturales cumplan los requisitos anteriormente señalados con sección suficiente y la resistencia de tierra que se obtenga con los mismos presentes un valor adecuado.

### Constitución de los electrodos artificiales

Los electrodos podrán estar constituidos por:

Electrodos simples constituidos por barras, tubos, placas, cables, pletinas u otros perfiles.- Anillos o mallas metálicas constituidas por elementos indicados anteriormente o por combinaciones de ellos.

Los electrodos serán de metales inalterables a la humedad y a la acción química del terreno, tal como el cobre, el hierro galvanizado, hierro sin galvanizar con protección catódica o fundición de hierro. Para este último tipo de electrodos, las secciones mínimas serán el doble de las secciones mínimas que se indican para los electrodos de hierro galvanizados.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Sólo se admite los metales ligeros, cuando sus resistencias a la corrosión son netamente superiores a la que presentan, en el terreno que se considere, el cobre o el hierro galvanizado.

La sección de un electrodo no debe ser inferior a la sección del conductor que constituye la línea principal de tierra.

### Constitución de los electrodos naturales

Los electrodos naturales pueden estar constituidos por:

a) Una red extensa de conducciones metálicas enterradas, siempre que la continuidad de estas conducciones quede perfectamente asegurada, y en el caso de que las conducciones pertenezcan a una distribución pública o privada, haya acuerdo con los distribuidores correspondientes. Se prohíbe utilizar como electrodos las canalizaciones de gas, de calefacción central y las conducciones de desagüe, humos o basuras.

b) La cubierta de plomo de los cables de una red eléctrica de baja tensión enterrada, con la condición de que la continuidad de la cubierta de plomo esté perfectamente asegurada y, en el caso de que la red pertenezca a una distribución pública, haya acuerdo con el distribuidor.

c) Los pilares metálicos de los edificios, si están interconectados, mediante una estructura metálica, y enterrados a cierta profundidad. El revestimiento eventual de hormigón no se opone a la utilización de los pilares metálicos como tomas de tierra y no modifica sensiblemente el valor de su resistencia de tierra.

### Configuraciones de electrodos

Como ya se mencionó, la varilla copperweld es el electrodo más utilizado debido a sus características, también ya mencionadas. El objetivo de este electrodo es estar en contacto con las capas húmedas de la tierra, y para lograrlo se recomienda instalarla en forma vertical, enterrada por lo menos 2.4m (figura 5), con esto se debe obtener un valor de resistencia bajo, si no se logra con una varilla se pueden colocar más varillas conectadas por

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

medio de conductor de cobre desnudo en diferentes configuraciones y un espaciado de por lo menos la longitud del electrodo. Figura 5. Instalación.

Los electrodos que se unan eléctricamente se deben considerar como un solo electrodo. Por norma la separación mínima entre los electrodos debe ser de 1.83m.

En la tabla 3.5 se muestra el porcentaje en que se disminuye el valor de resistencia de acuerdo a diferentes configuraciones de electrodos.

Numero de electrodos	Valor original	El valor original se reduce al
Un solo electrodo	100%	
Dos electrodos en línea		55%
Tres electrodos en línea		38%
Tres electrodos en triángulo		35%
Cuatro electrodos en simetría		28%
Ocho electrodos en simetría		16%

Tabla 3.5. Porcentaje de reducción del valor resistivo en función del tipo de configuración

### Anillo de tierra

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2AWG y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 800 mm y, que rodee al edificio o estructura.

Estos anillos de tierra se emplean frecuentemente circundando una fábrica o un sitio de comunicaciones, para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos.

### Mallas

La norma oficial mexicana de instalaciones eléctricas requiere de un sistema enmallado de tierra con múltiples electrodos y conductores enterrados, cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas, con el fin de minimizar los riesgos al personal en función de la tensión eléctrica de paso y de contacto [921-18]

La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 0,30 a 1,0m, colocados paralela y perpendicularmente con un espaciado adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

El cable que forma el perímetro exterior de la malla debe ser continuo de manera que encierre toda el área en que se encuentra el equipo eléctrico de la subestación o planta generadora. Con ello, se evitan altas concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas [921-25).

En cada cruce de conductores de la malla, éstos deben conectarse rígidamente con soldadura exotérmica entresí y en los puntos donde se conectan los equipos que pudieran presentar falla o, en las esquinas de la malla, los conductores deben conectarse a electrodos de varilla o tubo de 2,4 m de longitud mínima, clavados verticalmente.

Los cables que forman la malla deben colocarse preferentemente a lo largo de las hileras de estructuras o equipo para facilitar la conexión a los mismos, ya que es una práctica común de ingeniería aterrizar a dos cables diferentes todos los equipos.

Los conectores empleados en la malla del sistema de tierras de una subestación deben ser de tipo decompresión o soldables.

### Electrodos para puesta a tierra en radio frecuencia (no en NOM).

En el caso de torres de radiodifusión, se emplean cables en configuración de estrella (radiales) para su puesta a tierra. Y, se ha encontrado más efectivo tener conectados los cables en un punto que tener múltiples anillos rodeando el sitio. Esos cables radiales pueden ser menores a 30 m de largo si el suelo es adecuado. Los cables dispersan la energía de las descargas muy eficientemente. Como la corriente se divide en proporciones iguales en los cables radiales, entre más cables, menor corriente los circula. Y, una baja corriente es más fácil de disipar y tendrá menor impacto en la elevación del potencial de tierra del sistema.

En el artículo 10.3 se describe la resistencia a tierra (teórica) de estos electrodos en sus distintas configuraciones.

### Compuestos químicos

El problema de lograr una resistencia baja en la roca así como en otros suelos de alta resistividad, está asociada con el material en contacto con el electrodo y la compactación que éste recibe al rellenar el agujero.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. Labentonita entre otros compuestos como el sulfato de magnesio o de sulfato de cobre, o de compuestos químicos patentados (THOR GEL, GEM, etc.) cumple con esos requisitos.

La bentonita es una arcilla consistente en el mineral montmorillonita, un silicato de aluminio, y tiene la particularidad de absorber hasta cinco veces su peso de agua y de hincharse hasta 13 veces su volumen seco. Y tiene una resistividad de 2.5 ohm-m con humedad del 300%.

Aparte del relleno con alguno de los compuestos mencionados, existen otros métodos químicos más. En el primero, en un registro junto a la varilla se colocan unos 30 cm de los compuestos.

### 3.6 CONECTORES

Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados {250-115}, ver figura 9. Y no debentener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.)



Figura 3.6 Conectores.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben de ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra, y cuando se usen enterradas, debenser del tipo apropiado {250–115}.

### Registros

La sección {250–117} dice textualmente que "las abrazaderas u otros accesorios para puesta a tierra, debenestar aprobados para su uso general sin protección, o protegerse contra daño físico con una cubiertaprotectora.", y la Sección 250–112 menciona que la conexión debe ser accesible, siempre que no esté en unelectrodo hundido, empotrado o enterrado.

Pero en el caso de las subestaciones, la misma norma especifica que deben hacerse mediciones periódicas en los registros para comprobar que los valores del sistema de tierras se ajustan a los valores de diseño. Por ello,se recomienda dejar registros en los electrodos de varilla.

Aparte de los registros de fábrica, se pueden construir esos registros empleando un tubo de albañal, con laboca hacia arriba para que sirva de tope a una tapa de cemento. (figura 10).

### **3.6.1 MEDICION DE LA RESISITIVIDAD DEL TERRENO Y LA RESISTENCIA DE TIERRA**

#### Mediciones

Medir: es comparar una magnitud con otra de la misma especie de manera arbitraria o de maneraconvencional se toma como base, unidad o patrón de medida

#### Principio de funcionamiento del medidor de resistencia a tierra

Este aparato se basa en el método de compensación y funciona con un generador magneto de c.a., que lleva untransformador en serie de relación exacta 1:1, es decir, que la

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

intensidad por el primario es siempre igual a la del secundario. Según se muestra en la figura 11, disponiendo de dos pequeños electrodos clavados en el suelo, como tomas de tierra auxiliares (R1, R2), además de la toma de tierra que queremos medir (Rt), ya pueden establecerse las ecuaciones que resuelven el circuito eléctrico.

Dando vueltas a la manivela de la magneto y ajustando al mismo tiempo el potenciómetro de manera que por el galvanómetro no pase intensidad, tendremos que esto sucederá cuando las tensiones  $E = r I_2$  y  $E = R_t I_1$  sean iguales, pero como por otra parte, las intensidades también serán iguales  $I_1 = I_2$  tendremos:

$$r I_2 = R_t I_1 ; r I_2 = R_t I_2$$

y por tanto:

$$r = R_t$$

Es decir, la resistencia que marque el potenciómetro será igual a la resistencia de la toma de tierra.

La particularidad de este método consiste en que la medición, se hace independientemente de las tomas de tierra auxiliares que se realizan R1 y R2, aunque es aconsejable que R2 no sea muy grande, pues de ella depende la intensidad I1, y esta no conviene que sea muy pequeña.

Estas tres tomas de tierra deberán estar separadas unas de otras unos 10 m. para evitar la influencia entre ellas.

También es importante resaltar la conveniencia de hacer estas mediciones a frecuencias distintas a la industrial, para evitar las posibles interferencias con otras corrientes que no pertenezcan al aparato. Por lo general las frecuencias que utilizan los telurómetros son relativamente altas, del orden de 500 a 1.200 Hz.

El telurómetro descrito corresponde a un modelo clásico de hace años; en la actualidad, basados en este principio, se construyen modelos que sustituyen la magneto por generador a pilas y la lectura de las mediciones se realiza, en algunos modelos, sobre una pantalla de cristal líquido.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

## Medición de tierra

La instalación de un sistema de puesta a tierra permite la protección de las personas y los bienes contra los efectos de las caídas de rayos, descargas estáticas, señales de interferencia electromagnética y corrientes de fuga a tierra. Por lo tanto, la ejecución correcta de la misma brinda importantes beneficios al evitar pérdidas de vidas, daños materiales e interferencias con otras instalaciones.

Las distintas normas de aplicación establecen que deben ponerse a tierra las partes metálicas de los aparatos e instalaciones que no pertenezcan al circuito de servicio, y puedan entrar en contacto con partes sometidas a tensión en caso de avería o establecimiento de arcos. Por este motivo, en los aparatos y en las partes de la instalación hay que prever un cable de puesta a tierra que se conecte directa o indirectamente a la toma de puesta a tierra, constituida por electrodos y mallas de conductores enterrados convenientemente.

Para una acción eficaz, resulta primordial que la resistencia de puesta a tierra tome un valor tal que no origine tensiones peligrosas al circular la corriente de falla; por lo que su valor está perfectamente acotado por las normas de aplicación para los distintos tipos de instalaciones.

La base de un buen sistema de puesta a tierra comienza con la selección del mejor lugar de emplazamiento y el ensayo del suelo que rodeará a la toma, procurando localizar el área con la más baja resistividad. Luego de su instalación, se debe ensayar la toma de tierra propiamente dicha, para verificar que su valor se corresponde con el de diseño. Finalmente se recomienda realizar controles periódicos para detectar cambios en los valores correspondientes.

Por todo lo anterior, la medición correcta de la resistividad del terreno y de la resistencia de puesta a tierra de una instalación determinada adquiere una importancia relevante.

En principio digamos que los valores que se pueden medir en la práctica se ven influenciados por una serie de factores que impiden obtener resultados con gran exactitud. Entre los mismos podemos citar la posible existencia de corrientes vagabundas de c.c. y de c.a., el carácter electrolítico del terreno y su eventual polarización, la aparición de potenciales galvánicos, el acoplamiento inductivo y/o capacitivo con otros sistemas, la ocurrencia de lluvias cercanas al momento en que se hace la medición, las irregularidades en la composición geológica del terreno y su grado de compactación, etcétera.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Para disminuir los efectos de las corrientes vagabundas de c.a, es conveniente que en las mediciones no se utilicen corrientes cuya frecuencia ( $f_m$ ) sea un múltiplo de la frecuencia de red ( $f_r$ ) (armónicas superiores). Adicionalmente se pueden utilizar filtros sintonizados adecuados. Por lo anterior:

$$f_m = [f_r (2n \pm 1) / 2] \pm 10 \text{ Hz con "n" número entero}$$

Por otro lado, el uso de corrientes no unidireccionales evita la distorsión de los valores medidos por acción de los potenciales galvánicos y la polarización electrolítica.

Sin embargo hay que tener en cuenta que, cuando se utiliza corriente continua periódicamente invertida, los valores de resistencia obtenidos pueden no ser confiables para su uso con corrientes alternas. Asimismo, si las mediciones se efectúan con corriente alterna, los valores obtenidos a una frecuencia pueden no ser útiles para otra frecuencia muy distinta.

Como en algunos casos existen elementos de metal enterrado, conductos de agua subterráneos, etcétera; que pueden distorsionar las mediciones, se recomienda realizar varios ensayos con diferentes orientaciones en el sitio.

Por lo tanto, los resultados de las mediciones deben someterse a un análisis crítico para identificar las posibles fuentes de error, y eventualmente replantear la forma de ejecución de los ensayos.

En algunos casos puede ser conveniente realizar una gran cantidad de mediciones utilizando distintos métodos y luego analizar las tendencias resultantes.

### Medición de la resistencia de tierra por el método de los tres puntos

El método de medición con el puente de Nippold requiere el emplazamiento de dos tomas de tierras auxiliares, cuyas resistencias de dispersión a tierra designaremos como  $R_2$  y  $R_3$ , mientras que la resistencia de la toma bajo ensayo se denominará  $R_1$ .

En estas condiciones, se miden las resistencias  $R_{1-2}$ ,  $R_{2-3}$  y  $R_{1-3}$  comprendidas entre cada par de tomas, utilizando preferentemente un puente de corriente alterna.

Como  $R_{1-2} = R_1 + R_2$ ,  $R_{2-3} = R_2 + R_3$  y  $R_{1-3} =$

$R_1 + R_3$ ; resulta:

$$R_1 = (R_{1-2} + R_{1-3} - R_{2-3}) / 2$$

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Las resistencias de cada uno de los electrodos auxiliares deben ser del mismo orden que la resistencia que se espera medir.

Si las dos tomas auxiliares son de mayor resistencia que la toma de tierra bajo ensayo, los errores en las mediciones individuales serán significativamente magnificados en el resultado final obtenido con la ecuación anterior. Para tal caso se recomienda colocar los electrodos a una gran distancia entre sí.

Para la toma de tierra de áreas extensas, las que presumiblemente tienen bajos valores de resistencia, se recomienda que las distancias entre electrodos sean del orden de la mayor diagonal del área a medir.

Este método resulta dificultoso para instalaciones de puesta a tierra de grandes subestaciones y centrales generadoras, donde resulta preferible el método de la caída de tensión.

### Medición de la resistencia de tierra por el método de los dos puntos

Este método resulta de una simplificación del expuesto precedentemente. En este caso, se mide la resistencia total de la toma de tierra bajo ensayo y de otra toma auxiliar, cuya resistencia de tierra se presupone despreciable frente a la primera.

Como es de esperar, el valor de resistencia que se obtiene de esta manera está sujeto a grandes errores cuando se usa para medir resistencias pequeñas, pero en algunas ocasiones es muy práctico para los ensayos "por sí o por no".

### Medición de la resistencia de tierra por el método de la caída de tensión

El método consiste en inyectar una corriente de medición ( $I$ ) que pasa por el terreno a través de la toma o dispersor de puesta a tierra a medir y por un electrodo auxiliar de corriente ubicado en un punto suficientemente alejado para ser considerado como integrante de la masa general del planeta (tierra verdadera). En estas condiciones se instala un segundo electrodo auxiliar de tensión ubicado a mitad de camino entre la toma bajo ensayo y el electrodo auxiliar de corriente, midiéndose la caída de tensión " $U$ " que aparece entre la toma de tierra a medir y el electrodo auxiliar de tensión. Para medir la tensión se puede utilizar

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

unpotenciómetro o un voltímetro de alta impedancia interna, mientras que para medir la corriente se utiliza un amperímetro conectado directamente o a través de un TI tipo pinza, que facilita el trabajo al controlar instalaciones existentes.

Por aplicación de la ley de Ohm, la resistencia  $R_1$  del dispersor resulta:

$$R_1 = U / I$$

Las resistencias de cada uno de los electrodos auxiliares no presentan requisitos tan estrictos como en los métodos anteriores, si bien se recomienda que el electrodo de corriente tenga una resistencia lo suficientemente baja como para permitir un adecuado paso de la corriente.

Si bien en teoría la influencia del dispersor se extiende hasta el infinito, debe considerarse que tal influencia varía inversamente con la distancia siguiendo una ley exponencial, pues la sección ofrecida a las trayectorias de corriente aumenta al alejarse del dicho dispersor.

Por lo anterior, a los efectos prácticos dicha influencia se concentra en las cercanías del dispersor y se torna despreciable a distancias superiores a los 50 m en el caso de tomas de áreas reducidas o de simples electrodos

El método de la caída de tensión resulta adecuado para casi todos los tipos de mediciones de resistencia de puesta a tierra.

### Medición de la resistividad utilizando muestras de suelo

La estimación de la resistividad del terreno a partir de la medición de la resistividad de una muestra extraída del mismo, se puede realizar empleando el método de los cuatro puntos en una caja prismática pequeña de sección transversal cuadrada, en la que se introduce el material extraído de la probeta respectiva.

Como es de esperar, el valor de resistividad que se obtiene de esta manera resulta menos exacto que el que se obtendría en el terreno real, pero en algunas ocasiones es el único camino posible.

### Recomendaciones para efectuar las mediciones

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Enterrar uno o más electrodos de tierra de una altura de 3m, y enterrarla a 2.4m como mínimo esto de acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999, para poder crear una malla o red de mallas

Para realizar una medición por el método del 62 % se selecciona un electrodo al azar. Por ejemplo si se desea calcular la resistencia de tierra a una distancia de 15m se colocaran dos electrodos de 30 cm cada uno. El segundo a 9.3m del primer electrodo (esto es el 62 % de 15m)

1. El tercero a 15m, que será el 100 % de la distancia
2. El telurómetro aplica una diferencia de potencial a los electrodos
3. Desplazar el interruptor al símbolo de  $\infty$  (resistencia) Presionar el botón, por medio de la perilla girar, observar en la carátula la escala de corriente, y verificar que se encuentre en el valor cero de corriente para obtener una medición más exacta
4. Realizar varias mediciones de la misma manera pero tomando como referencia otros electrodos
5. Sacar una medición promedio de todos los valores obtenidos. El valor obtenido es la resistencia más exacta del terreno.

### Diferentes esquemas y disposiciones de conexión a tierra

Existen cuatro esquemas de aterrizado de equipos electrónicos. Estos son:

- Esquema convencional.
- Esquema de tierra aislada.
- Esquema de tierra aislada total.
- Esquema de malla de referencia.

#### Esquema convencional.

El esquema convencional utiliza únicamente las recomendaciones de la NOM-001-SEDE-1999 {250-} pero no incluye el uso de los contactos de tierra aislada de la

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

sección {250–74 Excepción 4}. Este esquema encuentra su uso en las instalaciones de PCs y de PLC's, donde sus alambrados están distribuidos en áreas muy pequeñas.

No es recomendado para muchas instalaciones de sistemas electrónicos distribuidos, porque:

- Puede resultar excesivamente ruidoso el sistema de tierra.
- Los transitorios pueden sobrepasar el nivel de aislamiento.
- No es compatible con las recomendaciones de la mayoría de los fabricantes de equipos electrónicos.
- No puede ser fácilmente realambrado para cumplir con esquemas de aterrizado de redes de cómputo.
- El alambrado puede ser obsoleto cuando se cambien las tarjetas y equipos por otros de una tecnología de mayor velocidad.

### Esquema de tierra aislada

Este esquema es el más socorrido en la industria y por la mayoría de los proveedores de equipos electrónicos.

En esta configuración se tiene una tierra relativamente libre de ruido e interferencia para la referencia lógica de los aparatos y, es complementada con la tierra de seguridad convencional del sistema de tierras de potencia. Pero, tiene las siguientes limitaciones:

- a) En altas frecuencias, la impedancia del conductor de tierra es demasiado alta para servir de buena conexión.
- b) El acoplamiento de las tierras dentro de los aparatos puede causar lazos de corriente, resultando en ruido electrónico.

Un arreglo de este esquema es hacer un anillo de tierras alrededor de los pisos de un edificio o un cuarto de cómputo. Y de este anillo se hacen varias conexiones al sistema perimetral de tierras, siempre que tengan las mismas longitudes y estén acomodadas simétricamente. Y a este sistema interno se conectan los equipos.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

## Esquema de tierra aislada total

Este esquema consiste en conectar todos los aparatos e instrumentos a tierra usando una configuración de estrella a partir de un solo punto físico, el cual es un cabezal o placa de conexión –Existen fabricantes de ellas–, el o la cual a su vez está conectada mediante un conductor apropiado a la red general de tierra. Sin embargo, también tiene sus limitaciones:

- a) Esta configuración puede ser difícil de crear en un ambiente industrial.
- b) Todos los equipos cercanos deben conectarse de esta manera a tierra o, se pueden tener lazos de corrientes.
- c) Puede tener una impedancia en alta frecuencia muy alta, que en términos prácticos, la puesta a tierra se vuelve ineficaz.

Este problema es posible que no se tenga en la mayoría de equipos industriales, porque no emplean muy altas frecuencias.

## Esquema de malla de referencia.

Observar que adicionalmente a la estrella mencionada en el punto anterior, los equipos y partes metálicas estructurales se conectan a este tipo de piso mediante trencillas, y que al ofrecer un plano de referencia de tierra, baja la impedancia a tierra en todas las frecuencias. Sus limitantes son:

- a) Muchos fabricantes de equipos electrónicos industriales no están de acuerdo con su empleo.
- b) En ambientes industriales, es difícil su implementación.

No importa cual de los tres últimos métodos se emplee para la puesta a tierra de los equipos electrónicos, la trayectoria es crucial. No coloque puentes de unión a través de otro equipo. Siempre conecte a tierra cada aparato por separado.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Los equipos en racks deben conectarse a tierra no obstante se supondría que los perfiles del rack los pondrían a tierra, lo que no siempre es real porque existen problemas de pintura y de montaje. Para ellos, es mejor la conexión mediante un solo cable y, la punta sobrante conectarla al sistema interno de tierras ya descrito. Este cable es mejor que sea aislado para que no cortocircuite otros cables que puedan aterrizar el equipo.

El aterrizado de blindajes y el de cables de señal deben ser parte integral del diseño de sistemas de tierras.

### 3.6.2 DETERMINACIÓN DEL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES DEL SISTEMA DE TIERRA

#### Conductor del electrodo de puesta a tierra

Aparato mecánico de conexión para partes puestas a tierra de un circuito eléctrico, capaz de soportar durante un tiempo específico corrientes eléctricas en condiciones anormales como las de un cortocircuito, pero que no se requiere para conducir corriente eléctrica en condiciones normales del circuito eléctrico.

De acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999.

Materiales. Los materiales del conductor del electrodo de puesta a tierra se especifican en los siguientes incisos:

a) Conductor del electrodo de puesta a tierra. El conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser de cobre o aluminio. El material elegido debe ser resistente a la corrosión que se pueda producir en la instalación, y debe estar adecuadamente protegido contra la corrosión. El conductor debe ser macizo o cableado, aislado, forrado o desnudo, y debe ser de un solo tramo continuo, sin empalmes ni uniones.

Excepción 1: Se permiten empalmes en barras conductoras.

Excepción 2: Cuando haya una acometida con más de un envolvente, está permitido conectar derivaciones al conductor del electrodo de puesta a tierra. Cada una de estas derivaciones debe llegar hasta el interior del envolvente. El tamaño nominal del conductor del

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

electrodo de puesta a tierra debe estar de acuerdo con lo indicado en 250-94, pero los conductores de la derivación pueden tener un tamaño nominal de acuerdo con los conductores del electrodo de puesta a tierra especificados en 250-94, según el conductor de mayor tamaño nominal que entre en los respectivos envolventes. Los conductores de la derivación se deben conectar al conductor del electrodo de puesta a tierra de modo que este conductor no contenga ningún empalme o unión.

Excepción 3: Se permite empalmar el conductor del electrodo de puesta a tierra por medio de conectores de presión del tipo irreversible aprobado y listado para ese fin o mediante un proceso de soldadura exotérmica.

b) Tipos de conductores para la puesta a tierra de equipo. El conductor de puesta a tierra de equipo tendido con los conductores del circuito o canalizado con ellos, debe ser de uno de los siguientes tipos o una combinación de varios de ellos: (1) un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. Este conductor debe ser macizo o cableado, aislado, cubierto o desnudo y formar un cable o barra de cualquier forma; (2) un tubo metálico tipo pesado; (3) un tubo metálico tipo semipesado; (4) un tubo metálico tipo ligero; (5) un tubo metálico flexible, si tanto el tubo como sus accesorios están aprobados y listados para puesta a tierra; (6) la armadura de un cable de tipo AC; (7) el blindaje de cobre de un cable con blindaje metálico y aislamiento mineral; (8) el blindaje metálico de los conductores con blindaje metálico y los conductores de puesta a tierra que sean cables de tipo MC; (9) los soportes para cables tipo charola, tal como se permite en 318-3(c) y 318-7; (10) cable ductos, tal como se permite en 365-2(a); (11) otras canalizaciones metálicas con continuidad eléctrica, aprobadas para usarse para puesta a tierra.

Excepción 1: Cuando los conductores de un circuito, como los contenidos en este Artículo, estén protegidos por dispositivos de sobre corriente de 20 A nominales o menos, se permiten como medios de puesta a tierra de esos circuitos a tubo metálico flexible y tubo metálico flexible hermético a los líquidos de tamaños nominales de 10 a 35 mm, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

a) Que la longitud sumada del tubo metálico flexible y del tubo metálico flexible hermético a los líquidos en el mismo tramo de retorno de tierra, no sea superior a 1,8 m.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

b) Que el tubo termine en accesorios aprobados y listados para puesta a tierra.

Excepción 2: Cuando los conductores de un circuito contenidos en ellos estén protegidos por dispositivos de sobre corriente de más de 20 A nominales pero que no excedan de 60 A, se permite utilizar como medios de puesta a tierra de esos circuitos al tubo metálico flexible y hermético a los líquidos aprobado y listado en diámetros nominales 19 a 32 mm, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

a. Que la longitud total del tubo metálico flexible del tramo de retorno de tierra, no sea superior a 1,8 m.

b. Que no haya otro tubo metálico flexible o tubo metálico flexible hermético a los líquidos de tamaños nominales de 10 a 35 mm que sirva como conductor de puesta a tierra de equipo en el mismo tramo de retorno de tierra.

c. Que el tubo termine en accesorios aprobados y listados para puesta a tierra.

c) Puesta a tierra suplementaria. Se permiten electrodos suplementarios de puesta a tierra para aumentar los conductores de puesta a tierra de equipo especificados en 250-91(b), pero el terreno natural no se debe utilizar como el único conductor de puesta a tierra de equipo.

250-92. Instalación. Los conductores de puesta a tierra se deben instalar como se especifica en los siguientes incisos:

a) Conductor del electrodo de puesta a tierra. Un conductor del electrodo de puesta a tierra o su envolvente debe sujetarse firmemente a la superficie sobre la que va instalado. Un conductor de cobre o aluminio de  $21,15 \text{ mm}^2$  (4 AWG) o superior se debe proteger si está expuesto a daño físico severo. Se puede llevar un conductor de puesta a tierra de  $13,3 \text{ mm}^2$  (6 AWG) que no esté expuesto a daño físico, a lo largo de la superficie del edificio sin tubería o protección metálica, cuando esté sujeto firmemente al edificio; si no, debe ir en tubo metálico tipo pesado, semipesado, ligero, en tubo no-metálico tipo pesado, o un cable armado. Los conductores de puesta a tierra de tamaño nominal inferior a  $13,3 \text{ mm}^2$  (6 AWG) deben alojarse en tubo metálico tipo pesado, semipesado, ligero, en tubo no-metálico tipo pesado, o en cable armado

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

No se deben usar como conductores de puesta a tierra, conductores aislados o desnudos de aluminio que estén en contacto directo con materiales de albañilería o terreno natural, o si están sometidos a condiciones corrosivas. Cuando se utilicen a la intemperie, los conductores de puesta a tierra de aluminio no se deben instalar a menos de 45 cm del terreno natural.

b) Envolturas para conductores del electrodo de puesta a tierra. Las envolturas metálicas del conductor del electrodo de puesta a tierra deben ser eléctricamente continuas desde el punto de conexión a los envolturas de equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, y deben estar sujetas firmemente a las abrazaderas o herrajes de tierra. Las envolturas metálicas que no sean continuas físicamente desde el envoltura o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, se deben hacer eléctricamente continuas mediante un puente de unión de sus dos extremos al conductor de puesta a tierra. Cuando se utilice una canalización como protección del conductor de puesta a tierra, su instalación debe cumplir los requisitos del Artículo correspondiente a las canalizaciones.

c) Conductor de puesta a tierra de equipo. Un conductor de puesta a tierra de equipo se debe instalar como sigue:

1) Cuando consista en una canalización, un soporte para cables tipo charola, armadura o forro de cables cuando sea un conductor dentro de una canalización o cable, se debe instalar cumpliendo las disposiciones aplicables de esta NOM usando accesorios para uniones y terminales que estén aprobados para usarlos con el tipo de canalización o cable utilizados. Todas las conexiones, uniones y accesorios se deben fijar firmemente con los medios adecuados.

2) Cuando haya un conductor independiente de tierra de equipo, como establece la Excepción de 250-50(a) y (b) y la Excepción 2 de 250-57(b) se debe instalar de acuerdo con lo indicado en el inciso (a) anterior en lo que respecta a las limitaciones del aluminio y a la posibilidad de daño físico.

Excepción: No es necesario que los cables inferiores a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) se alojen dentro de una canalización o armadura cuando se instalen por los espacios huecos de una pared o cuando vayan instalados de modo que no sufran daño físico.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

250-93. Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra para c.c. En los siguientes incisos se fijan los tamaños nominales de los conductores del electrodo de puesta a tierra de una instalación de c.c.

a) No debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro. Cuando un sistema eléctrico de c.c. consista en un circuito balanceado de tres conductores o un devanado de equilibrio con protección contra sobre corriente, como se establece en 445-4(d), el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro.

b) No debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor más grande. En instalaciones de c.c. distintas a las del anterior inciso (a), el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor de mayor tamaño nominal del suministro de energía.

c) No debe ser inferior a 8,367 mm<sup>2</sup> (8 AWG). En ningún caso el conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser inferior a 8,367 mm<sup>2</sup> (8 AWG) de cobre o de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de aluminio.

Excepciones a los anteriores (a) a (c):

a. Cuando esté conectado a electrodos fabricados como se indica en 250-83(c) o (d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de cobre o 21,15 mm<sup>2</sup> (4 AWG) de aluminio.

b. Cuando esté conectado a un electrodo empotrado en concreto, como se indica en 250-81(c), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de cobre o 21,15 mm<sup>2</sup> (4 AWG) de aluminio.

c. Cuando esté conectado a un anillo de tierra como se indica en 250-81(d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea de mayor tamaño nominal que el conductor utilizado en el anillo de tierra.

250-94. Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de c.a. El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra de una instalación de c.a. puesta o no puesta a tierra, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 6.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

Excepción:

- Cuando esté conectado a electrodos fabricados como se indica en la sección 250–83(c) o (d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo, sea superior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de cobre o 21,15 mm<sup>2</sup> (4 AWG) de aluminio.
- Cuando esté conectado a un electrodo empotrado en concreto, como se indica en 250–81(c), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de cobre o 21,15 mm<sup>2</sup> (4 AWG) de aluminio.
- Cuando esté conectado a un anillo de tierra como se indica en 250–81(d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo sea de mayor tamaño nominal que el conductor utilizado en el anillo de tierra.

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm <sup>2</sup> (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del conductor al electrodo de tierra mm <sup>2</sup> (AWG o kcmil)	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
33,62 (2) ó menor	53,48 (1/0) ó menor	8,367 (8)	13,3 (6)
42,41 o 53,48 (1 ó 1/0)	67,43 o 85,01 (2/0 ó 3/0)	13,3 (6)	21,15 (4)
67,43 o 85,01 (2/0 ó 3/0)	4/0 ó 250 kcmil	21,15 (4)	33,62 (2)
Más de 85,01 a 177,3 (3/0 a 350)	Más de 126,7 a 253,4 (250 a 500)	33,62 (2)	53,48 (1/0)
Más de 177,3 a 304,0 (350 a 600)	Más de 253,4 a 456,04 (500 a 900)	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
Más de 304 a 557,38 (600 a 1100)	Más de 456,04 a 886,74 (900 a 1750)	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
Más de 557,38 (1100)	Más de 886,74 (1750)	85,01 (3/0)	126,7 (250)

Tabla 3.6.2 Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.

250–95. Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo. El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

inferior a lo especificado en la Tabla 3.6.2. Cuando haya conductores en paralelo en varias canalizaciones o cables, como se permite en 310-4, el conductor de puesta a tierra de equipo, cuando exista, debe estar instalado en paralelo. Cada conductor de puesta a tierra de equipo instalado en paralelo debe tener un tamaño nominal seleccionado sobre la base de la corriente eléctrica nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente que proteja los conductores del circuito en la canalización o cable.

Cuando se usen varios grupos de conductores de entrada a la acometida, como permite la Sección 230-40

Excepción No. 2, la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida se debe calcular por la mayor suma de las secciones transversales de los conductores de cada grupo.

Cuando no haya conductores de entrada a la acometida, la sección transversal del conductor al electrodo de puesta a tierra se debe calcular por la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida de acuerdo con la corriente eléctrica de carga calculada.

Véanse las restricciones de instalación en 250-92(a).

NOTA: Para el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de una instalación de c.a. conectado con un equipo de la acometida, véase 250-23 (b).

Cuando el tamaño nominal de los conductores se ajuste para compensar caídas de tensión eléctrica, los conductores de puesta a tierra de equipo, cuando deban instalarse, se deberán ajustar proporcionalmente según el área en mm<sup>2</sup> de su sección transversal.

Cuando solo haya un conductor de puesta a tierra de equipo con varios circuitos en el mismo tubo o cable, su tamaño nominal debe seleccionarse de acuerdo con el dispositivo de sobre corriente de mayor corriente eléctrica nominal de protección de los conductores en el mismo tubo o cable.

Si el dispositivo de sobrecorriente consiste en un interruptor automático de disparo instantáneo o un protector de motor contra cortocircuitos, como se permite en 430-52, el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de equipo se puede seleccionar de acuerdo con la capacidad nominal del dispositivo de protección del motor contra sobrecorriente, pero no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 3.6.7.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

Excepción 1: Un conductor de puesta a tierra de equipo no inferior a 0,8235 mm<sup>2</sup> (18 AWG) de cobre y no menor al tamaño nominal de los conductores del circuito y que forme parte de cables de aparatos eléctricos, según se establece en 240-4.

Excepción 2: No es necesario que el conductor de puesta a tierra de equipo sea de mayor tamaño nominal que el de los conductores de los alimentadores de equipo.

Excepción 3: Cuando se use como conductor de puesta a tierra de equipo un tubo o armadura o blindaje de cable, como se establece en 250-51, 250-57(a) y 250-91(b).

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. (A)	Tamaño nominal mm <sup>2</sup> (AWG o kcmil)		Cable de aluminio
		Cable de cobre	
5	2,082 (14)	—	
20	3,307 (12)	—	
30	5,26 (10)	—	
40	5,26 (10)	—	
60	5,26 (10)	—	
100	8,367 (8)	13,3 (6)	
200	13,3 (6)	21,15 (4)	
300	21,15 (4)	33,62 (2)	
400	33,62 (2)	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 (600)	
3000	202,7 (400)	304 (600)	
4000	253,4 (500)	405,37 (800)	
5000	354,7 (700)	608 (1200)	
6000	405,37 (800)	608 (1200)	

Tabla 3.6.3 Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipos.

## CAPÍTULO 4

### DESARROLLO DEL PROYECTO DE ESTADÍA

#### 4.1 CONOCIMIENTOS DEL ÁREA

Granja avícola las nueces de la zona Cuitláhuac, está ubicada en la carretera federal Córdoba Veracruz, en el km 35, Dos Caminos Ver.

Dicha granja cuenta con cinco diferentes modelos de generadores de energía eléctrica los cuales tienen una capacidad de salida en Kw como se muestra en la tabla 4.1.

MODELO	SALIDA KW	MODELO DE CONTROLADOR	Cantidad de galpones que alimentan
John deere	150 kw	datakon	seis
John deere	150 kw	Mec 20	Seis
John deere	150 kw	Mec 20	Seis
John deere	150 kw	Mec 310	Seis
Cummins	300 kw	cummins	Dese

Tabla 4.1 modelos de generados eléctricos.

El área se considera en el rango de granja semiautomática dado que cuenta con controladores automáticos en cada gabinete de generación, teniendo en cuenta que cada uno de ellos tiene la opción de arrancadores de forma manual. Estos controladores tienen una tarea muy importante dado que de ellos depende de cierta forma la producción.

#### 4.2 CONCEPTO GENERAL DE CONTROLADOR

Controlador es una unidad de control basada en un microprocesador que contiene todas las funciones necesarias para protección y control de un generador de potencia.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Además del control y protección del motor diesel, contiene un circuito para medida de voltaje y corriente trifásicos en CA. La unidad está equipada con una pantalla LCD que presenta todos los valores y alarmas.

### 4.2.1 tipos de controles utilizados

#### 4.2.2 MEC20 0 MEC310

Thomson Technology de interruptores de transferencia automática emplea dos mecanismos interruptores de potencia, mecánicamente enclavados y encerrados, y un controlador, basado en microprocesador, para automáticamente transferir la carga del sistema a un alimentador proveniente de un generador en el caso que falle el suministro de la empresa local energía. La carga del sistema es retransferida de regreso al suministro de la empresa local de energía cuando ésta se restablece dentro de los valores normales de operación. Los interruptores de transferencia equipados con controladores MEC2, MEC20 0 MEC310, tienen funciones de control integral de auto arranque y monitoreo de motor-generador y monitoreo, por lo tanto estas aplicaciones no requieren de un panel de control de auto arranque montado en el motor.

Cuando la tensión de la Red cae a un valor más bajo que un cierto valor nominal en cualquiera de las fases (ajustable entre 70% y 100% del valor nominal), se inicia el conteo de un tiempo de retardo para arranque del motor y se apaga la señal que mantenía la carga conectada a la Red (abriendo contactos). Después que ese tiempo de retardo se termina (ajustable entre 0 y 60 segundos), se activa una señal de arranque del motor (cerrando contactos).

Una vez que el motor arranca, el controlador del interruptor de transferencia monitorea los niveles de voltaje y frecuencia del generador. Una vez que los valores de voltaje y frecuencia del generador están por encima de ciertos valores (ajustables entre 70% y 95% del nominal), se inicia un conteo de tiempo para permitir calentamiento del motor. Un terminado este tiempo (ajustable entre 0 y 60 segundos), la señal de transferencia a la fuente del generador se activará (cerrando contactos) hacia el mecanismo del interruptor de transferencia. La carga se transferirá entonces desde la Red al generador por medio del mecanismo motorizado de la transferencia.

## MEC 310

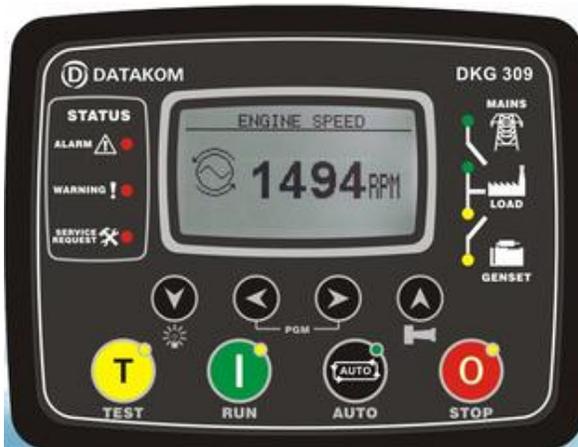
### CONTROLADOR DE GENERADOR

Manual de Instalación y Operación  
1.0472



Figura 4.2.2 controlador de generador.

### 4.2.3 datakon



## 4.3 ESTUDIOS DE SUELOS

Un estudio de suelos permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir la composición de los elementos en las capas de profundidad, así como el

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

tipo de cimentación más acorde con la obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar.

Esta investigación que hace parte de la ingeniería civil es clave en la realización de una obra para determinar si el terreno es apto para llevar a cabo la construcción de un inmueble u otro tipo de intervención.

Estos estudios se realizan para determinar la resistividad eléctrica del suelo o los niveles de corrosión presentes que pueden reducir significativamente la vida útil de una estructura metálica.

Los resultados de estos estudios son utilizados para los diseños de sistemas puesta a tierra.

El método que emplearemos es uno de los más comunes y utilizados en la industria petrolera y telecomunicaciones: Método Wenner. Dicho método se realizan insertando los 4 electrodos en el suelo colocándolos en línea recta y a una misma profundidad de penetración.

Dicho método también se utilizan para determinar la existencia de nivel freático para la instalación de pozos de extracción de agua.

## **4.4 RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

### **4.4.1 La tierra y la resistividad.**

El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas.

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno". En la NOM-022-STPS-1999 se define el término resistividad, como la resistencia que ofrece

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado, y Su representación dimensional debe estar expresada en Ohm-m, cuya acepción es utilizada internacionalmente.

Para un mejor entendimiento de la tierra y su resistividad debemos tomar en cuenta los siguientes conceptos:

### 4.4.2 composición del terreno

La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m por lo que una varilla electrodo enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 ohms respectivamente. En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm-m o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 ohm o menos con una sola varilla electrodo es virtualmente imposible.

### 4.4.3. Estratigrafía

El terreno obviamente no es uniforme en sus capas. En los 3 m de longitud de una varilla electrodo típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos.

### 4.4.4. Granulometría

Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra. Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que ésta sea mayor que la de la arcilla.

### 4.4.5. Estado higrométrico

El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante. Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

### 4.4.6. Temperatura

A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra

### 4.4.7. Compactación

La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo. Por ello, se procurará siempre colocar los electrodos en los terrenos más compactos posibles.

## 4.5 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísicos, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, sistema electrónico, planta generadora o transmisora de radiofrecuencia. Asimismo puede ser empleada para indicar el grado de corrosión de tuberías subterráneas.

En general, los lugares con resistividad baja tienden a incrementar la corrosión.

El perfil de la resistividad del suelo determinará el valor de la resistencia a tierra y la profundidad de nuestro sistema de puesta a tierra.

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

Los terrómetros deben inyectar una corriente de frecuencia que no sea de 60 Hz para evitar se midan voltajes y corrientes que no se deban al aparato sino a ruidos eléctricos. Por ejemplo, si estamos cerca de una subestación o de una línea en servicio, y vamos a realizar

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

mediciones de resistividad y resistencia de tierra, con un aparato de 60 Hz, dichos sistemas van a inducir corrientes por el suelo debido a los campos electromagnéticos de 60 Hz y darán una lectura errónea.

De igual manera sucede cuando los electrodos de prueba están mal conectados o tienen falsos contactos, darán señales falsas de corriente y voltaje.

El terrómetro tiene cuatro terminales 2 de corriente (C1, C2) y 2 de potencial (P1, P2) y están numerados en el aparato C1 P1 P2 C2.

4.5.1. Para determinar la resistividad usaremos un método llamado wenner.

Materiales:
Terrometro
20 metros cable calibre 14 AWG
Cuatro electrodos de prueba 30cm
Formula de resistividad de suelo $\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$
Electrodo tipo varilla copperweld: Longitud = 300 cm. Diámetro= 3/8" 1.91cm
Excavador
Soldadura exotérmica
10 metros de cable desnudo calibre 8 AWG
Conectores de cobre
Tornillería de cobre 1/4

Tabla 4.5.1. Materiales.

### 4.5.2. Desarrollo de prueba de resistividad

Paso1: limpieza del terreno en un área aproximadamente de 200m<sup>2</sup>

Paso 2: en este paso es necesario insertar los 4 electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta a una longitud de separación de 4 m, entre cada uno de ellos y una misma profundidad de penetración de 30 cm, las mediciones de resistividad

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

Paso 3: Encender el terrometro en modo ohms y colocar sus cuatro puntas de acuerdo a la posición de cada una de ellas como se muestra en la figura (4.5.2).

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia con la ayuda del terrometro a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. Estos electrodos que están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos.

Paso 4: La impedancia resultante del terrometro es conocida como la resistencia aparente y es la que usaremos para insertarlo en la fórmula para un mejor resultado de resistividad. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo.

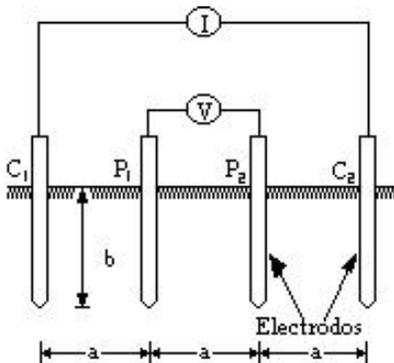


Figura 4.5.2. Poción de electrodos de prueba.

En la figura se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores.

Paso 5: La resistividad aparente está dada por la siguiente expresión:

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

$$\rho := \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{\left[ 1 + \frac{2 \cdot A}{(A^2 + 4 \cdot B^2)^{0.5}} \right] - \frac{2 \cdot A}{(4 \cdot A^2 + 4 \cdot B^2)^{0.5}}}$$

Donde

$\rho$  : Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m

A : Distancia entre electrodos en metros.

B : Profundidad de enterrado de los electrodos en metros

R : Lectura del terrómetro en ohms.

Si la distancia enterrada (B) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (A). O sea  $A > 20B$ , la siguiente fórmula simplificada se puede aplicar:

$$\rho := 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$$

Nota: Se recomienda que se tomen lecturas en diferentes lugares y a 90 grados unas de otras para que no sean afectadas por estructuras metálicas subterráneas. Y, que con ellas se obtenga un mejor promedio.

Paso 6: tipo de electrodo y sugerencias

Posteriormente llevaremos a cavo la colocación del electrodo en la mejor zona para su buen desempeño.

Los electrodos de puesta a tierra de los sistemas eléctricos deben estar accesibles y preferiblemente en la misma zona del puente de unión principal del sistema.

De acuerdo con la norma oficial mexicana [1.3] (250-8), el sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos (siempre que existan):

- Tubería metálica de agua enterrada.
- Estructura metálica del inmueble.
- Electrodo empotrado en concreto )
- Anillo de tierra.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

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

- Electrodo de varilla o tubería.
- Electrodo de Placa

Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos.

Nota: los tipos de electrodos no permitidos por la norma oficial mexicana son:

1. Tuberías de gas enterradas. Porque en los E.U. las compañías suministradoras de este fluido se opusieron a ello.
2. Electrodo de aluminio. Aunque en Europa se han utilizado, los comités del NEC[1.4] se opusieron a incluirlos porque el aluminio es un material que se corroe con mayor facilidad que el cobre y los compuestos químicos que se le forman no son buenos conductores eléctricos.

Pasó 7: En la práctica, cuando la resistencia del electrodo único mencionado, excede del valor buscado, esa resistencia se puede reducir de dos siguientes maneras: mejorando el electrodo, o mejorando el terreno alrededor del electrodo.

Nota: para medir la impedancia que nuestros equipos electrónicos y eléctricos que nosotros requiramos para nuestra protección de puesta a tierra, debemos apagar o desenergizar nuestros quipos y verificar con nuestro multimetro en modo óhmetro las impedancias menores y de este modo colocar nuestros electrodos por debajo de nuestra impedancia en nuestros controladores.

1. Mejoramiento del electrodo.

El electrodo en sí, puede ser mejorado:

- a) Usando una varilla de mayor diámetro.
- b) Usando varillas más largas
- c) Poniendo dos, tres o más varillas en paralelo.

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

a) varillas de mayor diámetro

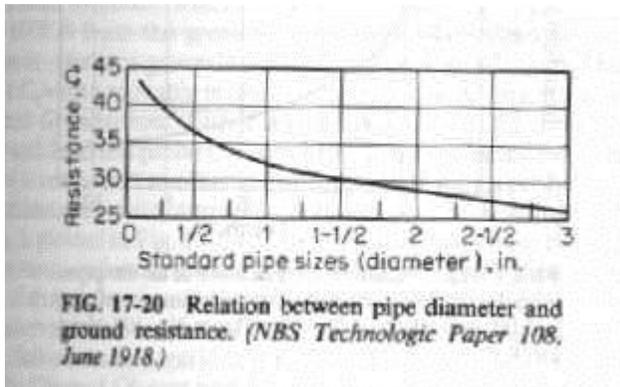


Figura 4.5.3. Diámetro y resistencia.

Usando varillas de 19 mm en lugar de varillas de 13 mm se logra una reducción en la resistencia a tierra de hasta un 10% máximo. Muy poco en realidad.

b) varillas más largas

Para los casos donde las capas superiores de la tierra son de arena y donde a gran profundidad se encuentra una capa de terreno húmedo, existen varillas que se acoplan unas a otras para lograr longitudes hasta de 15 m.

Por lo general, doblando el largo, se obtiene una reducción del 40% de resistencia a tierra. Otra ventaja es que con el uso de varillas largas, se controla el gradiente de potencial en la superficie.

## 2. Mejoramiento del terreno.

Cuando la resistencia a tierra no es lo suficientemente baja, hay algunos métodos para bajarla.

En el punto anterior, hemos visto que el utilizar varillas más largas y, el uso de muchas varillas en paralelo, baja la resistencia a tierra, pero, cuando lo anterior ya no es posible, se tiene que mejorar el terreno mismo mediante productos químicos. Pero, tiene el

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

inconveniente de ser una solución electrodo y la compactación que éste recibe al rellenar el agujero.

El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. La bentonita entre otros compuestos como el sulfato de magnesio o de sulfato de cobre, o de compuestos químicos patentados.

Pasó 8: una vez colocado el electrodo en la zona adecuada para su mejor desempeño, el siguiente paso a realizar son las conexiones.

Conectores: Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados [1.3](250-115). Y no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.) para evitar falsos contactos, ya que pierde características de seguridad la malla, si se llegara a abrir.

Sugerencia: En nuestro país, se prefieren las conexiones exotérmicas [De marcas: Cadweld, Thermoweld, Ultraweld o Mexweld] para redes de tierras de subestaciones de alta potencia y para las redes utilizadas en sistemas de comunicaciones y cómputo.

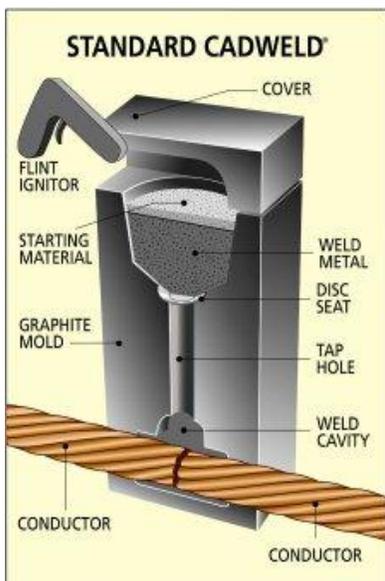


Figura 4.5.4 conector.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

Paso 9: un aves de haberhecho la conexión principal del electrodo a una base general de aterrizamiento (tablilla de conexión) el siguiente paso es, adaptar todos los cables de tierra (GND) de cada dispositivo electrónico de todos micro controladores y a su vez también aterrizar la carcasa del motor y generador así como también la estructura del área, tuberías metálicas donde se encuentra la misma.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES

Un sistema de puesta a tierra consta de varios elementos como son: electrodos, conductor, tablillas deconexión, conectores, registros, compuestos químicos, etc. Para poder instalar un sistema de puesta a tierra, es imprescindible conocer el valor de resistividad que tiene el terreno. Es importante conocer el valor de la resistividad del terreno para que el sistema de puesta a tierra sea eficiente. El valor de la resistividad de un terreno puede variar de acuerdo a ciertos factores como los mencionados en este trabajo. En la instalación de un sistema de puesta a tierra un factor importante es la resistencia que este ofrece al paso de la corriente, dicha resistencia varía según algunos elementos.

En este trabajo se describe lo que es un electrodo de puesta a tierra, tipos de electrodos que existen, diferentes configuraciones que se pueden realizar con este trabajo se espera que se comprenda que un sistema de puesta a tierra sirve para proteger los aparatos eléctricos y electrónicos, pero el objetivo principal de este sistema es salvaguardar la vida de los seres vivos que se encuentren en el área, ya que la corriente eléctrica puede tener efectos parciales o totales, e incluso la muerte. Un sistema de puesta a tierra y los electrodos y como afectan estos a la resistencia del sistema de puesta a tierra. En un sistema de puesta a tierra el calibre del conductor que se utilice debe de ser el adecuado para poder soportar las altas corrientes de falla que podrían circular por dicho conductor. Para determinar el calibre de este conductor se tiene que tomar en cuenta la norma oficial mexicana para instalaciones eléctricas (NOM-001-SEDE-1999), ya que en esta se mencionan los calibres adecuados para cada tipo de instalación de puesta a tierra. Se comprobó que ningún método de medición de la resistencia es 100% efectivo, esto no quiere decir que sean malos, sino que hay que realizar varias mediciones con cualquiera de los métodos mencionados para poder obtener un promedio de las mediciones, es decir, un valor más exacto.

En lo práctico, para realizar las mediciones es importante tomar en cuenta las recomendaciones y precauciones mencionadas en este trabajo.

Finalmente con la elaboración de este trabajo se espera crear conciencia en el lector, para que se den cuenta de los efectos que puede tener la corriente eléctrica en los seres

# Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

humanos y en los equipos. Y de esta forma comprendan la importancia de un sistema de protección como lo es un sistema de puesta a tierra.

## 5.1 Resultados

### 5.2

Recuerde que el esquema del reporte sigue los pasos del método científico, por lo que se deberán incluir los resultados del estudio, como tablas con mediciones, resultados de pruebas de uso (si se realizaron), etc. En el caso de planos, pueden incluirse como anexos, y doblados al tamaño carta.

Las imágenes, ya sean fotografías impresiones de pantalla, etc., no deberán exceder de un cuarto de página.

### Resultado de resistividad del terreno

$$\text{Formula: } \rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm/m

$$\pi = 3.1416$$

A= distancia entre electrodos en metros.

R= lectura del terrometro en ohms.

Datos :

$$\rho = ?$$

$$\pi = 3.1416$$

$$A = 4\text{m}$$

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

---

$$R= 0.43 \text{ ohms}$$

$$\rho = 2 \cdot 3.1416 \cdot 4 \cdot 0.43$$

$$\rho = 10.807 \text{ ohms-m}$$

### 5.2 Recomendaciones

La importancia de entender el comportamiento de la electricidad y cuáles son sus aplicaciones, hoy en día es un hecho que todas las personas se ven involucradas de cualquier modo con electricidad tanto en sus casas como en el trabajo. De ahí surge la importancia que tiene las protecciones tanto para el hombre como para los aparatos eléctricos.

Este trabajo está enfocado solo a una parte muy importante de las protecciones de electricidad como son las protecciones de puesta a tierra en controladores de plantas emergentes eléctricas. Pero hoy en día grupo agropecuario san Antonio es una empresa que se involucra en la parte de automatización de distintas áreas por ello una de las mejoras a nivel empresa sería la reinstalación de sistemas de tierras en sus diferentes áreas donde cuenten principalmente equipo eléctrico y electrónico.

### BIBLIOGRAFÍA

"NOM-SEDE-001-2005 Instalaciones Eléctricas (utilización)". *Diario Oficial de la Federación* 13 Marzo 2006.

Alberga un libro o manual sobre Electrónica. Asociación de Robótica y España A.R.D.E.IEEE. Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos. Simbología electrónica.

Burgsdorf V. V. Y Yakobs A. I. "Grounding in electrical installations". Energoatomizdat. Moscú 1987.

M.I Alfredo Juárez Torres Sistemas de puesta a tierra. 2001

M.I Alfredo Juárez Torres Sistemas de puesta a tierra. 2001. Norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-1999 de instalaciones eléctricas (Art. 250). Norma oficial mexicana NOM-008-SCFI-1993.

M.I Alfredo Juárez Torres Sistemas de puesta a tierra. 2001. Norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-1999 de instalaciones eléctricas (Art. 250). Norma oficial mexicana NOM-008-SCFI-1993.

Miguel de la Vega Ortega. "Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra". *LIMUSA* 1999.

Puesta a tierras de instalaciones eléctricas. R.A.T. Rogelio García Márquez editor Marcombo 1990.

## Sistema de puesta a tierra en plantas emergentes electricas

Toledano Gasca, José y Martínez Requena, Juan. "Puesta a tierra en edificios y en instalaciones eléctricas". Paraninfo 1997

[http://www.ehowenespanol.com/medir-resistencia-electrica-como\\_120302](http://www.ehowenespanol.com/medir-resistencia-electrica-como_120302).

<http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/instalacelectricas/42.htm>

<http://www.medicionycontrol.com/p-tierra.htm>

[http://www.lobos.com.mx/pg\\_lobos/ser\\_edu/puesta/inicio.htm](http://www.lobos.com.mx/pg_lobos/ser_edu/puesta/inicio.htm)

<http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/instalacelectricas/42.htm>

<http://www.medicionycontrol.com/p-tierra.htm>

[http://www.lobos.com.mx/pg\\_lobos/ser\\_edu/puesta/inicio.htm](http://www.lobos.com.mx/pg_lobos/ser_edu/puesta/inicio.htm)