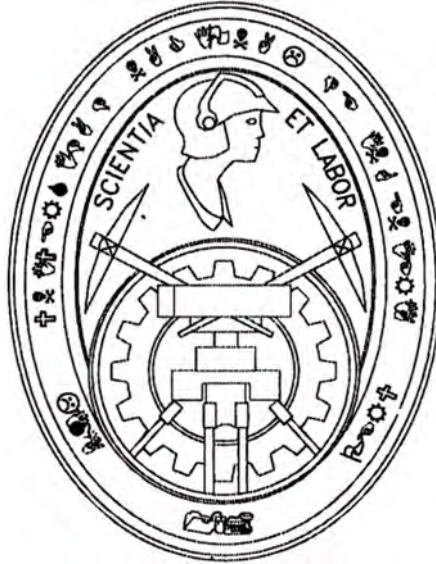


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN BAJA TENSION”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**RENÉ JOSÉ PÉREZ LANTARÓN**

**PROMOCIÓN 1985 – I**

**LIMA – PERÚ**

**2006**

# **SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN BAJA TENSIÓN**

El presente informe es un reconocimiento al apoyo invaluable de mi familia, a mi madre Nemesia, a mi padre Angel, a mis hermanos, a mis hijas Natalie y Fabiola. Por su comprensión, apoyo e inspiración, con todo mi amor

## INDICE

### CAPITULO I

<b>INTRODUCCIÓN</b>	01
1.1 Introducción	01
1.2 Glosario de Términos y Definiciones	02
1.3 Propósito y Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra en Baja Tensión	05
1.3.1 Puesta a Tierra de los Sistemas Eléctricos	05
1.3.2 Puesta a Tierra de los Equipos Eléctricos	06
1.3.3 Puesta a Tierra en Señales Electrónicas	06
1.3.4 Puesta a Tierra de Protección Electrónica	06
1.3.5 Puesta a Tierra de Protección Atmosférica	06
1.3.6 Puesta a Tierra de Protección Electrostática	06
1.4 Evolución del Concepto de los Esquemas de Conexión a Tierra	06
1.4.1 Esquema de Neutro Aislado IT	09
1.4.2 Esquema de Puesta a Neutro TN	10
1.4.3 Esquema de Puesta a Tierra TT	12

### CAPITULO II

<b>ANTECEDENTES TÉCNICOS Y SEGURIDAD DE LAS PERSONAS</b>	14
2.1 Antecedentes Técnicos	14
2.1.1 Normas Generales	14
2.1.2 Normas Reglamentarias	14
2.1.3 Disposiciones Internacionales	15
2.1 Seguridad de las Personas	16
2.2.1 Contacto Directo	17
2.2.2 Contacto Indirecto	17
2.2.3 Parámetros Admisibles por el Cuerpo Humano	18
2.2.4 Consecuencias de un Accidente Eléctrico	22

**CAPITULO III****SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA**

3.1 Componentes del Sistema de Puesta Tierra	24
3.1.1 Electrodo de Puesta a Tierra	24
3.1.2 Conductores del Electrodo de Puesta a Tierra	33
3.1.3 Conductores de Protección	34
3.2. Sistemas de Puesta a Tierra	35
3.2.1 Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos	35
3.2.2 Puesta a Tierra de Equipos Eléctricos	38
3.2.3 Sistema de Puesta a Tierra de Equipos Electrónicos	42
3.2.4 Sistema de Puesta a Tierra de Protección Atmosférica	50
3.2.5 Sistema de Puesta a Tierra de Protección Electrostática	59

**CAPITULO IV****RESISTIVIDAD DEL SUELO Y RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA**

4.1 Mediciones de la Resistividad del Suelo y Procesamiento	61
4.1.1 La Tierra y la Resistividad	61
4.1.2 Factores que Determinan la Resistividad	61
4.1.3 Medición de la Resistividad del Suelo	65
4.1.4 Interpretación y Procesamiento de las Medidas de Resistividad.	67
4.2 Medición de la Resistencia de Puesta a Tierra	68
4.2.1 Tipo de Prueba	68
4.2.2 Tipo de Aparato	69
4.2.3 Lugar Físico	69
4.2.4 Medición de Resistencia de Puesta a Tierra por el Método de Caída de Potencial	70
4.2.5 Medición de Resistencia de Puesta a Tierra por el Método de dos Puntos	71

**CAPITULO V****MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

5.1 Mantenimiento de Sistemas de Puesta a Tierra	72
5.2 La Inspección del Sistema de Tierra	72
5.3 El Examen del Sistema de Tierra	72

**CONCLUSIONES**

74

**BIBLIOGRAFÍA**

76

# **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Introducción**

Uno de los elementos de protección más importantes en las instalaciones eléctricas son los sistemas de puesta a tierra y a este tema en nuestro medio no se le ha otorgado la importancia que merece, especialmente en los últimos 20 años.

Aunque uno de los objetivos de estas instalaciones es de asegurar una correcta operación de los sistemas eléctricos, la finalidad principal de las puestas a tierra es garantizar la seguridad de las personas y; de los equipos y aparatos que se encuentran en el propio subsistema o en las inmediaciones, y es con esta finalidad con la que deben ser diseñados.

Los procedimientos para diseñar sistemas de puesta a tierra se basan en Normas y criterios técnicos, pero su aplicación puede ser muy compleja. Los conceptos conforman la ciencia, pero la aplicación correcta resulta siendo un arte, ya que cada instalación eléctrica es única en su localización, tipo de terreno, modo de utilización y equipos a proteger.

Al diseñar y construir un sistema de puesta a tierra, para cumplir sus funciones básicas de protección y referencia de potencial, además del objetivo principal que consiste en obtener una baja resistencia a tierra, deben contemplarse dos aspectos importantes relacionados con la corrosión; primero, que el sistema de puesta a tierra tenga una larga vida sin corroerse y segundo, que el sistema de puesta a tierra no provoque el ataque de corrosión en otras instalaciones como tuberías y componentes metálicos enterrados en las proximidades.

El propósito principal de un sistema de puesta a tierra es el de cumplir con lo que prevén las Normas Técnicas en cuanto a la seguridad eléctrica. De esta manera, evacuan y dispersan corrientes eléctricas de cualquier naturaleza que se

puedan presentar ya sea por el funcionamiento de los aparatos, por falla a frecuencia industrial, descargas atmosféricas o debido a fallas por maniobras.

La instalación de puesta a tierra debe cubrir los siguientes objetivos:

- Seguridad de las personas
- Protección de las instalaciones
- Calidad y Continuidad de servicio
- Permanencia de un potencial de referencia
- Eliminación de ruidos eléctricos

Un sistema de puesta a tierra debe de cumplir con unos requisitos mínimos:

- El valor de la resistencia debe ser el adecuado para cada tipo de instalación
- La variación de la resistencia debido a cambios ambientales debe ser mínima
- Su vida útil debe ser compatible con la vida útil de la instalación eléctrica
- Debe ser resistente a la corrosión que es el principal factor de deterioro
- Debe permitir su mantenimiento periódico siendo fácilmente accesible.
- Cumplir con los requerimientos de las Normas y Especificaciones Técnicas

## **1.2 Glosario de Términos y Definiciones**

- Equipo Eléctrico.

Es todo dispositivo, equipo o artefacto que funciona con energía eléctrica, ya sea en forma estática o mediante movimiento.

- Conexión a Tierra.

Unión mediante un conductor, desde el terminal de tierra o masa de un aparato eléctrico, con una puesta a tierra.

- Resistencia de Dispersión o de Puesta a Tierra.

Resistencia que opone la puesta a tierra al paso de la corriente eléctrica. Conviene que sea mínima para brindar mejor protección.

- Terminal de conexión a tierra o Borne de Tierra.

Es un punto aislado de los conductores eléctricos, pero no de la masa del aparato, al cual se une solidamente el conductor de conexión a tierra.

- Poner a Tierra o Aterrizar.

Equivale a realizar la conexión de una masa o un punto neutro a una puesta a tierra o algún cuerpo conductor que sirva en lugar de ella.



- Electrodo de Puesta a Tierra o Electrodo de Aterramiento.

Es un conductor metálico rectilíneo resistente al ataque corrosivo (cobre), embutido directamente en el suelo o en el relleno de una excavación. Puede tener diferentes formas.

- Electrodo Verticales o Jabalinas.

Son simples varillas cilíndricas de pequeño diámetro, que se instalan verticalmente en el suelo, ya sea por clavado directo o por embutimiento en el relleno de un pozo.

- Electrodo Horizontales o Pletinas o Contrapesos.

Son simples pletinas o conductores cableados de mediano diámetro equivalente, que se instalan horizontalmente en el suelo, por embutimiento en el relleno de una zanja.

- Electrodo Mixtos.

Son electrodos conformados por elementos verticales y horizontales sólidamente unidos entre sí, que se configuran según los requerimientos de dispersión o control de la corriente evacuada a tierra.

- Relleno de Puesta a Tierra.

Mezcla de tierra fina propia de la excavación y/o tierra fina de otra procedencia con aglutinantes naturales y complemento localizado de sales inocuas, que permiten obtener bajas resistencias de dispersión.

- pH.

Número que cuantifica el carácter ácido ó alcalino de la solución (terreno).

- Puesta a Tierra.

Instalación de seguridad eléctrica; comprende a toda la ligazón metálica directa sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosos y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falla o la de descarga de origen atmosférico.

- Masa.

Conductor de referencia de potencial cero con respecto al cual se miden el resto de potenciales del circuito, y que coincide con el cero de la alimentación,

Además, es el conductor por donde se suelen realizar los retornos de las señales activas del circuito.

- **Neutro.**

Neutro de la alimentación o el punto central de una fase en caso del secundario de un transformador en delta el cual puede estar a masa.

- **Tierra.**

Se refiere al potencial de la tierra física y que influye voluntaria o involuntariamente en los edificios, líneas de transmisión, instalaciones eléctricas, etc.

- **Sistema Equipotencial.**

Esta compuesto de elementos entre los cuales no existe diferencia de potencial o voltaje. A este sistema equipotencial se le asigna un valor de voltaje cero.

- **Tierra de Equipo.**

Cuerpos metálicos no portadores de corriente de equipos eléctricos en la que todos están al mismo potencial (voltaje).

- **Tierra de Cuerpos Metálicos Extensos.**

Cuerpos metálicos extensos no portadores de corriente de equipo no eléctrico, en la que todas tengan el mismo potencial.

- **Barra de Neutro.**

Es una barra de conexiones totalmente aislada de la envolvente metálica del tablero donde esta instalada.

- **Barra de Tierra**

Es una barra de conexiones en contacto directo con la envolvente metálica del tablero donde esta instalada.

- **Fallas a Tierra.**

Son conexiones no deseadas entre un conductor de fase y cualquier elemento del sistema equipotencial del inmueble (masa).

- **Conductor Puesto a Tierra.**

Es el conductor que se extiende entre el terminal del neutro ( $X_0$ ) del transformador que alimenta el inmueble y la barra de neutro o la barra de tierras.

- **Sistema Derivado Independiente.**

Sistema, cuya energía procede de una batería, sistema fotoeléctrico solar, de un generador, transformador o devanado convertidor y que no tiene conexión directa con ningún conductor de alimentación (incluyendo un conductor puesto a tierra) que se origina de otro sistema.

- Conductor Puesto a Tierra o Conductor Aterrizado.

Un conductor del sistema de alimentación eléctrica que intencionalmente se pone a tierra.

- Conductor de Puesta a Tierra de Equipo o de Protección.

Conductor que conecta las partes metálicas no destinadas a transportar corriente (carcasas, gabinetes, charolas y tuberías) con el conductor puesto a tierra, con el conductor del electrodo de aterrizaje o con ambos, en el equipo de desconexión principal o en la fuente de un sistema derivado separadamente.

- Conductor del Electrodo de Aterrizaje o de Puesta a Tierra.

El conductor empleado para conectar el electrodo de puesta a tierra al conductor de puesta a tierra de equipo, al conductor puesto a tierra o a ambos en el equipo de desconexión principal o en la fuente de un sistema derivado separadamente.

- Puente de Unión Principal.

La unión o conexión del conductor puesto a tierra con el conductor de puesta a tierra en el equipo de desconexión principal.

- Efectivamente puesto a tierra (Aterrizado).

Conectado intencionalmente a tierra por medio de conexiones de baja impedancia y con capacidad de corriente suficiente para prevenir la formación de sobrevoltajes transitorios que pudieran resultar con riesgos indebidos al equipo o a las personas.

### **1.3 Propósito y Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra en Baja Tensión**

#### **1.3.1 Puesta a Tierra de los Sistemas Eléctricos**

El propósito de conectar a tierra los sistemas eléctricos es para limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos.

Se logra conectando mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, una parte del sistema eléctrico al planeta tierra.

### **1.3.2 Puesta a Tierra de los Equipos Eléctricos**

Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades y, para que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos.

Se logra conectando al punto de conexión del sistema eléctrico con el planeta tierra, todas las partes metálicas que puedan llegar a energizarse, mediante un conductor apropiado a la corriente de cortocircuito del propio sistema en el punto en cuestión.

### **1.3.3 Puesta a Tierra en Señales Electrónicas**

Para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero, que puede ser el planeta tierra.

### **1.3.4 Puesta a Tierra de Protección Electrónica**

Con el fin de evitar la destrucción de los elementos semiconductores por voltaje, se colocan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y la referencia cero, que puede ser el planeta tierra.

### **1.3.5 Puesta a Tierra de Protección Atmosférica**

Sirve para canalizar la energía de los rayos a tierra sin mayores daños a personas y propiedades. Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger.

### **1.3.6 Puesta a Tierra de Protección Electrostática**

Sirve para neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricos, utilizando el planeta tierra como referencia de voltaje cero.

## **1.4 Evolución del Concepto de los Esquemas de Conexión a Tierra**

Existen tres Esquemas de Conexión a Tierra normalizados a nivel internacional regidos por un gran número de Normas Nacionales según la Comisión Electrotécnica Internacional (norma CEI 60364) y el Código Nacional de Electricidad (CNE) en el caso del Perú

- |    |                                 |                 |
|----|---------------------------------|-----------------|
| 1. | Esquema de Conexión a Tierra IT | Neutro aislado  |
| 2. | Esquema de Conexión a Tierra TN | Puesta a Neutro |
| 3. | Esquema de Conexión a Tierra TT | Puesta a Tierra |

Los dispositivos de protección que se instalen deberán proveer protección de personas y bienes. Además de otros factores, la selección de algunos sistemas depende de las reglamentaciones locales y del grado de continuidad del servicio deseado.

Estos tres esquemas de conexión se presentan en forma resumida, presentando el principio de funcionamiento de cada uno.

#### **1.4.1 Esquema de Neutro Aislado IT**

En este sistema el neutro del transformador no está puesto solidamente a tierra. El neutro puede estar totalmente aislado (teóricamente, pero, de hecho, está conectado a tierra a través de las capacidades parásitas de la red) ó unido por medio de una impedancia de alto valor (neutro impedante). Se encuentra en instalaciones industriales de importancia, que disponen de una subestación eléctrica de transformación privada, donde una interrupción de la alimentación pueda tener consecuencias graves.

Las masas de los receptores eléctricos deben interconectarse y conectarlos a tierra en un solo punto. Si la puesta a tierra de la subestación esta separada de la instalación de puesta a tierra de las masas (no están unidas las tomas de tierra) debe instalarse un dispositivo diferencial en la cabeza de la instalación.

Si las masas de los receptores eléctricos no están interconectadas debe instalarse un dispositivo diferencial por grupo de masas complementado con un dispositivo diferencial en cabecera, salvo de que los interruptores automáticos de cabecera y de las salidas estén en el mismo cuadro.

Si se produce un defecto de aislamiento, de hecho circula una pequeña corriente a través de las capacidades parásitas de la red (ó de la impedancia impedante).

La tensión desarrollada en las tomas de tierra de las masas así como la tensión de contacto entre dos masas simultáneamente accesibles, no son peligrosas.

En la fig. 1-1 , con  $Z_{ct}$  (impedancia de aislamiento) igual a 3 500 Ohm (caso de una red de 1 Km.), la corriente de defecto  $I_d$  es de 63 mA ( $V_{fase} = 220$  V). La tensión en la toma de tierra, depende de la resistencia de puesta a tierra  $R_a$  ( $R_a = 20$  Ohm), por lo que la tensión de defecto es  $U_d = 63 \text{ mA} \times 20 \text{ Ohm} = 1,26 \text{ V}$ .

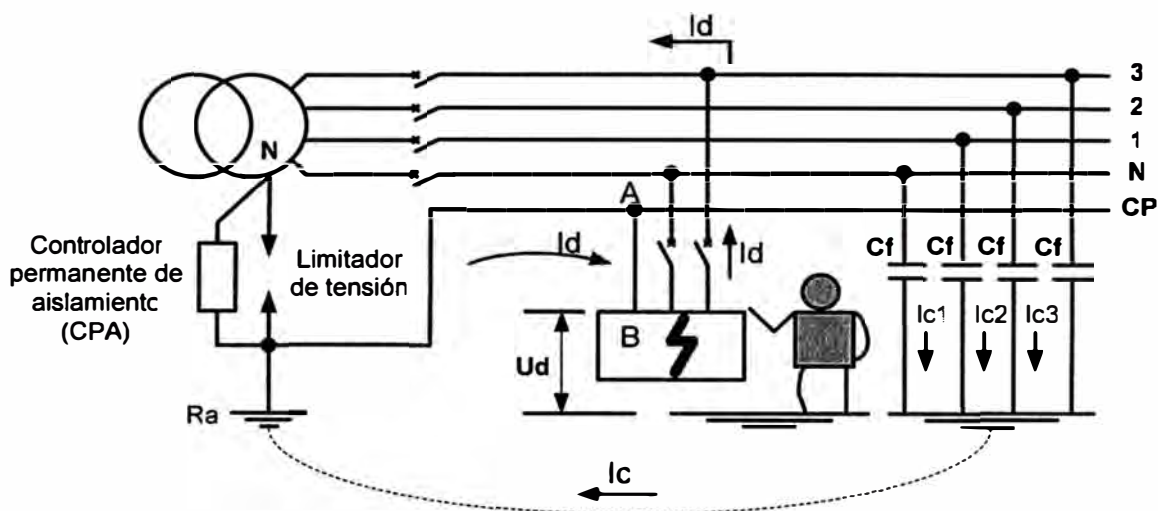


Figura 1-1: Esquema de Neutro Aislado IT

Donde :

$I_d$  : Corriente de defecto

$U_d$  : Tensión de defecto

$I_c$  : Corriente debida a las capacidades parásitas de la red.

$R_a$  : Resistencia de la puesta a tierra.

CPÂ : Controlador permanente de aislamiento, equipo destinado a supervisar de forma continúa la resistencia de aislamiento respecto a tierra.

Limitador de sobretensión: Equipo destinado a proteger contra las sobretensiones de diversos orígenes; sobretensiones debidos a defectos de aislamiento, sobretensiones debidos a cebados internos en los transformadores MT/BT, sobretensiones debidos a descargas de rayos en las redes de MT aguas arriba ó en los edificios de la instalación.

Igualmente, la tensión de contacto entre las dos masas depende de la resistencia de la unión entre los puntos A y B,  $R_{AB}$  tal que en un caso extremo  $R_{AB} = 2 \text{ Ohm}$ , entonces  $U_c = 63 \text{ mA} \times 2 \text{ Ohm} = 0,126 \text{ V}$ .

Si se presenta un segundo defecto, cuando el primer defecto no ha sido eliminado, hay una corriente de cortocircuito (fase – fase ó fase – neutro según sea el caso) y son los dispositivos de protección contra sobrecorriente los que aseguren la protección necesaria. El disparo es imperativo Fig. 1-2.

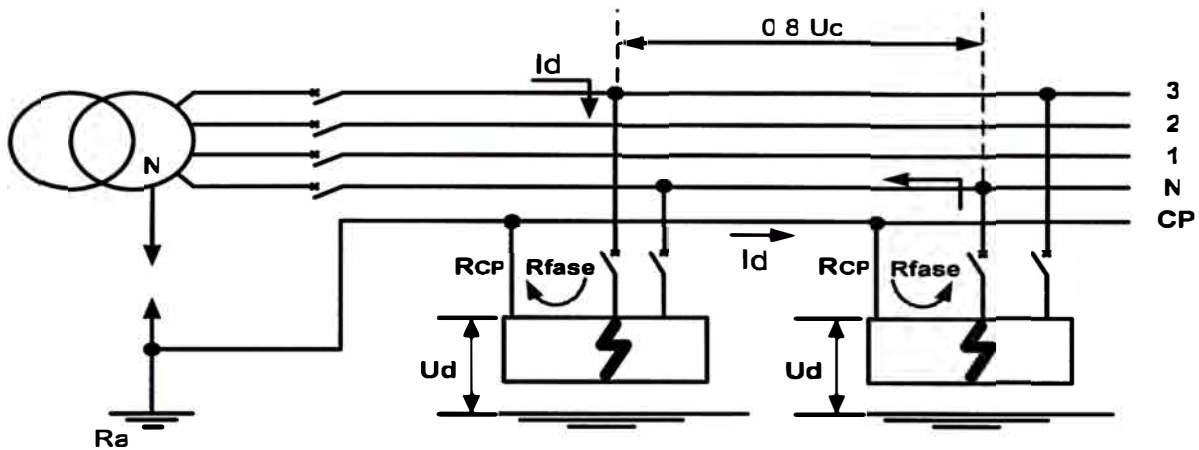


Figura 1-2: Disparo imperativo

Las masas de los receptores afectados pasan a tener aplicado el potencial creado por la corriente de defecto en sus conductores de protección (CP). La tensión al nivel del juego de barras que alimentan las salidas se estima en un 80 % de la tensión nominal entre fases.

$$I_d = \frac{0,8 \times U_0}{2(R_{CP} + R_{fase})} \quad (1.1)$$

$$U_C = \frac{0,8 \times U_0}{4} \quad (1.2)$$

En la fig. 1-2 asumiendo que las secciones de los conductores activos y la del conductor de protección son iguales y de longitudes idénticas, y que la impedancia del circuito sea del orden de 100 mOhm (despreciando las reactancias), entonces de la ecuación 1.1, la intensidad de la corriente de defecto es :

$$I_d = \frac{0,8 \times 220}{2 \times 0,1} = 880 A$$

Donde :

$U_C$  = Tensión de contacto

$U_0$  = Tensión de fase

$R_{CP}$  = Resistencia del conductor de protección.

$R_{fase}$  = Resistencia de los conductores de fase (activos).

Asimismo de la ecuación 1.2, la tensión de contacto  $U_c$  es :

$$U_c = \frac{0,8 \times 220_0}{4} = 44 \text{ V}$$

Debe darse la alarma cuando ocurre la primera falla, la cual debe ser localizada y reparada. El disparo de una segunda falla debe ser considerado durante el proyecto de la instalación y verificarse indefectiblemente su actuación durante la puesta en servicio.

#### 1.4.2 Esquema de Puesta a Neutro TN

En este sistema el neutro del transformador está puesto a tierra y las masas de los receptores eléctricos están conectados al neutro. Se tienen dos tipos de esquemas:

- \* ESQUEMA TN-C: Es aquel donde el conductor de protección y neutro son uno solo (conductor CPN). Esta variante es la más económica de los dos pues elimina un conductor y un polo del interruptor.
- \* ESQUEMA TNS: Es aquel donde ambos conductores, neutro y protección, están separados (conductor N y CP).

Se pueden usar en instalaciones aisladas de la red (subestación eléctrica de transformación privada o central generadora autónoma). Las masas de los receptores eléctricos se conectan al conductor CPN o CP, el cual es puesto a tierra en varios puntos.

El defecto de aislamiento se convierte en un cortocircuito actuando la protección contra cortocircuitos que desconecta la parte del circuito que tiene el defecto. El disparo es imperativo fig 1-3.

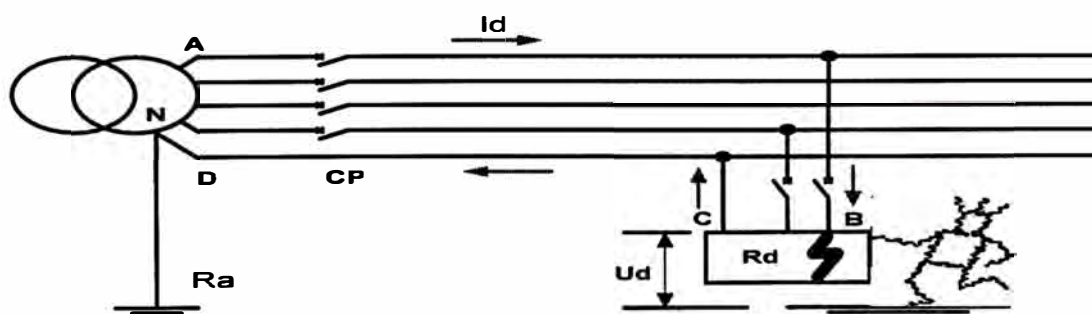


Figura 1-3: Esquema de Puesta a Neutro TN



Si  $R_{CP} = R_{fase}$  y  $R_d = 0$ , entonces :

$$U_d = \frac{0,8 \times U_0}{2} \quad (1.3)$$

Por lo que .

$$I_d = \frac{U_0}{R_{AB} + R_d + R_{CP}}$$

$$\Rightarrow I_d = \frac{0,8 \times U_0}{R_{CP} + R_{fase}} \quad (1.4)$$

La tensión en el origen de la salida con defecto se estima en un 80 % de la tensión nominal fase – neutro.

La tensión de defecto (masa / tierra profunda) llamada “contacto indirecto” es aprox.  $U_0 / 2$ , si la impedancia del circuito de “ida” es igual a la del circuito de “retorno”. Si es superior a la tensión límite convencional (UL) que es normalmente de 65 V (en el Perú 50 V), necesita una desconexión tanto más rápida cuanto  $U_d$  sea mayor que UL.

Por otra parte el disparo debe ser verificado toda vez que sea posible, por cálculo durante el diseño y por mediciones en la puesta en servicio de la instalación. Esta verificación es el único camino para asegurar la correcta operación en el momento de la aprobación, operación y después de modificaciones de la instalación.

En general el diseño de la red y su mantenimiento frecuente se contraponen al bajo costo del sistema.

Se tienen las siguientes recomendaciones para la protección y operación de este sistema:

- Los conductores CPN y CP nunca deben ser desconectados.
- En sistemas TNC la función de protección del conductor CPN es prioritaria a la función del neutro.
- Los sistemas TNC y TNS pueden estar en una misma instalación pero siempre el TNC debe estar aguas arribas del TNS.

Los dispositivos diferenciales deben utilizarse en los casos siguientes:

- longitudes de cables importantes.
- Circuitos que alimentan a conexiones móviles.
- Riesgos de ruptura del conductor de protección.

### 1.4.3 Esquema de Puesta a Tierra TT

Es el sistema de puesta a tierra más utilizado en las redes públicas y privadas de baja tensión.

El neutro del transformador está conectado a tierra en la estación transformadora de tal manera que no sea incorporada intencionalmente ninguna impedancia.

Las masas de los receptores eléctricos están también conectadas a tierra.

La corriente de defecto de aislamiento está limitada por la impedancia de la toma de tierra y la parte con el defecto la desconecta un dispositivo diferencial. El disparo es imperativo fig. 1-4.

$$I_d = \frac{U_0}{R_a + R_b} \quad (1.4)$$

y:

$$U_d = \frac{R_a \times U_0}{R_a + R_b} \quad (1.5)$$

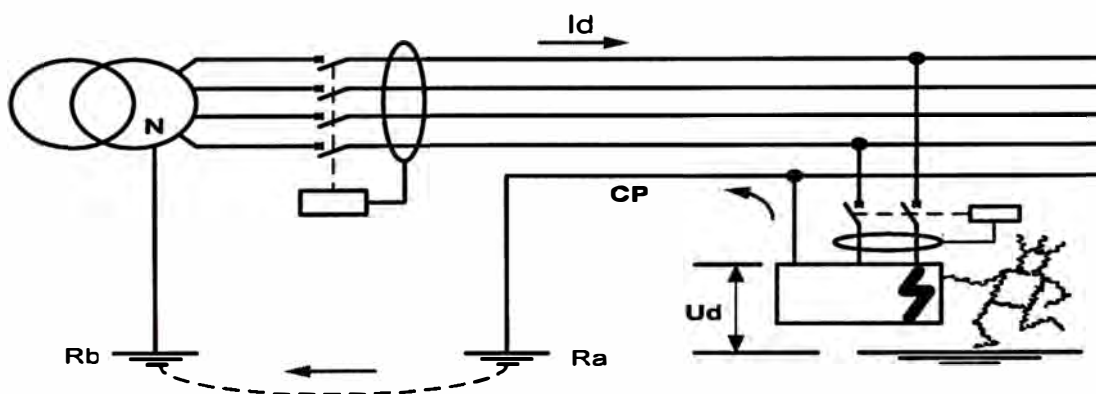


Figura 1-4: Esquema de puesta a tierra TT

La tensión de defecto es  $U_c = U_0 \times R_a / (R_a + R_b)$

Donde :

$R_a$  : Resistencia de puesta a tierra de los equipos

$R_b$  : Resistencia de puesta a tierra del transformador

Superior a la tensión UL; el dispositivo diferencial actuará desde que:

$$I_d \geq UL / R_a$$

La sensibilidad del dispositivo diferencial debe ser elegido en función del valor de la resistencia de la puesta a tierra.

## **CAPÍTULO II**

### **ANTECEDENTES TÉCNICOS Y SEGURIDAD DE LAS PERSONAS**

#### **2.1 Antecedentes Técnicos**

Las normas proporcionan los límites de diseño que se deben satisfacer y explican como los sistemas de puesta a tierra se pueden diseñar para ajustarse a ellos. Incluyen formulaciones para realizar los cálculos necesarios o una guía detallada sobre aspectos prácticos.

##### **2.1.1 Normas Generales**

La autoridad administrativa sectorial en el área eléctrica es el Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Electricidad, el cual formula el Código Nacional de Electricidad como instrumento de normatividad técnica. Dentro de estas normas generales tenemos:

a) **El Código Nacional de Electricidad**

Compendio de Normas, Recomendaciones y Procedimientos que permiten, entre otros, cautelar la seguridad de las personas contra el peligro del uso de la electricidad.

b) **Licencias de Construcción**

Mediante el Decreto Supremo N° 25-94, emitido el 07.12.94, se encarga a las Municipalidades el otorgamiento de Licencias de Construcción, el control de las mismas y la Conformidad de Obra de toda Edificación dentro de la jurisdicción Municipal; proponiendo asimismo los organismos que intervienen en la aprobación y los documentos técnicos a ser examinados, entre los cuales se cuentan los planos de Instalaciones Eléctricas según prescripciones del CNE.

##### **2.1.2 Normas Reglamentarias**

El INDECOPI, en su calidad de Organismo Peruano de Normalización, instaló el 08 de Julio de 1988 el Comité Técnico Especializado de Seguridad Eléctrica – Sistema de Conexión a tierra, encargado de la elaboración de las Normas Técnicas Peruanas. Las Normas Técnicas Peruanas elaboradas por el comité son:

- \* **NTP 370.052:1999 SEGURIDAD ELÉCTRICA.** Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra. Tiene como objeto el de establecer las condiciones que debe de cumplir los materiales a ser utilizados en los pozos de puesta a tierra de protección que emplean electrodos de cobre.
- \* **NTP 370.053:1999 SEGURIDAD ELÉCTRICA.** Elección de los materiales eléctricos en las instalaciones interiores para puesta a tierra. Establece las condiciones que deben cumplir los conductores eléctricos a ser utilizados como conductores de protección a tierra considerados necesarios para la seguridad de las personas, animales y de la propiedad, frente a los peligros y daños que pueden resultar por el uso de las instalaciones eléctricas, en condiciones que puedan ser previstas.
- \* **NTP 370.054:1999 SEGURIDAD ELÉCTRICA.** Enchufes y tomacorrientes con protección a tierra para uso doméstico y uso general similar. Establece los requisitos que deben cumplir los enchufes y tomacorrientes con protección a tierra para la conexión de conductores eléctricos para uso en viviendas y uso general similar, en instalaciones al interior y exterior, con una tensión nominal mayor a 50 V pero no superior a 250 y una corriente nominal no mayor a 16 A.
- \* **NTP 370.055:1999 SEGURIDAD ELÉCTRICA.** Sistema de puesta a tierra. Glosario de términos. Establece las definiciones de los términos más comunes usados en la Normas Técnicas del Sistema de Puesta a Tierra.
- \* **NTP 370.056:1999 SEGURIDAD ELÉCTRICA.** Electrodos de cobre para puesta a tierra. Establece las características que deben cumplir los electrodos de puesta a tierra constituidos de cobre, dado su alto grado de resistencia a la corrosión y para mejorar su resistencia de contacto a tierra.

### **2.1.3 Disposiciones Internacionales**

En el ámbito internacional, es muy conocido y empleado el grupo de estándares del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) :

a) **Sistemas de Puesta a Tierra.**

ANSI/IEEE Std. 81:1983, Guía para la medición de Resistencias de Tierra, Impedancias de Tierra y Potenciales de Superficie de Tierra en Sistemas de Aterramiento.

b) **Instalaciones domiciliarias, comerciales e industriales.**

ANSI C1 14.1-1973 / IEEE Std. 142 - 1972

IEEE Práctica recomendada para aterramientos de Sistemas de Potencia Industriales y Comerciales

c) Subestaciones eléctricas de media y alta tensión

ANSI / IEEE Std. 80 – 1986

IEEE Guía para Seguridad en Aterramientos de subestaciones AC.

Norma USA que cubre aspectos técnicos y de diseño. Esta Norma se considera generalmente rigurosa en su aproximación.

## 2.2 Seguridad de las Personas

En nuestra sociedad, la electricidad es la forma energética más utilizada, esto unido al hecho de que no es perceptible por la vista ni por el oído, hace que sea una fuente importante de accidentes, causando lesiones de gravedad variable, desde un leve cosquilleo inocuo hasta la muerte por paro cardíaco, asfixia o grandes quemaduras. Aproximadamente, el 8% de los accidentes de trabajo mortales son de origen eléctrico.

El riesgo eléctrico referido a personas supone la posibilidad de circulación de una corriente por el cuerpo humano; siendo para esto necesario que concurren simultáneamente los siguientes fenómenos:

- Que exista un circuito eléctrico cerrado
- Que el cuerpo humano pertenezca a éste
- Que en el circuito eléctrico exista una diferencia de potencial o tensión

La gravedad de las lesiones aumenta con la intensidad de la corriente, la resistencia eléctrica del cuerpo humano y con la duración del contacto eléctrico. La intensidad de la corriente (I) que circula por el cuerpo humano es mayor cuando aumenta la tensión (U) a la que esta sometida el accidentado y menor cuando aumenta la resistencia (R) de paso por el cuerpo, según se deriva de la ley de Ohm  $I = U/R$

El riesgo eléctrico en baja tensión se configura por el contacto durante unos segundos, con conductores desnudos energizados, o con objetos o con partes electrizadas. En tales casos antes de la interrupción del circuito por los fusibles o por el interruptor, una corriente eléctrica relativamente pequeña, pero muy peligrosa, atravesará el cuerpo humano entre los puntos de contacto. Los contactos eléctricos pueden ser de dos tipos:

### 2.2.1 Contacto Directo

Cuando una parte desprotegida del cuerpo hace contacto “limpio” con una pieza desprovista de aislamiento, fig. 2-1, o con un conductor activo (energizado), en tanto que otra parte del cuerpo esta en contacto con otro punto a menor potencial (suelo). Los contactos directos son sumamente peligrosos para la vida.

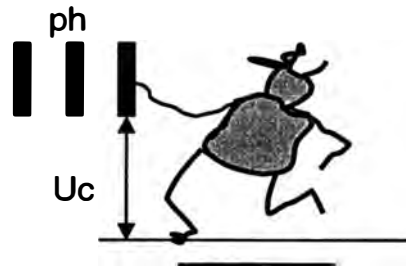


Figura 2-1: Contacto Directo

#### Sistemas de protección contra contactos eléctricos directos

- Alejamiento de las partes activas de la instalación a una distancia tal que sea imposible un contacto fortuito con las manos o por la manipulación de objetos conductores.
- Interposición de obstáculos que impidan todo contacto accidental con las partes activas de la instalación.
- Recubrimiento de las partes activas por medio de un aislamiento apropiado, capaz de conservar sus propiedades con el tiempo, y que limite la corriente de contacto a un valor no superior a 1 miliamperio.

### 2.2.2 Contacto Indirecto

Se configura cuando una parte del cuerpo hace contacto con un objeto o aparato que se ha electrizado debido a una falla no franca del aislamiento, fig. 2-2, o bien por acumulación de carga inducida, mientras que otra parte del cuerpo esta en contacto con un punto a menor potencial (suelo).

El contacto indirecto es menos peligroso para la vida porque ocurre a través de un medio que limita la circulación de la corriente, pero no deja de ser dañino para la salud.

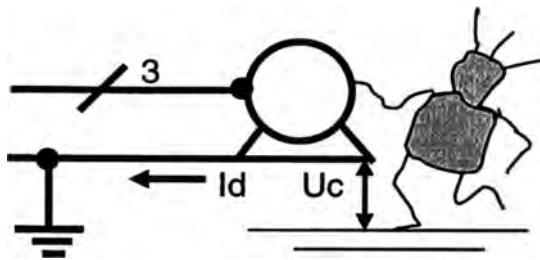


Figura 2-2: Contacto Directo

Sistemas de protección contra contactos eléctricos indirectos

- Clase A, basado en impedir la aparición de defectos o hacer que el contacto resulte inocuo (usando tensiones no peligrosas)
  1. Separación de circuitos mediante un transformador
  2. Empleo de pequeñas tensiones de seguridad, mediante un transformador de seguridad 50 V en emplazamientos secos y 24 V en emplazamientos húmedos.
  3. Separación entre las partes activas y las masas accesibles por medio de aislamientos de protección.
  4. inaccesibilidad simultánea de elementos de protección.
  5. Conexiones equipotenciales.
- Clase B, basado en la limitación de la duración del contacto mediante dispositivos automáticos de corte (diferenciales, etc.)
  1. Puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto. Diferenciales (Esquema TT).
  2. Neutro aislado de tierra y dispositivo de corte automático (Esquema IT).
  3. Puesta a neutro de las masas y dispositivo de corte por intensidad de defecto (Esquema TN).

En general, se debe adoptar un sistema de protección de clase B, que es más efectivo y el que presenta mayor seguridad para las personas; siendo los de clase A apropiados para ciertos equipos, materiales o partes de una instalación.

### 2.2.3 Parámetros Admisibles por el Cuerpo Humano

Según sus características, el cuerpo humano reacciona en forma diferente y en forma no lineal ante la aplicación de estímulos eléctricos de Tensión o Corriente, consecuentemente sólo es posible establecer magnitudes admisibles



de mínimo riesgo basados en un peso promedio de 70 Kg. asumiendo la circulación de la corriente con compromiso de los órganos vitales y con puntos de contacto de mínima resistencia.

**\* La Resistencia Estacionaria Admisible (Rk).**

Al aplicarse una baja diferencia de potencial estacionaria de Corriente Continua ó Corriente Alterna entre dos partes cualesquiera del cuerpo humano, éste reacciona en los primeros instantes (próximos a 5 segundos), como un simple componente resistivo en oposición a la circulación de la Corriente; es decir, presenta una resistencia inicial que luego empezará a disminuir rápidamente por el efecto Joule en los vasos sanguíneos, linfáticos y en los músculos estriados comprometidos; para intervalos de 3 segundos. Las normas asignan un parámetro promedio de  $R_k = 1000$  ohmios a partir de diferentes valores obtenidos con medidas directas, como se indica en la tabla 2.1

Tabla 2.1: Resistencia Estacionaria Admisible

Rk (ohm)	Recorrido de Ik
650	Pecho a Mano (Derecha)
750	Pecho a Mano (Izquierda)
1000	Mano (Derecha) a Pies
1250	Mano (Izquierda) a Pies
1400	Espalda a Mano (Derecha)
mayor a 1400	Otros puntos de contacto

**\* Las corrientes admisibles (Ik)**

Mediante experimentos de laboratorio con animales mamíferos de peso similar al de las personas, se han establecido y reafirmado los márgenes dentro de los cuales pueden hallarse las Corrientes (Ik) consideradas admisibles por el cuerpo humano y sin compromiso de la vida en tiempos de aplicación largos (inferiores a 5 segundos); en este caso, a partir de las sensaciones que producen. Las Normas eligen como magnitud promedio admisible, la corriente estacionaria máxima  $I_k = 0.05$  Amperios aplicable durante un máximo de 3,0 segundos. En la Tabla 2.1 se muestran los efectos de las corrientes en el cuerpo humano :

Tabla 2.2: Las corrientes admisibles ( $I_k$ )

$I_k$ (60 Hz)	Sensación
Menor a 1,0 mA	Límite de Percepción
De 6,0 a 8,0 mA	Hormigueo, Fastidio
De 8,0 a 25,0 mA	Malestar, Calambres
De 25,0 a 50,0 mA	Descontrol, Asfixia
De 50,0 a 100,0 mA	Fibrilación Ventricular
De 100,0 mA a más	Shock, Paro Cardíaco

### \* Las tensiones admisibles ( $V_k$ )

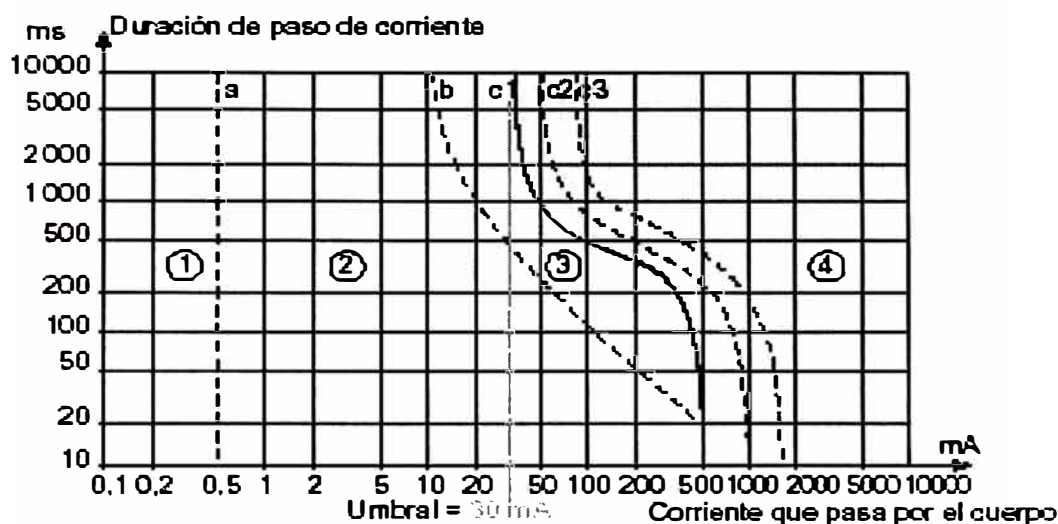
Las Tensiones o diferencia de potencial admisibles, pueden deducirse a partir de la aplicación de la Ley de Ohm, dado que se conocen de antemano las magnitudes normalizadas de resistencia media del cuerpo humano ( $R_k$ ) y la corriente admisible ( $I_k$ ), establecidas sin compromiso de la salud o la vida humana para aplicaciones temporales en seco inferiores a 3,0 segundos. Luego  $V_k = 50$  V, no obstante, tratándose de aplicaciones temporales bajo humedad superficial la Tensión estacionaria admisible se considera de 24 V.

### \* Corrientes y tensiones instantáneas admisibles

Las Corrientes y tensiones admisible durante muy breves intervalos de tiempo controlados, decenas de milisegundos (casos de fallas a tierra), pueden ser muchos mayores que las definidas como estacionarias o temporales, dado que en muy pequeños lapsos de tiempo los efectos físico-químicos o electrolíticos de la corriente eléctrica no llegan a desarrollarse.

#### • Corriente Instantánea Admisible.

Con experimentos complementarios de laboratorio para la aplicación inocua de corrientes entre partes del cuerpo humano, ha sido demostrado por C: F. Dalziel, fig. 2-3, una relación termodinámica entre la energía absorbida y la intensidad de la corriente aplicada ( $I_k$ ) en un tiempo finito ( $t$ ), asociado a la interrupción automática del suministro eléctrico (fusible o interruptor), en la siguiente forma:



Zona 1: percepción

Zona 2: gran malestar y dolor

Zona 3: contracciones musculares

Zona 4: riesgo de fibrilación ventricular (parada cardíaca)

C<sub>1</sub>: probabilidad 5%

C<sub>3</sub>: probabilidad > 50%

Figura 2-3: Corriente Instantánea Admisible

$$I_k^2 \times t = 0,0135, \quad \text{de donde}$$

$$I_k = \frac{0,0116}{\sqrt{t}} \quad (2.1)$$

### • Tensión Instantánea Admisible

Están íntimamente relacionadas por la Ley de Ohm a las corrientes instantáneas admisibles, mediante la composición normalizada del circuito que es conformado por las resistencias en los puntos de contacto y la resistencia promedio del cuerpo humano. En este caso, se podrán determinar separadamente las tensiones que correspondan al tipo de riesgo cuando hay falla a tierra.

#### a. Tensión de Toque o Contacto (V<sub>t</sub>)

Al punto de contacto de la mano, la Norma le asigna una resistencia nula, y a las resistencias de contacto de cada pie con el suelo que actúan en paralelo, les otorga la equivalencia a 1,5 veces la resistividad de la grava ( $\rho_s$  – piedra picada) que se estipula debe cubrir el suelo de las subestaciones, ( $\rho_s = 3000$  Ohm-m), consecuentemente se puede calcular según.

$$V_t = \frac{(1000 \times 1,5 \times \rho_s) \times 0,0116}{\sqrt{t}} = \frac{638}{\sqrt{t}} \quad (2.2)$$

### b. Tensión de Paso o Tránsito (Vp)

No interviene el contacto con la mano, y según las Normas internacionales las resistencias de contacto de cada pie con el suelo, que en este caso forman un circuito serie, equivalen ambos a 6,0 veces la resistividad del suelo superficial (suelo natural  $\rho_e = 1000 \text{ Ohm-m}$ ) seco en la periferia de la subestación, con lo que se puede determinar

$$V_t = \frac{(1000 \times \rho_e) \times 0,0116}{\sqrt{t}} = \frac{812}{\sqrt{t}} \quad (2.3)$$

### 2.2.4 Consecuencias de un Accidente Eléctrico

Las consecuencias de los accidentes eléctricos se relacionan, en primer lugar, al tipo de riesgo eléctrico al que están expuestas las personas; en segundo lugar, a las características físicas de las personas y, finalmente, al contexto de las instalaciones y del medio ambiente, pudiendo escalar desde el simple susto por las contracciones que ocasiona un toque breve, hasta la pérdida de la vida.

Las bajas tensiones en servicio normal, contrariamente a su denominación, constituye un nivel muy riesgoso por su uso intensivo en todas las actividades cotidianas, lo cual genera una mayor probabilidad de accidentes.

#### a. Contactos Directos

Los más peligrosos se dan bajo condiciones húmedas, luego siguen los contactos en seco. En ambos casos el tiempo prolongado del contacto, superior a 3 segundos ocasiona primero la fibrilación ventricular y luego la muerte por asfixia y/o paro cardíaco, continuando el proceso de ebullición y vaporización de los líquidos sanguíneos, linfáticos y del agua muscular hasta producir la carbonización.

#### b. Contactos Indirectos

Dada la interposición de una resistencia, generalmente permite la reacción evasiva instintiva de las personas, por lo que sólo llegan a ocasionar contracciones y distensiones bruscas en los músculos estriados, dando la impresión de haber sido arrojados con fuerza, pudiendo ello ocasionar otro tipo de accidentes por caídas o golpes.

Es indispensable el cumplimiento del Código Nacional de Electricidad (CNE), que considera como requisito mínimo de seguridad contra accidentes eléctricos, la conexión a una toma de tierra, de todas las masas de una instalación eléctrica.

## **CAPÍTULO III SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA**

### **3.1 Componentes del Sistema de Puesta Tierra**

#### **3.1.1 Electrodo de Puesta a Tierra**

Los electrodos de puesta a tierra deben estar lo más accesiblemente posible y preferiblemente en la misma zona de la conexión del conductor del electrodo al sistema

De acuerdo con el Código Nacional de Electricidad (CNE), el sistema de electrodos de puesta 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.

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.

El conductor del electrodo de puesta a tierra sin ningún empalme (Excepto empalmes irreversibles) podrá llevarse a cualquiera de los electrodos disponibles del sistema de electrodos de puesta a tierra y será dimensionado tomando el mayor calibre requerido para todos los electrodos disponibles.

Los tipos de electrodos fuera de norma son:

1. Tuberías de gas enterradas. Porque en los EE.UU. las compañías suministradoras de este fluido se opusieron a ello.
2. Electrodo de aluminio. Aunque en Europa se han utilizado, en los EE.UU 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.

#### \* **Tubería Metálica de Agua Enterrada**

Para que una tubería de agua sea posible usarla como electrodo de puesta a tierra, debe reunir los siguientes requisitos:

- a) Por lo menos tener 3 m en contacto directo con la tierra.
- b) Eléctricamente continua hasta el punto de conexión, puenteadando el medidor de agua, si esta colocado en una posición intermedia.

La única desventaja de su uso es que debe complementarse con un electrodo adicional.

No confundir con el requerimiento, casi siempre olvidado, del artículo del CNE, de conectar los sistemas interiores de tubería metálica para agua al puente de unión principal o a los electrodos de puesta a tierra, de acuerdo con la tabla 3-X de la misma norma (CNE).

#### \* **Estructura Metálica del Edificio**

La estructura metálica de los edificios puede ser usada, siempre que esté bien puesta a tierra, esto es, que su impedancia a tierra sea baja.

Para que sea baja la impedancia, se deben unir las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores según los calibres de los conductores de puesta a tierra de la norma [CNE] y, en caso de haber sellos consistentes en películas plásticas, se deben puentear éstas.

#### \* **Electrodos de Concreto Armado**

En las estructuras nuevas, el concreto armado puede ser utilizado como electrodo principal.

El CNE dice que debe de constar de por lo menos de 6 metros de una o más varillas de acero de no menos de 12,7 mm de diámetro localizado en y cerca del fondo de un cimiento o zapata, empotrado al menos 50 mm en el concreto o de un conductor de cobre desnudo de por lo menos 6 m de longitud y de una sección de 25 mm<sup>2</sup>. Pero, no olvidar que el mismo artículo menciona que deben unirse todos los electrodos de puesta a tierra del sitio.

El concreto tiene una estructura alcalina y una composición que atrae y retiene humedad. La combinación de estas características permite al concreto exhibir una resistividad consistentemente de unos 30 ohm-m. Los electrodos de

concreto tienen una resistencia a tierra mayor o igual que las varillas de cobre de un tamaño compatible, siempre que estén en contacto con suelos con resistividad de 50 ohm-m o menores. Pero, esta situación es la contraria cuando los suelos tienen una resistividad de 100 ohm-m o mayor, donde los electrodos de concreto reducen la resistividad efectiva .

Unas pruebas indican que la resistencia típica a tierra de una base para columna de anclaje medida en los pernos es de alrededor de 50 ohms, sin usar métodos especiales. De ahí que la resistencia efectiva de un edificio de estructura metálica con veintitantas columnas en paralelo sea de menos de 5 ohmios, siempre y cuando se asegure que la estructura esté conectada a las varillas. Para ello, se suelda por métodos de fusión un cable de acero a las varillas, mismo que se conectará a su respectiva columna.

#### \* **Anillo de tierra**

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor de 35 mm<sup>2</sup> y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 75 mm y, que rodee al edificio o estructura.

Los anillos de tierra se emplean alrededor de una fábrica para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos.

#### \* **Electrodos de Varilla o Tubería**

De acuerdo con el CNE los electrodos de varilla y tubo, no deben tener menos de 2,00 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2,50 m esté en contacto con la tierra.

Las varillas de metales no ferrosos deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 15 mm de diámetro, las otras de hasta 13 mm. Y las tuberías hasta de 20 mm de diámetro mínimo.

La resistencia de contacto de una varilla está dada por la fórmula de Dwight.

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left[ \ln \left( \frac{4 \times L}{d} \right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

Donde:

$\rho$  es la resistividad del terreno en ohm – m

L es el largo de la varilla en m

d es el diámetro de la varilla en m



La fórmula de Dwight para el caso de varilla enterrada en doble capa de tierra:

$$R = \frac{\rho_0}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right) + \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi \cdot L} \left[ \ln\left(\frac{4 \cdot L}{d_1}\right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

Donde:

$\rho_0$  es la resistividad del terreno adjunto en ohm – m

$\rho_1$  es la resistividad del terreno circundante en ohm – m

L es el largo de la varilla en m

$d_0$  es el diámetro de la varilla en m

$d_1$  es el diámetro del terreno adjunto a la varilla en m

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos se deben enterrar horizontales en una trinchera abierta para el caso a 800 mm de profundidad por lo menos.

La alternativa al golpeado es perforar un agujero, instalar la varilla y rellenar nuevamente el agujero. Fig 3-1

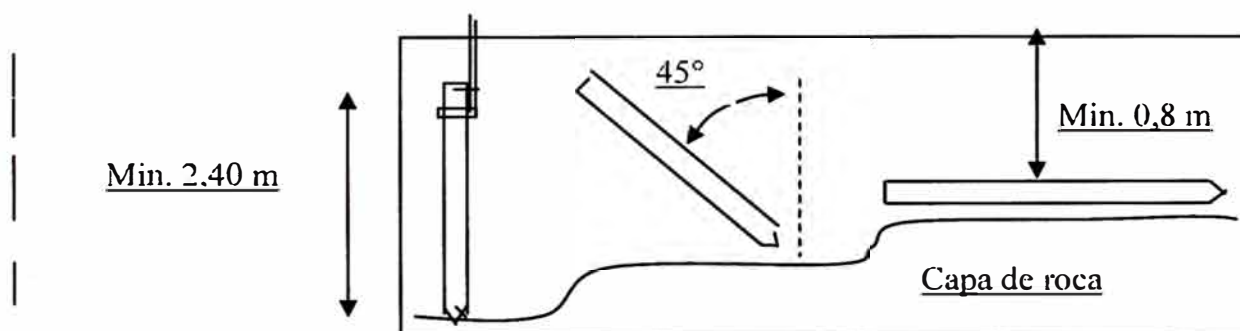


Figura. 3-1 Instalación de varillas

Cuando la resistencia de un electrodo excede del valor buscado, esa resistencia se puede reducir de las siguientes maneras:

- usando una varilla de mayor diámetro
- Usando varillas más largas
- Poniendo dos, tres i/o más varillas paralelo
- Tratando químicamente el terreno

a) Varillas de Mayor Diámetro

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. Ver figura 3-2

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 buen terreno húmedo, existen varillas que se acoplan unas a otras para lograr longitudes hasta de 30 m. Ver figura 3-3.

Resistencia, ohms

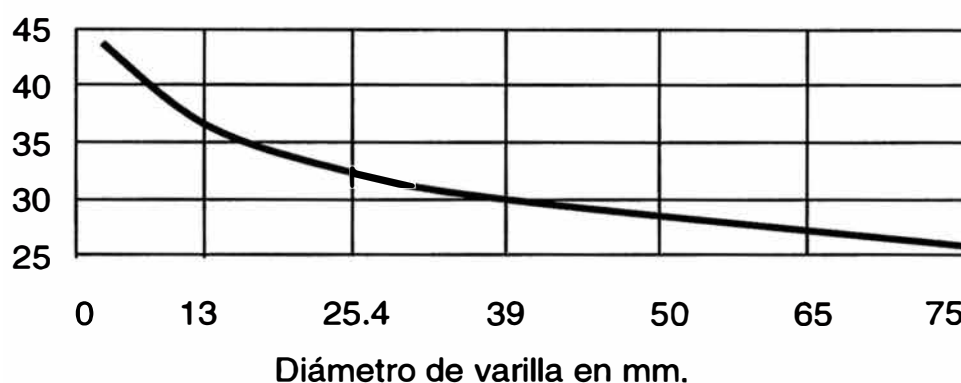


Figura 3-2: Relación entre el diámetro de la varilla y la resistencia de puesta a tierra (Artículo de NBS Technologic, junio 1918)

Resistencia, ohms

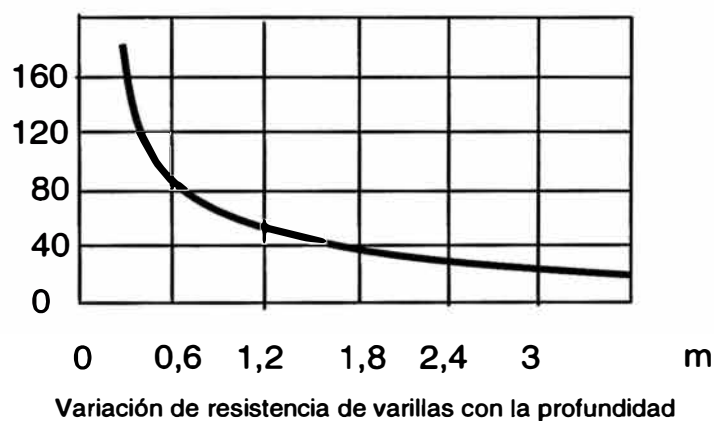


Figura 3-3: Terreno con humedad ligera, Diámetro de la varilla, 25 mm.

### c) VARILLAS EN PARALELO

El colocar varias varillas en paralelo es una manera muy efectiva de bajar la resistividad. Pero, las varillas no deben ser colocadas muy cerca una de otra, porque cada varilla afecta la impedancia del circuito. Cuando se colocan adyacentes la impedancia es mayor.

El Código Nacional de Electricidad (CNE) dice que cuando se utilicen más de un electrodo, la distancia entre ellos no debe ser menor de 1,8 m

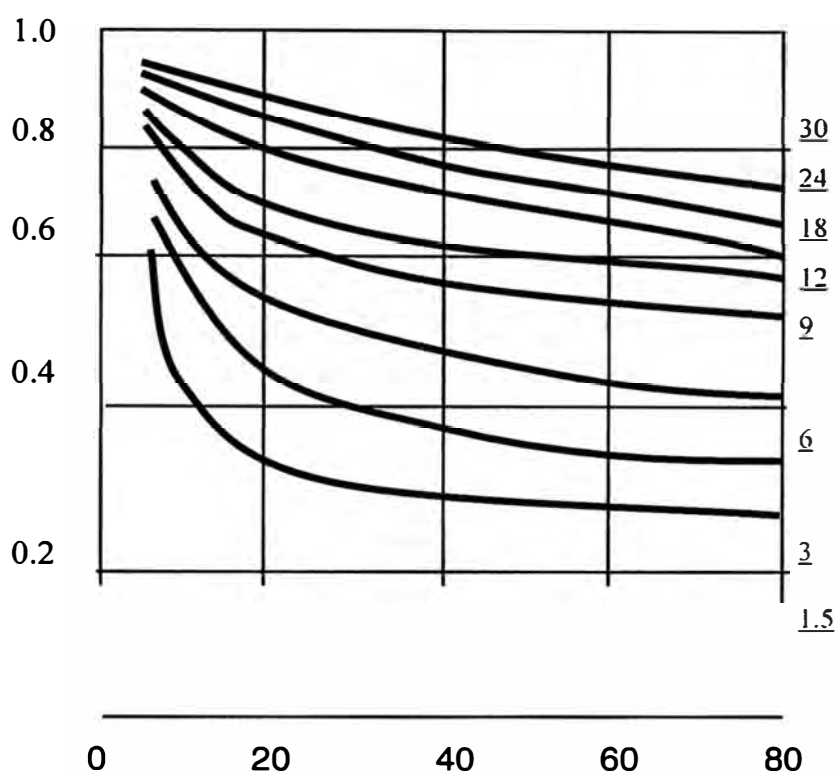
Cuando se utilizan múltiples electrodos, cada electrodo adicional no contribuye con una reducción proporcional en la resistencia del circuito. Dos varillas reducen la resistencia al 58% de una sola, mientras que 20 varillas apenas reducen ese valor al 10%. La resistencia neta para  $n$  varillas  $R_n$  esta determinada por la resistencia de una sola varilla  $R$ . Este es un valor aproximado que considera que las varillas están espaciadas por una distancia igual al diámetro del cilindro protector.

$$R_n = \frac{R}{n} \cdot [2 - e^{-0,17 \cdot (x-1)}] \quad (3.3)$$

y, representa el decaimiento de la capacitancia asociada con la propagación en la tierra. Ver figura 3-4

#### \* Electrodo de Placa

Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0,2 metros cuadrados de superficie en contacto con el suelo. Y las placas de acero o fierro deberán tener por lo menos 6 mm de espesor. Si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1,5 mm de espesor.



Número de varillas de  $\frac{3}{4}$ " de 3 m.

Relación de conductividad de varillas en paralelo (H. B: Dwight, trans AIEE, vol. 55 1936)

Figura 3-4: El número en los rectángulos son el espaciamiento en m.

#### \* Estructuras metálicas enterradas

En el National Electrical Code (NEC) menciona la puesta a tierra mediante sistema de tuberías o tanques enterrados. Pero, puede ser cualquier clase de estructura metálica.

#### \* Electrodo para puesta a tierra en radio frecuencia (no en el CNE)

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 dispersaran 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.

#### \* Mejoramiento del terreno

El problema de lograr en la roca así como en suelos de alta resistividad, una resistencia baja está asociada con el material 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 cumple con esos requisitos.

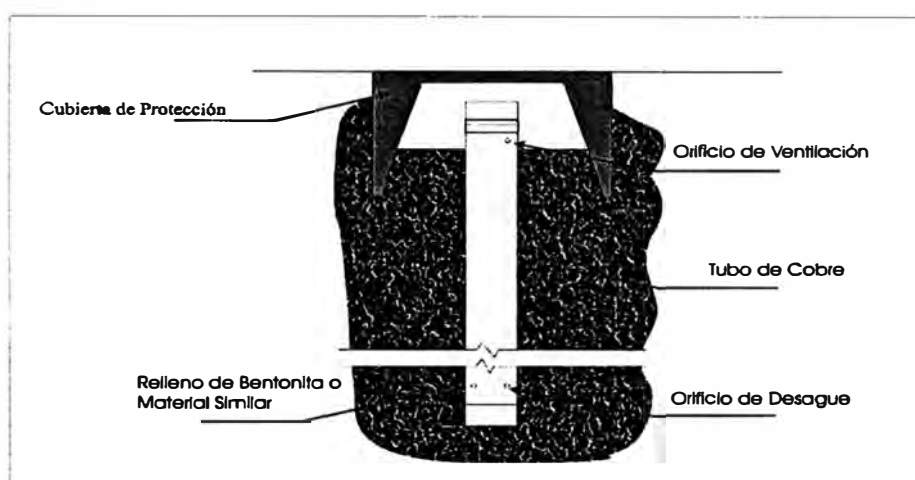


Figura 3-5: Mejoramiento del terreno

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 trece veces su volumen seco. Y tiene una resistividad de 2,5 ohm-m con humedad del 300%.

Aparte de la bentonita existen otros métodos químicos más. En el primero, en un registro hecho de tubo de albañal, junto a la varilla se colocan unos 30 cm de sulfato de magnesio o de sulfato de cobre, o de compuestos químicos patentados (thor gel, gem, etc.). Este método es efectivo donde hay poco espacio como en banquetas o estacionamientos.

El otro método es excavar una zanja alrededor de la varilla y llenarla con unos 20 o 40 Kg de los químicos mencionados arriba, diluyendo con agua. La

primera carga dura unos 2 o 3 años y, las posteriores aún mas, por lo que el mantenimiento es menos frecuente con el tiempo fig. 3-6.

#### \* Conectores

Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, abrazaderas u otros medios aprobados. Y no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.)

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

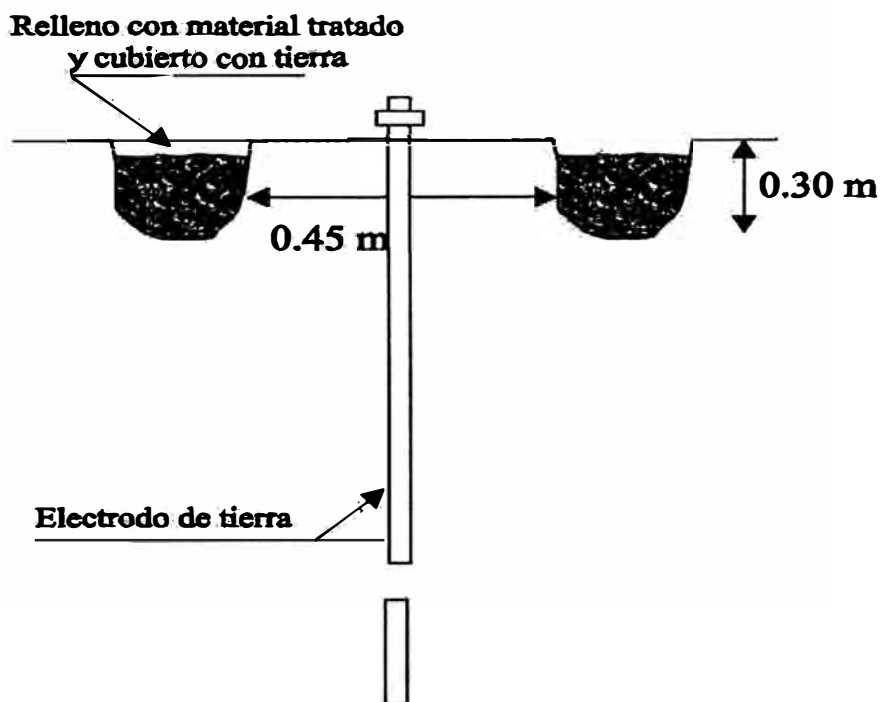


Figura 3-6: Conectores

#### \* Registros

El CNE dice textualmente que “las abrazaderas u otros accesorios para puesta a tierra, deben estar aprobados para su uso general sin protección, o protegerse contra daño físico... con una cubierta protectora...”, y menciona que la

conexión debe ser accesible, siempre que no este en un electrodo hundido, empotrado o enterrado.

Por ello, se recomienda dejar registros en algunos de los electrodos de varilla, los que también sirven para hacer las mediciones de mantenimiento.

### 3.1.2 Conductores del Electrodo de Puesta a Tierra

El calibre de estos conductores se calcula con ayuda de la tabla 3-X del CNE., esta se muestra en la tabla 3.1.

Es preciso que el conductor que conecte del puente de unión principal al sistema de tierras sea de una sola pieza, sin empalmes, excepto con aquellas uniones logradas mediante procesos irreversibles, como son los procesos de soldadura exotérmica o los conectores de compresión.

Tabla 3.1:

CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA	
Sección nominal del conductor mayor de la acometida o su equivalente para conductores en paralelo ( mm <sup>2</sup> )	Sección nominal del conductor de puesta a tierra (cobre) ( mm <sup>2</sup> )
35 o menor sección	10
50	16
70	25
95 a 185	35
240 a 300	50
400 a 500	70
Más de 500	95

Este conductor, si es de calibre 25 mm<sup>2</sup> o mayor, no requiere de protección, excepto en casos donde este expuesto a daño físico severo. Los calibres menores, deben correr siempre por tuberías conduit.

En el caso de las tuberías conduit, estas deben ser eléctricamente continuas; esto es, deben estar conectadas a tierra en ambos extremos.

### 3.1.3 Conductores de Protección

Es un conductor separado instalado con cada circuito y está presente para asegurar que parte o toda la corriente de falla regrese a la fuente a través de él. Puede ser un conductor individual, la cubierta metálica exterior de un cable o la estructura de un ducto metálico.

Estos conductores aseguran que las partes conductivas expuestas (tales como carcasas metálicas) permanezcan aproximadamente al mismo potencial durante condiciones de falla eléctrica. Las dos formas de conductores de conexión son:

- Conductores de conexión equipotencial principales, que conectan entre si y a tierra, partes conductivas expuestas que normalmente no llevan corriente, pero podrían hacerlo bajo una condición de falla.
- Conductores de conexión suplementarios, para asegurar que el equipo eléctrico y otros ítems de material conductivo en zonas específicas estén conectados entre si y permanecen sustancialmente al mismo potencial.

Es esencial, para ambos tipos de conductores, que el calibre escogido de conductor sea capaz de llevar el valor total de la corriente de falla estimada, por la duración estimada, sin perjuicio para el conductor o para sus uniones.

El dimensionamiento de los conductores de protección, debe calcularse conforme al valor de la corriente que circule por ellos. La sección mínima puede determinarse por la fórmula de Onderdonk

$$I = \frac{1973,55 \cdot S}{\sqrt{33 \cdot t}} \cdot \log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right) \quad \text{Amp.} \quad (3.4)$$

Donde:

- I : Corriente en Amperios  
 S : Sección transversal en mm<sup>2</sup>  
 t : Tiempo, en segundos, durante el cual se aplica la corriente I  
 T<sub>m</sub> : Máxima temperatura admisible, en °C  
 T<sub>a</sub> : Temperatura ambiente en °C

Normalmente sin embargo, razones mecánicas determinan una dimensión mayor. El CNE determina que la sección de los conductores de protección, no deberá ser menor que los valores indicados en la Tabla 3-XI, del CNE (Tabla 3.2)



y se basa en la capacidad nominal de corriente de los dispositivos de protección contra sobrecorriente que protegen a los conductores del circuito, por otra parte también señala que cuando los conductores del circuito se dimensionan para compensar la caída de tensión, los conductores de protección deberán ser dimensionados proporcionalmente en la misma proporción.

El CNE señala que no deberá colocarse ningún interruptor o disyuntor en el conductor de protección de una instalación interior.

Tabla 3.2 (CNE)

SECCIÓN MÍNIMA DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN	
Capacidad nominal o ajuste del dispositivo automático de sobrecorriente ubicado antes del equipo, tubería, etc. No mayor de (A)	Sección nominal del conductor de protección (cobre) ( mm <sup>2</sup> )
15	2
20	3
60	5
100	8
200	16
400	25
800	50
1000	70
1200	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

### 3.2. Sistemas de Puesta a Tierra

Entre los tipos de sistemas de puesta a tierra se tiene

#### 3.2.1 Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos

\* **Tipos de alambrados que requieren un sistema aterrizado.**

a) Sistemas eléctricos en c.c. de dos conductores, a menos de que alguna de las siguientes condiciones se cumpla:

- i) Suministren energía a sistemas industriales en áreas limitadas y sean equipados con un detector de tierra.
  - ii) Operen a menos de 50 V entre conductores.
  - iii) Operen a no más de 300 V entre conductores
  - iv) Sean alimentados con un rectificador desde un sistema en c.a. aterrizado.
  - v) Circuitos de c.c. de señalización para protección contra incendios, de corriente máxima de 0.030 A.
- b) Sistemas de c.c. de tres conductores.
- c) Sistemas eléctricos derivados en c.a. cuando el voltaje a tierra esté entre 50 y 150 volts.
- d) Sistemas de c.a. de menos de 50 V si están alimentados por transformadores de sistemas a más de 150 V a tierra o de sistemas no aterrizados.
- \* Tipos de alambrados en c.a. que pueden no ser aterrizados solidamente.**
- a) Los sistemas en c.a. de 50 a 1000 V que cumplan con los siguientes requisitos no se requiere que estén aterrizados.
- i) Sistemas eléctricos de hornos industriales.
  - ii) Sistemas derivados que alimenten únicamente rectificadores de controles de velocidad variable.
  - iii) Sistemas derivados aislados que son alimentados por transformadores cuyo voltaje primario es de menos de 1000V, siempre que todas las condiciones siguientes se cumplan:
    - (1) El sistema solamente se use en control.
    - (2) Que solamente personal calificado tenga acceso a la instalación.
    - (3) Que se tengan detectores de tierra en el sistema de control
    - (4) Que se requiera continuidad del servicio.
  - iv) Sistemas aislados en hospitales y en galvanoplastia permitidos por el CNE.
  - v) Sistemas aterrizados mediante una alta impedancia que limita la corriente de falla a un valor bajo. Estos sistemas se permiten para sistemas en c.a. tres fases de 480 a 1000 V, donde las siguientes condiciones se cumplen:
    - (1) Solamente personal calificado da servicio a las instalaciones.
    - (2) Se requiere continuidad del servicio.
    - (3) Se tienen detectores de tierra en el circuito.

(4) No existan cargas conectadas entre línea y neutro.

En la práctica, los sistemas industriales en media tensión son normalmente aterrizados mediante una baja resistencia. Eso es, típicamente se conecta una resistencia de 400 A en el neutro del transformador. Esta corriente máxima de falla no es muy dañina a los equipos, pero requiere relevadores/detectores de falla a tierra (50GS) rápidos.

**\* Conductor a aterrizar**

En los siguientes sistemas en c.a. se conectará a tierra:

- a) Una fase, dos hilos: El conductor de tierra.
- b) Una fase, tres hilos: El neutro.
- c) Sistemas polifásicos que tienen un hilo común a todas las fases: El conductor común.
- d) Sistemas polifásicos que tiene una fase aterrizada: Este conductor.
- e) Sistemas polifásicos en general: Solamente una fase puede estar aterrizada.

Este conductor es el llamado neutro y es de color blanco. Y se recomienda usar el color gris para distinguir el neutro de otro sistema. Usualmente el de un sistema con voltaje más alto.

**\* Lugar de puesta a tierra del sistema.**

- a) En sistemas en c.c. la tierra debe estar en la estación rectificadora únicamente.

El calibre del conductor de puesta a tierra no debe ser menor que el más grueso del sistema y nunca menor a calibre 8 AWG.

- b) Los sistemas de c.a. deben conectarse a tierra en cualquier punto accesible entre el secundario del transformador que suministra energía al sistema, y el primer medio de desconexión o de sobrecarga.

Y, debe existir en el neutro otra puesta a tierra en la acometida a cada edificio en un punto accesible en los medios de desconexión primarios.

Este conductor de puesta a tierra del sistema no debe ser menor al requerido por la Tabla 3-X del CNE, excepto el conductor que se conecta a varillas electrodos, o a electrodos de concreto, donde no es necesario que sea mayor que calibre 6 AWG en cobre o 4 AWG en aluminio.

Cuando no sea una acometida, se hace el cálculo sobre la sección de los conductores en paralelo.

Asimismo, el puente de unión principal debe ser del mismo calibre obtenido según la misma tabla {3-X}

En un sistema derivado separado que no está conectado a un sistema de distribución exterior, el conductor del electrodo, estará conectado al transformador, generador u otra fuente de energía o, al interruptor principal del sistema.

### **3.2.2 Puesta a Tierra de Equipos Eléctricos**

Los sistemas de puesta a tierra de equipos, por su importancia como medio de protección están muy normalizados a nivel mundial.

En nuestro país, la norma vigente de Instalaciones Eléctricas, CNE-Tomo V-1978 en el apartado {3.6}, contiene los requisitos mínimos de seguridad desde el punto de vista de la conducción de corrientes de falla.

En los siguientes puntos se establecerá lo más importante de dicha norma.

#### **\* Equipos y canalizaciones que deben estar puestos a tierra.**

##### **a) Canalizaciones Metálicas.**

Deben estar aterrizadas, en general, todas las canalizaciones metálicas

##### **b) Equipo Fijo en General.**

Bajo cualquiera de las siguientes condiciones, las partes metálicas que no conduzcan electricidad y que estén expuestas y puedan quedar energizadas, serán puestas a tierra:

- i) Donde el equipo está localizado a una altura menor a 2.4 m y a 1.5 m horizontalmente de objetos aterrizados y al alcance de una persona que puede hacer contacto con alguna superficie u objeto aterrizado.
- ii) Si el equipo está en un lugar húmedo y no está aislado, o está en contacto con partes metálicas.
- iii) Si el equipo está en un lugar peligroso o, donde el equipo eléctrico es alimentado por cables con cubierta metálica.
- iv) Si el equipo opera con alguna terminal a más de 150 V a tierra, excepto en:
  - (1) Cubiertas de Interruptores automáticos que no sean el interruptor principal y, que sean accesibles a personas calificadas únicamente.
  - (2) Estructuras metálicas de aparatos calentadores, exentos mediante permiso especial y si están permanentemente y efectivamente aisladas de tierra.

(3) Carcazas de transformadores y capacitores de distribución montados en postes de madera a una altura mayor de 2.4 m sobre nivel del piso.

(4) Equipos protegidos por doble aislamiento y marcados de esa manera.

**c) Equipo Fijo Específico.**

Todas las partes metálicas no conductoras de corriente de las siguientes clases de equipos, no importando voltajes, deben ser puestas a tierra, mediante los conductores calculados según la Tabla 3-XI del CNE, observando que no obstante se corran cables en paralelo por diferentes canalizaciones, el calibre de todos los cables de puesta a tierra dependen únicamente de la protección,

- i) Armazones de Motores como se especifica en el CNE .
- ii) Gabinetes de controles de motores, excepto los que van unidos a equipos portátiles no aterrizados.
- iii) Equipos eléctricos de elevadores y grúas.
- iv) Equipos eléctricos en talleres mecánicos automotrices, teatros, y estudios de cine, excepto los portalámparas colgantes en circuitos de no más de 250 V a tierra.
- v) Equipos de Proyección de cine.
- vi) Anuncios luminosos y equipos asociados.
- vii) Generador y motores en órganos eléctricos.
- viii) Armazones de tableros de distribución y estructuras de soporte, exceptuando las estructuras de tableros de corriente directa aislados efectivamente.
- ix) Equipo alimentado por circuitos de control remoto de clase 1, 2 y 3 y circuitos de sistemas contra incendios cuando el CNE requiera su aterrizado.
- x) Luminarias conforme al CNE [1.1] en sus secciones.
- xi) Bombas de agua, incluyendo las de motor sumergible.
- xii) Capacitores .
- xiii) Ademes metálicos de pozos con bomba sumergible.

**d) Equipos No Eléctricos .**

Las siguientes partes metálicas de equipos no eléctricos serán puestas a tierra:

- i) Estructuras y vías de grúas operadas eléctricamente.
- ii) La estructura metálica de elevadores movidos no eléctricamente, a las que están sujetos conductores eléctricos.

- iii) Los cables de acero de los elevadores eléctricos.
- iv) Partes metálicas de subestaciones de tensiones de más de 750 V entre conductores.
- v) Casas móviles y Vehículos de recreo.

**e) Equipos Conectados por cordón y clavija.**

Exceptuando los aparatos doble aislados o, conectados mediante un transformador de aislamiento con secundario a no más de 50 Volts todas las partes metálicas que puedan llegar a estar energizadas de equipos conectados mediante cordón, deben ser puestas a tierra en:

- i) En lugares clasificados peligrosos.
- ii) Cuando operan esos equipos a más de 150 V a tierra.
- iii) En casas habitación:
  - (1) refrigeradores, congeladores y, aires acondicionados;
  - (2) lavadoras de ropa, secadoras, lavaplatos, y equipos eléctricos de acuarios;
  - (3) herramientas manuales eléctricas y
  - (4) lámparas portátiles de mano.
- iv) En otros lugares, no residenciales,
  - (1) refrigeradores, congeladores, y aire acondicionado;
  - (2) lavadoras, secadoras y maquinas lavaplatos, computadoras, y equipos eléctricos de acuarios;
  - (3) herramientas manuales portátiles
  - (4) Los aparatos motorizados como: podadoras y limpiadoras de pisos.
  - (5) Herramientas que se usen en ambientes húmedos o mojados o por personas que trabajan dentro de tanques metálicos; y,
  - (6) lámparas portátiles de mano.

**f) Instalaciones Provisionales**

Los requisitos mencionados arriba también deben cumplirse para todas las instalaciones provisionales.

**g) Líneas**

Se debe poner a tierra toda cerca metálica que se cruce con líneas suministradoras, a uno y otro lado del cruce, a una distancia sobre el eje de la cerca no mayor a 45m .

Las estructuras metálicas, incluyendo postes de alumbrado, las canalizaciones metálicas, los marcos, tanques y soportes del equipo de líneas.

**\* Puesta a tierra de equipos conectados mediante cordón.**

Las partes metálicas de equipos conectados mediante cordón y que deben estar aterrizadas, se conectan de una de las siguientes maneras:

- a) Por medio de un contacto "polarizado".
- b) Por medio de la conexión fija del cordón a un conductor de puesta a tierra.
- c) Por medio de un cable o trenza conductora, aislada o desnuda, protegida contra daño mecánico.

**\* Partes metálicas de equipos fijos consideradas aterrizadas.**

Se consideran aterrizados satisfactoriamente los equipos fijos, como cajas, gabinetes y conectores, cuando:

- a) Están metálicamente conectados a una pantalla aterrizada de un cable o, a un gabinete aterrizado.
- b) Están aterrizados mediante un cable desnudo o de color amarillo que está bien conectado a tierra.
- c) El equipo en corriente directa está en contacto directo con la estructura aterrizada metálica de un edificio.

**\* Continuidad eléctrica del circuito de tierra.**

La continuidad eléctrica de los equipos debe asegurarse por alguno de los siguientes métodos:

- a) Puente de unión al conductor de tierra de acuerdo con el CNE
- b) Mediante conexiones roscadas en tubería rígida y eléctrica (EMT).
- c) Mediante conectores no roscados que se usan como accesorios de la tubería rígida y la eléctrica (EMT).
- d) Mediante puentes de unión a gabinetes

**\* Circuitos que no se deben aterrizar.**

- a) Los circuitos de grúas eléctricas operando en lugares con presencia de fibras combustibles.
- b) Circuitos aislados propios de quirófanos de hospitales.

**\* Consideraciones para un buen diseño de sistema de puesta a tierra de equipos eléctricos.**

Un sistema de puesta a tierra bien diseñado, considera:

- a) La conexión de la varilla de tierra.
- b) Conectar a tierra el tubo conduit metálico del conductor de puesta a tierra.
- c) Emplear las charolas y, las tuberías metálicas roscadas como conductores de puesta a tierra.
- d) Usar los interruptores automáticos con detector de falla a tierra en las cocheras, cocinas, y obras en construcción.
- f) El cableado del conductor de puesta a tierra junto con los cables de líneas y del neutro del mismo circuito por dentro de la misma canalización metálica.

### **3.2.3 Sistema de Puesta a Tierra de Equipos Electrónicos**

Los equipos electrónicos no trabajan satisfactoriamente cuando se presentan transitorios o interferencias.

La causa mayor de fallas de equipos electrónicos es el sobre-esfuerzo eléctrico que usualmente se origina de los transitorios causados por las descargas atmosféricas, de las maniobras de interrupción de cargas inductivas, o de descargas electrostáticas.

Este sobreesfuerzo es causado por picos de voltaje con amplitudes de rango de decenas de voltios a varios miles de voltios y, con duración de unas decenas de nanosegundos a unas centenas de microsegundos.

Los componentes electrónicos de interconexión de datos y control en bajo voltaje son los que más frecuentemente se dañan de esa manera.

La interferencia causada por armónicas se genera en fuentes de poder de tipo conmutada de computadoras, y en variadores de frecuencia. Pero, puede atenuarse su efecto incrementando calibres de conductores, cambiando el diseño y configuración del transformador y, usando filtros activos. Los filtros pasivos compuestos de capacitores e inductores como protecciones, no son generalmente efectivos (excepto como protección de bancos de capacitores) porque la frecuencia de corte del filtro tiene que ser tan cercana a la fundamental por lo que es prácticamente imposible diseñar un buen filtro.

La interferencia en radiofrecuencia (RFI, por sus siglas en inglés) puede ser causada por transmisiones radiales. Sin embargo, la interferencia que es un problema es aquella espúrea producida por componentes electrónicos trabajando a altas frecuencias. Tantos circuitos digitales como analógicos pueden causar



dichas emisiones. Además, la RFI puede emitirse en un ancho de banda muy grande por los múltiples subcircuitos trabajando al mismo tiempo. La mejor manera de atacar la RFI recibida es con un buen blindaje en cables y en equipos. Y la mejor manera de acabar con la RFI es blindar el ruido directamente en su fuente.

La inducción electromagnética (EMI) es ruido eléctrico que se convierte en un voltaje en un sistema eléctrico. Las fuentes son las mismas que generan la RFI, y se corrige con una puesta a tierra aislada.

Las descargas atmosféricas siendo la fuente de interferencia y transitorios más grande conocida, es el motivo predominante para diseñar un buen sistema de protección.

#### **\* Cables, pantallas y canalizaciones**

Ningún cable enterrado, ni de potencia, es inmune a la interferencia provocada por rayos y EMI. Las corrientes provocadas por las descargas atmosféricas prefieren viajar por conductores metálicos más que por la simple tierra, porque representan un camino de menor impedancia. Esto destruye el aislamiento. Y también causa una diferencia de potencial entre el blindaje y los conductores internos que puede destruir componentes electrónicos en la conexión.

Los cables y sus circuitos de conexión deben soportar los voltajes máximos causados por las diferencias de potencial que se puedan obtener entre los extremos de los cables. Cuando es muy grave el problema debido a estar conectando dos sistemas de tierra diferentes, los conductores se prefieren del tipo de fibra óptica. La otra solución sería el interconectar esos sistemas de tierra mediante conexiones a una red perimetral adicional, para lograr el mismo potencial en ambos extremos.

Los blindajes usualmente son de metal sólido o una película plástica metalizada con un alambre guía. Para que sea efectiva la protección de los cables internos contra los tipos de interferencias mencionados arriba, el blindaje debe cubrir los conductores, ser continuo entre los extremos y debe estar bien aterrizado.

Todos los cables blindados provocan un problema contradictorio. Para mejorar su desempeño para bloquear la interferencia en altas frecuencias, ambos

extremos del blindaje deberían estar bien aterrizados. Sin embargo, a menos que ambos extremos estén al mismo potencial, una corriente de tierra fluirá a través del blindaje entre esos puntos. De ahí que, las pantallas en sistemas electrónicos son conectadas únicamente en el extremo más cercano al equipo de control, y se dejan completas y aisladas en el otro extremo, normalmente el lado del sensor.

Similarmente una canalización metálica con cables que conduzcan señales lógicas o de control se puede aislar en un extremo para evitar el fenómeno de corrientes de tierra circulando por ella. Para ello, se emplea un cople de PVC y, obviamente, el otro extremo continúa puesto a tierra de acuerdo con los requisitos del CNE en el apartado 3.6.

Para eliminar la mayoría de los problemas por ruido inducido en los cables de señal y de control, se recomienda colocarlos a más de 1.5 m de los cables de alta tensión o de gran potencia. Y cuando es necesario cruzarlos, se recomienda cruzarlos a 90 grados para eliminar cualquier inducción.

Cuando existen cables de fuerza de computadoras en la misma canalización plástica segmentada - tipo Panduit -, es común que no se puedan transmitir datos a muy altas velocidades por conductores paralelos a dichos cables. Pero en redes de baja velocidad se pueden emplear sin problema.

#### **\* Protecciones de instrumentación y comunicaciones.**

Para controlar las descargas y los fenómenos transitorios, se añaden dispositivos de protección a los cables que conectan los equipos de instrumentación y de comunicaciones.

Estos dispositivos desvían la corriente, bloquean la energía que viaja por los conductores, filtran ciertas frecuencias, regulan voltajes o, realizan una combinación de todas estas tareas. Sin importar la función específica, solamente unos cuantos componentes básicos son económicos para construir protectores, siempre y cuando se coloquen muy cercanamente al sistema a proteger, con el fin de que tanto los protectores como el equipo protegido permanezcan al mismo potencial bajo condiciones de transitorios.

##### **a) VÁLVULAS DE GAS.**

Estos dispositivos se construyen de tal manera que la trayectoria de la descarga sea de baja impedancia una vez que se sobrepase el nivel máximo de voltaje. Como ejemplo tenemos las válvulas de gas, como son las lámparas de

neón. Esta es la clase de protección más lenta pero la que puede manejar más energía al menor costo.

Los protectores telefónicos son de esta clase.

## b) FILTROS

Otro arreglo común es el que emplea elementos pasivos. El que tiene capacitores e inductores en configuración de filtros pasa-baja.

Los filtros en serie emplean inductancias, y de preferencia de núcleo de aire en lugar de ferritas. Los de núcleo de aire tienen menor atenuación, una mayor frecuencia de corte y son más grandes. Sin embargo se prefieren porque los de ferritas cambian sus características con la magnitud y frecuencia de la corriente a disipar.

Muchos equipos de comunicaciones (faxes, modems, etc.) tienen este tipo de protección en la conexión de potencia.

## c) SEMICONDUCTORES

Los dispositivos semiconductores son los arreglos más sofisticados. Son más rápidos y baratos pero generalmente manejan menos energía que otras alternativas de igual precio. Pero debido a su rango limitado de operación, estos dispositivos pueden especificarse más precisamente. Existen dispositivos electrónicos para proteger por corriente o por voltaje.

Las resistencias no lineales compuestas de óxidos de zinc en una matriz de óxido de bismuto, llamados varistores, funcionan por voltaje y se manufacturan para manejar un máximo de energía en joules o en watt-segundos. El dispositivo se selecciona para operar a un voltaje ligeramente mayor que el máximo esperado de la fuente de voltaje. Cada varistor de óxido metálico tiene un rango de corriente que también se especifica y, tienen una capacitancia inherente, lo cual crea algunos problemas en señales de altas frecuencias (>135 MHz). Además, un varistor se degrada con el tiempo en operación.

La protección con varistores es la más empleada actualmente, tanto en voltajes de 120 Voltios ca. como en los voltajes de 12 V cd. de los puertos de comunicaciones. Su desventaja es que si se dañan en una descarga, los equipos quedan desprotegidos porque fallan siempre abriendo el circuito.

Los diodos de tipo zener o, avalancha son dispositivos más rápidos que los varistores pero no pueden manejar tanta energía. Y, ya que no pueden disipar

energía, se les usa junto con válvulas con gas. El diodo dispara primero y la gran energía se disipa en la válvula de gas.

El circuito de un zener consiste de una resistencia o inductancia en serie y el zener conectado en derivación con la carga. Si el rango del zener no es excedido, este dispositivo no se degrada con el tiempo. Sin embargo, debido a su limitada capacidad de corriente, un zener sin otro medio de protección se daña irremediablemente.

La efectividad de estos dispositivos depende de la longitud de la conexión a tierra (chasis). La más corta es la mejor. Y, además se debe tener precaución en no colocar los cables de entrada junto a los protegidos, por poder existir un acoplamiento inductivo entre ellos.

#### d) MODOS DE PROTECCIÓN

El modo de protección depende de la conexión al circuito a proteger. Unidades de protección de modo diferencial se conectan entre líneas y, los de modo común, entre los hilos de señal y tierra.

Como mínimo, un protector en modo común se debe colocar en cada extremo del conductor.

Para cancelar el ruido inducido en modo diferencial en líneas de instrumentación como en comunicaciones se usan pares trenzados. Así, el ruido se induce igualmente en ambos conductores cancelando el efecto.

Ya que los transitorios también son una forma de ruido, también se inducen en los conductores. Cables multiconductores acoplan la energía del transitorio a todos los pares del cable. Y, ya que la energía inducida es la misma siendo un par o muchos, más energía es disipada en un arreglo multiconductor.

Cuando existen más de 6 pares, se emplean protectores conectados en derivación y, cuando son menos, en serie, por ser mayor la energía presente por par. Los protectores en serie consisten de filtros como también de supresores en derivación.

Todos los pares que no se usen de un cable multiconductor deben ser conectados a tierra y así, la energía inducida en ellos, pasará directamente a tierra.

#### e) APLICACIÓN DE PROTECTORES EN PLCS

Para proteger Controladores Lógicos Programables (PLCs por sus siglas en inglés), la protección estándar dada por varistores en derivación es suficiente. Siempre y cuando no existan cables con señales que provengan de lugares fuera del sistema de tierras en donde está conectado el PLC.

Una solución a este último caso, es emplear protectores con aislamiento galvánico en ambos extremos. Dichos protectores separan físicamente las tierras en cada extremo y, adicionalmente aíslan eléctricamente la señal de ambos sistemas de tierras.

Debido a los requisitos de la puesta a tierra de los equipos eléctricos y debido a la presencia de tuberías metálicas en una planta, es imposible aislar galvánicamente todas las trayectorias de tierra, y esto puede crear lazos de corriente en equipos electrónicos con resultados nefastos. Si éste es el caso, es probable que uniendo las redes de tierras por medio de una red perimetral a las dos o más redes, y empleando protectores sin separación galvánica, y dejando la pantalla sin conectar en un extremo, se resuelva el problema. La otra solución, es por el momento, la que sugieren los fabricantes de equipos de controles distribuidos y comunicaciones. Es emplear cables de fibra óptica del tipo sin pantalla metálica.

**\* Puesta a tierra de equipos.**

Donde sea posible aislar galvánicamente los cables de las señales, se prefiere el mismo punto de aterrizamiento de los equipos para todas las pantallas de los cables de señal. Y este punto, aunque tenga sus propios electrodos, debe ser aterrizado al sistema de tierras de potencia, de acuerdo con las normas.

Para la acometida telefónica y la de TV por cable, el puente de unión al sistema de tierras de potencia no debe ser menor al calibre 6 AWG

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

- a) El convencional.
- b) El esquema de tierra aislada.
- c) Esquema de tierra aislada total.
- d) Esquema de malla de referencia.
- a) **ESQUEMA CONVENCIONAL.**

El esquema convencional utiliza únicamente las recomendaciones del CNE pero no incluye el uso de los contactos de tierra aislada. Este esquema encuentra

su uso en las instalaciones de PCs y de PLCs, donde sus alambrados están distribuidos en áreas muy pequeñas.

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

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

#### b) 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:

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

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.

#### c) 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 tierras.

Sin embargo, también tiene sus limitaciones:

- i) Esta configuración puede ser difícil de crear en un ambiente industrial.
- ii) Todos los equipos cercanos deben conectarse de esta manera a tierra o, se pueden tener lazos de corrientes.

Puede tener una impedancia en alta frecuencia muy alta, que en términos prácticos, la puesta a tierra sea ineficaz.

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

d) **ESQUEMA DE MALLA DE REFERENCIA.**

La configuración para una sala de cómputo, con piso celular. A la 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:

- i) Muchos fabricantes de equipos electrónicos industriales no están de acuerdo con su empleo.
- ii) 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.

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.

### **3.2.4 Sistema de Puesta a Tierra de Protección Atmosférica**

#### **\* Descargas atmosféricas**

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes. Y es consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico. Este rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50 metros por microsegundo con descansos de 50 microsegundos.

Una vez que el rompimiento creó una columna de plasma en el aire, la descarga eléctrica surgirá inmediatamente dentro de un hemisferio de unos 50 m de radio del punto de potencial más alto. Y, cualquier objeto puede ser el foco de esta descarga hacia arriba de partículas positivas, aún desde una parte metálica debajo de una torre.

La figura 3-9 muestra el caso más común: un rayo producido por una nube cargada negativamente contra tierra según el modelo de Hasbrouk .

Las descargas atmosféricas pueden causar grandes diferencias de potencial en sistemas eléctricos distribuidos fuera de edificios o de estructuras protegidas. A consecuencia de ello, pueden circular grandes corrientes en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conectan dos zonas aisladas. Pero, aún sin la descarga, una nube cargada electrostáticamente crea diferencias de potencial en la tierra directamente debajo de ella.

El campo eléctrico debajo de una nube de tormenta es generalmente considerado entre 10 000 y 30 000 V/m. Y una nube de tormenta promedio podría contener unos 140 MWh de energía con voltajes hasta de 100 MV, con una carga en movimiento intranube de unos 40 Coulombs. Esta energía es la que se disipa mediante los rayos, con corrientes pico que van de unos cuantos kiloamperes a unos 200 kA con un percentil (50) de 20 kA, de acuerdo con los datos del Sr. R. B. Bent .



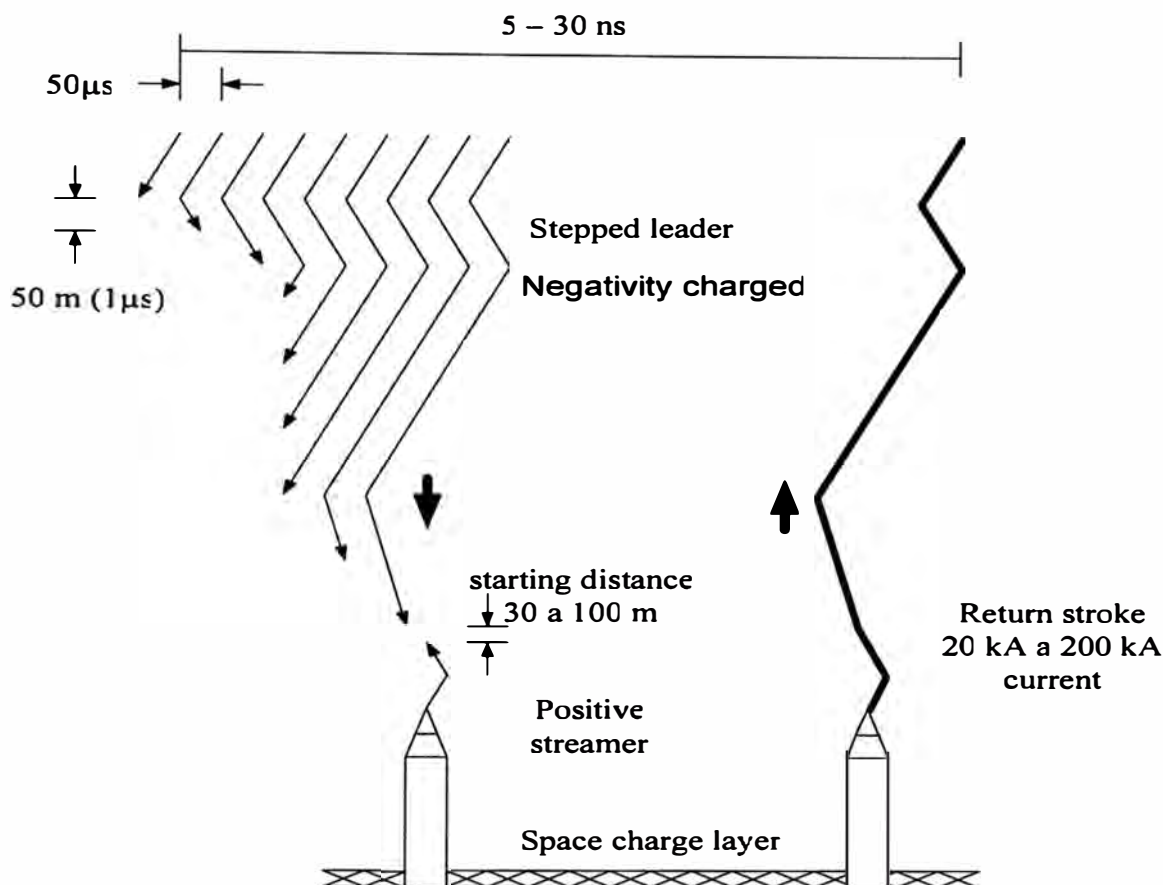


Figura. 3-9: Descargas atmosféricas

Algunas particularidades aumentan la probabilidad de la caída de rayos en un lugar. Por ejemplo, la frecuencia de descargas en un lugar es proporcional al cuadrado de la altura sobre el terreno circundante. Esto hace que las estructuras aisladas sean particularmente vulnerables. Además, las puntas agudas incrementan también la probabilidad de una descarga.

Los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, por ello son causa de interferencia en sistemas electrónicos. Son de alta frecuencia por la elevada razón de cambio de la señal, de aproximadamente 1 us. Por ello, para dirigir a tierra las descargas atmosféricas se utilizan las técnicas para señales en altas frecuencias.

La inductancia de los conductores de cobre usados para tierras es de aproximadamente de 1.64 uH/m. A la frecuencia equivalente de los rayos, la impedancia debida a la inductancia es muchas veces mayor que la impedancia debida a la resistencia del conductor. Por lo que, para los rayos, los conductores más largos de 10 m tienen una impedancia en términos prácticos infinita, lo que

impide que conduzcan la corriente. Además, estas señales de alta frecuencia no seguirán nunca una vuelta muy cerrada del conductor, porque cada doblez incrementa la reactancia inductiva. De ahí, que todos los cables de conexión a tierra de pararrayos deben tener curvas generosas en lugar de esquinas cerradas. Por ello, en conclusión se recomiendan curvas con radio de unos 20 cm, y conductores múltiples conectados en paralelo a tierra.

Como los rayos se reflejan como cualquier onda de alta frecuencia, es básico que la impedancia a tierra sea baja para la descarga, ya que todas las partes del sistema conectadas a tierra, elevarán y bajarán su potencial con respecto de tierra al tiempo de la descarga. Como ejemplo una malla de 30 x 30 m con 36 cuadrados, de cable de 0.5 cm tiene una inductancia de  $400e-7$  H, lo que dará una impedancia de 25 ohmios bajo una onda triangular con tiempo de pico de 1.2 us.

#### **\* Sistemas de pararrayos.**

La protección de estructuras es más tolerante que una protección electrónica. Así, un edificio puede tolerar hasta 100,000 V mientras que componentes electrónicos a 24 V se dañarán con voltajes sostenidos de 48 V

Los rayos ocurren con diferentes intensidades y un sistema que proteja contra su efecto deberá ser diseñado tomando en cuenta los rayos promedio o mayores del área en cuestión. Las descargas no pueden ser detenidas, pero la energía puede ser desviada en una forma controlada. El intentar proteger contra descargas directas puede ser excesivamente caro.

Un sistema de protección contra descargas, llamado de pararrayos, debe:

- a) Capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito se utiliza la terminal aérea.
- b) Conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un sistema de cables conductores que transfiere la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia; y,
- c) Disipar la energía en un sistema de terminales (electrodos) en tierra.

Cuando la energía de un rayo viaja a través de una trayectoria de gran impedancia, el daño causado puede ser grave por el calor y las fuerzas mecánicas que se crean.

Como la tierra no tiene una resistividad uniforme en todos los puntos, dentro de un mismo predio puede existir un potencial entre dos placas de metal enterradas. Por eso, en un sistema de electrodos múltiples conectados entre sí, a manera de malla, existe la probabilidad de que exista una diferencia de potencial entre algunos de sus puntos aterrizados.

El problema de diferencia de potenciales entre electrodos se complica aún más cuando una nube cargada pasa por encima de la malla. Además, una descarga eléctrica que caiga cerca, causará grandes corrientes en la tierra para restablecer el equilibrio de cargas. Al fluir esta corriente por tierra, causará una diferencia de potencial entre los diferentes electrodos y esta diferencia de potencial, a su vez, causará que fluya corriente por los conductores de la malla.

Es conocido que un campo magnético se crea cada vez que existe un rayo, no importando si es a tierra o entre nubes. Este campo induce una corriente en cualquier conductor en la vecindad del rayo. Si existen electrodos al final de ese conductor, fluirá por tierra la corriente cerrando el circuito. Por ejemplo, un oleoducto puede transmitir la corriente de una descarga a una gran distancia del punto donde la descarga tuvo lugar.

#### \* **Protección de estructuras y edificios**

##### **a) SISTEMA FRANKLIN**

El sistema más sencillo y más antiguo de pararrayos, es el que consiste en terminales aéreas de cobre, bronce o aluminio anodizado terminadas en punta, llamadas puntas Franklin, colocadas sobre las estructuras a proteger de los rayos. Este sistema se aplica en iglesias, casas de campo, graneros y otras estructuras ordinarias.

Estas terminales deben estar por lo menos 25 cm, las más pequeñas miden 30 cm,- sobre la estructura y, cuando esta altura mínima se emplea, la distancia entre ellas debe ser como máximo de 6 m.

Para asegurarnos de una buena conexión y de una baja impedancia, por lo menos cada terminal aérea debe tener dos trayectorias a tierra, y estas trayectorias deben estar cuando más a 30 m de separadas entre sí.

De acuerdo con el estándar NFPA 780 , existen dos clases de materiales (terminales aéreas, cables, accesorios y terminales de tierra). Los materiales

clase I se utilizan para la protección de estructuras que no exceden de 23 m de altura, y, los materiales clase II, las estructuras que si exceden dicha altura.

Entre las diferencias importantes de las dos clases de materiales se tiene:

Tabla 3.3: Diferencias importantes de las dos clases de materiales

	<b>Clase I</b>	<b>Clase II</b>
Terminales Aéreas, diámetro (mm)	9,5 Cobre, 12,7 Aluminio	12,7 Cobre, 15,9 Aluminio
Conductor principal, peso	278 g/m Cu, 141 g/m Al	558 g/m Cu, 283 g/m Al
Calibre	29 mm <sup>2</sup> Cu, 50 mm <sup>2</sup> Al	58 mm <sup>2</sup> Cu, 97 mm <sup>2</sup> Al
tamaño mínimo de alambre	17 AWG Cu, 14 AWG Al	15 AWG Cu, 13 AWG Al

Los tamaños de los conductores más usuales son: 29 ó 32 hilos calibre 17 AWG (65,6 kcm) de cobre para conductores de uniones, 28 hilos calibre 14 AWG o más grueso de cobre para conductores principales. Cuando se emplean conductores de aluminio, se debe tener precaución en no llevarlos hasta el suelo porque sufren corrosión.

Al respecto de la trayectoria, el CNE dice que cualquier parte metálica no conductora de corriente a una distancia menor de 1,8 m del cable de los pararrayos debe tener puentes de unión a éste para igualar potenciales y prevenir arcos.

Los conductores terminan en tierra en sendos electrodos, y para revisar el estado de dichos electrodos, es una práctica recomendada que se utilicen conectores de prueba a una altura de 1,0 a 1,5 m.

De acuerdo con la norma NFPA-780, el sistema de electrodos para la protección contra descargas atmosféricas depende más de las condiciones del suelo. De ahí que, para estructuras ordinarias menores a 23 m de altura, en:

- i) Arcilla Profunda y Húmeda.- Una simple varilla de 3 m es suficiente.
- ii) Suelo arenoso.- Se requieren dos o más varillas espaciadas más de 3 m.
- iii) Suelo con tierra poco profunda.- Se emplean trincheras radiales al edificio de 5 m de largo y 60 cm de ancho en arcilla. Si la roca está más superficial, el conductor podría colocarse sobre la roca.

iv) Rocas.- En un suelo muy poco profundo, un cable en anillo se instala en una trinchera alrededor de la estructura. Para mejorar aún el contacto, es posible colocar placas de al menos 0,186 m<sup>2</sup>.

**b) SISTEMA TIPO JAULA DE FARADAY.**

Para estructuras grandes, se utiliza una modificación al sistema Franklin de pararrayos, al añadir a las terminales aéreas conductores que crucen sobre la estructura a proteger como una caja de Faraday limitada sobre y a los lados de la construcción, y todo ese conjunto resultante es conectado a cables múltiples de bajada, que a su vez se conectan al sistema de tierras perimetral del edificio.

Los edificios modernos con estructura de acero y con varillas embebidas en concreto se acercan al concepto de la jaula de Faraday, y el riesgo de que un rayo que penetre en un edificio protegido de esta manera es extremadamente pequeño. Aunque se debe notar que los rieles de los elevadores no deben ser usados como el conductor de bajada de los pararrayos, en el National Electric Code permite que se unan al sistema de pararrayos .

Para hacer más efectiva la protección, se usan puntas del tipo Franklin o del tipo "paraguas" (patentadas)

**c) ZONA DE PROTECCIÓN (Método Norteamericano)**

Desde 1970 se emplea el método de la esfera giratoria. Para calcular la zona o cono de protección de los pararrayos. El equipo dentro de la zona de protección debe ser conectado a la misma red de tierras para que no exista una diferencia de potencial entre puntos en el sistema. Sin embargo, aparatos conectados a líneas que salen del área de mismo potencial pueden dañarse de no tener las protecciones mencionadas en el capítulo sobre equipos electrónicos.

**d) ZONA DE PROTECCIÓN (Método Francés)**

En Francia, coexisten dos estándares para protección contra descargas atmosféricas, la NFC 17-100 (1997), IEC 1024-1 (1990) que está basada en la caja de Faraday, y, la NFC 17-102 (1995) sobre puntas iniciadoras.

Por construcción, las puntas son las que inician la descarga hacia arriba unos cuantos microsegundos ( $\Delta T$ ) antes de la descarga principal. El efecto se traduce en una zona de protección de forma parabólica alrededor de la punta, de radio  $R_p$ .

De acuerdo con la peligrosidad de una descarga sobre la estructura a proteger, el estándar prevé tres tipos de protección.

Los radios de protección, contempla 3 tipos de puntas iniciadoras (25, 40 y 60 us) y, los valores de 2 a 4 metros son fijos, los demás se calculan mediante la fórmula

$$R_p = \sqrt{h(2 \cdot D - h) + 10^6 \cdot \delta T (2 \cdot D + 10^6 \cdot \delta T)} \quad \text{m.} \quad (3.5)$$

donde h es la altura, en metros, sobre la estructura a proteger.

### e) **PROTECCIÓN DE TORRES DE COMUNICACIÓN**

Variaciones considerables existen en la forma de como proteger una torre. Una manera es colocar una punta pararrayos en la cima de la torre y de ahí un conductor de cobre por toda la longitud de la torre. Sin embargo, por estar el cobre y el acero en contacto, se corroe el acero - 0.38 Voltios de la celda galvánica - y, la inductancia del cable tan largo crea una trayectoria de tan alta impedancia que no es efectivo como circuito a tierra. Por lo que se recomienda usar la estructura con una punta electrodo en su parte superior y conectores adecuados para su conexión al acero estructural.

Note que cuando se usan arreglos de puntas sobre antenas de radio, el plano de tierra cambia, por lo que el patrón de emisión radial cambia también y el arreglo puede evitar la recepción en ciertas zonas.

Si un rayo toca una torre, la torre conducirá la mayoría de la corriente a tierra. La corriente remanente será conducida por las retenidas, alambrado de las luces de alerta y por el cable coaxial.

La Norma Oficial Mexicana, (NOM) en el apartado 800-13, dice "cuando sea factible, se debe mantener una separación de por lo menos 180 cm entre los conductores visibles de sistemas de comunicación y los conductores de pararrayos".

Incrementando la distancia entre la torre y el edificio del transmisor y usando blindajes tipo Faraday se puede reducir el impacto de la descarga en el equipo.

La entrada del cable de comunicaciones al edificio debe ser a través de un cabezal de tierras.

La conexión a este cabezal debe ser por lo menos de área igual a la sección transversal de los cables coaxiales. Una trenza de 7,6 a 15,2 cm. de ancho es usualmente empleada en este uso.

Las conexiones a tierra del cable coaxial se colocan en los cables de la antena a una altura de 50m y a cada 30 m hacia arriba después de esa altura. Otra conexión va en la base de la torre y la otra en el cabezal de tierras. La altura de 50 m es crítica debida al hemisferio de descarga del rayo ya mencionado. Además, es preferible colocar el cable de señal por dentro de la estructura metálica de la torre para reducir la corriente en su blindaje.

Las luces de alerta solamente requieren de supresores de picos en las líneas de conexión eléctrica, los que también se deben aterrizar en el cabezal.

Para disipar rápidamente la energía de los rayos que pegan en las torres, y con ello, elevar menos el potencial de tierra del sistema, se acostumbra colocar radialmente conductores enterrados con varillas verticales. Estas radiales pueden ser menores de 30 m si el suelo es adecuado y los electrodos son efectivos.

También la NOM menciona que el conductor de puesta a tierra de tanto las estructuras como de la protección no debe ser menor a 5.260 mm<sup>2</sup> (10 AWG) en cobre y, que cuando se usen electrodos separados debe existir un puente de unión no menor a 13.30 mm<sup>2</sup> (6 AWG) en cobre entre el sistema de puesta a tierra de la antena y el de fuerza .

#### **f) Protección de líneas aéreas**

La protección de líneas aéreas de distribución se logra por medio de un hilo de guarda y, mediante apartarrayos en las líneas vivas. El primer método es aceptable en donde el terreno por donde pasa la línea tiene un baja resistividad y, el segundo método, en terrenos donde se tienen resistencia a tierras de electrodos de 25 a 250 ohmios.

En el CNE, se observa que el conductor de puesta a tierra directa del apartarrayos de un sistema de distribución, podrá interconectarse al neutro del secundario siempre y cuando éste último tenga una conexión a una tubería subterránea de agua, o, siempre y cuando sea un sistema secundario multiaterrizado. Y, que los conductores de puesta a tierra no se llevarán en cubiertas metálicas a menos de que se conecten a éstas en sus dos extremos

{280-25}, o, deben estar fijos a la superficie del poste o estar protegidos por una guarda no metálica de por lo menos 2.5m de altura.

**g) Protección de tanques.**

Ciertos tanques están autoprotegidos contra rayos. Como ejemplo, un tanque que es eléctricamente continuo y de por lo menos 3/16" de grueso no puede ser dañado por las descargas directas. Pero, el tanque debe estar sellado contra el escape de vapores que puedan incendiarse.

Los tanques se aterrizan para alejar la energía de una descarga directa así como para evitar las cargas electrostáticas. Esto puede lograrse de cuatro maneras. La más simple es conectarlos a sistemas de tuberías que no tengan uniones aisladas. El segundo método requiere que los tanques de hasta 6m de diámetro se sienten en la tierra o en concreto, y en asfalto los tanques de hasta 15 m de diámetro. El tercer método consiste en conectar un mínimo de 2 electrodos espaciados no más de 30m entre ellos radialmente al tanque. Y, por último, el método más novedoso es el de emplear el acero de refuerzo del muro de contenimiento de derrames. Ver en el capítulo de Materiales, los electrodos empotrados en concreto.

Para evitar las descargas electrostáticas que pudieran poner en peligro las instalaciones en el caso del almacenaje en tanques de productos inflamables, las normas especifican la instalación de por lo menos un cable flexible con conexión al mismo sistema de tierras del tanque, con conector de tipo pinza para igualar potenciales de todos los vehículos que carguen o descarguen producto al o del tanque.

Los tanques y tuberías de fibra de vidrio o de material plástico presentan problemas serios porque estos materiales no son conductores. Sin embargo estos materiales son muy susceptibles de presentar problemas debido a la electroestática y, por ello, sus válvulas y accesorios metálicos en caso de conducir un fluido no conductor de electricidad, deben ser puestos a tierra para drenar cualquier carga. En caso de ser necesario, un electrodo suspendido dentro del tanque y conectado a la red de tierras perimetral drenará cualquier carga interna.



Es importante observar que ciertos fluidos que se descargan libremente dentro de tanques crean cargas electrostáticas grandes, por lo que lo adecuado es colocar la descarga debajo del nivel del líquido.

#### **h) Protección de árboles.**

Los árboles que crecen aislados o que tienen una altura tal que sobrepasan cualquier estructura, son un blanco de las descargas atmosféricas. Por ello, para esos casos se recomienda protegerlos como si fuesen una estructura,

### **3.2.5 Sistema de Puesta a Tierra de Protección Electroestática**

#### **\* Electroestática**

Las cargas electrostáticas se crean en líquidos o polvos que tienen una rigidez dieléctrica elevada, y pueden llegar a ser de varios kilovoltios de magnitud.

#### **\* Medidas generales contra la electroestática.**

En el caso de manejo de productos en polvo a granel, se especifica conectar todas las partes metálicas entre sí, para lo cual se utilizan cables multihilos de temple suave o trenzas metálicas desnudas. Estos conductores permiten el movimiento de electrones entre las diferentes partes, y no interfieren con las lecturas de instrumentos como celdas de carga. El calibre es importante desde el punto de vista de rigidez mecánica, no de capacidad de corriente.

El sistema de uniones metálicas entre los distintos componentes puede hacerse en conjunto con el diseño del sistema de tierras de potencia, para evitar cables en paralelo, y tener siempre los calibres adecuados.

Cuando esta puesta a tierra no es suficiente para evitar la acumulación de cargas electrostáticas, en la industria se emplean los siguientes mecanismos que igualan o disminuyen la creación de potenciales de naturaleza electrostática.

\* Cepillos de alambre muy delgado de bronce.

\* Ionizadores de aire.

Tienen forma de cañón de aire, barra, barrera de aire, etc. Trabajan con una fuente de C.D. de 5000 a 8000 Voltios. Ejemplo: en materiales laminados plásticos.

\* Barbas metálicas en contacto con el material. Ejemplo: cartoncillo impreso.

\* Humidificadores. Ejemplo: en el manejo de fibras textiles sintéticas, y de harinas de maíz.

## \* **PROTECCIÓN DE TANQUES**

Para evitar las descargas electrostáticas que pudieran poner en peligro las instalaciones en el caso del almacenaje en tanques de productos inflamables, las normas especifican la instalación de por lo menos un cable flexible con conexión al mismo sistema de tierras del tanque, con conector de tipo pinza para igualar potenciales de todos los vehículos que carguen o descarguen producto al o del tanque.

Los tanques y tuberías de fibra de vidrio o de material plástico presentan problemas serios porque estos materiales no son conductores. Sin embargo estos materiales son muy susceptibles de presentar problemas debido a la electroestática y, por ello, sus válvulas y accesorios metálicos en caso de conducir un fluido no conductor de electricidad, deben ser puestos a tierra para drenar cualquier carga. En caso de ser necesario, un electrodo suspendido dentro del tanque y conectado a la red de tierras perimetral drenará cualquier carga interna.

Es importante observar que ciertos fluidos que se descargan libremente dentro de tanques crean cargas electrostáticas grandes, por lo que lo adecuado es colocar la descarga debajo del nivel del líquido.

En el caso de tanques con recubrimiento no conductor, y donde se tiene instrumentación (pH, ORP, etc.), se recomienda tener electrodos de instrumentación con puesta a tierra (Ground Loop Interrupt), para evitar que las cargas fluyan a través de electrodos y circuitos electrónicos causando lecturas falsas y reduciendo la vida útil de los electrodos.

## **CAPITULO IV**

### **RESISTIVIDAD DEL SUELO Y RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA**

#### **4.1 Mediciones de la Resistividad del Suelo y Procesamiento**

##### **4.1.1 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, ya que para conocer el comportamiento del terreno se tiene que estudiarlo desde el punto de vista eléctrico, como elemento encargado de disipar las corrientes de defecto que lleguen a través de los electrodos. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m por lo que una varilla enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 ohmios 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 baja con una sola varilla es virtualmente imposible.

No tan sólo es importante el tipo de suelo, la resistividad de la tierra también varía con el contenido de humedad. 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 tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

El terreno obviamente no es uniforme en sus capas. En los 3 m de longitud de una varilla típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos. La capa superior puede ser más conductora si existe suficiente humedad durante todo el año, pero también puede ser lo contrario.

##### **4.1.2 Factores que Determinan la Resistividad**

En la resistividad del terreno influyen los siguientes factores.

###### **\* Naturaleza del terreno**

Los terrenos son buenos, regulares o malos conductores en función de su naturaleza. Por lo tanto el conocimiento adecuado de su naturaleza es importante para la instalación de un sistema de puesta a tierra. En la tabla 4.1 se indican valores típicos de resistividad de terrenos de diferente naturaleza.

Tabla 4.1: Naturaleza del terreno

DE TERRENO	RESISTIVIDAD APARENTE (Ohmios – metro)
Terrenos Vegetales	10-50
Arcillas, Limos	20-80
Tierras de cultivo	50-100
Arenas arcillosas	80-200
Fangos, Turbas	150-300
Tierra aluvional	200-500
Arenas y dumas	250-800
Pedregales	300-1000
Rocas Compactas	1000-10000
Feldespastos secos	3000-20000

\* **Humedad**

El agua que contiene el terreno, influye de manera importante sobre la resistividad. El agua es uno de los elementos principales de la conducción de corriente en el terreno, posibilita los procesos electrolíticos necesarios para dispersar la carga eléctrica que es absorbida por la tierra. La resistividad aumenta con la disminución de la humedad y disminuye con el aumento de la humedad. En la figura 4.1 se presenta la variación de la resistividad en función de la humedad del terreno. En tal sentido para obtener valores estables de resistencia de el los sistemas de puesta a tierra, se aconseja profundizar lo más posible, para obtener terrenos con un grado de humedad lo más constante posible.

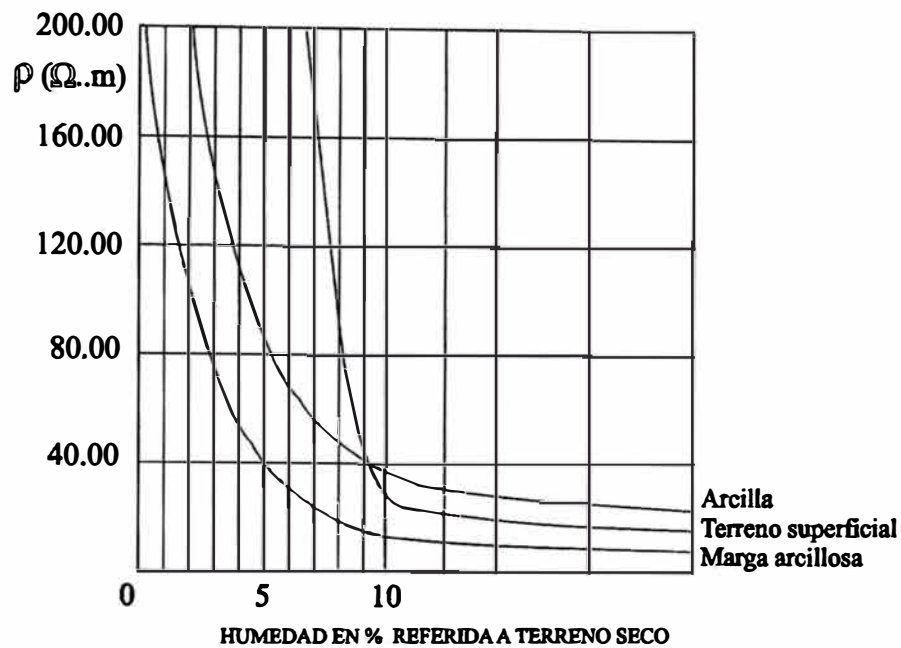


Figura. 4-1: Humedad

#### \* Temperatura del terreno

Las características térmicas del terreno dependen de su composición, de su grado de compactación y del grado de humedad. La resistividad del terreno aumenta al disminuir la temperatura, pero cuando la temperatura del terreno es inferior a 0 °C, la resistividad aumenta rápidamente (figura 4.2), como consecuencia de la congelación del agua que contenga el terreno y los electrolíticos se ven inmovilizados. Por otro lado, una temperatura elevada provoca mayor evaporación disminuyendo la humedad del terreno, de esta forma un aumento de temperatura tiende a incrementar la resistividad. Por este motivo se recomienda que las puestas a tierra deben hacerse lo más profundo posible, donde la temperatura del terreno alcance valores estables. En profundidades del orden de 10 m., la temperatura solamente sufre ligeras variaciones a lo largo del año y suele estar comprendido entre 13 °C y 16 °C.

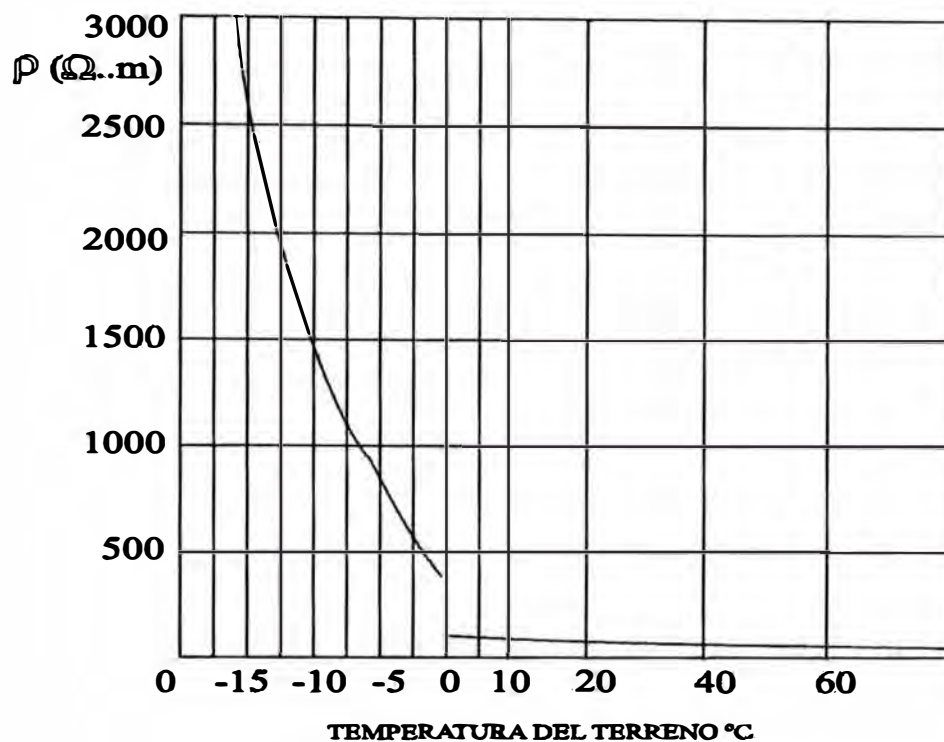


Figura. 4-2: Temperatura del terreno

\* **Salinidad del terreno**

Al aumentar la salinidad del terreno disminuye la resistividad. En el proceso de conducción electrolítica, la cantidad y tipo de sales disueltas en el terreno juegan un papel importante. Por este motivo no es aconsejable regar con exceso los terrenos donde hay una puesta a tierra, ya que las sales serán arrastradas por el agua a zonas más profundas disminuyendo su efecto. En la figura 4-3 se recoge la variación de la resistividad con el contenido de sales.



Figura. 4-3: Salinidad del terreno

\* **Estratigrafía del terreno**

La composición del terreno es generalmente estratificada en varias capas o formaciones diferentes (consecuentemente de resistividades diferentes). Además de esto, el suelo presenta características anisotrópicas (propiedades físicas diferentes en todas las direcciones).

\* **Variaciones estacionales**

Como es lógico, en épocas de lluvias el nivel freático se aproxima a la superficie del terreno, presentando este una resistividad menor que en el periodo de sequía, en el que el nivel freático se aleja en profundidad de la superficie. Los factores descritos anteriormente suelen tener variaciones estacionales. Para conseguir mantener una resistividad uniforme (a lo largo del año), es conveniente instalar los electrodos a mayor profundidad en el terreno.

\* **Compactación del terreno**

Cuando la compactación del terreno es grande se presenta una mayor continuidad física, lo que proporciona una menor resistividad. Entonces es recomendable esperar un cierto tiempo después de la instalación de una puesta a tierra para realizar la medición de su resistencia.

\* **Granulometría del terreno**

La resistividad del terreno esta influenciada por la dimensión y la presencia de granos de diversos tamaños. Se consideran dos aspectos: la capacidad de retención de agua en las capas del terreno y la continuidad física del terreno. En ambos casos la influencia de una granulometría mayor tiende a aumentar la resistividad.

#### **4.1.3 Medición de la Resistividad del Suelo.**

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad de la roca, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, planta generadora o transmisora en 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.

En este punto es necesario aclarar que la medición de la resistividad del terreno, no es un requisito para obtener la resistencia de los electrodos a tierra, que es lo que está normalizado.

Para medir la resistividad del suelo se requiere de un terrómetro o Megger de tierras de cuatro terminales con sus cuatro puntas enterradas la misma distancia, y espaciadas la misma longitud en línea recta.

Al margen de otras consideraciones, el instrumento de medida deberá ser de corriente alterna por las siguientes razones :

- a) La aplicación de corriente continua en el agua con sales disueltas podría dar lugar a fenómenos electrolíticos que confundirían los resultados.
- b) En el terreno están presentes corrientes parásitas o vagabundas, estas podrían falsear las medidas.

Empleado corriente alterna en la medida, de una frecuencia mayor a la industrial, puede sintonizarse la respuesta del equipo de modo que resulte improbable la influencia externa.

En 1915, el Dr. Frank Wenner del U.S. Bureau of Standards desarrolló la teoría de este método de prueba. El Doctor encontró que, si la distancia enterrada (b) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (a), la siguiente formula se puede aplicar:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (4.1)$$

donde

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

$\pi$  : 3.1415926

a : Distancia entre electrodos en metros.

R : Lectura del terrómetro en ohmios.

NOTA: Se recomienda usar una relación de  $a > 20b$  ó la ecuación [7.1] completa:

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{1 + \frac{2 \cdot a}{\sqrt{a^2 + 4 \cdot b^2}} - \frac{2 \cdot a}{\sqrt{4 \cdot a^2 + 4 \cdot b^2}}} \quad (4.2)$$



Como ejemplo, si la distancia entre electrodos  $a$  es de 3 metros,  $b$  es 0.15 m y la lectura del instrumento es de 0.43 ohmios, la resistividad del terreno a una profundidad de 3 metros, es de 8.10 ohms-m.

#### 4.1.4 Interpretación y Procesamiento de las Medidas de Resistividad.

Basado en que el terreno es de naturaleza estratificada, que se componen de varios estratos horizontales o con cierta inclinación (buzamiento) compuestos de materiales de distinta constitución, por lo que su resistividad varía notoriamente con la profundidad. Por lo que la medida de resistividad tendrá un valor ficticio que no corresponderá en general, a ninguna de las resistividades presentes en el terreno, sino a una cierta combinación de ellas. A este valor ficticio se le llama resistividad aparente, por lo que se requiere contar con un juego de medidas que deberán someterse a una interpretación y seguir su procesamiento.

##### \* PROCESAMIENTO ANALÍTICO DE TAGG

El método de TAGG, es una forma particular de la expresión general de resistividad aparente mediante la configuración Wenner, para un sistema de dos capas. La expresión general en un medio estratificado para la configuración de Wenner es

$$\left(\frac{\rho_{ap}}{\rho_1}\right)_E = 1 + 4A \int_0^{\infty} K(\lambda; P'_S; E'_S) [J_0(A\lambda) - J_0(2A\lambda)] d\lambda \quad (4.3)$$

La expresión analítica, que permite determinar los parámetros del terreno a partir del juego de medidas  $(\rho_a, a)$  de la característica de resistividades del terreno, es :

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{k^n}{(1 + \mu^2)^{1/2}} - \frac{k^n}{(4 + \mu^2)^{1/2}} \right] \quad (4.4)$$

Donde

$$\mu = 2nh_1 / a \quad (4.5)$$

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (4.6)$$

#### \* PROCESAMIENTO GRÁFICO MEDIANTE CURVAS PATRÓN

La curva de sondeo eléctrico con una configuración electrónica determinada, para un modelo geoelectrico definido, es una función analítica conocida y existen numerosas curvas teóricas de resistividad llamadas “Curvas Patrón”, que contempla combinaciones de capas de diferentes resistividades y espesores.

El problema inverso, dada una curva de sondeo eléctrico vertical obtenida mediante medidas de campo, deducir y conocer la estructura geoelectrica que la ha producido, no tiene solución única. En la práctica, suponiendo que a cada curva de campo le corresponde una única estructura, se compara la curva de campo con las curvas de resistividad aparente patrón. Si se obtiene un calce perfecto entre la curva de terreno y una curva patrón, se supone que la estructura del terreno es idéntica a la teórica. Las curvas se construyen en papel bilogarítmico y están normalizadas, con el objeto de independizarse de las unidades y magnitudes de la medición, interesando sólo la forma de ella.

De estas curvas patrón las de mayor uso son las de Orellana y Mooney. También es posible representar computacionalmente estas curvas y efectuar el ajuste por pantalla, ingresando la curva del terreno, o bien proceder a un ajuste automático de los datos del terreno por algún método de adaptación de curvas.

### 4.2 Medición de la Resistencia de Puesta a Tierra

La medición de la resistencia de puesta 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:

1. El tipo de prueba
2. El tipo de aparato empleado
3. El lugar físico de las puntas de prueba

#### 4.2.1 Tipo de Prueba

Existen dos tipos de prueba fundamentalmente. Las demás son variaciones de éstas. Aunque muy parecidas, los resultados de las mediciones no son los mismos.

Los métodos son:

- a. Método de caída de potencial. Llamado también tres puntos, 62%
- b. Método directo. También conocido como dos puntos.

#### **4.2.2 Tipo de Aparato**

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

Hay instrumentos que emplean corriente alterna para la medición con frecuencias de 25 Hz, otros de 133 Hz, etc. Con voltajes en circuito abierto de 120 y 22 V respectivamente.

Cuando se calibran estos instrumentos contra resistencias patrón ambos dan la misma lectura. En campo, las lecturas pueden variar por la impedancia del terreno a esas distintas frecuencias.

También existen aparatos de medición tipo gancho, los cuales tienen dos mayores limitaciones

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

#### **4.2.3 Lugar Físico**

Las varillas electrodos de los instrumentos de medición pueden ser colocadas en todas las direcciones como a una infinidad de distancias entre ellas. Aunque es el mismo punto de medida, las lecturas no son idénticas, a veces ni en terrenos vírgenes debido a la presencia de corrientes de agua o de capas de distinta resistividad.

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

#### 4.2.4 Medición de Resistencia de Puesta a Tierra por el Método de Caída de Potencial

La mayoría de los instrumentos empleados en la medición de resistencia de puesta a tierra, se basan en el método de caída de potencial. Y si es aplicado correctamente da los resultados más confiables.

El método se aplica para medir la resistencia de un electrodo (C1/P1) enterado en (0), con respecto a la tierra circundante. Y, esto se realiza colocando puntas de prueba auxiliares (C2 Y P2) a distancias predeterminadas del electrodo bajo prueba. La figura 4-4 muestra el arreglo de las varillas.

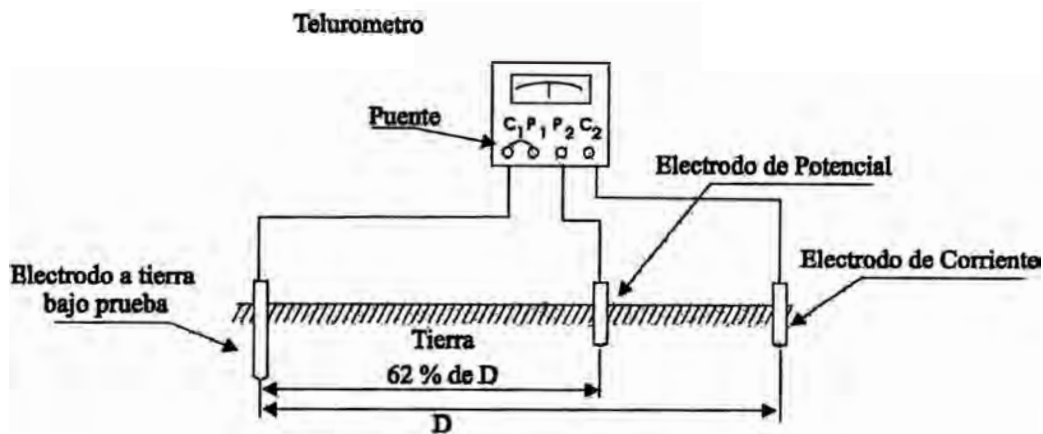


Figura 4-4: Arreglo de las varillas

Una corriente que se genera en el instrumento, se inyecta por C1/P1 y se hace regresar por el electrodo auxiliar de corriente (C2). Al pasar la corriente por la tierra, una caída de voltaje existirá entre C1 y P1 y el electrodo auxiliar de potencial (P2). Dentro del aparato se calcula la resistencia por medio de la ley de ohm.

$$R = \frac{V}{I} \quad (4.7)$$

Donde:

R = Resistencia a tierra

V = Voltaje leído entre el electrodo C1/P1 y el P2

I = Corriente de prueba inyectada por el instrumento.

El método requiere que por lo menos exista un espaciamiento entre C1/P1 y C2 de 15 m, y que se grafiquen los valores de resistencia obtenidos contra la distancia de 0 a P2.

La gráfica mostrara un incremento gradual de resistencia a tierra mientras P2 está en la zona cercana a 0. Cuando P2 sale de esa zona pero no ha entrado en la zona de C2, la gráfica mostrará una meseta en los valores. Este aplanamiento obtenido se ha demostrado teóricamente que se logra cuando P2 está localizado al 62% de la distancia entre 0 y C2. Esta es la razón por la que también se le llama a este método el “de 62%”. Pruebas realizadas demuestran que la variación de las lecturas obtenidas al 50% y al 70% de la distancia es menor al 5%, que es la precisión de la mayoría de los instrumentos más comunes. De ahí que las lecturas que se toman al 60% pueden dar una medida promedio aceptable de la resistencia a tierra del electrodo.

Sin embargo, este método tiene la limitante de que depende en gran medida de enterrar los electrodos en una zona alejada de objetos conductores

#### **4.2.5 Medición de Resistencia de Puesta a Tierra por el Método de dos Puntos**

Este método involucra únicamente el electrodo bajo prueba y un punto de referencia, presumiblemente en buen contacto con la tierra y, por ello con valor cercano de resistencia de tierra de cero ohmios. De ahí que el valor obtenido es aproximadamente la resistencia a tierra del sistema pequeño más la resistencia de los cables de prueba.

La limitación esta en la elección del punto de referencia puesto que en muchos casos las tuberías aparentemente metálicas en toda su extensión, tienen partes de PVC

## **CAPITULO V**

### **MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

#### **5.1 Mantenimiento de Sistemas de Puesta a Tierra**

El mantenimiento requiere actividades de análisis para conocer las fallas y sus medidas correctivas, el planeamiento para determinar los recursos necesarios y una programación para determinar la época de su realización.

Si bien es cierto, que para la verificación de la condición de un electrodo de tierra es mediante prueba desde la superficie, sin embargo, esta prueba no detectará, por ejemplo, la corrosión en algunos de los componentes del electrodo. Por otro lado, la frecuencia del mantenimiento y la practica recomendada en cualquier instalación depende del tipo y tamaño de la instalación.

#### **5.2 La Inspección del Sistema de Tierra**

La inspección del sistema de puesta a tierra en una instalación, normalmente forma parte de un mantenimiento general. Consiste de una inspección visual de partes del sistema, observando evidencia de desgaste, corrosión, instalación defectuosa, etc.

##### **a) Instalaciones domésticas y comerciales.**

Se debe inspeccionar y recomendar cambios donde se observe que una instalación no satisface las normas correspondientes, particularmente se debe asegurar que la conexión entre los terminales de tierra son de dimensión suficiente.

##### **b) Subestaciones de distribución industriales o de la compañía eléctrica de distribución**

Se realiza la inspección regular, típicamente, una vez al año.

#### **5.3 El Examen del Sistema de Tierra**

Consiste en una muy rigurosa y detallada inspección del sistema de puesta a tierra, particularmente si satisface las normas correspondientes y además la realización de pruebas de acuerdo al tipo de instalación.

##### **a) Instalaciones domésticas y comerciales.**

El examen de estas instalaciones se realizan, normalmente, a solicitud del cliente. Se recomienda que se realice con una frecuencia de cinco años. Los tipos de pruebas a realizarse son

- medición de la resistencia de puesta a tierra
- revisión y ajustes necesarios del sistema de puesta a tierra.
- Prueba de los interruptores diferenciales existentes, independiente del botón de prueba

b) Fábricas.

Debe mantenerse un registro detallado de cada examen. Se debe verificar que el sistema de puesta a tierra satisfaga las normas correspondientes. Los tipos de pruebas a realizarse son

- medición de la resistencia de puesta a tierra
- medición de equipotencialidad (uso de un ohmetro de baja resistencia)
- revisión y ajustes necesarios del sistema de puesta a tierra.
- Prueba de los interruptores diferenciales existentes, independiente del botón de prueba

c) Instalaciones con protección contra descarga de rayo.

Se recomienda que el examen se realice confrontando con una norma relativa al tema. Incluye una inspección muy rigurosa y la prueba de la resistencia del electrodo.

d) Subestaciones de distribución industriales o de la compañía eléctrica.

La realización del examen, es con una frecuencia típica de 5 a 6 años, con una inspección muy rigurosa. Particularmente se requiere la revisión de las conexiones de las partes metálicas normalmente accesibles (cuba de transformadores, de interruptores, puertas de acero, rejillas de acero, etc.) Los tipos de pruebas a realizarse son

- medición de la resistencia de puesta a tierra
- medición de equipotencialidad (uso de un ohmetro de baja resistencia)
- revisión y ajustes necesarios del sistema de puesta a tierra.

## **CONCLUSIONES**

El propósito principal de un sistema de puesta a tierra es la de protección de las personas

La instalación incorrecta de un sistema de conexión a tierra implica desde lesiones menores hasta la muerte de una persona, lo mismo que operaciones erráticas o daños costosos o irreparables a los equipos e instalaciones. Los errores en el sistema de puesta a tierra representan un peligro de seguridad industrial.

El propósito de este informe, es el de presentar las prácticas correctas de instalación de un sistema eléctrico de distribución, utilizando el código como autoridad indiscutible en la instalación de los sistemas de puestas a tierra.

Es importante tener presente que el C.N.E como los reglamentos eléctricos de cada país son normas obligatorias de seguridad, y que violarlos en una instalación es una violación de la ley de cada país.

Es menester resaltar que existe una confusión debido a la interpretación errónea y a la gran cantidad de términos usados en libros, artículos técnicos sobre el tema.

Es en los últimos años que se ha dado la importancia al sistema de puesta a tierra debido a la proliferación de equipos electrónicos sensibles que requieren una tierra libre de ruidos eléctricos. La mayoría de los problemas que afectan a los sensibles equipos electrónicos, los causa una conexión a tierra deficiente o incorrecta y problemas de cableado.

En cuanto a la seguridad de las personas, el umbral de la corriente admisible es de 30 mA, asimismo la tensión admisible es de 50 V y de 24 V en humedad.

Un concepto que se tiene que tomar en cuenta, es que en un local, todos los electrodos de puesta a tierra tienen que estar interconectados.

La mayoría de los fabricantes de equipos electrónicos usualmente exigen una tierra aislada o separada, lo cual cree una gran confusión. Asimismo exigen



que no se conecte el equipo electrónico nuevo a la supuesta tierra sucia. La función real de la tierra aislada es la de proporcionar una referencia cero, libre de ruido para los circuitos electrónicos.

Se ha presentado los esquemas de conexión a tierra normalizados, de los cuales, es el esquema IT (neutro aislado) el seleccionado por las industrias que requieren una operación ininterrumpida del proceso de producción.

Para el diseño de sistemas de puestas a tierra, es necesario determinar las resistividades del terreno estratificado a través del procesamiento de las características del juego de medidas de resistividades obtenidas en el campo. El método de medida de Wenner es el mas empleado en las mediciones de resistividades.

Entre los factores que tienen una mayor incidencia en disminución de los valores de la resistividad se tiene al aumento de la humedad, al aumento de la salinidad, la disminución de la granulometría, al aumento de la compactación.

En la medición de la resistencia de puesta a tierra, es comúnmente empleado el método del 62 % con los cuidados pertinentes, tales como el de evitar los objetos metálicos enterrados.

Por otro lado, es importante efectuar el mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra, considerando la inspección y el examen de las instalaciones, a fin de verificar si satisfacen las normas pertinentes y la realización de pruebas, tales como, la medición de la resistencia de puesta a tierra, verificación de la equipotencialidad de las partes metálicas con el electrodo de puesta a tierra.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 Código Nacional de Electricidad tomo v, Sección 3.6
- 2 National Electric Code 96, sección 250
- 3 Teoría y Diseño de Sistemas de Tierras Según las Normas NOM y IEEE, I° Roberto Ruelas, abril 2001
- 4 Ejecución de Puestas a Tierra para Instalaciones Eléctricas Interiores en Baja Tensión, I° Justo Yanque M., 2000
- 5 NTP 370.055:1999 Sistema de Puesta a Tierra – Glosario de Términos
- 6 Masa, Tierra y Neutro, Tres Conceptos Distintos, I° Horacio Torres – Sanchez, Colombia 1999
- 7 Tierras Eléctricas Confiables para un Sistema de Distribución, I° Rubén Corvalán Schmidt, México, 1999
- 8 Tierras Eléctricas, I° Jorge de los Reyes P. A. Llamas, México
- 9 Los Esquemas de Conexión a Tierra en Baja Tensión (Regimenes de Neutro), I° Bernard Lacroix, I° Roland Calvas, Francia, 1998
- 10 Riesgo Inmediato para las Personas en la Proximidad de las Instalaciones Eléctricas, I° Justo Yanque M., 1999
- 11 Determinación de las Resistividades del Suelo Para el Diseño, Justo Yanque M., 2002
- 12 Mallas de Tierra, I° Nelson Morales Osorio, 1999