



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**CAMPUS ARAGÓN**

**IMPLEMENTACION DEL SISTEMA  
DE TIERRA A INMUEBLES DE  
TELEFONIA.**

**TESIS:**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA**

**P E S E N T A N:**

**GERARDO ZAMORA**

**ARZATE**

**ROSALIO CESPEDES VALENCIA**

**ASESOR:**

**ING. J. J. RAMON MEJIA ROLDAN**

**MÉXICO 1999**

275438

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS:  
POR HABERME DADO LA VIDA PARA  
ASI SERVIR A MIS CONGENERES Y A  
MI MÍSMO.

A MIS PADRES:  
GERARDO Y ROSA

POR DARME SU CARÍÑO Y APOYO  
POR QUE DE UNA U OTRA FORMA SUPIERON  
SEMBRAR EN MI EL ESTUDIO Y SUPERACION  
PERSONAL; A USTEDES LES DEDICO ESTE  
TRABAJO CON MUCHO AMOR.

A MI DIRECTOR DE TESIS:  
ING. JUAN JOSE RAMON MEJIA ROLDAN  
POR SU VALIOZA COLABORACIÓN, Y APOYO QUE ME  
BRINDO PARA LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

A MIS COMPAÑEROS Y ESPECIALMENTE AL ING. ABEL  
COMO MUESTRA DE AMISTAD, POR COMPARTIR JUNTOS  
IDEAS Y PENSAMIENTOS QUE FORTALECIERON NUESTRO  
CONOCIMIENTO.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

A LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"

A LOS CATEDRATICOS QUE ME BRINDARON LOS CONOCIMIENTOS NECESARIOS PARA MI  
FORMACION PROFESIONAL

GRACIAS

ROSALIO CESPEDES VALENCIA.

## **INDICE**

### **INTRODUCCION.**

#### **CAPITULO 1 CONCEPTOS BASICOS**

- 1.1.- OBJETIVO.
- 1.2.- CAMPO DE APLICACION.
- 1.3.- DEFINICIONES.
- 1.4.- TERMINOLOGIA.
- 1.4.1.- SIMBOLOGIA.
- 1.5.- REDES DE TIERRA.
- 1.6.- SISTEMA DE TIERRA PARA SERVICIO.
- 1.7.- SISTEMA DE TIERRA TEMPORAL.
- 1.8.- ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA RED DE TIERRA.
- 1.9.- CONDUCTORES Y CONECTORES DE CONEXIÓN.
- 1.10.- ELECTRODOS Y DISPERSORES.
- 1.11.- CALCULO DE LA RESISTENCIA DE DISPERSORES A TIERRA.
- 1.12.- TIPOS DE ELECTRODOS.
- 1.13.- INFLUENCIA DEL MEDIO AMBIENTE EN ELECTRODOS.
- 1.14 DISEÑO DEL SISTEMA DE TIERRAS

#### **CAPITULO 2 SISTEMA DE TIERRA Y SU IMPORTANCIA**

- 2.- ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA RED DE TIERRA.
- 2.1.- IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE TIERRA.
- 2.2.- REDES DE TIERRA PARA FUNCIONAMIENTO Y TRABAJO.
- 2.3.- REDES DE TIERRA PARA PROTECCIÓN.
- 2.4.- PELIGROSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA.
- 2.5.- TENSIÓN DE PASO, DE CONTACTO Y DE TRANSFERENCIA.
- 2.6.- TENSIÓN DE ORIGEN ATMOSFERICO, O POR UN RAYO.
- 2.7.- CARACTERISTICA DE UNA DESCARGA ATMOSFERICA.
- 2.8.- DIFERENCIA ENTRE HILO NEUTRO E HILO TIERRA.

### **CAPITULO 3 MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO Y SU TRATAMIENTO.**

- 3.- MEDICIÓN ELECTRICA DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.
- 3.1.- FACTORES QUE EFECTAN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
- 3.2.- COMPONENTES DE LA RESISTENCIA DE UN SISTEMA DE TIERRAS
- 3.3.- PROCEDIMIENTOS PARA ABATIR LA RESISTENCIA DEL TERRENO
- 3.4.- ELECTRODOS PROFUNDOS
- 3.5.- ELECTRODOS MULTIPLES EN PARALELO
- 3.6.- TRATAMIENTO QUIMICO
- 3.6.1.- AGREGADOS DE SALES SIMPLES
- 3.6.2.- AGREGADOS DE SALES TIPO GEL
- 3.6.3.- AGREGADOS DE CARBON
- 3.6.4.- AGREGADOS DE BENTONITA
- 3.7.- MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE TIERRAS
- 3.8.- FORMULAS UTILIZADAS PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A TIERRA CON FORMAS GEOMETRICAS.

### **CAPITULO 4 NORMAS Y ESPECIFICACIONES GENERALES.**

- 4.- NORMAS Y ESPECIFICACIONES GENERALES.
- 4.1.- CONSIDERACIONES TECNICAS Y FUNCIONAMIENTO PRINCIPAL DEL SISTEMA DE TIERRA.
- 4.2.- ELEMENTOS PRINCIPALES DEL SISTEMA DE TIERRA.
- 4.3.- DISPOSICIONES BASICAS DE REDES DE TIERRA.
- 4.4.- ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.
- 4.5.- MALLA DE TIERRA.
- 4.6.- PUESTA A TIERRA.
- 4.7.- NORMAS Y ESPECIFICACIONES.
- 4.8.- CABLE VERTICAL.
- 4.8.1.- NORMAS.

**4.8.2.- ESPECIFICACIONES.**

**4.8.3.- NORMAS DE LA BARRA DE TIERRA DE PISO (BTP).**

**4.8.4.- ESPECIFICACION DE LA BTP.**

**4.8.5.- NORMAS DE LA BARRA DE TIERRA DE PUNTO PRINCIPAL.**

**4.9.- VENTANA DE TIERRA (VT).**

**4.9.1.- NORMAS DE LA VENTANA DE TIERRA.**

**4.9.2.- ESPECIFICACIONES DE LA BARRA DE LA VENTANA DE TIERRA.**

## **CAPITULO 5 PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS.**

**5.- PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS.**

**5.1.- CORRIENTE ALTERNA.**

**5.2.- CORRIENTE DIRECTA (CD).**

**5.3.- CONMUTACION.**

**5.3.1.- NORMAS GENERALES.**

**5.3.2.- PUESTA A TIERRA TIPICA DE DIVERSOS EQUIPOS DE CONMUTACION DIGITAL.**

**5.3.3.- INSTALACION TIPICA DE LA PUESTA A TIERRA DE URL'S.**

**5.4.- EQUIPOS DE TRANSMISION, INSTALACIONES RURALES Y TELEFONIA CELULAR.**

**5.4.1.- PARARRAYOS.**

**5.4.2.- LINEAS DE TRANSMISION (GUIA DE ONDA Y/O CABLE COAXIAL).**

**5.4.3.- CONTENEDORES EN AZOTEAS.**

**5.4.4.- CABLE DE FIBRA OPTICA.**

**5.4.5.- RADIO, EQUIPO OPTICO, MULTIPLEXORES Y PCM.**

**5.4.6 REPETIDORES DE MICROONDAS**

**5.5.- SISTEMAS DE COMPUTO Y EQUIPOS PERIFERICOS.**

**CONCLUSIONES.**

**BIBLIOGRAFIA.**

## **INTRODUCCIÓN:**

En México sea procurado tener una alta seguridad en el manejo de energía eléctrica de corriente directa y corriente alterna, poniendo en práctica técnicas modernas de puesta a tierra, de sus equipos de Fuerza, Clima, Conmutación, Transmisión, Planta Externa e Instalaciones Rurales.

Actualmente se cuenta con mallas de tierras , que cubren toda el área del edificio, de la cual se toman todos los conductores de puesta a tierra, método llamado conexión múltiple de puesta a tierra, lo que garantiza un buen funcionamiento del equipo telefónico analógico.

Debido al cambio de tecnología analógica por digital, se da la necesidad de modificar las técnicas de conexión a tierra que garanticen la igualación de los potenciales en cada uno de los equipos, a fin de reducir sus impedancias y brindar protección contra las altas tensiones transitorias, descargas electrostáticas y disminuir el ruido de los sistemas electrónicos, ya que los equipos digitales presentan requerimientos específicos de puesta a tierra.

Las mallas de tierra utilizadas, cumplen con los requerimientos de seguridad y operación de los equipos, no así la distribución de tierra, que utilizan el método de conexión múltiple para la operación de los equipos .

Como una de las premisas prioritarias para el mejoramiento de la calidad del servicio, se ha determinado desarrollar todo lo relativo a la normatividad de los sistemas de tierra en los diferentes edificios que contienen equipo, dentro de los cuales se encuentran las Centrales Urbanas, Unidades Remotas de Líneas (URL's), Repetidores de Microondas (RMO's), Repetidores de Fibra Óptica (RFO's), Planta Externa, Radio de Acceso Múltiple (RAM's), Servicio Punto a Punto y redes Ópticas Flexibles (ROF's).

FALTA PAGINA

No. 2



## **1.1.- OBJETIVO.**

Establecer las normas y especificaciones del sistema de tierra, para su aplicación en proyectos, construcción, corrección de instalaciones y mantenimiento, a fin de homologar estos criterios y mejorar la calidad de servicio .

## **1.2.- CAMPO DE APLICACIÓN.**

Su aplicación es inmediata en todos los nuevos proyectos y los que están en proceso de construcción, así como en las instalaciones existentes

La implementación de esta información tiene como propósito fundamental los siguientes aspectos:

- \* Aumentar la seguridad del personal y reducir el peligro de incendio.
- \* Reducir al mínimo los daños al equipo y por consiguiente del servicio.
- \* Minimizar las inducciones electromagnéticas radiadas y conducidas .
- \* Aumentar la tolerancia a las descargas electrostáticas y a las interferencias causadas por descargas atmosféricas .

La presente norma constituye una guía para la puesta a tierra de los equipos de Teléfonos y Telefonía Celular.

Estas normas y especificaciones son producto de recopilación de la información emitida por los organismos de Normatividad Nacionales e Internacionales, estarán sujetas a una revisión continua a fin de mantenerlas actualizadas y acorde a los avances tecnológicos para su aplicación. Por lo tanto, esta información actualiza los boletines técnicos, criterios prioritarios de ingeniería.

### 1.3.- DEFINICIONES.

#### APARTARRAYOS.

Aparato o dispositivo que se emplea para proteger el equipo conectado a un circuito eléctrico, contra el efecto de ondas de sobretensión que se producen, tanto por descargas atmosféricas, como por la operación de interruptores o por otras causas de disturbios en el propio circuito.

#### BARRA DE TIERRA DE PISO.

Es una barra instalada en la central telefónica que referencia a el punto principal de toma de tierra y al conductor igualador. Normalmente una de estas barras es suministrada en cada piso para permitir la puesta a tierra de estructuras metálicas, bastidores y plantas de fuerza, según se requiera.

#### BARRA DE TIERRA DE PUNTO PRINCIPAL.

Es una barra de tierra única, localizada cerca del suministro de corriente alterna, generalmente en el sótano del edificio y sirve como punto central de conexión para los diversos conductores de tierra, tales como:

- \* Cable Vertical.
- \* Conductores de tierra de planta externa .
- \* Colas de tierra de la malla.

#### CORRIENTE ELECTRICA

Es el desplazamiento de las cargas eléctricas de un punto a otro en un conductor o de una región determinada en el espacio. Si una carga neta  $q$  que pasa por una sección transversal cualquiera del conducto en un determinado tiempo  $t$ , se le llama intensidad de corriente, sus unidades son los Amperes.

#### CABLE VERTICAL.

Es un conductor vertical principal, utilizado para obtener la referencia entre la barra de tierra de piso y el punto principal de la toma de tierra, el conductor debe de ser continuo, extendiéndose a todo lo alto del edificio.

### CARGA ELECTROSTATICA.

Carga Eléctrica almacenada que se produce por frotamiento, ionización de las moléculas de aire, influencia y proximidad, magnetismo e inducción.

### CONDUCTOR ACTIVO.

Conductor del circuito que normalmente tiene una diferencia de potencial con respecto a tierra.

### CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA.

Conductor que se usa para conectar a tierra. En el punto requerido, las cubiertas metálicas de los equipos, canalizaciones metálicas y otras partes metálicas no portadoras normalmente de corriente.

### CONDUCTOR DE TIERRA.

El que enlaza o une al electrodo de tierra con las carcazas de los equipos y demás instalaciones expuestas a corrientes de corto circuito.

### CONEXIÓN.

La unión permanente de partes metálicas para formar una trayectoria eléctrica, que sea capaz de conducir cualquier corriente que le sea impuesta.

### CORRIENTE DE FALLA.

Corriente que aparece al momento de una falla de aislamiento.

### DIFERENCIA DE POTENCIAL.

Es cuando dos o más estructuras metálicas no están requeridas al mismo punto de tierra y se presenta entre ellas un voltaje.

### ELECTRODO DE TIERRA.

Consiste de una o mas partes conductoras, generalmente varillas o placas enterradas en el suelo, con el propósito de hacer contacto eléctrico firme con la masa general de la tierra del lugar.

### ESCOTILLA.

Paso de guías de onda del exterior al interior de la sala de radios.

### EQUIPOS PERIFERICO.

Son aquellos equipos asociados al funcionamiento de equipos telefónicos, como: Sistemas de computo, Fax, Vídeo- conferencias, Equipo electrónico de oficina y grabadoras de facturación, los cuales por lo general son alimentados por inversores.

### INSTALACION ELÉCTRICA.

Se entiende como un conjunto de aparatos y accesorios destinados a la producción, distribución y utilización de la energía eléctrica.

### MISCELANEOS.

Son todas las estructuras metálicas como: puertas, ductos de aire acondicionado, contactos polarizados, lámparas de alumbrado, escalerillas, canaletas, charolas de cables, tubería conduit, tubería hidráulica metálica, archiveros, gabinetes y muebles de oficina.

### PARARRAYOS.

Dispositivo de protección contra descargas atmosféricas, que constituyen un medio seguro de conducir a tierra las descargas que inciden directamente sobre los puntos mas elevados de un edificio, torre de transmisión o estructura de cualquier tipo.

### PARASOBRETENSIÓN.

Término general que designa a un dispositivo de limitación de sobre tensiones.

### PLANO AISLADO DE TIERRA.

Grupo de bastidores aislados del piso, interconectados que están intencionalmente puestos a tierra a través de una sola conexión.

### PLANO INTEGRADO DE TIERRA.

Grupo de bastidores no aislados del piso, interconectados que están intencionalmente puestos a tierra a través de una sola conexión.

### POTENCIA ELECTRICA.

Es el trabajo necesario para transportar una carga  $q$  (En coulomb) a través de una elevación de potencial  $v$  en un tiempo  $t$  (En segundos).

### PUESTA A TIERRA.

Acción y efecto de conectar a tierra efectivamente a ciertos elementos de un equipo o de un circuito, en forma y métodos ya establecidos en estas normas.

### RESISTENCIA ELECTRICA.

Es la oposición que pone todo conductor al paso de una corriente eléctrica, y es una propiedad que depende de las condiciones geométricas del conductor, del material que este constituida y de la temperatura. Sus unidades son los Ohms.

### RESISTIVIDAD.

También llamada resistencia específica, es una constante que depende del material que esté hecho el conductor.

### SISTEMA DE TIERRA.

Conjunto de conductores, electrodos y accesorios que, interconectados eficazmente entre sí, tiene por objeto interconectar a tierra las cubiertas y otras partes metálicas de los equipos eléctricos, así como aquellos elementos de los circuitos que lo requieran.

### SOLDADURA EXOTERMICA.

Es un método de soldadura para la realización de conexiones eléctricas. Esta basado en la reducción de oxido de cobre por el aluminio. Esta reacción química desarrolla una cantidad elevada de calor.

### TENSION.

Es el trabajo necesario para desplazar la unidad de carga eléctrica de un punto de un conductor a otro. Sus unidades son los Volts.

### TENSION DE CONTACTO.

Tensión que aparece al momento de una falla de aislamiento entre las partes simultáneamente accesibles.

### TENSION DE PASO.

Es la diferencia entre potencial entre dos puntos a la superficie del suelo, separados por la distancia de un paso, la cual se asimila a un metro en la dirección del gradiente del potencial máximo.

### TOMA DE TIERRA.

Cuerpo o conjunto de cuerpos enterrados e interconecados, que aseguran un enlace eléctrico con la tierra.

### TIERRA.

Masa conductora cuyo potencial eléctrico en cada punto se considera igual a cero.

### VENTANA DE TIERRA.

Es una zona de transición que consiste en una esfera imaginaria con un radio máximo de 0.91m (3 pies) la cual es la interface en el plano integrado y el plano aislado de tierra. Es la abertura donde todos los conductores de puesta a tierra de Corriente alterna y Corriente directa ven su ultima conexión al plano integrado de tierra antes que sean conectados al plano aislado.

### ZONAS CON PODER PROTECTOR.

Zonas urbanas o periféricas densas que protegen a la red telefónica contra descargas atmosféricas. Las instalaciones situadas en estas zonas no requieren protección particular contra este efecto.

### ZONAS DE RIESGO.

Zonas rurales o periféricas de baja densidad, que son susceptibles a las descargas atmosféricas. En estas zonas, es necesario la puesta a tierra de los diferentes elementos de la red.

#### **1.4.- TERMINOLOGIA.**

AET	ANILLO EXTERNO DE TIERRA .
AITT	ANILLO INTERNO DE TIERRA DE TRANSMISIÓN.
ANSI	ESTANDARES NACIONALES AMERICANOS.
BAT	BATERIA.
BCATPA	BARRA COLECTORA DE TIERRA DE PLANO AISLADO.
BCTPI	BARRA COLECTORA DE TIERRA DE PLANO INTEGRADO
BDFO	BASTIDOR DISTRIBUIDOR DE FIBRA OPTICA.
BET	BARRA EXTERNA DE TIERRA .
BLT	BASTIDOR LATERAL DE TENSIÓN.
BNCA	BARRA DE NEUTRO DE CORRIENTE A TIERRA.
BTCA	BARRA DE TIERRA DE CORRIENTE ALTERNA.
BTDG	BARRA DE TIERRA DEL DISTRIBUIDOR GENERAL.
BTET	BARRA DE TIERRA DEL EQUIPO DE TRANSMISIÓN.
BTFC	BARRA DE TIERRA DE FOSA DE CABLES.
BTLT	BARRA DE TIERRA DE LINEAS DE TRANSMISIÓN.
BTP	BARRA DE TIERRA DE PISO.
BTPC	BARRA DE TIERRA PRINCIPAL DEL CONTENEDOR.
BTPP	BARRA DE TIERRA DE PUNTO PRINCIPAL.
BTT	BARRA DE TIERRA DE TORRE.
BVT	BARRA DE LA VENTANA DE TIERRA.
CA	CORRIENTE ALTERNA.
CD	CORRIENTE DIRECTA.
CTP	CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA.
CT	COLA DE TIERRA.
CV	CABLE VERTICAL.
DES	DESCARGA ELÉCTROSTATICA.
DIS	DISPOSITIVO DE INTERCONEXIÓN TERMINAL.

IH	IGUALADOR HORIZONTAL.
ME	MAQUINA DE EMERGENCIA.
PCD	PLANTA DE CORRIENTE DIRECTA.
PT	PANTALLA DE TIERRA.
RAM	RADIO DE ACCESO MULTIPLE.
RFO	REPETIDOR DE FIBRA OPTICA.
RIE	REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS.
RMO	REPETIDOR DE MICROONDAS.
ROF	REDES OPTICAS FLEXIBLES.
TAB	TABLERO.
TCD	TIERRA EN CAJA DE DISTRIBUCIÓN.
URL	UNIDAD REMOTA DE LINEA.



### 1.4.1.- SIMBOLOGIA.

#### SIMBOLO



#### CONCEPTO

CONTACTO DOBLE CONECTADO A TIERRA  
INSTALADO EN MURO (POLARIZADO)

CONTACTO DOBLE CONECTADO A TIERRA  
INSTALADO EN PISO (POLARIZADO)

CONTACTO SENCILLO

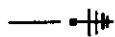
CAJA DE REGISTRO

ESCALERA DUCTO ABIERTO  
DE ALUMINIO TRAMO RECTO

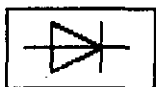
SALIDA ESPECIAL MONOFASICA

TUBERIA OCULTA

ACOMETIDA DE EMERGENCIA  
ELECTRICA DE C. A.



APARTARAYOS AUTOVALVULAR CO,  
NEUTRO CONECTADO SOLIDAMENTE



CARGADOR DE BATERIAAS PARA  
ARRANQUE DE MOTORES



PRECALENTADOR



MAQUINA DE EMERGENCIA  
(MOTOR GENERADOR)



MOTOR ELECTRICO



TABLERO DE ALUMBRADO  
3 FASES, 5 HILOS 220/127 VOLTS



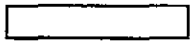
TABLERO PARA EQUIPO DE  
CLIMA



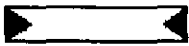
TABLERO DEFUERZA DE  
MONTAJE DIRECTO SOBRE EL  
PISO



INTERRUPTOR DE SEGURIDAD TIPO  
NAVAJA, CON PORTAFUSIBLE



LAMPARA FLUORESCENTE DE  
SOBREPONER DE 1X38 W



LAMPARA FLUORESCENTE DE  
SOBREPONER DE 2X38 W



LAMPARA FLUORESCENTE DE  
ENCENDIDO RAPIDO



CONVERTIDOR



RECTIFICADOR



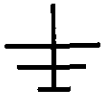
INVERSOR



GABINETE DISTRIBUIDOR DE  
CORRIENTE DIRECTA AISLADO



FUSIBLES



TIERRA DE PROTECCION



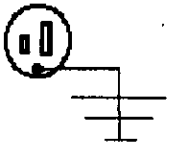
PANTALLA DE TIERRA



CONDUCTOR DE COBRE  
DESNUDO PARA MALLA DE  
TIERRA



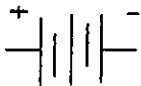
CONEXION CADWELD



CONTACTO CONECTADO A  
TIERRA (POLARIZADO)



TRANSFORMADOR  
FERROMAGNETICO



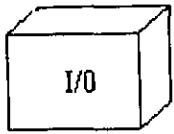
BATERIA



AMPERIMETRO



VOLTIMETRO



EQUIPO  
PER I FERICO



COLA DE PUESTA A TIERRA



ELECTRODO QUIMICO



BARRA DE COBRE PARA TIERRA



ELECTRODO COPPERWELD

Cuando se emplean algún tipo de aparato eléctrico que prestara algún servicio, es una norma fundamental de seguridad que todas las partes metálicas se encuentren aterrizadas o a un potencial bajo para que en caso de algún accidente no resulte de peligro. Este peligro se puede reducir y eventualmente eliminarse para lograr esto es necesario un diseño adecuado de las redes de tierra.

### **1.5.- REDES DE TIERRA.**

Redes de tierra es un conjunto de conductores, electrodos y accesorios que son interconectados entre sí, sin fusible ni protección alguna, con el fin de conseguir que no exista diferencia de potencial peligrosos y que de igual modo permitan el paso a tierra de las corrientes de falla o de descarga de origen atmosférico.

### **1.6.- SISTEMA DE TIERRA PARA SERVICIO**

Es el sistema utilizado para conectar a tierra las partes de una instalación eléctrica que en condiciones normales no se encuentran sujetas a tensiones pero que pueden tener diferencia de potencial a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos. En esta clasificación podemos mencionar gabinetes de tableros eléctricos, tanques de transformadores carcazas de máquinas, estructuras metálicas de las subestaciones y líneas de transmisión y en general todos los soportes metálicos de los equipos y aparatos.

### **1.7.- REDES DE TIERRA TEMPORAL.**

Se utilizan con frecuencia cuando en las actividades de trabajo de una instalación eléctrica (mantenimiento, ampliaciones y reparaciones), se requiere realizar la conexión a tierra temporal con partes de la instalación puestas fuera de servicio, con la idea de que sean de tipo accesible para poder laborar en ellas.

## 1.8.- ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA RED DE TIERRA.

**Los elementos que constituyen una red de tierras son:**

Conductores de conexión.

Electrodos dispersores.

Conectores y accesorios.

La tierra considera como un polo.

**Conectores.** Son algunos elementos utilizados para unir los diferentes elementos del sistema de tierra y al mismo tiempo estar efectuando la conexión a los diferentes elementos que se quieren aterrizar con el propio sistema de tierra. Son de tres tipos estos son los siguientes.

Conectores atornillados. Esto se fabrican de bronce de alto contenido de cobre, formando dos piezas que se unen por medio de tornillos cuyo material está formado por bronce y silicio que les da alta resistencia mecánica y alta corrosión.

**Conectores a presión.** Estos son un poco más económico que los atornillados y dan mayor garantía de buen contacto. Estas conexiones soldadas se usaron mucho hace algunos años y se usan actualmente con buenos resultados, pero se han ido desplazando con el tiempo por los conductores atornillables junto con los de presión ya que se detectaron fallas debido a que la fusión de las uniones de los cables era irregular y forma grandes zonas huecas que producían grandes resistencias eléctricas en la unión, la efectividad de las conexiones soldadas se debe en gran parte a la habilidad del soldador.

El elemento principal del sistema de tierra es la tierra propiamente dicho.

El suelo que pisamos es un conductor de electricidad de potencial prácticamente nulo, cuya propiedad presenta algunos inconvenientes y no pocas ventajas, cabe mencionar el peligro de electrocución para alguna persona que se encuentre cerca del terreno y se encuentre tocando o haciendo contacto con un conductor aterrizado. Las ventajas que presenta la conductividad del suelo, destaca su gran capacidad para poder permitirle transmitir todas las energías parásitas por medio de tomas de tierra sin modificar sus características originales.

El suelo o tierra es conductor de electricidad, de potencial prácticamente nulo cuya propiedad es en algunos casos inconveniente y no pocas ventajas, cabe mencionar el peligro de electrocución para una persona que se encuentre en el terreno y esté tenga contacto con algún cable de manera indirecta con el cuerpo de esta persona, pues en ese instante la corriente atraviesa el cuerpo y puede ocasionar la muerte. Las ventajas que presenta la conductividad del suelo están su capacidad para recibir todas las corrientes parásitas por medio de tomas de tierra sin sufrir ninguna modificación.

### **1.9.- CONDUCTORES Y CONECTORES DE CONEXIÓN.**

Son los elementos del sistema de tierra utilizados para conectar a los elementos que se quiere aterrizar.

La función que cumplen los conductores es la de conducir la corriente eléctrica nociva a través de ellos con poca resistencia. Los materiales más usados para su fabricación son el cobre y el aluminio; Se fabrican en diferentes tamaños y se definen por su sección transversal en  $\text{mm}^2$ . comercialmente es usual denominarlos por la nomenclatura de la American Wire Gauge (AWG) o en miles de milésima de pulgada (MCM).

Para los sistemas de tierra se recomienda utilizar conductores de cobre por sus características eléctricas o térmicas y su alta conductividad y sobre todo por su resistencia a la corrosión. El calibre del conductor está en función del tipo de sistema de tierra y de las características del elemento por aterrizar.

### **1.10.- ELECTRODOS O DISPERSORES.**

Electrodos o dispersores.

Son los elementos del sistema de tierra que están en contacto con el terreno y deben dispersar en el terreno las corrientes eléctricas nocivas debidas a las fallas que se pueden presentar por las descargas atmosféricas existe una gran variedad de los productos eléctricos pero lo mas común son las varillas Copperweld.

Con la toma de tierra se pretende que todo el circuito de protección se encuentre a potencial de cero volts, esto depende del contacto de el electrodo con el terreno y a esto se le llama Resistencia de dispersión a tierra es por ello que la red debe de ser proyectada con una alta conductancia y permanencia



en el tiempo. Como se sabe la resistencia entre el electrodo y el suelo circundante es la resistencia de la red de tierra aunque hay otros factores que incrementan la resistencia y son básicamente:

Resistencia propia del electrodo conductores y conexiones, esto es aunque se considera despreciable la resistencia con el paso del tiempo y con los factores del medio ambiente afectándolo se puede llegar a la pérdida de la conductividad entre ellos.

Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo, esto es si el electrodo se encuentra completamente limpio sin pintura o grasa este tendrá una resistencia despreciable con el suelo.

Resistencia distribuida por el terreno inmediato al electrodo. Cuando la corriente fluye hacia afuera del electrodo, cada elemento de corriente viaja en un camino que cambia de sección transversal a medida que se aleja del electrodo. La resistencia ofrecida por el suelo es la resistencia combinada de todos los caminos y corrientes en paralelo.

### 1.11.- CALCULO DE LA RESISTENCIA DE DISPERSIÓN A TIERRA.

La resistencia de dispersión a tierra de un electrodo se reduce a medida que se incrementa su profundidad de empotramiento sin embargo el diámetro del mismo influye muy poco en abatir dicha resistencia. La resistencia de dispersión a tierra es directamente proporcional a la resistividad del terreno, y es un factor importante que nos determinará cual será la resistencia de dispersión a tierra y a que profundidad deberá enterrarse el electrodo.

Para el calculo de la resistencia de dispersión de electrodos en forma analítica se usara la siguiente formula:

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi C}$$

$R_t$  = Resistencia de dispersión a tierra.

$\rho$  = Resistividad del suelo.

C = Capacidad combinada en el vacío del electrodo y su imagen sobre el nivel del suelo.

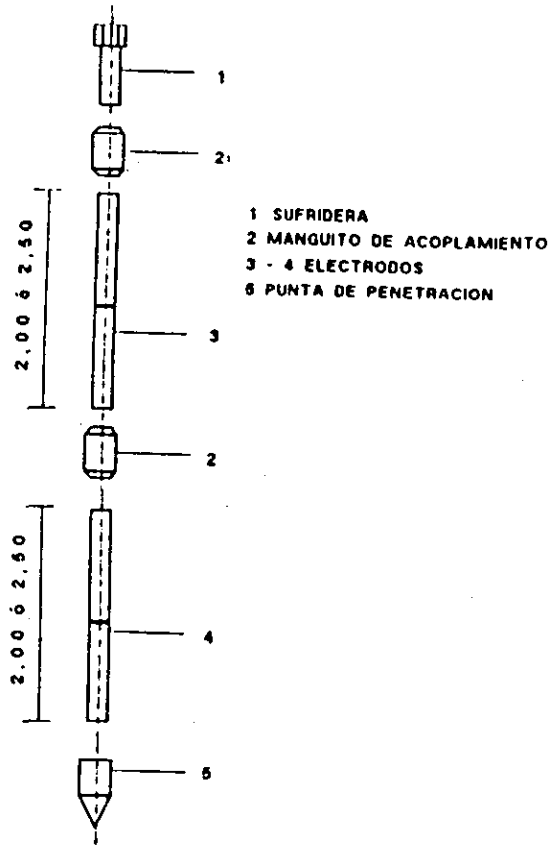
La formula anterior presupone la resistividad uniforme a través de todo el volumen del terreno considerado el concepto básico de esta formula es mostrar la forma en que debe disponerse una cantidad de metal para obtener mejores resultados.

### **1.12 TIPOS DE ELECTRODOS.**

Varillas o picas. Son electrodos artificiales alargados que se introducen en el terreno en forma vertical y existen de:

- Acero dulce o acero fundido de 25 mm de diámetro exterior mínimo.
- Perfiles de acero galvanizado, con 60 mm de lado como mínimo.
- Barras de cobre o acero recubierto de cobre.

La longitud en cualquiera de los casos, anteriores no será inferior a los dos metros, la Figura 1 muestra este tipo de electrodo.



REPRESENTACION DE UN ELECTRODO EN FORMA DE PICA O VARILLA

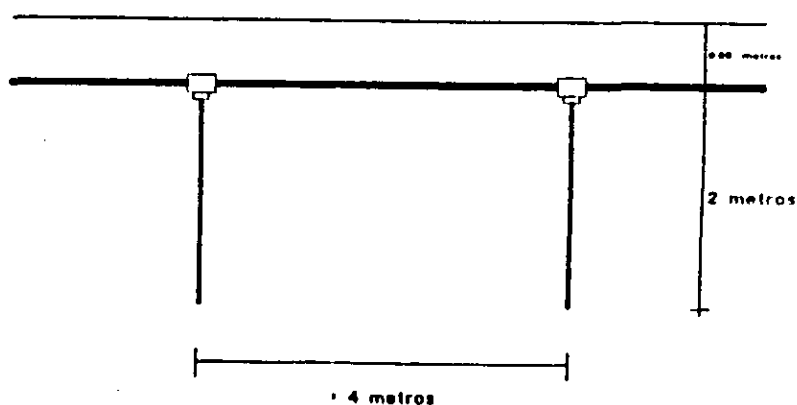
Figura. 1

Como se observa, en la extremidad inferior van provistos de una punta de penetración para facilitar el paso al interior del terreno de un tubo o barra que es propiamente el electrodo; Un manguito de acoplamiento para permitir la unión de dos o mas electrodos, y una sufridera la cual actuará la maza o martillo para introducir el electrodo y evitar así que se deforme.

La NTIE recomienda picas de alma de acero recubiertas de cobre (Copperweld), de 14 mm a 16 mm de diámetro. El recubrimiento de cobre deberá tener como mínimo 2 mm de espesor y deberá de ser por sistema de unión molecular entre el cobre y el acero, lo anterior es con el fin de garantizar que el recubrimiento no se caiga a la hora de introducir la pica en el terreno. La longitud de la pica no será menor de 2.5 m.

Hay dos formas de diseñar la red de tierras con varillas; Una es colocando las varillas a profundidad, y la otra es colocándolas en paralelo. La primera es mas costosa, consiste en ir introduciendo en el terreno una varilla encima de la otra hasta conseguir profundidades entre 6, 8 y 10 metros.

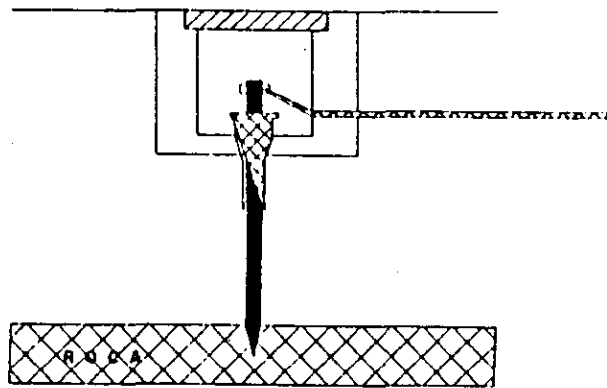
El segundo método es el más recomendado y utilizado normalmente. La única precaución que se necesita es que las varillas tengan una separación como mínimo igual a la longitud enterrada, y después unir las eléctricamente con cable desnudo de 35 mm<sup>2</sup> como se muestra en la Figura. 2.



SISTEMA DE COLOCACION DE ELECTRODOS EN PARALELO

Figura. 2.

Constituido así el electrodo, experimentalmente se puede demostrar que la resistencia de dispersión es la mitad de la resistencia de una varilla. En ambos casos se colocan registros de medición, que a la vez protegen a la toma de tierra como se muestra en la Figura. 3.



REGISTRO DE UNA TOMA DE TIERRAS EN FORMA DE VARILLAS.

Figura. 3.

El calculo de resistencia de dispersión a tierra que ofrecen este tipo de electrodos esta en función de la siguiente fórmula :

$$R_T = \frac{\rho}{2xL} \left( \ln \frac{4L}{r} - 1 \right)$$

$R_T$  = Resistencia de dispersión a tierra

$\rho$  = Resistividad del terreno en ohms-metro

L = Longitud del electrodo.

R = Radio del electrodo

### **En forma de placa**

Es un electrodo artificial en forma de rectangular o circular, que ofrece una gran superficie de contacto con el terreno en relación a su grosor. La dimensión de este depende de la resistencia de dispersión a tierra.

### **Electrodo tipo V.**

Invertida se utiliza principalmente en la puesta a tierra de apartarrayos. En la Figura. 4. se muestra este tipo de electrodo que esta formado por una placa cuyo material puede ser Aluminio, Cobre, Acero galvanizado en caliente u acero inoxidable u otro dependiendo del PH del terreno.

Se afirma que con este electrodo dada su forma de V invertida, se logra disminuir los efectos de la tensión de paso, ya que se logra la anulación de campo electromagnético producido al circular la corriente eléctrica se afirma que ésta anulación del campo que hace en la parte central del electrodo y que se basa en la ley de coulomb.

$$F = \frac{1}{4\pi e_0} \frac{qq_0}{r^2}$$

donde:

$r$  = Distancia entre cargas.

$q$  = Carga en la placa

$q_0$  = Carga en el punto central.

$e_0$  = Permiavilidad del terreno dende se instala.

Se toma como suma de cargas de un dipolo con cargas del mismo signo, pero en este caso los conductores son placas que forman campos circulares, logrando con ello que la magnitud de los vectores que se anulan en el centro sean mayores.

Su instalación se recomienda, donde el flujo del personal sea menor, la humedad sea máxima y alejado de drenajes, ductos eléctricos o cualquier elemento conductor que desvíe la disipación eléctrica. para la obtención de valores de resistencia en tierras menores se pueden agregar tratamientos químicos y materiales higroscópicos o hacer uso de protección catódica para lograr la vida del electrodo (Ver figura. 5.)

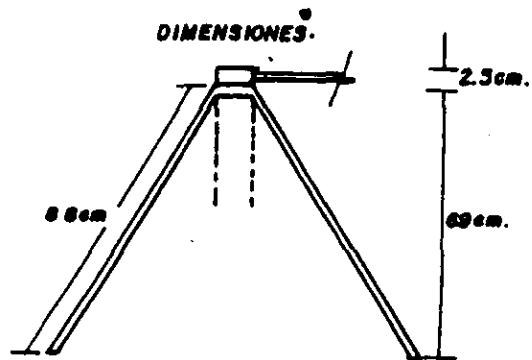


Figura. 4

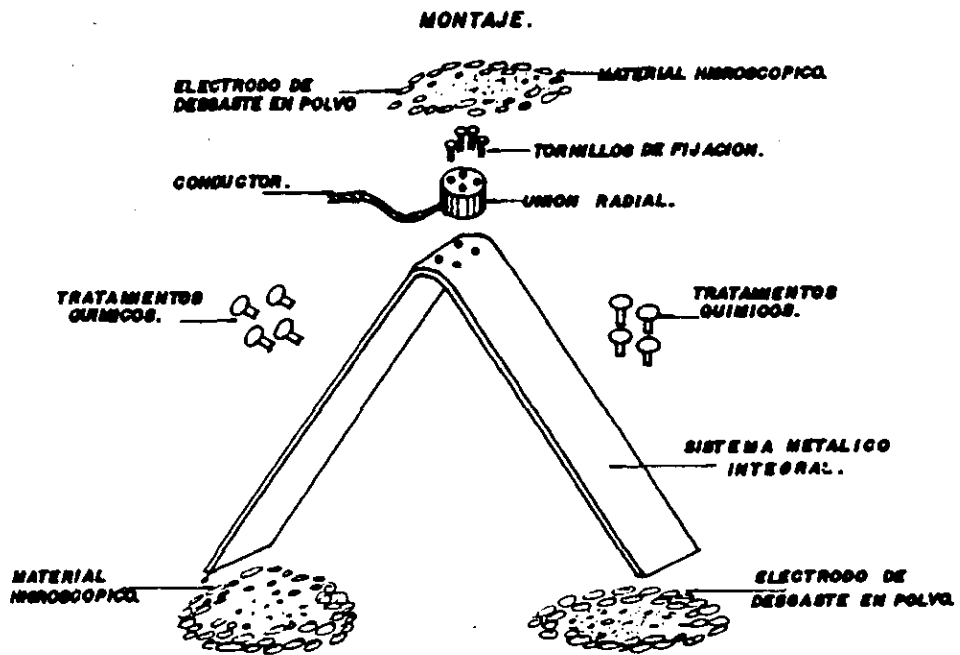
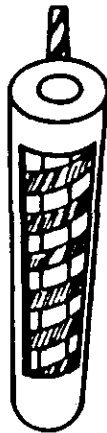


Figura. 5.

### **Electrodo EP -ET.**

Este tipo de electrodo es usado por la empresa electrostática Parres, S.A. y está construido de cobre electrolítico 110, 600 cm. de conductor de cobre electrolítico aleación 110, 66.370 circular mil y 1.6 x 40.79 mm de sección transversal, tiene un recubrimiento plateado. Su contenido químico básicamente se conforma por magnesio, y sulfato de cobre. Sus dimensiones son 19 cm de diámetro por 19 cm de longitud con un peso de 21 kgs. (Ver figura. 6.)



**ELECTRODO EP-ET**

Figura. 6.

El conductor de cobre está dispuesto en forma toroidal para disipar la corriente del subsuelo disminuye la resistencia de tierra al paso de la corriente eléctrica, por medio del contenido eléctrico catódico (anticorrosivo, que diluye un electrolito aumentando así la profundidad y volumen de disipación, disminuyendo el tiempo de arqueo de la descarga).

Se asegura que con este electrodo se pueden obtener resistencias a tierras de 8 ohms en resistividades de hasta 20 000 ohms-cm.

El hormigón armado puede utilizarse como electrodo de tierra metálico (la armadura) inmerso en un medio razonablemente homogéneo (el hormigón) y cuya resistividad es del orden de los 3 000 ohms-cm. A su vez el hormigón



esta inmerso en el terreno cuya resistividad puede variar desde 100 hasta 1 000 000 ohms-cm.

La relación de resistividad del hormigón y el terreno, determina entonces la resistencia de dispersión a tierra resultante. Si el terreno tiene resistividad superior a la del hormigón (caso frecuente), hay ventaja en conectar la puesta a tierra a la armadura metálica de la base del hormigón.

La masa del hormigón tiende a absorber el agua del subsuelo y mantener elevado su propio contenido de humedad, lo que se traduce en una relativamente baja y estable resistividad. Por lo tanto si la resistividad del terreno es muy baja, la resistencia a tierra de la base es más elevada que la del electrodo implantado directamente en el terreno.

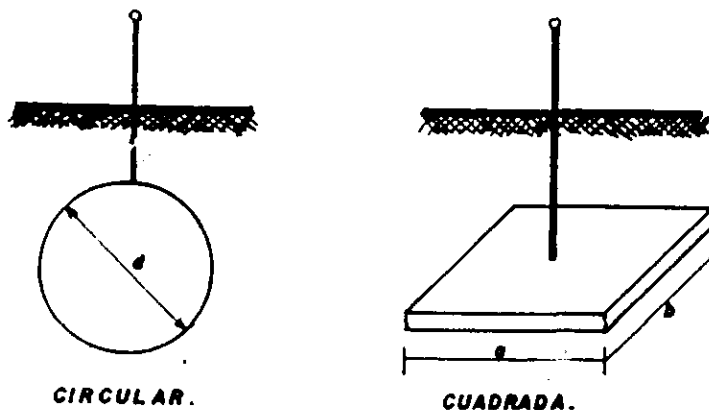
P. Wener demostró que las barras metálicas incluidas en hormigón, tienen una alta capacidad de dispersión de corriente a tierra y que la corrosión es menor que para el electrodo implantado directamente en el terreno; En terrenos difíciles este tipo de electrodo puede dar una solución óptima dando resistencias de dispersión a tierra baja, y se hace uso de la cimentación del edificio, lo único necesario es hacer accesible las estructuras de la base para ello deben de soldar las barras de armadura con pernos que salgan de la base sobre el nivel del piso, estos pernos pueden ser los mismos que utilizan para fijar la estructura del edificio si está es metálica.

La NTIE indica que las columnas de concreto armado deben de conectarse a tierra la conexión del cable tierra se hace directamente de la armadura de la columna, mediante conexión soldable cable varilla para ello las varillas deben de ser de por menos de 13 mm. de diámetro y longitud menor a 6 metros en el fondo.

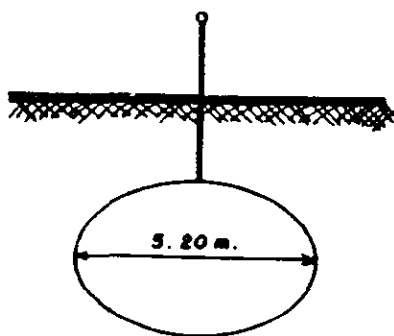
**Electrodos en forma de placa.** De acuerdo a la NTIE, un electrodo en forma de placa debe tener por lo menos 2 000 cm<sup>2</sup> de superficie los electrodos de placa de fierro o acero deben tener un espesor no menor a 6 mm y los de metal no ferroso no menor a 2 mm.

Este tipo de electrodo se utiliza ahora ya muy poco pues su uso va en decremento pues se requiere de mayor espacio para enterrarlas y por lo mismo mayor esfuerzo que con las varillas, sin embargo por su forma de instalación nos permite conocer en forma directa el tipo de suelo en donde

queda instalada, ya que al tener que efectuar la excavación se observa esto, la conexión del conductor de tierra se puede efectuar con remaches pudiendo ser esta la unión en el centro o la periferia, y en algunos casos en mejor enterrar la placa verticalmente que horizontalmente ya que la zanja por excavar será menor, el tamaño ordinario de las placas varía entre 3.0 y 6.0 m<sup>2</sup> su instalación se recomienda a una profundidad entre los 1.60 a 2.44 metros, ya que a una profundidad mayor no se presentan cambios en la reducción de la resistencia (Ver figura. 7.)



**TOMAS DE TIERRA EN FORMA DE PLACA .**



**TOMA DE TIERRA EN FORMA DE BUCLE .**

Figura. 7.

Para la placa circular de diámetro de la resistencia de puesta a tierra se expresa como:

$$R = \frac{\rho}{4d} \text{ ohms}$$

Si la placa es rectangular o en forma cuadrada la resistencia será:

$$R = \frac{\rho}{\sqrt{ab} 4.5} \text{ ohms}$$

Donde: a, b = a longitud de los lados de la placa.

$\rho$  = Resistividad del terreno

d = Diámetro

### **Electrodo en forma de anillo.**

Esto es colocar un conductor en el fondo de una excavación, bordeando exteriormente los contornos del edificio o bien cuando ello no sea posible a una profundidad de 0.50 metros respecto a la superficie original del terreno de este modo se forma un anillo igual o superior al de la edificación, puesto que en el más íntimo contacto con el terreno. Como conductor se puede colocar alambre o cable de acero galvanizado en baño caliente, cobre o acero cobreado.

Al rellenar la excavación, hechese sobre el anillo apisonándolo a fondo una primera capa de tierra de baja resistividad, no se recomienda tierras tales como humos limo ni tampoco la colocación de grava y guijarros.

**Electrodo en forma de malla.** Como su nombre lo indica consiste en forma de una malla por medio de conductores enterrados a una profundidad de 0.3 a 0.6m de acuerdo con el tipo de terreno donde se instale. Son utilizados preferentemente para la conexión a tierra de cabinas y estaciones eléctricas,

la malla debe de complementarse en los nudos y a lo largo de su perímetro con varillas clavadas a fin de reducir las tensiones de paso, la malla debe de extenderse por lo menos a un metro mas allá del perímetro de la edificación Enríquez Harper señala que a la malla se le puede considerar como una placa si la separación entre los conductores es la adecuada, por medio de la fórmula de Laurent se puede conocer la resistencia de malla:

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

Donde:  $r = A =$  Radio equivalente en metros

$L =$  Longitud total del conductor en metros (incluyendo varillas)

$A =$  Area total de la malla en  $m^2$ .

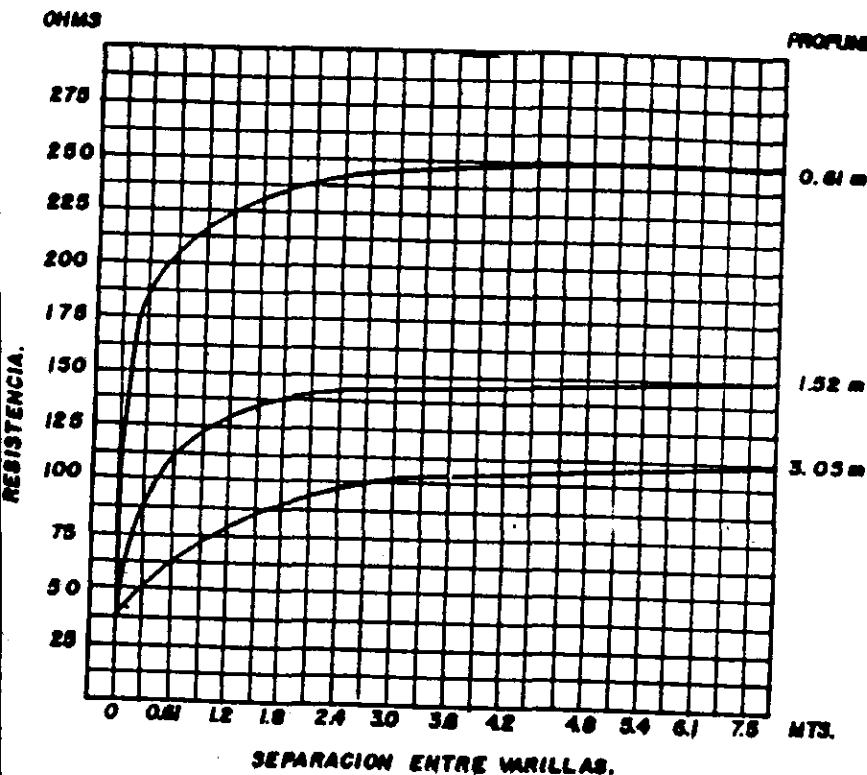
$\rho =$  Resistividad.

### **Electrodos múltiples en paralelo.**

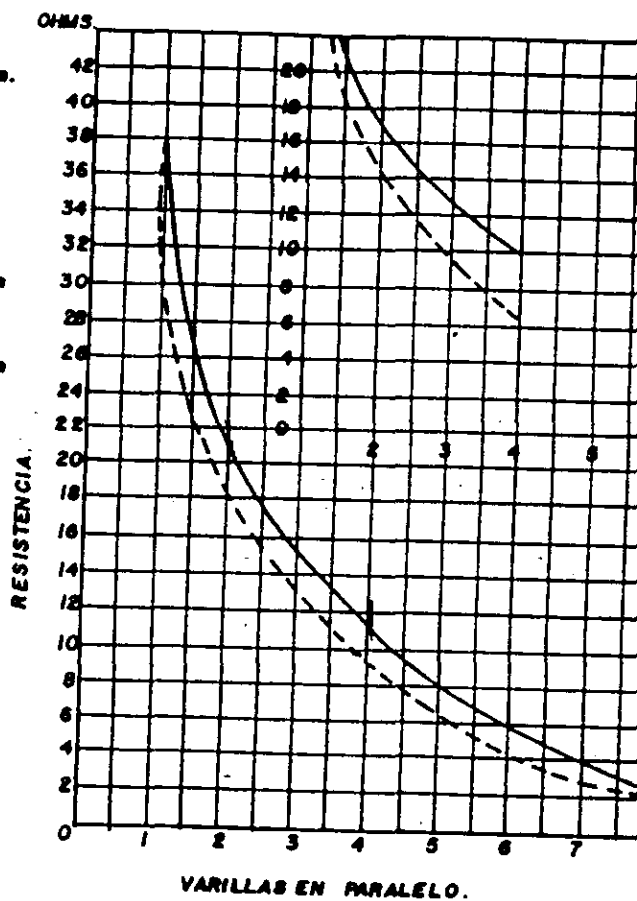
Este método es colocar los electrodos en diferentes cantidades y configuraciones, espaciando la longitud entre uno y otro por lo menos la distancia del electrodo mas largo, pues si se acercan demasiado pierden efectividad la instalación de dos o más electrodos juntos nos ayuda a reducir la resistencia pues la resistencia de uno de ellos a tierra es casi igual a la de dos o más.

Cuando los electrodos tienen el espaciamiento adecuado tienden a seguir la ley de la resistencia en paralelo, es decir dos electrodos tendrán  $\frac{1}{2}$  de la resistencia de un solo electrodo. Sin embargo esta relación no es cierta ciento por ciento en la práctica pues dependerá del espaciamiento entre electrodos, uniformidad en el terreno y otros factores que tienden a cumplir la ley de resistencia en paralelo pues con ello se tienen dos o más caminos a tierra del flujo de corriente a tierra, en la siguiente figura 8. Se muestran los resultados obtenidos de resistencia de dos o más varillas en paralelo, con la separación y profundidad de ellas, las varillas utilizadas son del tipo Copperweld de 0.65, 2.03, 3.05 metros de longitud. a distancia cero la resistencia es tomada como la cantidad de todos los especímenes en grupo.

curva muestra que la distancia entre varillas acelera la reducción de la resistencia, cayendo rápidamente al principio y lentamente después, tendiendo a tomar el valor promedio de  $R_t/2$  en el infinito, sin embargo, después de 1.83 a 3.05 metros, se hace prácticamente despreciable para propósitos ya prácticos.



VARIACION DE LA RESISTENCIA DE DOS VARILLAS ENTERRADAS CON LA PROFUNDIDAD Y LA SEPARACION DE ELLAS.



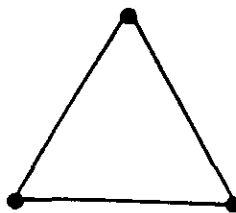
VARIACION DE LA RESISTENCIA DE VARILLAS EN PARALELOS CON EL NUMERO DE ELLAS A 3.05 METROS DE PROFUNDIDAD.

Figura. 8.

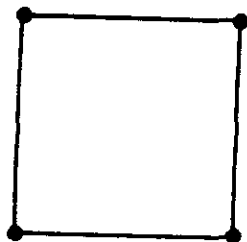
Los arreglos mas comunes se muestran en la Figura. 9.



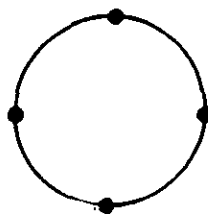
*EN LINEA.*



*EN TRIANGULO.*



*EN CUADRO.*



*EN CIRCULO.*

**ARREGLOS MAS COMUNES CON ELECTRODOS.**

Figura. 9.

**Contra antenas.** Cuando el valor de la resistencia de tierra no es la deseada con un solo electrodo y cuando la adición de electrodos se dificulta por el terreno se puede optar por la utilización de contra antenas, que consiste en instalar líneas radiales de conductor de cobre partiendo del electrodo ya instalado (Véase figura.10.).

**CAPITULO II**  
**SISTEMAS DE TIERRAS Y SU IMPORTANCIA**

## **2.1.-IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE TIERRA**

- A) Protección para el personal operativo, de manera autorizada o no.**
- B) Protección de los equipos e instalaciones contra las tensiones peligrosas.**
- C) Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.**
- D) Evitar que durante la circulación de corriente de falla a tierra puedan producirse diferencia de potencial entre distintos puntos de la instalación, proporcionando para esto un circuito de muy baja impedancia para la circulación de estas corrientes.**
- E) Apego a las normas y reglamentos públicos en vigor.**

En función al contenido de este tema en las Normas Técnicas para las Instalaciones Eléctricas. (NTIE), se puede decir que en forma general, el objetivo de los sistemas de tierra es el de dispersar en el terreno la corrientes eléctricas con características nocivas y reducirlas a un potencial que tienda al valor cero con la cual se disminuyen o evitan los daños al personal o equipo.

## **2.2.- REDES DE TIERRA PARA PROTECCIÓN**

Es aquella red que conecta eléctricamente a tierra todas aquellas partes de la instalación eléctrica que no se encuentran sujetas a tensiones normalmente, pero que pueden tener diferencia de potenciales a causa de fallas accidentales, tales que pueden ser: Tableros eléctricos, La carcasa de máquinas, en general son todos los soportes de aparatos y equipos metálicos.



### **2.3.- REDES DE TIERRA PARA FUNCIONAMIENTO.**

Estas se utilizan para establecer una conexión a tierra en determinados puntos de una instalación eléctrica con el fin de mejorar el funcionamiento, una mayor seguridad y mejor regularidad de operación.

Unos puntos del sistema que se conectan a la red de tierra pueden ser: La conexión al neutro de los transformadores conectados en estrella, la conexión a tierra de los apartarrayos de los hilos de guarda, la conexión de los transformadores de potencial y algunos otros.

Las redes de tierra para trabajo: Se utilizan con frecuencia cuando en las actividades de trabajo de una instalación eléctrica (mantenimiento, ampliaciones, reparaciones, etc.) se requiere utilizar la conexión a tierra temporal con partes de la instalación puestas fuera de servicio, con el fin que sean accesibles y sin peligro para trabajos a realizar.

Analizando la anterior definición de redes de tierra se deduce que los elementos que intervienen son:

El circuito de red de tierra que será el encargado de canalizar las corrientes de falla; el terreno, es el que absorberá todas las descargas; el electrodo, que será el elemento de unión entre el circuito y el terreno todo esto es necesario para una buena puesta a tierra.

### **2.4.- PELIGROSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA.**

Generalmente se puede pensar que una descarga del orden de los 10 KVolts puede ser mortal comparada con una descarga de los 100 volts. Esto desde luego representa una falacia, por que es bien sabido que existen personas que han sido electrocutados con un voltaje doméstico de 110 volts, y por otra parte se han dado casos de personas que se han fallecido por utilizar voltajes del orden de 42 volts esto es en aparatos de índole industrial.

En consecuencia la medida real de la intensidad de choque eléctrico está en función de la corriente que circula por el cuerpo y no tanto por el voltaje aplicado. Cualquier dispositivo de orden eléctrico conectado a un circuito doméstico puede bajo ciertas condiciones transmitir una corriente mortal para el individuo.

La UNIDEPI (Unión de Internacional de los Productores de Energía Eléctrica), han realizado estudios con relación a los efectos causados por descargas eléctricas en el cuerpo humano con el fin de obtener una gráfica representativa de la peligrosidad de corriente eléctrica cuando circula a través de un ser humano en un accidente eléctrico ocasionado por diversas circunstancias.

Esta gráfica tiene por objeto indicar los niveles de corriente en amperes que puede soportar el ser humano y se consideran con el fin de buscar una mayor protección a la vida.

Este organismo recomienda la aterrización de todos los sistemas eléctricos en la tabla siguiente se muestran los distintos niveles de corriente al circular por el cuerpo humano.

Corriente circulante en el cuerpo humano (mA)	Efectos
Hasta 1	Imperceptible para el hombre.
2 a 3	Sensación de hormigueo.
3 a 10	El sujeto consigue generalmente desprenderse del contacto (liberación). De cualquier modo la corriente no es mortal.
10 a 50	La corriente no es mortal si se aplican durante intervalos decrecientes a medida que aumenta su intensidad, de lo contrario, los músculos de la respiración se van afectando por calambres que pueden provocar al muerte por asfixia.
50 a 500	Corriente peligrosa en función creciente con la duración del contacto que da lugar a la fibrilación cardíaca. (funcionamiento irregular con contracciones muy frecuentes e ineficaces). Posible muerte.
Mas de 500.	Decrece la posibilidad de fibrilación pero aumenta el riesgo de muerte por parálisis de los centros nerviosos.

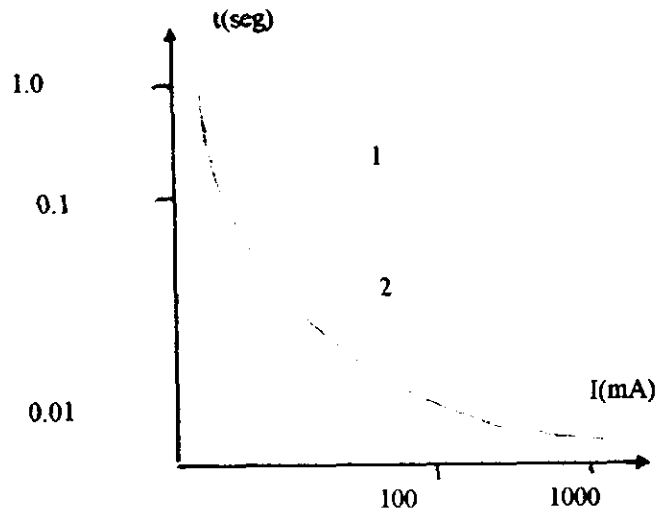
Como se vio en la anterior tabla no se considera el voltaje sino la corriente aún que es necesario que exista cierto grado de voltaje para poder producir la corriente, la corriente varia dependiendo de la resistencia del cuerpo humano.

La resistencia varia dependiendo del punto de contacto, del estado anímico del individuo y de la resequead de la piel, por ejemplo la resistencia entre la distancia de los oídos es de tan solo 100 ohms, y entre las manos y los pies se encuentra por los 500 ohms. La resistencia de la piel puede variar de 1 000 ohms cuando esta mojada a más de 50 000 ohms cuando esta seca. Cuando un sujeto ha entrado en contacto con elementos energizados, comenzarán a manifestarse con contracciones musculares principalmente en las articulaciones particularmente de las manos, extendiéndose a los del tronco, de la nuca y del rostro, este fenómeno se presenta en fracción de segundos por lo que es de particular importancia que los sistemas de protección tanto como los sistemas de tierra se encuentren en óptimas condiciones para poder actuar cuando sea necesario.

En todas las instalaciones sólo debe entrar personal idóneo con conocimiento acorde al tipo de instalación siguiendo desde luego las reglas de seguridad tales como:

- Usar el material adecuado y con propiedad.
- Usar ropa de protección.
- Seguir procedimientos establecidos.
- Tratar de evitar riesgos.

La siguiente gráfica ilustra la curva de corriente que tiende a soportar el cuerpo humano. (Fig.11)



- 1 ZONA ESTADISTICAMENTE NO PELIGROSA PARA LA INTEGRIDAD HUMANA
- 2 ZONA PELIGROSA: SIGUIENDO LA VARIACIÓN DE LA CURVA DE ARRIBA HACIA ABAJO SE PASA DEL PELIGRO DE LAS CONTRACCIONES MUSCULARES AL DE LA ASFICIA Y LUEGO AL DE FIBRILACIÓN CARDIACA.

Figura 11.

Según compañía de Luz y Fuerza del Centro S.A. es posible tolerar corrientes superiores, sin llegar a la fabricación, si la descarga ocurre en un tiempo relativamente corto; a continuación se muestra la ecuación que determina la cantidad de corriente que el cuerpo puede tolerar:

$$I_K^2 t = 0.134$$

de donde:

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

Donde:

$I$  = Valor efectivo de la corriente que circula por el cuerpo en Amperes.

$t$  = Tiempo de duración del choque eléctrico en segundos.

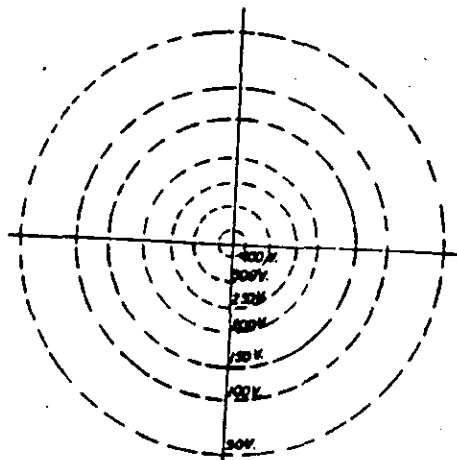
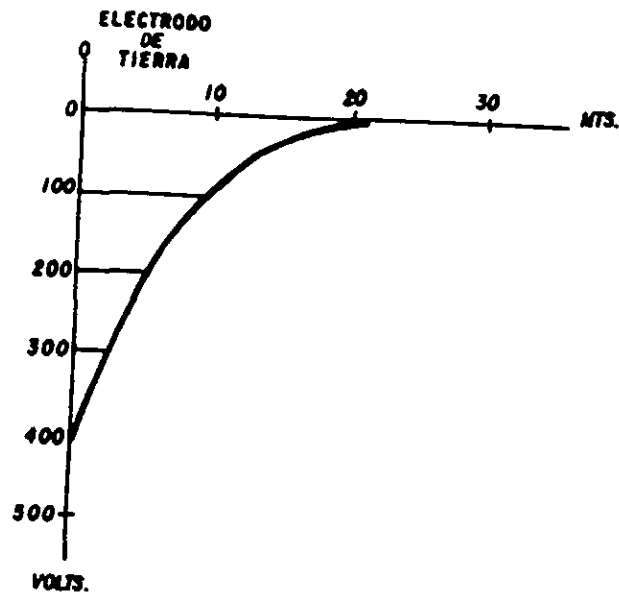
0.0116 = Constante de energía derivada empíricamente.

Las diferencias de potencial se determina de acuerdo a los conceptos de tensiones; de paso, de contacto y de transferencia que a continuación se define.

### **2.5.- TENSION DE PASO, DE CONTACTO Y DE TRANSFERENCIA.**

Un electrodo tiene como fin conducir y dispersar en el terreno las corrientes nocivas producidas por la falla de un circuito eléctrico o debido a los disturbios atmosféricos.

Se forma alrededor de electrodos un campo magnético en forma de anillos equipotenciales que depende de la forma de terreno donde se encuentre. Estos anillos producen una especie de embudo de tensión en las zonas próximas a la zona donde se encuentra el electrodo de tierra, que es máximo en la vertical del electrodo que resulta casi inapreciable a unos 20 metros, como se muestra en la figura 12.



**DISTRIBUCION DE LAS CAIDAS DE TENSION EN LAS TOMAS DE TIERRA.**

Figura 12.

### Tensiones de paso.

Esta es la tensión que durante el funcionamiento de un sistema de tierras se da entre los dos pies de una persona que se encuentre cerca del electrodo, es decir el potencial de paso existe entre dos puntos sobre la superficie de la tierra separados por la distancia de un paso y se presupone de un metro en la dirección del máximo gradiente, en la figura 13, se aprecia mas fácilmente.

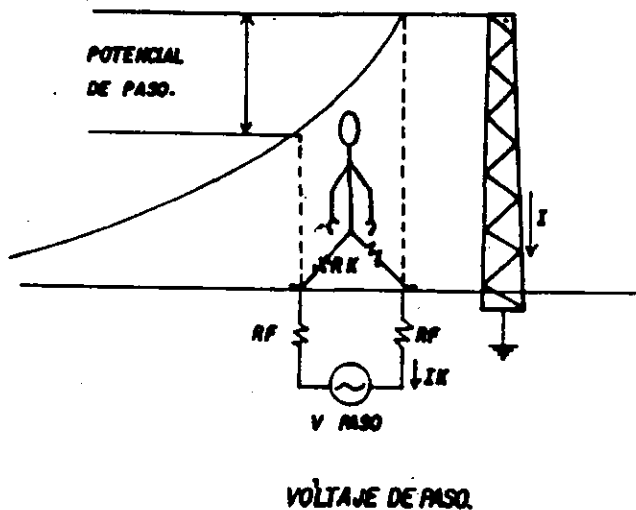


Figura 13.

El voltaje de paso se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V_{paso} = (R_K + 2R_f) I_K \text{ Volts}$$

$R_f$  = Resistencia de tierra de un pie en ohms que para fines prácticos se puede tomar como :

$R_f = 3\rho_s$ , siendo  $\rho_s$  la resistividad del suelo en ohms- metro.

$R_k$  = Resistencia del cuerpo en ohm, es variable sin embargo es aceptable tomar un valor promedio de 1000 ohms; tal como lo recomienda la guía 80 del IEEE.

$I_k$  = Valor eficaz de la corriente que circula por el cuerpo, expresado en amperes y se calcula como:

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$t$  = Duración de la falla en segundos y se toma generalmente menor de 3 seg.

Por lo tanto para fallas con duración menor de cinco segundos:

$$V_{paso} = \frac{(1000 + 6\rho_s)0.116}{\sqrt{t}}$$

$$V_{paso} = \frac{(116 + 0.7\rho_s)}{\sqrt{t}}$$

Para fallas permanentes se toma:

$$I_k = 0.009 \text{ Amperes}$$

$$V_{paso} = (1000 + 6\rho)0.009$$

En estos cálculos, las resistencias de los electrodos de tierra, la del contacto de la mano y de los zapatos se consideran despreciables.



**Tensiones de contacto.**

Es la tensión a la que se somete el cuerpo humano como consecuencia de un contacto con las carcazas y estructuras metálicas que normalmente no están bajo tensión pero eventualmente pueden estarlo a causa de una avería. (Véase la figura 14.)

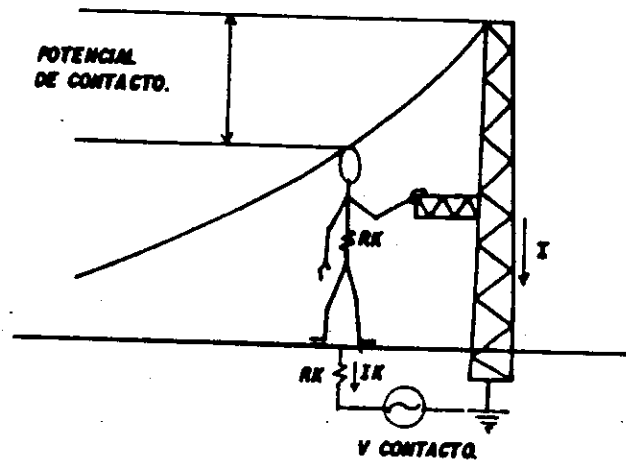


Figura 14.

Por lo tanto el voltaje tolerable para el cuerpo humano se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$V_{\text{contacto}} = \left( R_K + \frac{R_f}{2} \right) I_K \quad 9$$
$$= \left( 1000 + \frac{3\rho_s}{2} \right) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

Para fallas con duración menor a cinco segundos:

$$V_{\text{contacto}} = \frac{(116 + 0.17\rho_s)}{\sqrt{t}}$$

### Tensión de Transferencia .

Son los que ocurren en sitios alejados de donde ocurre la falla , esto es por que existen cuerpos extraños enterrados en cercanías como lo son tuberías del agua, cercas metálicas, si una persona toca un conductor que ha sido conectado a tierra a una distancia mayor que las dimensiones del sistema de tierra; La tensión del choque eléctrico puede ser esencialmente igual a la elevación total del potencial del sistema de tierra bajo condiciones de falla.

En forma general al procedimiento que se aplica para delimitar el peligro de potenciales transferidos, consiste en instalar juntas aislantes en las estructuras enterradas o superficies cercanas a la subestación y para los cables de comunicación, en aplicar transformadores de aislamiento.

El potencial de transferencia se considera como un caso especial de potencial de toque, por lo tanto su valor se puede limitar a lo establecido por la expresión de voltaje de toque. (figura 15.)

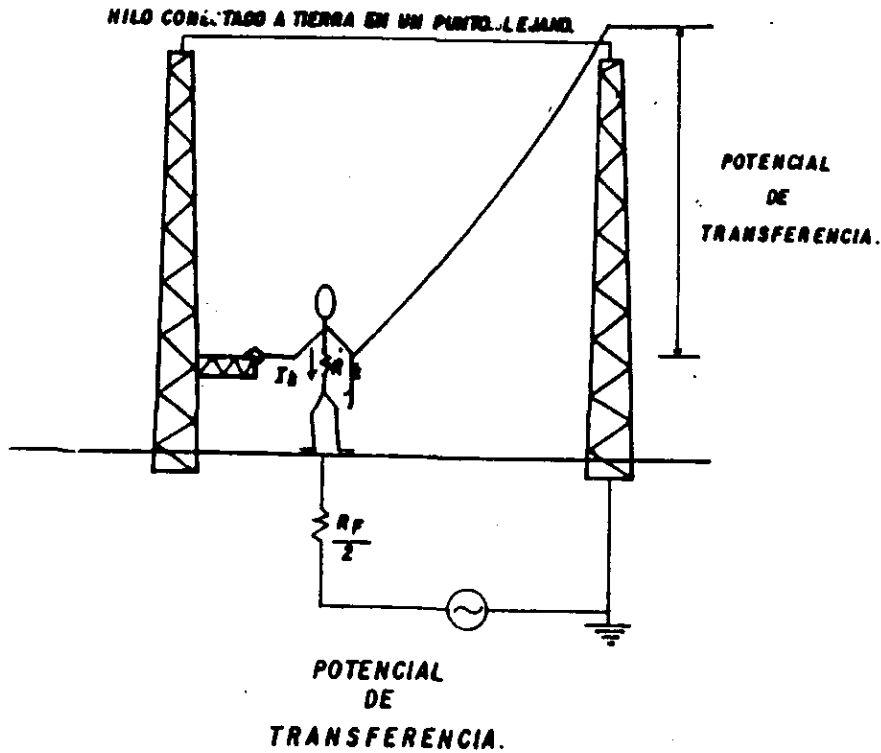


Figura 15.

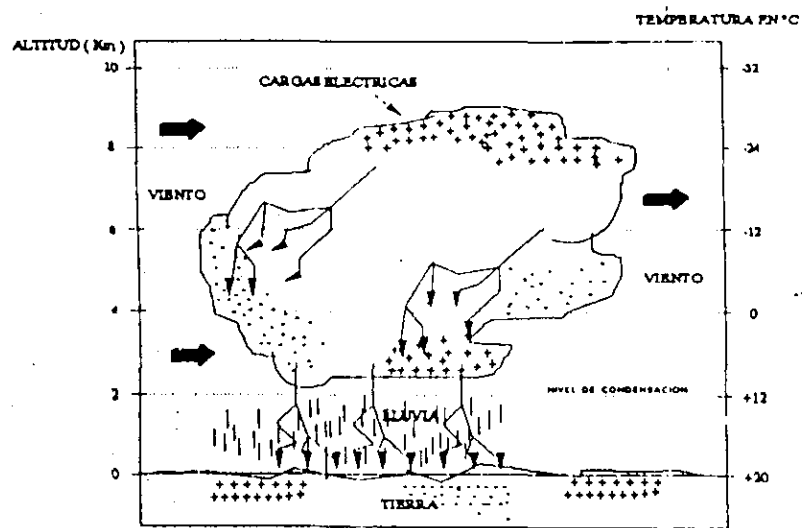
## 2.6.- TENSIONES DE ORIGEN ATMOSFERICO O POR UN RAYO.

Estas sobretensiones son debidas a las descargas atmosféricas, y por lo general se manifiestan inicialmente sobre las líneas de transmisión de un sistema eléctrico.

- Por descarga directamente sobre la línea de transmisión .
- Por descargas sobre las estructuras y sobre los hilos de guarda en las líneas de transmisión.
- Por descargas a tierra en las proximidades de la línea.

## 2.7.- CARACTERISTICAS DE UNA DESCARGA ATMOSFERICA.

Esto es principalmente por la formación de las nubes moviéndose a través del globo terráqueo, gracias a este movimiento las nubes adquieren grandes cargas positivas y negativas, este proceso es todavía una especulación se presupone que es de esta manera, es suficiente saber que la carga de la nube es demasiado grande y que cuando se acerca a la tierra simula de alguna manera un capacitor de gigantescas dimensiones tomando el aire como un dieléctrico como se muestra en la figura 16.



REPRESENTACION DEL ORIGEN DE UNA DESCARGA ATMOSFERICA.

Figura 16.

La diferencia de potencial entre la nube y la tierra se hace lo suficientemente grande para que la nube envíe hacia abajo una especie de canal de aire ionizado, llamado de predescarga de ionización, por lo general luminiscente. La velocidad media de propagación de esta predescarga tiene una magnitud de tiempo entre dos ondas sucesivas del orden de 0.15 m/uSeg. (Ver figura 17.)

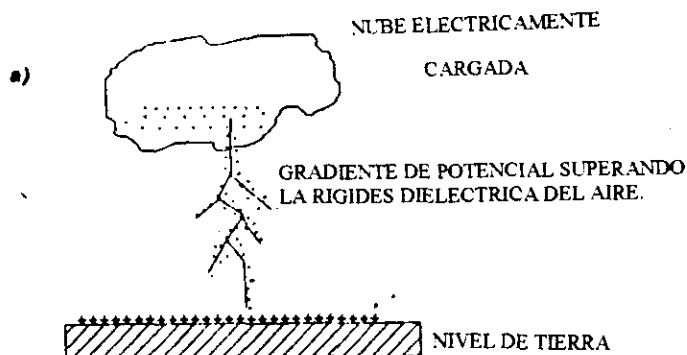


Figura 17.

La punta de la predescarga se considera como una fuerte concentración de cargas, en el aire se crea un intenso campo electrostático, esta misma origina un cierto número de descargas por efecto corona en el área ionizada. Cuando el canal más lejano de la descarga se acerca a tierra, se verifica una fuerte concentración de cargas en el punto del suelo, el aire ionizado forma un canal perfecto para que las cargas eléctricas saliendo de la tierra sigan este camino con el fin de neutralizar a la nube (Ver figura. 18.)

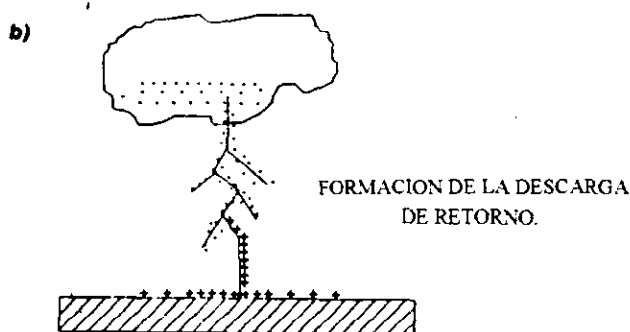


Figura. 18.

El encuentro entre cargas provenientes del suelo se da a una altura que se estima esta entre 15 y 20 m. Del nivel del suelo, es en este punto donde se produce el rayo descarga y retorno, (Ver figura.19.)

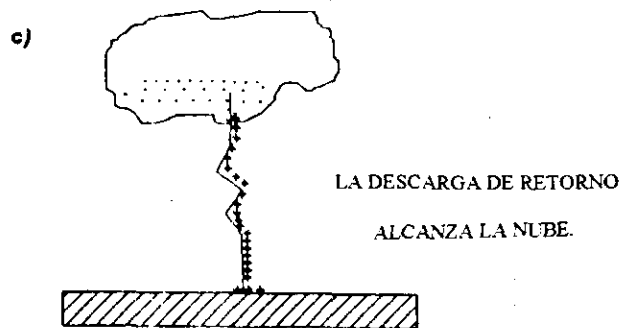


Figura 19.

La descarga de retorno es aquella que interesa de modo particular desde el punto de vista de la protección en las instalaciones eléctricas, ya que si el fenómeno antes descrito suceda en las inmediaciones o sobre dichas instalaciones, la trayectoria de la descarga es más fácil que ocurra sobre el hilo de guarda o a los propios conductores que a tierra.

Aproximadamente un 90% de las corrientes del rayo son negativas (nube negativa, suelo positivo), y un 10% con polaridad contraria, pero estas representan las más severas, encontrándose magnitudes de corriente entre 5 y 100 kA; Se han llegado a registrar corrientes hasta de 200 kA.

## **2.8.- DIFERENCIA ENTRE HILO NEUTRO E HILO DE TIERRA.**

El hilo neutro se forma de la unión de los conductores de fase del sistema eléctrico conectado en estrella, una de sus funciones es proporcionar la facilidad para obtener dualidad de tensión en estos sistemas. Debido a esto es que en condiciones normales de funcionamiento del sistema eléctrico se presenta circulación de corriente.

En un sistema balanceado, teóricamente el conductor neutro se considera un potencial nulo con respecto a los conductores de fase, pero como esta es una condición difícil de mantener en la práctica, en los sistemas des balanceados el hilo neutro debe soportar la corriente de des balanceo que es igual a la corriente que circula por la fase más cargada.

Por otro lado el hilo de tierra es aquel que conecta al blindaje de los equipos eléctricos con los electrodos que están en contacto directo con la tierra o suelo que pisamos, se utiliza para proporcionar un camino de baja impedancia para conducir las corrientes nocivas que pueden presentarse en lugares que por condiciones normales de funcionamiento, no deben existir y así evitar potenciales peligrosos a las personas que los toquen por alguna razón, esos sitios energizados en el momento de producirse una falla en el sistema eléctrico.

En alguna ocasión se puede presentar una diferencia de potencial entre el hilo neutro y el hilo de tierra, para evitar esta situación, debe conectarse a tierra el neutro del sistema eléctrico uniendo así la tierra de aterrizaje de los equipos, con la tierra de aterrizaje del transformador, reduciendo con estos las resistencias a valores tendientes a cero.

Otra función que desempeña un neutro aterrizado entre otras, es la de mantener fijo el centro de un sistema trifásico auxiliado en cierto modo por su balanceo.

## DISEÑO DEL SISTEMA DE TIERRAS.

### DATOS DE DISEÑO:

Duración de la falla.	0.1 seg.
Temperatura ambiente.	25°C.
Resistividad del terreno.	3.76 ohms-m.
Resistividad superficial.	3000 ohms-m.
Profundidad del enterramiento.	0.5 m.
Conectores empleados.	Mecánicos.

### Datos del transformador:

Se tiene un 1250 KVA de distribución, autoenfriado en aceite.

Marca. CONTINENTAL ELECTRIC.

Con relación de 23 000/ 440-254 volts.

Impedancia de 5.53 %.

Fases 3.

Hz 60.



Cálculos:

A) longitud del conductor, por lo tanto tenemos que:

- Longitud del conductor en Paralelo  $(6 \times 6) + (4 \times 30) + (4 \times 12) + 18 = 222 \text{ m}$

- Longitud del conductor en Transversal  $(3 \times 15) + (11 \times 9) + (5 \times 9) + 18 = 207 \text{ m}$

Por lo tanto la longitud del cable será:

$$L = 222 + 207 = 429 \text{ m.}$$

Area ocupada por el anillo.  $a = (6 \times 15) + (30 \times 9) + (9 \times 12) + (9 \times 9) = 549 \text{ m}^2$ .

B) Radio equivalente:

$$r = \sqrt{\frac{a}{\pi}} \quad r = \sqrt{\frac{549}{\pi}} = 13.21938$$

C) Corriente de corto circuito lado del secundario:

La corriente nominal en el lado del secundario del transformador

Se calcula utilizando el método del bus infinito.

$$I_{\text{sec}} = \frac{\text{KVA} \times 1000}{\sqrt{3} V_{\text{sec}}} \quad I_{\text{sec}} = \frac{1250 \times 1000}{\sqrt{3} \times 440} = 1640.20 \text{ Amp.}$$

Corriente máxima de corto circuito:

La máxima corriente de falla que suministra el transformador

$$I_{\text{ccmx}} = \frac{100\%}{X\%} I_{\text{sec}} = \frac{100\%}{5.53\%} 1640.20 = 29660.03 \text{ Amp.}$$

Resistencia aproximada:

El valor de elevación del potencial de la red lo limita el nivel de los aislamientos de los equipos de comunicaciones y control, tradicionalmente se toman de 5Kv ó de 10 Kv.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5000}{29660.03} = 0.16857 \text{ ohms}$$

Calibre del conductor:

$$A = \frac{I}{\sqrt{\frac{\log\left(\frac{t_m - t_a}{234 + t_a}\right) + 1}{33t}}} = \frac{29660}{\sqrt{\frac{\log\left(\frac{250 - 25}{234 + 25}\right) + 1}{33 \times 0.1}}} = 103,396.713 \text{ mm}^2$$

$$A = (103,396.7132)(0.0005067) = 52.39111 \text{ mm} .$$

Corresponde a un conductor de 2/0 AWG, Area de la sección 67.43 mm, Diámetro externo 10.50 mm.

Longitud mínima del conductor:

De acuerdo a datos experimentales el producto de  $K_m \times K_i$  nos da valores aproximadamente de 1.8.

La resistividad del terreno se considera entre 3000 y 5000 ohms metro superficie.

$$L = \frac{K_m K_i \rho_t I \sqrt{t}}{116 + 0.17 \rho_s} = \frac{1.8 \times 3.7 \times 29660 \times \sqrt{0.1}}{116 + 0.17 \times 3000} = 99.78 \text{ m}$$

Resistencia del anillo:

Diámetro del anillo.  $D = 2(13) = 26$

Diámetro del cable.  $d = 0.01050 \text{ m}$ .

Profundidad del enterramiento  $h = 0.5 \text{ m}$ .

$$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left( \ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{2h} \right) = \frac{3.76}{2\pi^2 26} \left( \ln \frac{8 \times 26}{0.01050} + \ln \frac{4 \times 26}{2 \times 0.5} \right) = 0.106482 \Omega / \text{m}$$

Numero de varillas:

$$Nv = 0.6\sqrt{a} = 0.6\sqrt{549} = 14.05 \text{ Varillas.}$$

Como el numero de varillas arrojadas es de 14 y actualmente se consideran de 20 varillas, se toma la decisión de instalar las 20 estas son del tipo copper weld de 3.05m de longitud y 0.19m de diámetro

Por lo que la nueva longitud del conductor será:

$$L = 99.78 + (20 \times 3.05) = 160.78$$

Calculo de la resistencia de la red:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} = \frac{3.74}{4 \times 13} + \frac{3.74}{160.78} = 0.09416 \Omega$$

Potenciales de Contacto, de Paso, y de Malla.

$$V_{\text{cont}} = \frac{116 + 0.17\rho_s}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.17(3000)}{\sqrt{0.1}} = 1979.58 \text{Volts.}$$

$$V_{\text{paso}} = \frac{116 + 0.7\rho_s}{\sqrt{t}} = 1030.90 \text{Volts.}$$

$$V_{\text{malla}} = KmKi \frac{\rho I}{L} = 1.8 \frac{3.7(29660)}{160.78} = 1228 \text{Volts.}$$

Tensión en la periferia

$$E_p = K_p K_i \frac{\rho I}{L}$$

$$K_p = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} \right) = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2(0.5)} + \frac{1}{26+0.5} \right) = 0.33032$$

$$K_i = 0.65 + 0.172(7) = 1.854$$

$$E_p = 0.330(1.854) \frac{3.7(29660)}{160.78} = 418.008 \text{Volts.}$$

$$\underline{E_{mall} = 1228 \langle E_{cont} = 1979.58 \text{volts}}$$

$$\underline{E_{perif} = 418 \langle E_{paso} = 1030.90 \text{volts}}$$

$$\underline{L_{cul} = 160.78 \langle L_{prop} = 429 \text{m}}$$

$$\underline{R_{cul} = 0.09416 \langle R_{est} = 0.1685 \Omega^i}$$

Se cumple con las condiciones necesarias, por lo tanto la red es segura y se adoptara la configuración propuesta en la fig.

**CAPITULO III**  
**MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO**  
**Y SU TRATAMIENTO.**

### 3.- MEDICIÓN ELECTRICA DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Desde el punto de vista eléctrico, la determinación de la resistividad del terreno deberá obtenerse a través de mediciones directas, las mediciones se deben de realizar en varios lugares dentro del predio de la instalación. Estas mediciones permitirán establecer la representación del suelo a través de un modelo homogéneo o un modelo estratificado.

Los métodos que se aplican para la medición de la resistividad del terreno tienen su principio en la ley de ohm, por lo que para efectuar dicha medición es necesario que circule corriente a través de él. El método generalizado es el de emplear cuatro varillas ( Método de los cuatro electrodos ).

Para medir la resistencia del terreno, es necesario pasar corriente a través de él, lo que se logra insertando electrodos en el suelo para obtener la circulación de corriente. El método generalmente empleado es el de los cuatro electrodos existen otras versiones que dependen de la configuración de los electrodos, en general se basan en la teoría de Frank Wenner. Véase figura 20.

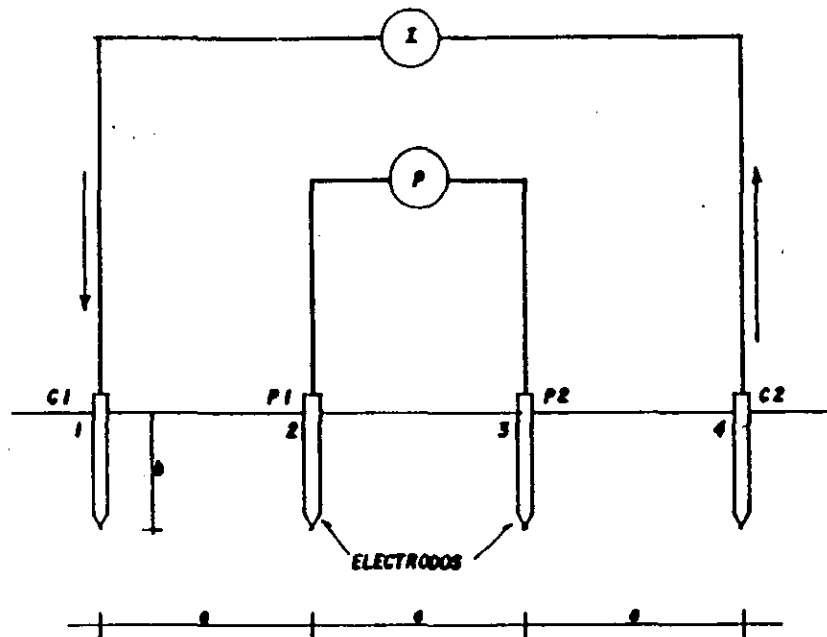


Figura 20.

**CONFIGURACION UNIVERSAL  
DEL METODO DE WENNER.**

En la figura 20 los electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia que exista entre electrodos y del contacto de éstos con la tierra, no dependerá en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos. Al utilizar esta configuración si la distancia entre electrodos y la resistencia que se opone al paso de la corriente son conocidos, y siempre que en la medición los electrodos 1 y 4 sean usados para inyectar corriente, y la diferencia de potencial se mida entre los electrodos 2 y 3 la resistencia específica del suelo estará dada por la expresión:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} = \frac{4\pi a R}{n}$$

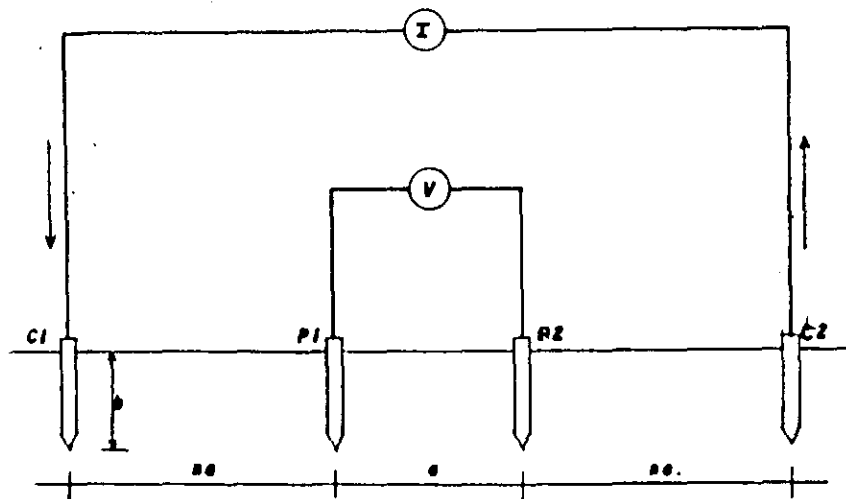
donde:  $\rho$  = Resistividad del terreno en ohms metro  
 $R$  = Resistencia medida en ohm.  
 $a$  = Distancia entre electrodos en metros.  
 $b$  = Profundidad de penetración de los electrodos en metros.  
 $n$  = Factor aproximado que tiene un valor entre uno y dos (dependiendo de la relación  $b/a$ ; si  $a = b$   $n = 1.187$ ; si  $b = 2a$ ,  $n = 1.030$ ; si  $b = 4a$ ,  $n = 1.003$ ).

La expresión de la resistividad puede aproximarse.

$$\begin{aligned} &= 4\pi a R && \text{si } b > a \\ &= 2\pi a R && \text{si } b < a \end{aligned}$$

Método Schulemberger.

También se emplean cuatro electrodos en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los interiores, a distancias múltiplos ( $na$ ) de la separación base de los electrodos internos ( $a$ ). la configuración correspondiente a este método se ilustra en la figura 21.



**CONFIGURACION ESQUEMATICA  
DEL METODO DE SCHLUMBERGER.**

Figura 21.

La expresión de la resistividad con este método corresponde a.

$$\rho_a(Sch) = \pi R n(n+1)a$$

Este método es de gran utilidad cuando el aparato de medición de tierra (megger) no tiene la precisión para valores de resistencia muy pequeños ya que en el método de Wenner se aprecian errores, si se emplean aparatos de poca precisión en terrenos del orden de 20 ohms metro y los valores de resistencia medidos por el instrumento son del orden de mili ohms.

Sistema shepard Canes.

Se usa una corriente continua que establece por medio de baterías de tres volts de dos celdas, el medidor conectado en serie es un miliamperímetro de doble rango 0 -25 mA, graduado para leerse en ohms cm. Esta lectura se aprecia directamente.

Los elementos están enterrados en el suelo por dos baterías aisladas, con el cátodo de mayor longitud para evitar la polarización. Este método se emplea para pequeñas muestras en el terreno.



### 3.1 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

La humedad contenida en la tierra, es un factor muy importante en el valor de la resistividad, pues aun con una pequeña variación en el porcentaje de la humedad se aprecia una marcada diferencia en la efectividad de una conexión a tierra.

En pruebas experimentales realizadas en el terreno de arena roja con 10 % de humedad, se obtuvieron resistividades mas altas que en el mismo tipo de terreno pero con mas humedad.

#### **RESISTIVIDAD (OHMS-CM) CONTENIDO DE AGUA EN% EN PESO**

	SUELO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
0.0	1 000 X10 <sup>6</sup>	1 000 X10 <sup>6</sup>
2.5	250 000	150 000
5.0	165 000	43 000
10	53 000	18 000
15	19 000	10 500
20	12 000	6 300

Cuando están completamente secos los suelos tienen una resistividad del orden de aisladores casi perfectos.

La resistividad disminuye rápidamente hasta que la humedad alcanza el 20%, a partir de este valor sólo se consigue una leve disminución de la resistividad con el aumento de la humedad; inversamente por debajo del 15% la resistividad aumenta rápidamente con la disminución de la humedad. Decreciendo la humedad del 30% al 5% la resistividad aumenta alrededor de 400 veces.

La resistividad del suelo también esta influenciada por la temperatura la resistividad crece a medida que la temperatura disminuye hasta llegar al punto de congelación del agua. Por debajo del punto de congelación, la resistividad crece rápidamente al disminuir la temperatura. En estos casos el sistema de

tierras debe instalarse por encima del nivel de congelación para obtener un valor aceptable de la resistencia. Podemos concluir que el contenido de humedad es mucho más importante que el de temperatura sobre la resistividad, siempre que la temperatura del suelo este por encima de los 0 grados centígrados, que es el caso mas común en México; Un terreno seco tiene alta resistividad, pero un terreno húmedo también puede tenerla si no contiene sales o sea si el agua es muy blanda, en lugares con régimen de lluvia muy elevado, la resistividad del suelo puede ser alta aun con el suelo saturado de agua. La cantidad de lluvia y la porosidad del suelo hacen que se laven los electrolitos naturales dejando un suelo muy poco conductor.

### LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE TIERRA.

La resistencia es un sistema de tierras representa la resistencia entre el electrodo y el suelo circundante. Para conseguir una baja resistencia de dispersión a tierra, el sistema debe ser proyectado con una alta conductancia, debe tener permanencia en el tiempo y confiabilidad. T. Velázquez nos señala que la resistencia total de una nueva red de tierras tiende a estabilizarse en los primeros años debido a los cambios cíclicos anuales, sin embargo, es conveniente hacer mediciones de la resistencia de una nueva red al quedar esta terminada, con el fin de comprobar su efectividad. Las variaciones en la resistencia de redes grandes, apesar de estar enterradas a profundidades menores de un metro, no parecen guardar una relación significativa en las variaciones observadas en la resistividad del terreno a esa profundidad. Esta situación indica que la resistencia ofrecida en las redes instaladas en grandes áreas de terrenos, depende de la resistividad de las capas mas profundas donde se registren variaciones menores.

Por consiguiente, la resistencia será prácticamente la de todo el suelo que rodea a el electrodo, debido a que es única; aunque teóricamente esto comprende una distancia infinita, en la practica de mayor proporción, aproximadamente el 98% del total, se encuentra contenido dentro de una distancia finita por lo que el área que rodea el electrodo se considera su área de influencia.

### **3.2.- COMPONENTES DE LA RESISTENCIA DE UN SISTEMA DE TIERRA.**

Si dos electrodos de algunos metros de longitud, son enterrados a cierta distancia de separación y se mantiene sobre éstos una diferencia de potencial, aparecerá una corriente que dependerá de la resistencia eléctrica ofrecida por el suelo, ésta resistencia puede ser evidente por la cantidad de calor liberada por el suelo, así como por los efectos sobre las conexiones a tierra que afectan la distribución de este. Los alrededores del cuerpo metálico.

Así pues, la resistencia de un electrodo de puesta a tierra tiene básicamente los siguientes componentes:

- Resistencia del propio electrodo, conductores y conexiones.

Con cualquiera de los materiales y secciones comúnmente empleados, la resistencia del electrodo en si es despreciable, así también como los conductores que enlazan el electrodo con los elementos de la red. Sin embargo, con el transcurso del tiempo, la conexión del electrodo con el conductor puede dejar de tener una resistencia de contacto despreciable si no es resistente a la corrosión. Puede llegar a la perdida de contacto entre ambos, Trayendo consigo una degradación del sistema de tierra.

- Resistencia de contacto entre electrodo y suelo.

Datos experimentales de laboratorio efectuados en la Bureau of Standards de USA, afirman que si el electrodo esta libre de pintura o grasa y el terreno esta firmemente compactado, la resistencia del contacto es despreciable; También se encontró que la capa de óxido presente en la superficie del electrodo no aumenta perceptiblemente la resistencia de dispersión a tierra, ya que este óxido es permeable al agua del terreno y su resistividad no es mayor a la del terreno mismo.

Así mismo los métodos de calculo que se han desarrollado para los sistemas de tierra, suponen una incidencia despreciable de la resistencia de contacto.

- Resistencia contribuida por el terreno inmediato al electrodo.

Cuando la corriente fluya hacia fuera del electrodo cada elemento de corriente viaja en un camino que cambia de sección transversal a medida que se aleja del electrodo. La resistencia ofrecida por el suelo, es la resistencia combinada de todos los caminos y elementos de corriente en paralelo, así como la resistividad del suelo y puntos cercanos.

Sobre puesta a tierra de sistemas eléctricos, se afirma que en un electrodo introducido en un terreno de resistividad uniforme, conduce corriente en todas direcciones si se considera que el electrodo esta rodeado por capas de tierra de igual espesor separadas por superficies equipotenciales, (Ver figura. 22p68) la capa adyacente al electrodo tiene obviamente la menor área y por tanto ofrece la mayor resistencia. A distancias mayores con respecto al electrodo las capas tienen mayor área y por consiguiente menor resistencia. Finalmente se alcanza una distancia desde el electrodo a partir de la cual la inclusión de capas adicionales, no cambia perceptiblemente la resistencia de dispersión a tierra del electrodo. Esta distancia se estima generalmente entre 2.50 y 3.00 metros y es conocida como resistencia efectiva de dispersión a tierra, y depende principalmente de la longitud y profundidad que es enterrado el electrodo.

### CALCULO DE LA RESISTENCIA DE DISPERSIÓN A TIERRA.

Para calcular la resistencia de dispersión a tierra de electrodo en forma analítica, se puede hacer uso de la fórmula matemática tomada de la teoría electromagnética.

$$R = \frac{\rho}{2\pi C}$$

Donde: R = Resistencia de dispersión a tierra.

$\rho$  = Resistividad del suelo.

C = Capacidad combinada en el vacío, del electrodo y su imagen sobre el nivel del suelo.

Este método supone la resistividad uniforme a través de todo el volumen del terreno considerado.

El concepto básico que se desprende de esta fórmula es mostrar la forma que debe disponerse una cantidad dada de metal para obtenerse mayores resultados, esto es, un valor de capacidad electrostática y por tanto el valor mas bajo de resistencia de dispersión a tierra. Por ejemplo, el alambre no debe enterrarse enrollado en forma helicoidal sino a lo largo de toda su longitud, por que en esta disposición el valor de la capacidad electrostática es el mayor posible.

Otra fórmula que nos permite conocer la resistividad del terreno midiendo la resistencia de dispersión a tierra de un electrodo cilíndrico de dimensiones conocidas, es utilizando el método de los tres electrodos, desarrollado por el profesor H.B. Dwight:

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

Donde:

R = Resistencia de dispersión a tierra en ohms.

$\rho$  = Resistividad promedio del terreno en ohms-cm.

L = Longitud de entopramiento en cm.

a = radio del electrodo en cm.

Ambos métodos son aproximados por la aproximación geométrica que debe hacerse en el cálculo de las capacidades y que la longitud disminuye al decrecer el cociente L/a del electrodo. La fórmula para dos electrodos iguales en paralelo es:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{s^4} \dots \right)$$

Donde: S = Distancia entre electrodos en cm, Siendo S < L si la resistencia es:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$$

no obstante, las dificultades prácticas para conocer las características del terreno, no invalidan los conceptos implícitos en las fórmulas. Son precisamente éstos conceptos, los que orientan la línea de acción para obtener mejores puestas de tierra.

Haciendo mediciones previas a la resistividad del terreno, como las limitaciones ya incluidas, las fórmulas de cálculos constituye una valiosa herramienta para la aproximación al objetivo de anticipar las dimensiones de un sistema de puesta a tierra. Esto hace que una vez materializado, sea

necesario medir su resistencia de dispersión a tierra efectiva y proceder a su mejoramiento en caso de ser necesario.

#### EFFECTOS DE LAS DIMENSIONES DEL ELECTRODO.

La resistencia de dispersión a tierra de un electrodo se reduce a medida que se incrementa su profundidad de empotramiento, esto puede comprobarse fácilmente por medio de la formula general. Generalmente hablando, se consigue una disminución del 40% en la resistencia cuando el empotramiento se duplica asumiendo resistividad constante en todo el volumen considerado

En cambio el aumento del diámetro prácticamente influye muy poco en la resistencia.

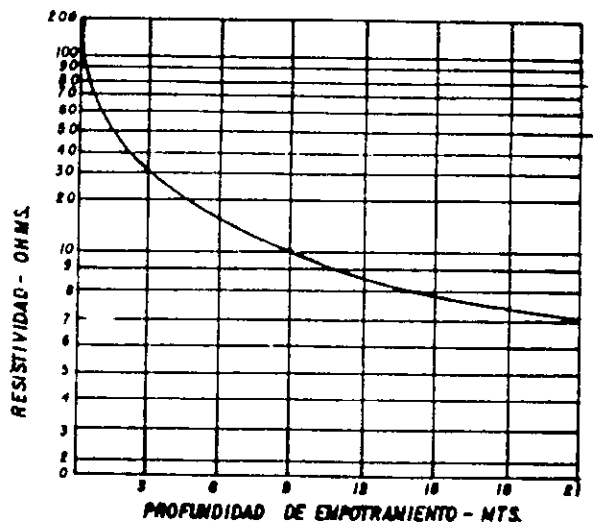
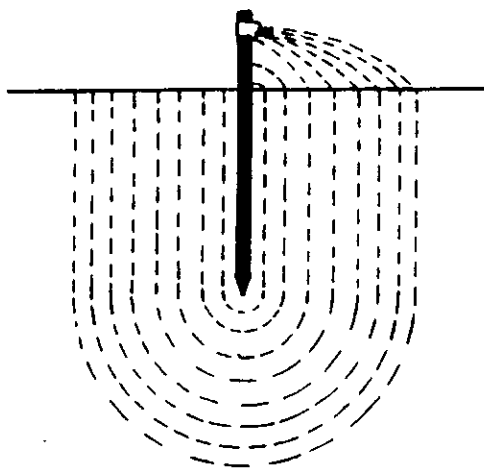
Una buena regla es seleccionar un diámetro de electrodo mínimo compatible con la necesaria resistencia mecánica para ser enterrado en el suelo sin doblarse.

De aquí que generalmente resulte más económico utilizar electrodos redondos de pequeño diámetro ( 13 o 16 mm).

#### EFFECTOS DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.

Las formulas de Dwinght de la tabla siguiente muestra que la resistencia de dispersión a tierra es directamente proporcional a la resistividad del terreno, que es factor fundamental que determina cuál será la resistencia de un electrodo y a qué profundidad deberá enterrarse para obtener una resistencia determinada. Por supuesto, en la práctica las características de un terreno y por tanto su resistividad, pueden variar muy fuertemente con la profundidad.

Si se desea, pueden hacer mediciones a medida que el electrodo va penetrando en el terreno y se pueden conocer la resistividades de los diferentes estratos que el electrodo va atravesando.



RELACION DE PROFUNDIDAD Y RESISTENCIA PARA UN SUELO UNIFORME.

Figura 22

### 3.3.- PROCEDIMIENTOS PARA ABATIR LA RESISTENCIA DEL TERRENO

Dependiendo de la naturaleza del terreno, se tiene distintos valores de resistividad eléctrica. Cuando éstos valores son superiores a los especificados en las tablas, se debe aplicar un método para abatir la resistividad eléctrica, y de esta manera obtener una red de tierras con un valor razonablemente bajo de resistencia.

La NTIE especifica que para mallas de tierra en subestaciones, la resistencia total no debe exceder los 10 ohms; Pero desde luego, es preferible alcanzar la mínima posible.

Si se desea lograr lo anterior se debe de hacer un estudio minucioso del terreno, con el objeto de aplicar un método en especial para reducir la resistividad eléctrica. Teniendo en cuenta un método se aplica para un sólo tipo de terreno en particular que no es aplicable en cualquier otro.

A continuación se describen algunos de los métodos más comúnmente utilizados para abatir la resistividad eléctrica del terreno o la resistencia de la red de puesta a tierra.

### **3.4.- ELECTRODOS PROFUNDOS.**

Este método se utiliza para reducir la resistencia eléctrica de la red de tierras, y es utilizado en terrenos con alta resistividad eléctrica (Zonas rocosas, Zonas volcánicas Etc.). Consiste en hacer perforaciones profundas hasta encontrar terrenos de baja resistividad eléctrica, y se introducen en pruebas especiales ( Seccionados) Empleados uno encima del otro. La técnica de implantación de este tipo de electrodos consiste en colocar uno encima del otro unidos a través de un manguito con rosca hembra.

Aumentar la profundidad, disminuir la resistividad eléctrica, por tanto es aconsejable realizar perforaciones de hasta 100mts de profundidad para obtener una resistividad eléctrica muy baja. Lo importante de este método es que la resistividad es estable e independiente de las variaciones estacionales.

### **3.5.- ELECTRODOS MULTIPLES EN PARALELO.**

Consiste éste método en colocar múltiples electrodos en distintas configuraciones ( Anillo, Estrella, Malla Etc.. ) A una distancia entre si, por lo menos a la longitud del electrodo mas grande, si la configuración de los electrodos tiene la distancia adecuada se cumplirá la ley de la resistencias en paralelo, es decir, los electrodos tendrán la mitad del valor de la resistencia de uno sólo, dependerá de la uniformidad del terreno.

### **3.6.- TRATAMIENTO QUIMICO.**

Cuando la resistividad en algunos terrenos es demasiado elevada y no puede abatirse la resistividad eléctrica con los métodos anteriormente descritos, se tendrá que diseñar redes de tierra de enormes dimensiones físicas a un costo muy elevado. Si además, se tiene limitado el espacio de la superficie donde se colocará la red de tierras, se tendrá que recurrir a reducir artificialmente la resistividad eléctrica del terreno a través de tratamientos químicos.

El tratamiento químico de un terreno consiste en agregar soluciones especiales (Sales minerales, Carbón, Sulfatos Etc..), disueltas en agua y vertidos sobre el terreno próximo al electrodo, o directamente sobre este si es del tipo tubular. Estas soluciones originan precipitados que dan origen a formaciones de masas gelatinosas, éstas se desparraman sobre el terreno produciendo numerosas ramificaciones de agua. De esta manera se aumenta la conductividad del terreno en la superficie de contacto con el electrodo.

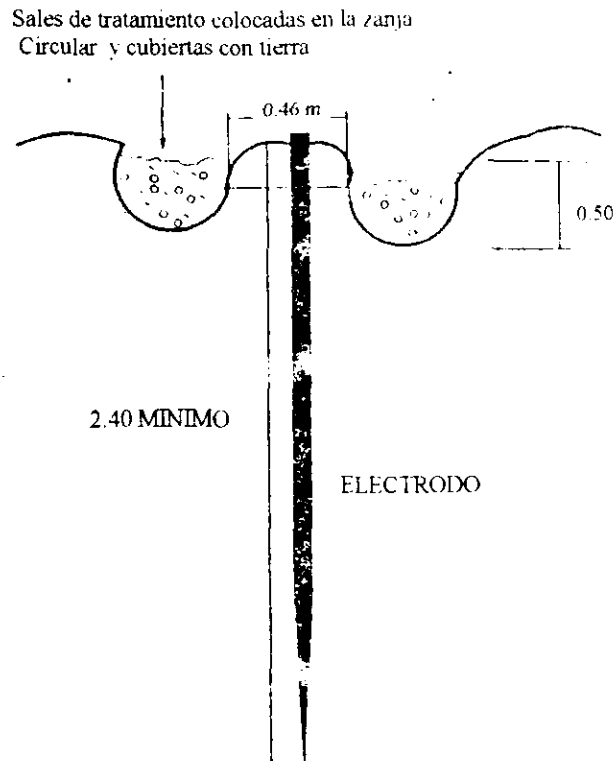


El problema básico del tratamiento químico del terreno es, la corrosión que se es sometido el electrodo con este tipo de soluciones pues los resultados esperados no siempre corresponden a lo provisto; Y por otra parte, algunas de estas soluciones contienen productos tóxicos cuya manipulación exige de mucho cuidado.

Los métodos para el tratamiento químico del terreno mas comúnmente empleado son:

### 3.6.1.- AGREGADOS DE SALES SIMPLES.

Es un método típico para el tratamiento químico del terreno mediante sales minerales, consiste en cavar una zanja circular rodeando el electrodo sin entrar en contacto directo con el (Ver fig. 23), a la zanja se le agregan las sales minerales (que pueden ser: Sulfato de magnesio, Sulfato de cobre, Cloruro de sodio, Cloruro de Calcio) y posteriormente se tapa con tierra. Lo anterior se hace con el fin de minimizar el efecto corrosivo que producen las sales en los electrodos, además de lograr una mejor distribución de dichas sales sobre el terreno.



METODO AGREGADO DE SALES SIMPLES.

Figura 23

Se recomienda utilizar el Sulfato de magnesio por ser el menos corrosivo, por tanto la sal común es la más económica. El inconveniente de este método es sus efectos no son permanentes en el tiempo, ya que las sales agregadas al terreno se disuelven a través del filtraje de agua producido por las lluvias estacionales. Por lo tanto, las sales deberán reponerse después de un determinado periodo dependiendo del régimen de las lluvias y las propiedades mismas del terreno.

Debido a lo anterior, este método es poco aconsejable, ya que actualmente se dispone de métodos más eficaces, de gran permanencia y menos corrosivos.

### **3.6.2.- AGREGADO DE SALES TIPO GEL.**

Tratando de superar el inconveniente del método anterior (la permanencia de las sales en el terreno), se desarrolló este método; el cual consiste en irrigar al terreno dos o más sales en una solución acuosa, que acompañadas de un catalizador en la proporción adecuada, reaccionan entre sí formando un precipitado en forma de gel insoluble. Lo anterior, le confiere el tratamiento químico del terreno una gran permanencia en el tiempo (debido a la insolubilidad del gel), una elevada conductividad eléctrica y una alta resistencia a los ácidos del terreno.

Las soluciones químicas empleadas más comúnmente en este método son:

- **Aerylamida.**  
Contiene una resistividad aproximada de 1 ohms-metro, y el inconveniente principales que tanto la sal como el catalizador son altamente tóxicos.
- **Gel de silicato**  
Es una solución de silicato de sodio con catalizadores adecuados que producen un gel de ácido silicio de baja resistividad (aproximadamente 0.23 ohms-metro ).
- **Método Sanick.**  
Es un gel que se forma con la combinación de sulfato de cobre y ferrocianuro de sodio. Su resistividad es del orden de los 0.2 ohms-metro el inconveniente principal de este gel es que sus soluciones deben aportarse al terreno en forma separada, ya que el tiempo de formación del gel es muy corta.

### **3.6.3.- AGREGADO DE CARBON**

La resistividad del carbón es del orden de los 0.13 ohms-metro, inferior en forma significativa a la mayoría de los suelos y es además, independiente del contenido de humedad.

Este método consiste en colocar carbón sobre la excavación que se hace para colocar electrodo, de este modo se estará remplazando el terreno de alta resistividad eléctrica en contacto con dicho electrodo por una sustancia de baja resistividad. Se consigue una apreciable reducción de la resistividad del terreno, aunque no independiente de la humedad del mismo, ya que la cantidad de carbón es limitada con respecto al volumen del terreno y la variación de la resistividad en función de la humedad aparece casi en la misma proporción que en los electrodos instalados sin tratamiento artificial.

Haciendo una comparación con los agregados de sales el carbón tienen la ventaja que es permanente.

### **3.6.4.- AGREGADO DE BENTONITA.**

Uno de los sistemas más económicos y efectivos para lograra abatir la resistividad eléctrica, es tratar el terreno con base a la absorción de la humedad de la bentonita sódica. La bentonita es un material de composición compleja, de notables características higroscópicas; buen conductor de la electricidad y además protege a los electrodos ferrosos.

Este método puede emplearse en cualquier tipo de terreno con características desfavorables.

La preparación consiste en hacer una mezcla de bentonita con agua de acuerdo a las siguientes proporciones: por cada kilogramo de bentonita se deben agregar 1.5 lts de agua, mezclarse perfectamente hasta obtenerse una masa uniforme y gelatinosa. A continuación se describe este método para dos tipos de redes de tierra.

1.- Redes de tierra con varilla. Para el uso de la bentonita en este sistema, se recomienda excavar la cepa donde se instalará el electrodo de las siguientes dimensiones: 0.45mts de diámetro por 1.50 mts de profundidad. Una vez inmerso el electrodo en el terreno, se procede a colocar la mezcla de agua y bentonita en el interior de la cepa hasta llenarla completamente.

2.- Tratamiento de terrenos rocosos. Para el uso de la bentonita en este tipo de terreno, se efectúan perforaciones con equipo neumático o en el terreno rocoso donde planea instalarse la red de tierras con brocas de 5.08 cm. De diámetro por 150 cm. De longitud a continuación se elabora una parrilla de alambre de cobre semiduro desnudo, de calibre 6 AWG de una pieza (sin empalmes) para instalarse en las perforaciones (el número de perforaciones depende del valor de resistividad deseado), unidos con entronche. Las zanjas y perforaciones se llenan con la mezcla de agua y bentonita en la parte superior de la zanja se cubre con el material de la excavación.

### **3.7.- MEDICION DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE TIERRAS**

Con el objeto de establecer el valor real de la resistencia a tierra del sistema de tierras una vez instalado, se deben hacer mediciones en campo para poder determinar la elevación de tensión durante una falla a tierra. Estas mediciones servirán a demás para verificar los cálculos hechos durante el diseño y asegura la efectividad de la malla para limitar los gradientes de potencial a valores tolerables.

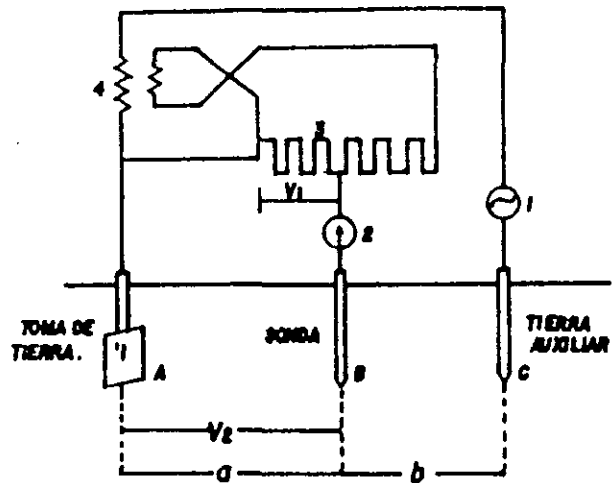
Es necesario medir periódicamente la resistencia del sistema de tierras con el fin de corroborar su eficacia.

La resistencia del sistema de tierras será prácticamente la de todo el suelo que lo rodea al electrodo, por lo que el área que rodea al electrodo se le considera su área de influencia. Si en el método de medición se utiliza un electrodo auxiliar, es fundamental buscar que el área de influencia de éste no se traslape con el área del electrodo principal o del electrodo a medir.

#### **Método de caída de tensión.**

Es el método de uso común, utilizado para la medición de la resistencia a tierra de los electrodos.

Las casas constructoras de equipo de medición, fabrican varios aparatos para medir el valor de la resistencia de los electrodos y vienen incluidas las instrucciones necesarias para sus usos. Desde luego se usan electrodos auxiliares para determinar las resistencias buscadas. Generalmente van provistos de magnetos, por que es preciso efectuar la medición de valores apreciables. La figura 24 muestra uno de estos aparatos utilizados para medir fuertes resistencias.



**ESQUEMA DE LA DISPOSICION  
PARA COMPROBAR LAS TOMAS DE TIERRA.**

Figura 24

Consta de un pequeño generador de corriente alterna accionado por manivela (1), de un transformador de corriente (4), y de una resistencia de compensación graduable (3).

Para las mediciones hay que disponer de una tierra auxiliar (C), y de una sonda (B). (A) es la toma de tierra cuyo valor en ohms se trata de determinar. El generador lleva un instrumento de cero (2), para efectuar las lecturas.

La corriente que del generador pasa por el primario del transformador y se dirige por el terreno desde (A) a (C), crea una tensión  $V_2$  entre (A) y (B). En la misma forma, la corriente que circula por el secundario del transformador, a través de la resistencia de compensación (3), da origen a una tensión  $V_1$ , cuando ambas tensiones son iguales por la conveniente graduación de las resistencias, es decir  $V_1 = V_2$ . El valor de dicha resistencia será el correspondiente a la toma de tierra (A) y el instrumento marcará cero.

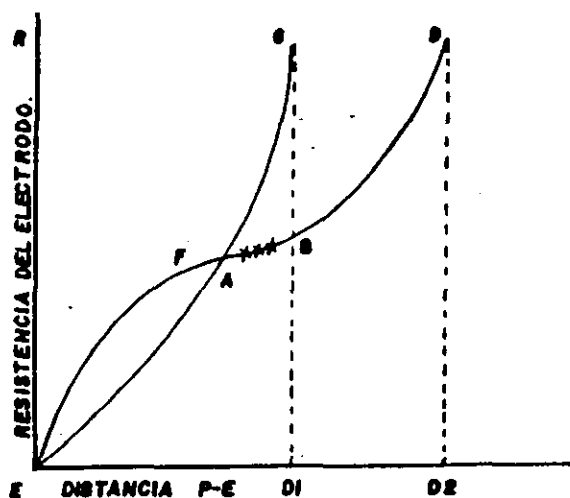
El aparato va provisto de tres sensibilidades para la resistencia:  
0 - 10, 0 - 100 y 0 - 1000 ohms.

Las distancias a que deben de colocarse la sonda (B) y la toma de tierra auxiliar (C), que en la figura aparece como a y b, dependen de la clase y tamaño del electrodo y están comprendidas de la siguiente forma: a entre 5, 10 y 20 metros, b entre 20 y 40 metros; Estos valores son mínimos.

Debido a la gran sensibilidad del instrumento, la medición se obtiene prácticamente con el pequeño error, aún cuando la resistencia de la tierra auxiliar y la de la sonda sean elevadas.

### CURVAS DE RESISTENCIA A TIERRA DEL SISTEMA.

Durante las mediciones de resistencia a tierra de un electrodo por el método de caída de tensión, es fundamental evitar el traslape de las áreas de influencia de los tres electrodos que intervienen, lo que se logra graficando las mediciones como en la figura 25



CURVAS DE RESISTENCIA DE ELECTRODOS DE TIERRA.

Figura 25.

Si por ejemplo, el electrodo se localiza a la distancia (D1) del electrodo de prueba, al realizar mediciones variando la resistencia del electrodo sonda (B) apartir del electrodo por medir (A) hasta llegar a la posición del electrodo de corriente (C) se obtendrá la curva EFG. Donde se observa que el valor de la resistencia se incremente continuamente a medida que se desplaza el

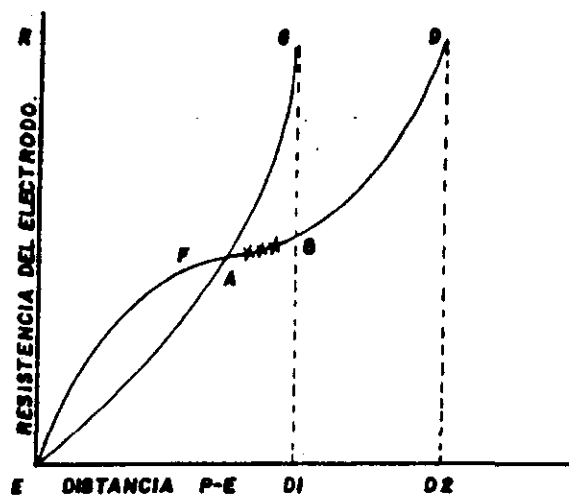
electrodo sonda a lo largo de la línea que une al electrodo bajo prueba con el electrodo de corriente. esto se debe al traslape de las áreas de influencia.

Si el electrodo de corriente se coloca a una distancia mayor ( $D_2$ ), en tal forma que no exista una zona donde se traslapen las áreas de influencia de cada uno de los electrodos, se obtendrá una curva del tipo EFABD, la curva en la que encontramos (entre A y B) valores que presentan estabilidad no habiendo en estos puntos superposición de áreas de influencia. Por lo que este valor corresponde a la resistencia real del electrodo.

Como recomendación practica para evitar el traslape de áreas de influencia se sugiere colocar el electrodo de corriente a una distancia 4 veces  $D$ , del electrodo bajo prueba, donde  $D$  es el diámetro del equivalente del área del electrodo de tierra. Con estas distancias no se obtienen tres valores aproximadamente iguales de resistencias (porción A -B de la figura 26), se deberá incrementar la distancia a 6 veces  $D$ .

#### Método de dos puntos

Este método evalúa la resistencia de una forma de tierra de resistencia desconocida, haciendo uso de una "Tierra auxiliar" de valor conocido, y del cuál se presume un valor despreciable con respecto al valor de la que está evaluando, y el valor obtenido será llamado resistencia de tierra relativa. (Ver figura 27).



**CURVAS DE RESISTENCIA DE ELECTRODOS DE TIERRA.**

Figura 26.

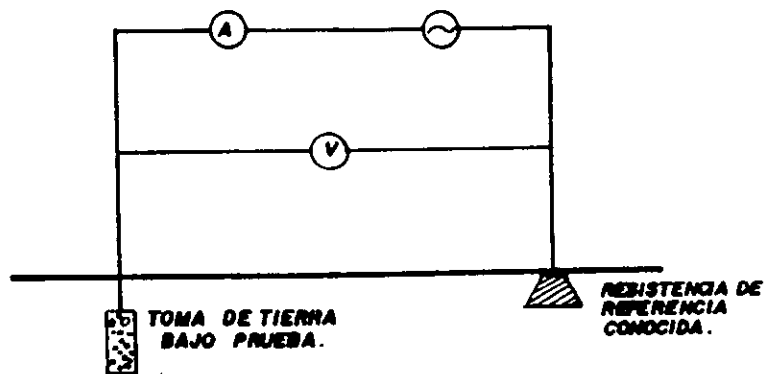


Figura 27.

El método está basado en el uso del NaCl (sal de mesa) por su alta conductividad como una solución acuosa en proporción 1 : 4 aplicada en una área apropiada.

Para construir la resistencia conocida, se coloca una malla metálica de aluminio o cobre sobre un charco de la solución acuosa con sal, la malla a su vez se conecta al medidor como se muestra en la figura 28

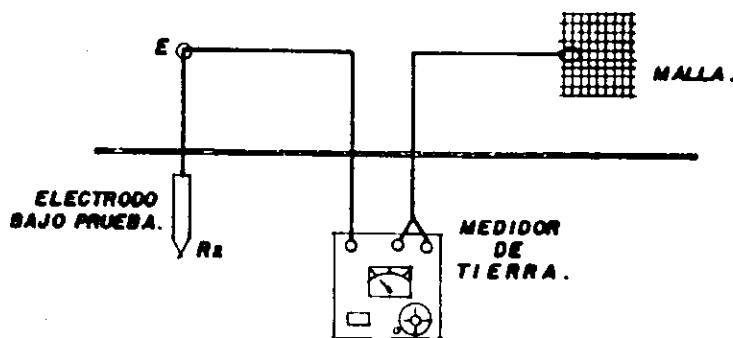


Figura 28.
















El valor de la resistencia conocida será menor cuando más cerca esté de los materiales conductores (Varillas, Tubos de agua, Etc. ) mientras que el valor de la malla en el charco será menor de 25 ohms, por tanto, si en valor obtenido mediante este método de caída de tensión para verificarlo. Mientras que si es menor este valor, la resistencia conocida será mucho menor que la resistencia evaluada de la toma de tierra bajo prueba y en consecuencia el valor obtenido en el medidor será muy próximo al valor real que tiene la toma de tierra.

### 3.8 FORMULAS UTILIZADAS PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A TIERRA DE ELECTRODOS CON DIFERENTES FORMAS GEOMETRICAS.

Las dimensiones deberán estar en centímetros para obtener la resistencia en ohms.

FORMULAS APROXIMADAS PARA TOMAS DE TIERRA

	Hemiesfero, a la superficie del terreno de radio a. $R = \frac{\rho}{2\pi a}$
	Una varilla de longitud L y radio a. $R = \frac{\rho}{2\pi L} (\log_e \frac{4L}{a} - 1)$
	<p>● Dos varillas cilíndricas a una distancia S entre-ejes siendo <math>S &gt; 2L</math>.</p> <p>● <math display="block">R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_e \frac{4L}{a} - 1) + \frac{\rho}{4\pi S} (1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2}{5} - \frac{L^4}{S^4} \dots)</math></p>
	<p>● Dos varillas cilíndricas a una distancia S entre-ejes, siendo <math>S &lt; 2L</math>.</p> <p>● <math display="block">R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_e \frac{4L}{a} + \log_e \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \dots)</math></p>
	<p>Conductor horizontal enterrado a una profundidad S/2, siendo su longitud 2L.</p> <p><math display="block">R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_e \frac{4L}{a} + \log_e \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \dots)</math></p>
	<p>Conductor en ángulo recto, de longitud de brazos L a la profundidad S/2.</p> <p><math display="block">R = \frac{\rho}{4\pi L} (\log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} - 0.237 + 0.215 \frac{S}{L} + 0.104 \frac{S^2}{L^2} - 0.042 \frac{S^4}{L^4})</math></p>

	<p>Estrella de 3 puntas de longitud de brazos L a la profundidad S/2</p> $R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} + 1.071 - 0.209 \frac{S}{L} + 0.238 \frac{S^2}{L^2} - 0.054 \frac{S^3}{L^3} \right)$
	<p>Estrella de 6 puntas de longitud de brazos L a la profundidad S/2.</p> $R = \frac{\rho}{12\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} + 10.98 - 5.51 \frac{S}{L} + 3.26 \frac{S^2}{L^2} - 1.17 \frac{S^3}{L^3} \dots \right)$
	<p>Anillo de diámetro D, diámetro del conductor d a una profundidad h</p> $R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left( \ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{2h} \right)$
	<p>Barra horizontal de longitud 2L de sección a x b enterrada a una profundidad S/2 y b a/8.</p> $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \log_e \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - ab}{2(a+b)^2} + \log_e \frac{4L}{S} - 1 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \dots \right)$
	<p>Placa redonda enterrada horizontalmente, de radio a enterrada a una profundidad S/2</p> $R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi S} \left( 1 - \frac{7a^2}{12S^2} + \frac{33a^4}{40S^4} \dots \right)$
	<p>Placa redonda enterrada verticalmente, de radio a enterrada a una profundidad S/2.</p> $R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi S} \left( 1 + \frac{7a^2}{24S^2} + \frac{99a^4}{320S^4} \dots \right)$
	<p>Estrella de 4 puntas, de longitud de brazos L a la profundidad S/2.</p> $R = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} + 2.912 - 1.071 \frac{S}{L} + 0.645 \frac{S^2}{L^2} + 0.645 \frac{S^3}{L^3} - 0.145 \frac{S^4}{L^4} \right)$

**CAPITULO IV**  
**4.- NORMAS Y ESPECIFICACIONES GENERALES.**

#### **4.1.- CONSIDERACIONES TECNICAS Y FUNCIONES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE TIERRA.**

- a) Proveer un medio seguro para proteger a el personal de los peligro de una descarga eléctrica bajo condiciones de falla (descargas atmosféricas y corto circuito).
- b) Proporcionar un circuito de mínima impedancia para la circulación de las corrientes de falla debidas a condiciones anormales de operación.
- c) Evitar que durante la circulación de estas corrientes a tierra, se produzcan diferencias de potencial entre los diferentes equipos de puestas a tierra.
- d) Evitar la inducción de ruido en los equipos de comunicaciones.

#### **4.2.- ELEMENTOS PRINCIPALES DEL SISTEMA DE TIERRA.**

- a) Red o malla de conductores enterrados a una **profundidad mínima de 0.6m.**
- b) Electrodo de tierra conectados a la red de conductores y enterrados a la profundidad necesaria para obtener el *mínimo valor de resistencia a tierra.*
- c) Conductores de puesta a tierra, a través de los cuales se hace la conexión a tierra de las partes de la instalación o del equipo que requiera dicha conexión.

#### **4.3.- DISPOSICIONES BASICAS DE REDES DE TIERRA .**

- a) Sistema Radial.- Consiste en uno o varios electrodos de tierra a los cuales se conecta la derivación de cada uno de los equipos. Este sistema es el menos seguro, ya que al producirse una falla a el equipo se producen elevados gradientes de potencial. (Ver figura. 29).

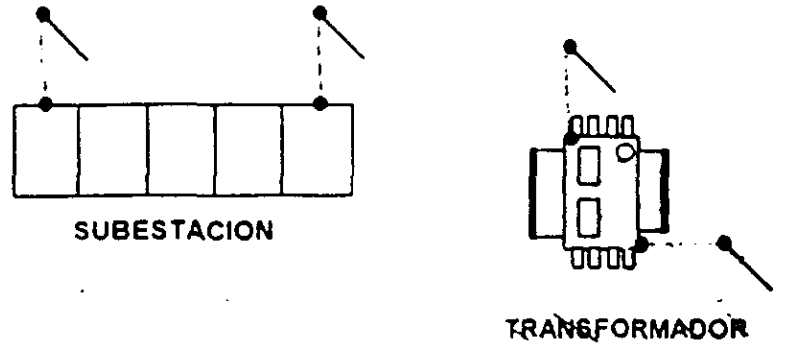


Figura. 29 Sistema Radial.

b) Sistemas de anillo.- Se obtiene colocando un conductor alrededor de la superficie ocupada por los equipos. Al anillo se conectan las derivaciones de los equipos y en los vértices de este anillo, se instalan los electrodos.

Este sistema es mas eficiente que el sistema radial ya que los potenciales disminuyen al disiparse la corriente de falla por varias trayectorias. (Ver figura 30).

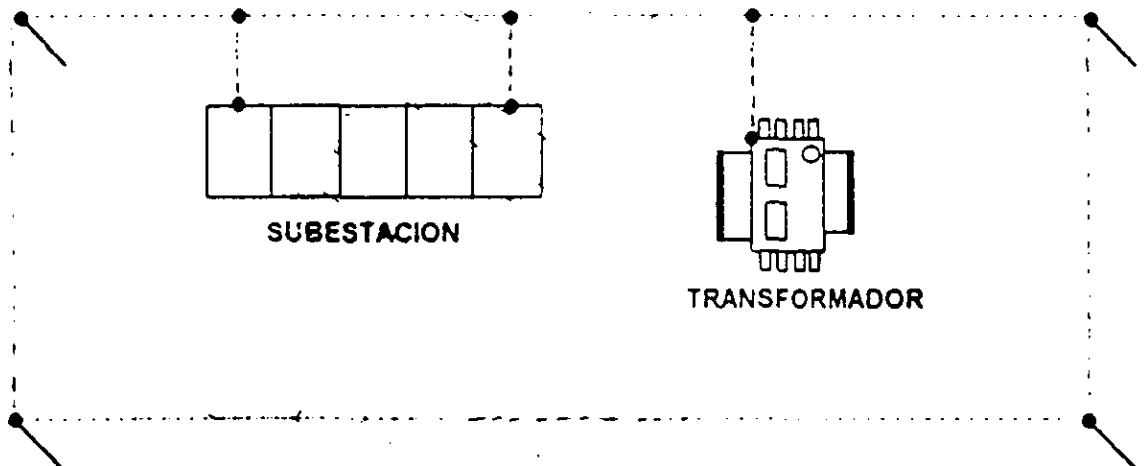
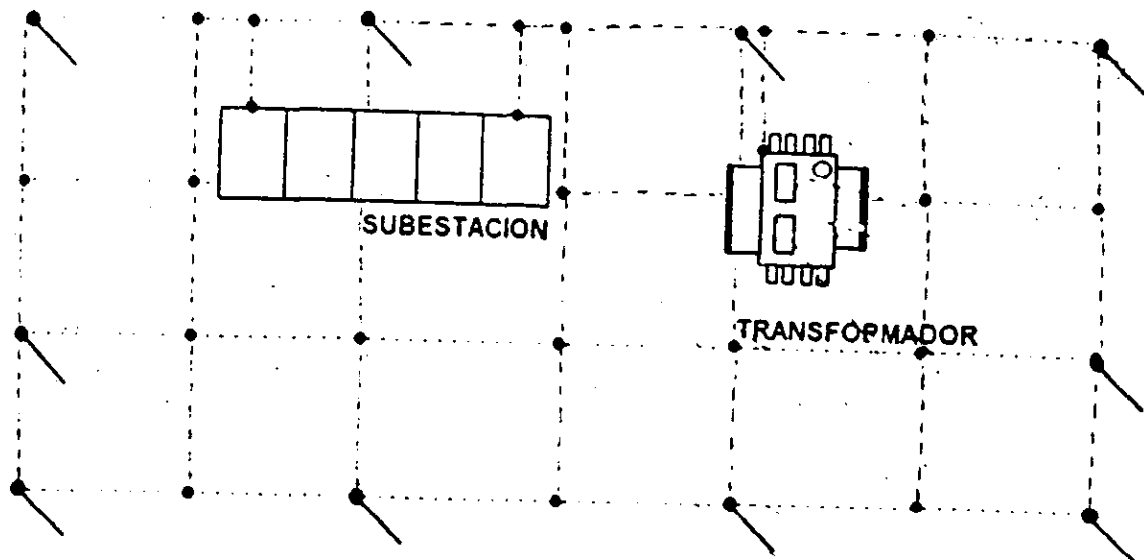


Figura. 30. Sistema de Anillo.

C) Sistema malla. - Es el más usado actualmente y consiste, como su nombre lo indica, en este arreglo de conductores perpendiculares formando una malla o retícula, a la cual se conectan cada una de las derivaciones de cada uno de los equipos. En este parámetro de la malla generalmente se conectan electrodos.

Este sistema es generalmente el más eficiente, ya que se limitan los potenciales originados por la circulación de la corriente de falla. (Ver figura 31.)



**Sistema de Malla.**

Figura. 31.

#### **4.4.- ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.**

Son electrodos de sección circular resistentes a la corrosión y con resistencia mecánica, de tal manera que permita su instalación en todo tipo de terreno, (Ver figura. 32a y 32b) deben de cumplir con la norma 250-81 NOM, en la que se especifica:

- a) Revestimiento de cobre puro con un espesor mínimo de 0.254 mm (0.083').
- b) El revestimiento de cobre debe de ser unido moléculamente a él núcleo de acero
- c) Ausencia de cualquier fisura en el revestimiento de cobre, aún cuando el electrodo sea doblado.
- d) Se deben de colocar los electrodos en las aristas que se encuentren sobre la periferia de la malla, en los equipos de fuerza y en las uniones con otras colas de tierra. Considerando la cantidad de electrodos que resulten del cálculo de sistema de tierra, se deben de construir registros para la inspección de la malla de tierra en puntos estratégicos sobre los electrodos para que se tomen lecturas periódicas de la resistencia a tierra de la malla.
- e) Los electrodos Copperweld de una malla de tierra, deben de instalarse separados de cualquier base o cimentación, al menos 0.61 m (2').

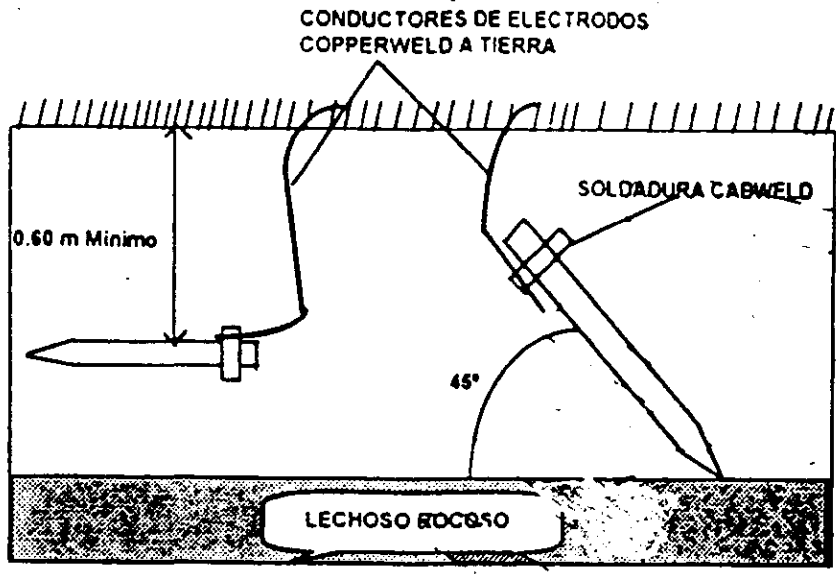


Figura.a. Electrodo de Puesta a Tierra

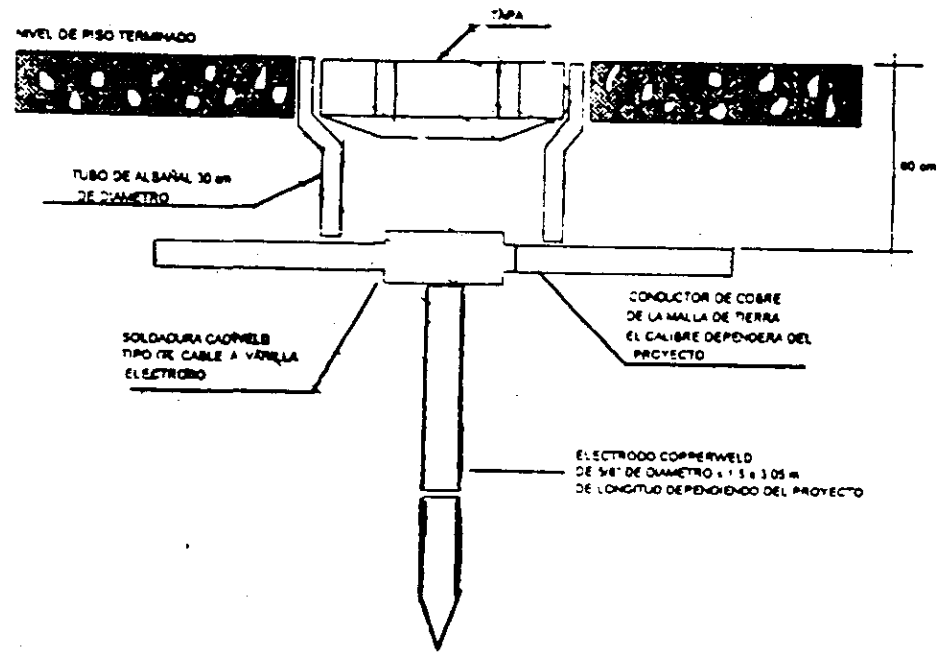


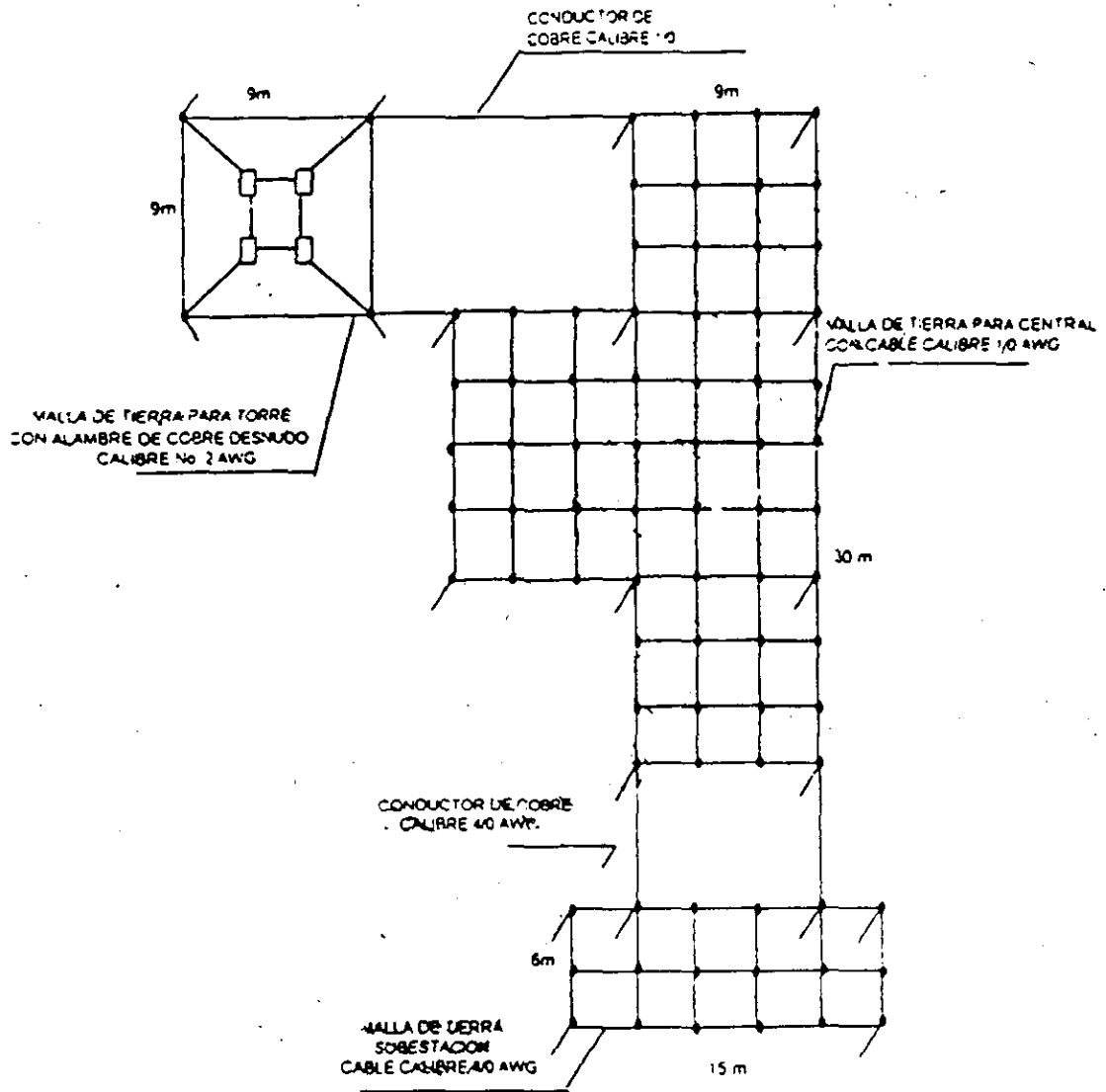
Figura.b. Registro de un Electrodo Copperweld

Figura 32a y b.



#### **4.5.- MALLA DE TIERRA.**

- La malla de tierra, debe de estar constituida por conductores colocados paralela y perpendicularmente, de tal manera que formen cuadros en relación 1:1 (mínimo la longitud del electrodo), por ejemplo: 3x3 m o rectángulos en relación 2:1, es decir, 6x3 m.
- Un conductor continuo debe de formar el perímetro de la malla de tierra, de manera que encierre toda el área que se encuentra el equipo que requiere conexión a tierra.
- La malla de tierra para la subestación eléctrica se constituirá con un conductor de cobre desnudo, calibre No. 4/0 AWG, temple semiduro y los conductores de puesta a tierra no serán menores al calibre No. 2 AWG.
- Para centrales telefónicas y URL's, el conductor de la malla de tierra debe ser de calibre No. 1/0 AWG, de cobre desnudo, temple semiduro.
- Para torres y repetidores de microondas, el conductor de la malla de tierra debe ser calibre No. 2 AWG de cobre desnudo, temple semiduro.
- Las diferentes mallas de tierra que se encuentran dentro del predio de TELMEX, se deben de interconectar en dos puntos como mínimo (Ver figura. 33.).
- La separación entre electrodos (Copperweld) debe ser como mínimo la longitud del electrodo y como máximo dos veces su longitud.
- Cada cruce de conductores de la malla debe conectarse rigidamente con soldadura Cadweld. Este tipo de conexión es permanente, no se afloja ni se corroe y tiene la misma capacidad de corriente que el conductor, las conexiones Cadweld pueden realizarse sobre cobre a cobre y sobre cobre a fierro (acero), su temperatura de fusión es igual al conductor de cobre (1083 grados centígrados).



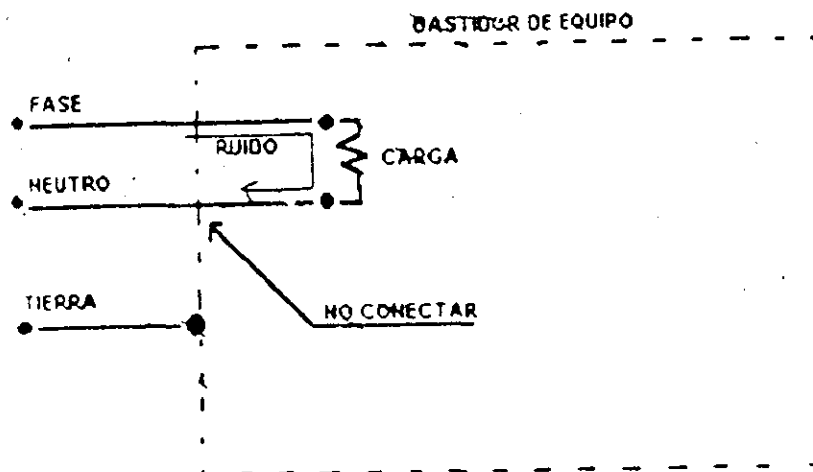
**Mallas de Tierra de Subestación, Torre y Central.**

Figura. 33.

#### 4.6.- PUESTA A TIERRA.

La puesta a tierra de sistemas, circuitos y equipo canalizaciones y cubiertas metálicas de cables, **debe ser permanente y continua**, los elementos que la constituyen deben de tener una capacidad suficiente para conducir cualquiera de las corrientes que pueden ser impuestas y pueden ser de **impedancia suficientemente baja** para evitar diferencias de potencial que puedan dañar, tanto a los equipos como al personal y para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobre corriente del circuito.

Consiste básicamente en el conectar a tierra las partes metálicas no conductoras de corriente que alojan a los sistemas o aparatos que utilizan energía eléctrica para su funcionamiento. Esto incluye todos los medios de canalización, cajas de registro, gabinetes metálicos, estructuras que soporten equipos eléctricos, carcasas de motores y generadores, tanques metálicos de transformadores y, en general, todas las estructuras metálicas (Ver figura. 34.)

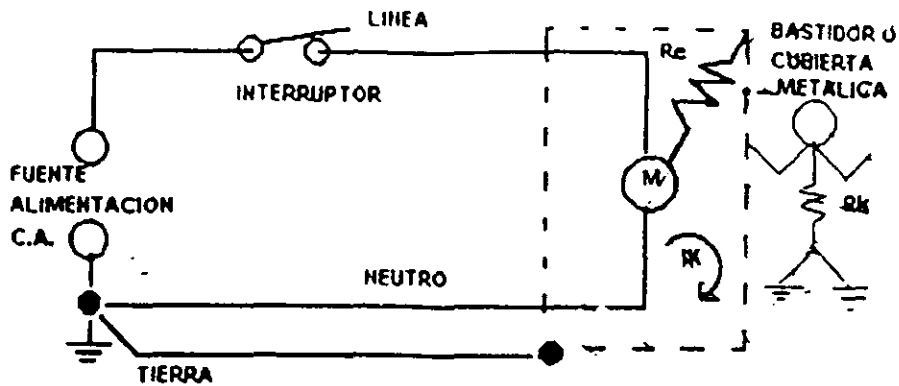


Puesta a Tierra del Equipo de CA.

Figura 34.

Un circuito eléctrico, debe conectarse a tierra para limitar las sobre tensiones debidas a fenómenos transitorios del propio equipo o a contactos

accidentales con otras fuentes de energía con mayor tensión (Condiciones anormales) (Ver Figura. 35.).



- Re = Resistencia entre equipo y cubierta metálica.
- Rk = Resistencia del cuerpo humano.
- Ik = Corriente de falla.
- M = Motor.

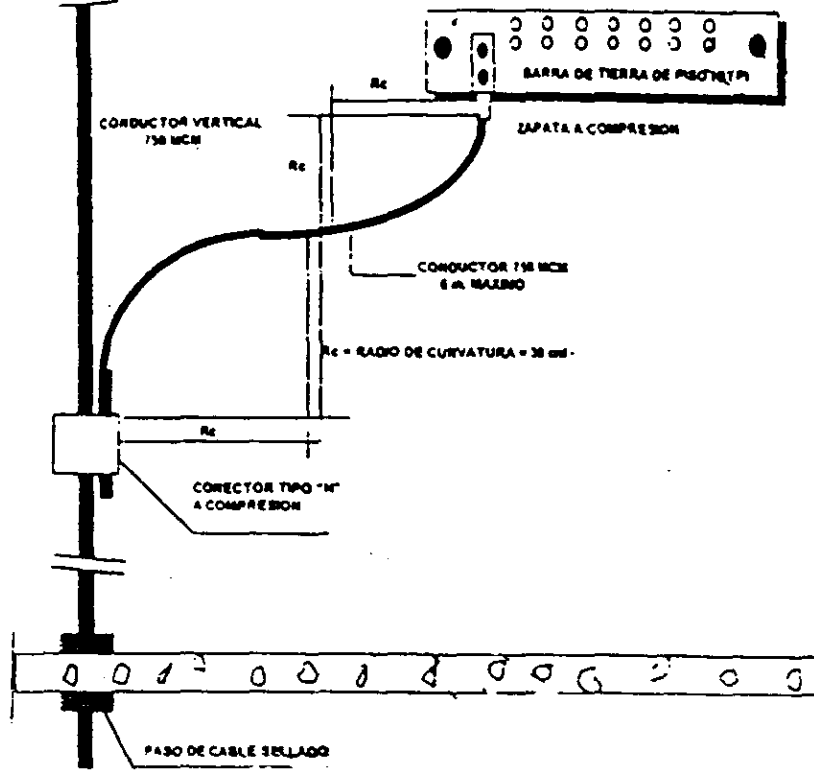
**Conexión a Tierra Correcta.**

Figura 35.

#### **4.7.- NORMAS Y ESPECIFICACIONES.**

- a) Las trayectorias del cableado de energía de CD y CA deben de ir en canalizaciones independientes (charolas, escalerillas, tuberías).
- b) Los conductores de puesta a tierra (CTP) no deben de instalarse dentro de la tuberías metálicas, excepto en circuitos de alimentación de C A en donde el CTP debe ir por la misma tubería.
- c) Las canalizaciones metálicas, así como su conexión a cajas de registro, conduit, gabinetes, distribuidores, bastidores y tableros, deben de tener una continuidad eléctrica efectiva a lo largo de todo el sistema de canalización, con una adecuada conexión a tierra.

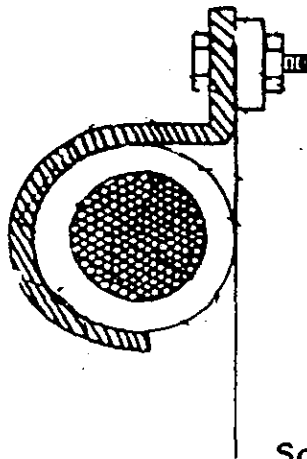




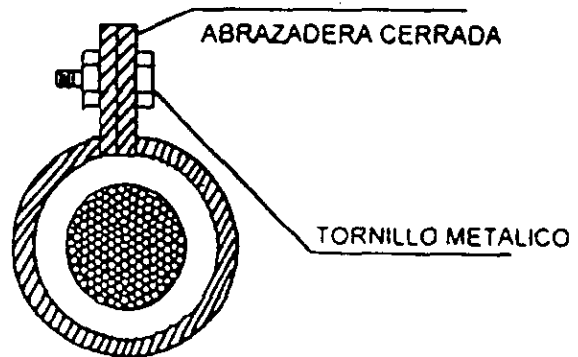
**Radios de Curvatura Permisibles.**  
 Figura 37.

i) la fijación metálica de los CPT puede producir alta impedancia, impidiendo el paso de la corriente a través del conductor, por lo que se debe de cumplir con lo siguiente (Ver Fig. 38):

**SOPORTE CORRECTO**



**SOPORTE INCORRECTO**



**Soportes de Fijación Metálica.**  
 Figura 38.

j) Los CTP deben de conectarse por la parte superior de la barra de tierra de piso correspondiente, de modo que permita el flujo de corriente en cascada. (Ver Figura 39.)

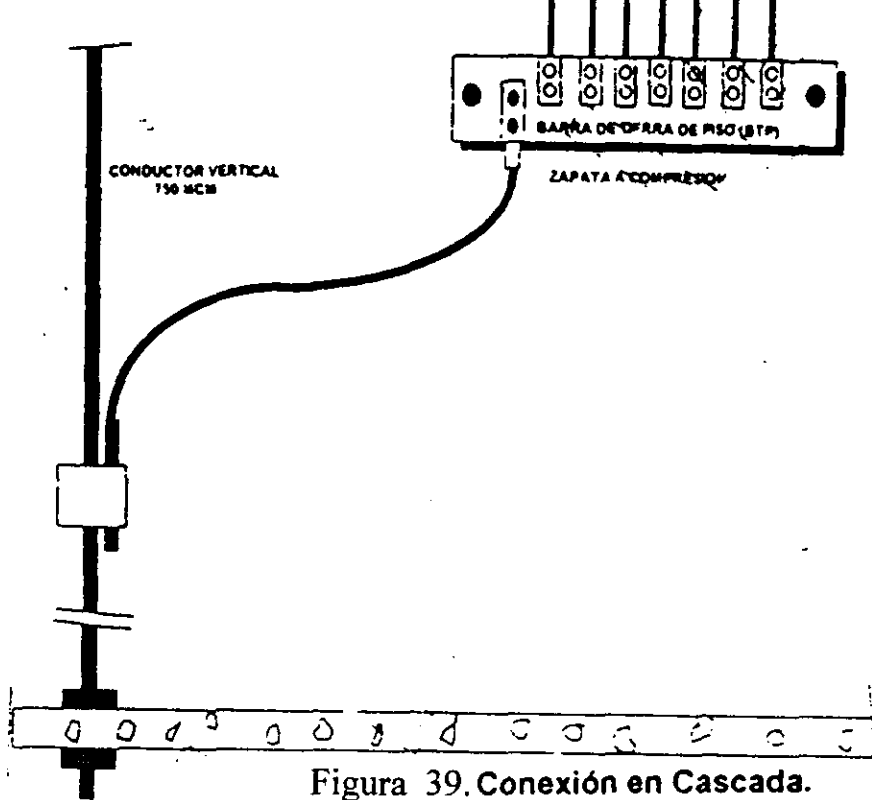
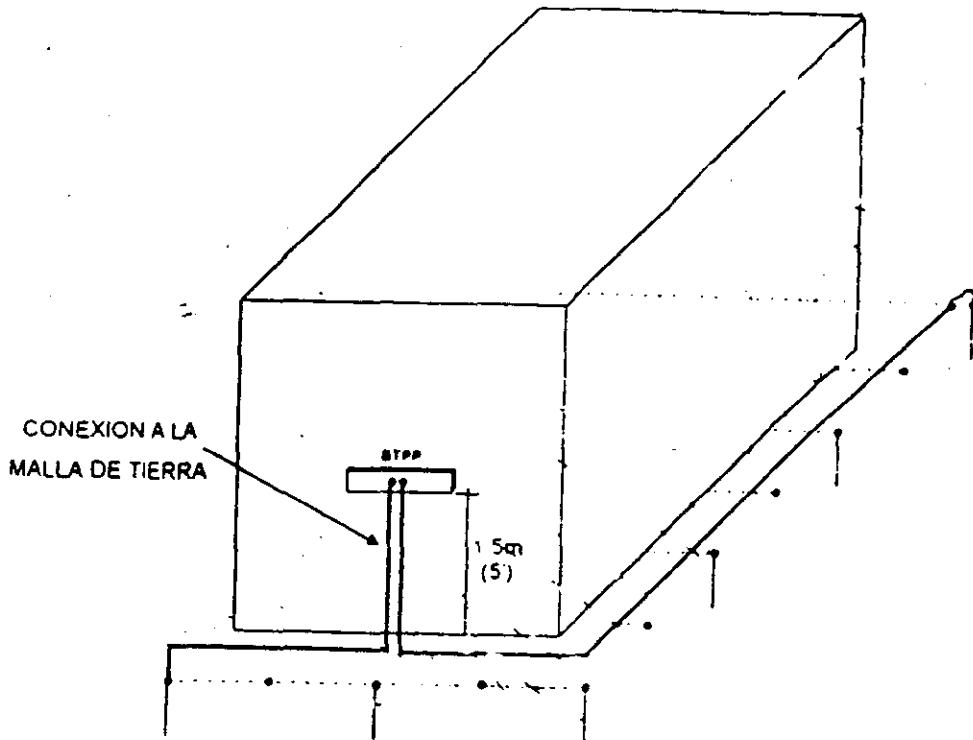


Figura 39. Conexión en Cascada.

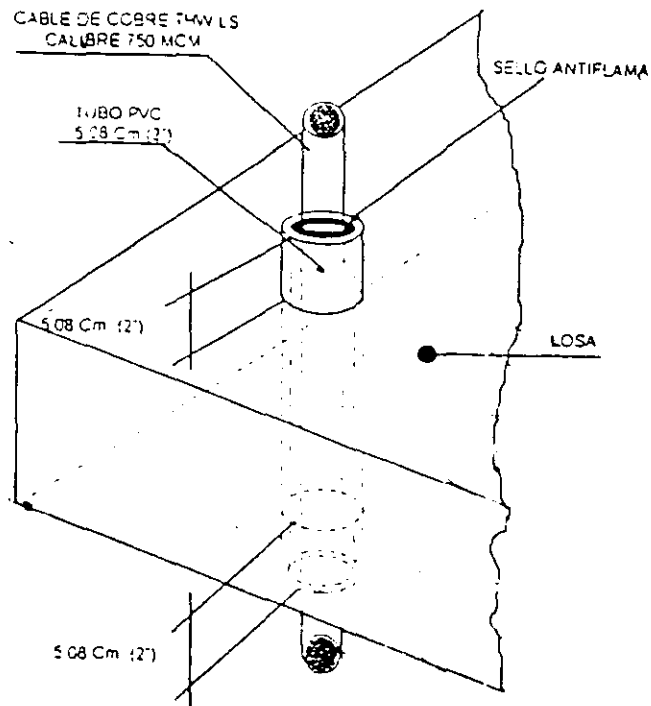
k) Deben existir dos puntos de Conexión de la BTTP a la malla de tierra, uno en cada extremo por seguridad (Ver figura 40).



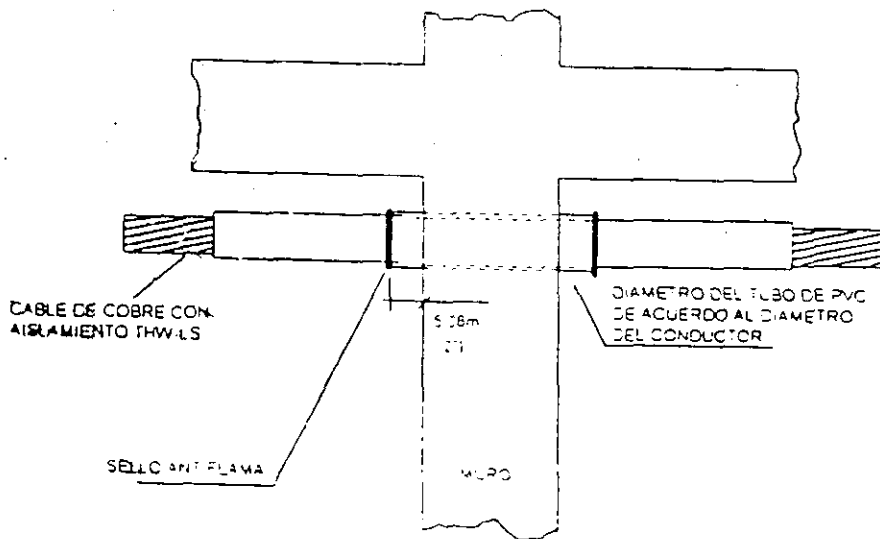
Conexión de puesta a tierra de la BTTP en RMO's, URL's y contenedores  
Figura 40.

- l) Es obligatorio el uso de la Pulsera Antiestática para drenar la carga electrostática a tierra, antes de realizar cualquier intervención en el equipo digital y en el manejo de tarjetas. Todo bastidor de equipo debe tener un punto para conexión a tierra con su identificación, incluyendo los gabinetes de almacenamiento de tarjetas.
- m) No debe introducirse ni conectarse al interior del edificio ningún CTP de pararrayos o Torre de Microondas.
- n) No se permiten empalmes en ningún conductor de CA, CD y puesta a tierra
- ñ) La resistencia del aislamiento de los equipos digitales que se encuentran en plano aislado, no debe ser menor a 100,000 ohms.
- o) Los CTP que atraviesen losa o muros, deben ser a través de un tubo de PVC, rebasando el límite de muro o losa en ambos extremos al menos 5.08 cm (2") y se deben sellar con material antinflama en ambos extremos: (Ver figura. 41a y b.)





Paso de Cable por Losa.



Paso del Cable por Muro.

Figura 41a y b

p) Las conexiones en el interior del edificio deben ser a compresión, las externas deben ser con soldadura exotérmica (Cadweld) (Ver figura. 42a y b)

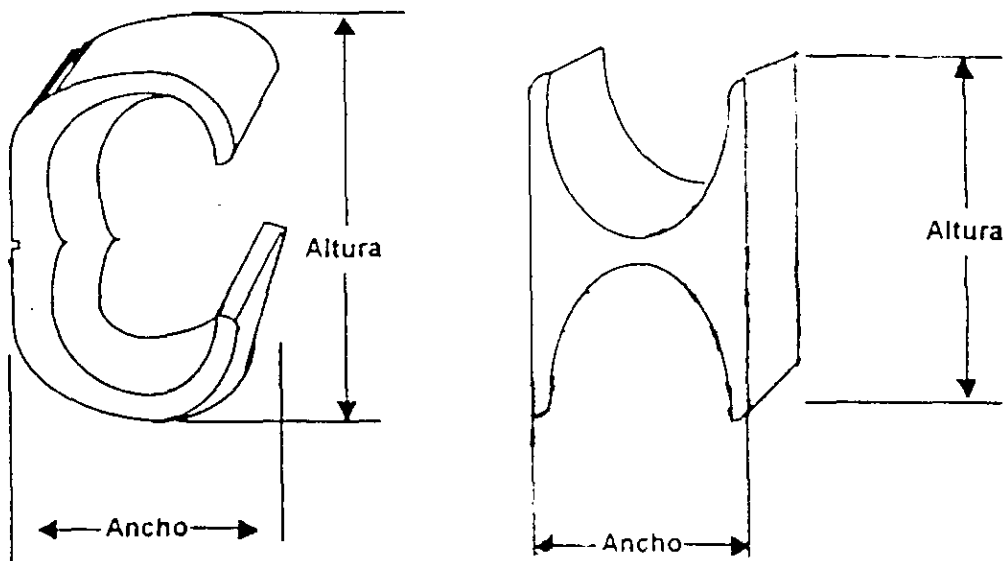
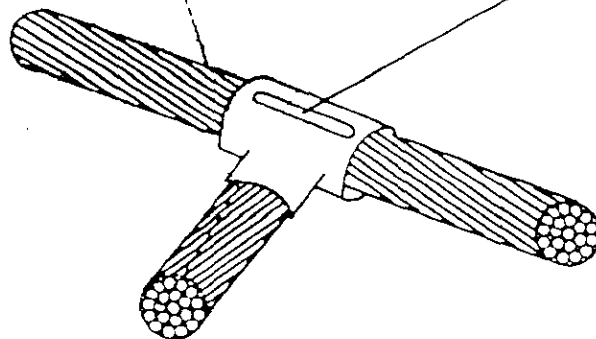


Figura 6.2.7a Conexiones de Compresión de Cobre Tipos "C" y "H".

CABLE DE COBRE TRENZADO  
DESNUDO DE 1/0 AWG

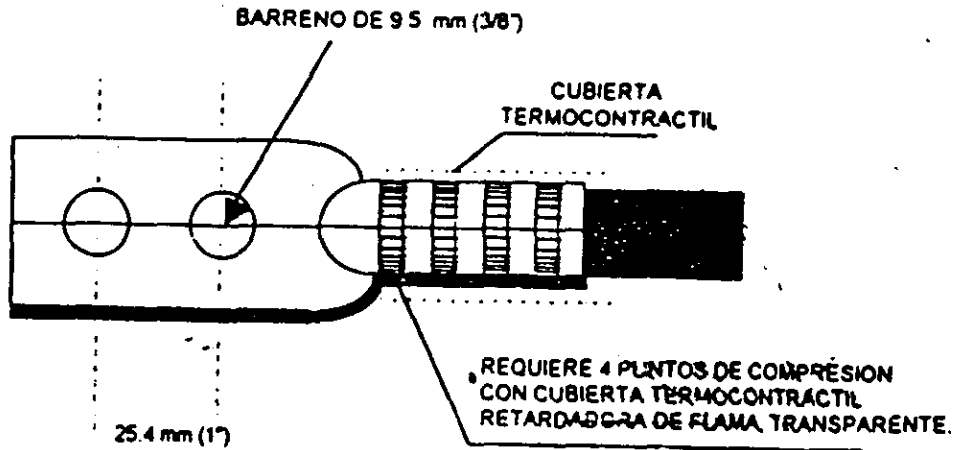
CORDON DE SOLDADURA  
CADWELD CABLE A CABLE  
TIPO TA EMPALME EN "T"



Conexión Cadweld.

Figura 42a y b

q) Todas las conexiones de conductor a barra en el interior del edificio se deben de realizar mediante conector a compresión dobleojillo, cañón largo y cubierta termocontráctil transparente (Ver Figura 43)

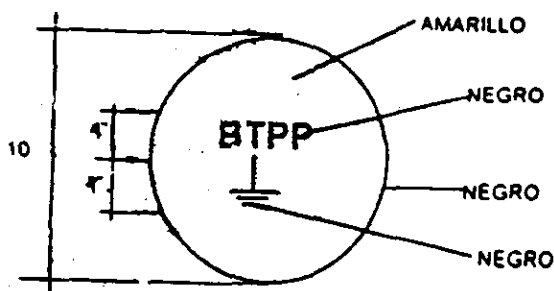


**Terminal de Compresión.**

Figura 43.

r) Las barras de cobre que utilicen para la puesta a tierra deben de identificarse, según la terminología de la siguiente forma :

- \* Con letra de golpe de 3 cm (1.25") en ambas superficies de la barra.
- \* En muros o en columnas, en círculo de fondo amarillo, el símbolo de tierras letras negras.



\*Donde no se pueda aplicar lo anterior ,se debe instalar un rótulo de identificación en una placa de plástico o acrílico, de la misma característica antes citada.

s) La resistencia de la malla de tierra debe ser como lo indica la tabla 2.

Tipo de Edificio	Resistencia "R" ohms ( $\Omega$ )
Edificio Urbano y URL's	$\leq 5$
Edificio Rural, RMO, RAM, RFO y PLANTA EXTERNA.	$< 25$

t) Los CTP que corren en el interior del edificio deben de ser visibles, con aislante tipo THW -LS de color verde.

u) Para la sujeción de uniones de cobre a cobre de los conductores a las barras y de las barras a los aisladores se deben de utilizar tornillos y tuercas de bronce al silicio de cabeza hexagonal de cuerda standard. Para uniones, cobre acero u otros materiales utilizar tornillos de acero cadminizado. En ambos casos, respetar los torques que se especifican en la tabla 3.

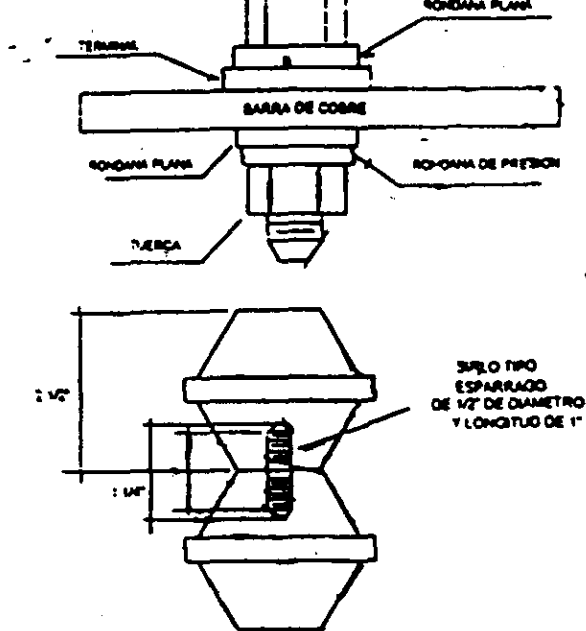
TORNILLERIA DE BRONCE /ACERO CADMINIZADO	TORQUE RECOMENDADO		AISLADORES DE 2 1/2" DE ALTURA	
	LB-PIE	LB-PULG	LB-PIE	LB-PULG
1/4	7	84		
5/16	15	180		
3/8	20	240		
1/2	40	480	50	600
5/8	55	660		
3/4	158	1900		

Tabla 3.

\*La tornilleria, debe de tener un determinado número de hilos por pulgada y dos hilos de cuerda sobresaliente de la tuerca.

\* Los tornillos para terminales de conexión debe tener dos rondanas planas y una de presión (Ver figura. 44.)

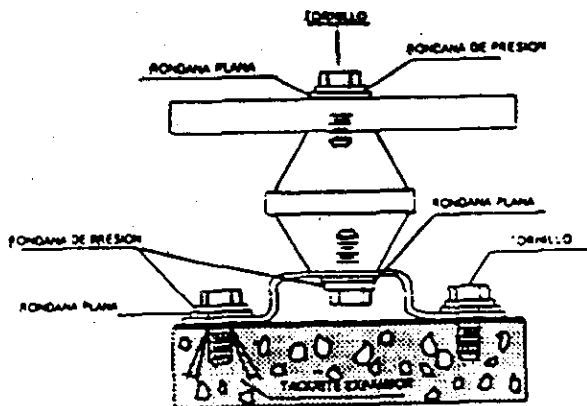
\* Para unir dos aisladores deben utilizarse un birlo de 1/2 pulgada tipo espárrago entre ellos. (Ver figura 44.)



### Tomillería en Barra de Cobre y entre Aisladores.

Figura 44.

\* Los tornillos de fijación en muros y estructuras metálicas deben de tener una rondana plana y una de presión y estos deben de ser de acero cadminizado. Para sus torques debe utilizarse la tabla 3 (Ver Figura 45).

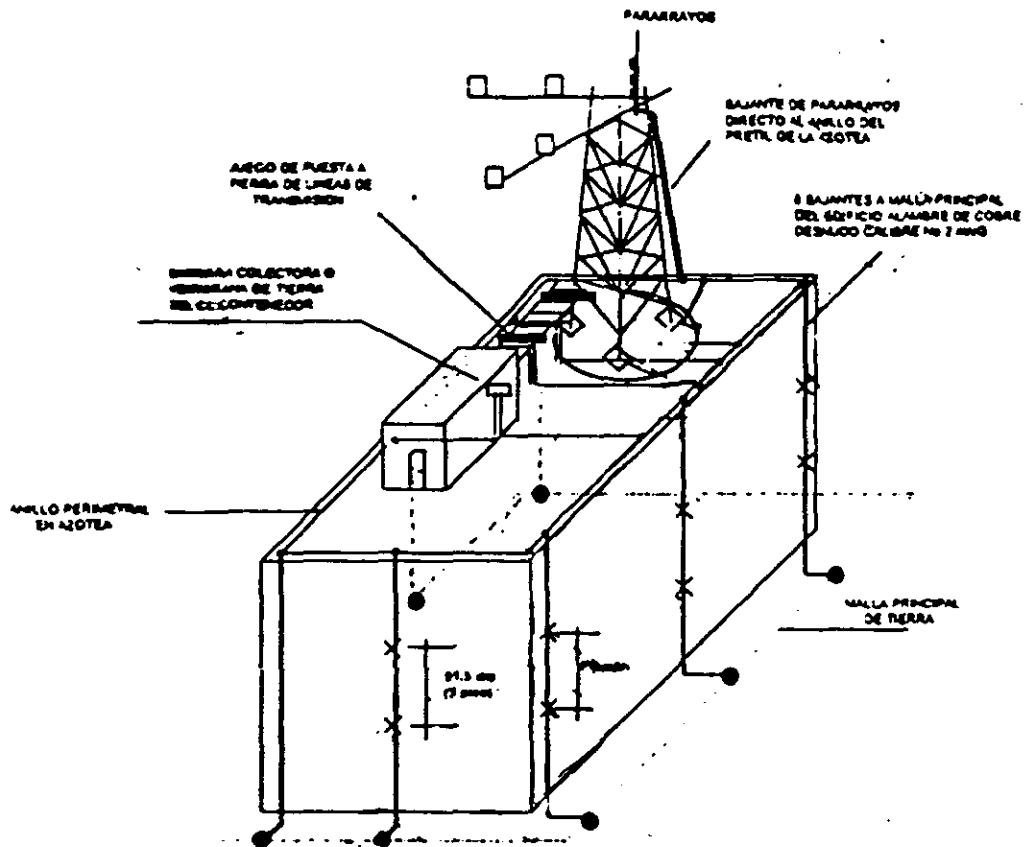


### Tomillería para Fijar a Muros y Estructuras Metálicas

Figura 45.

v) Para la compresión de terminales y conectores se debe utilizar herramienta hidráulica con doce toneladas de potencia y presión de operación de 10000 lbs/pg<sup>2</sup> mínima.

W) En la azotea de los edificios se debe instalar un anillo perimetral con alambre de cobre desnudo, temple semiduro, calibre numero 2 (AWG), para la puesta a tierra de todos los equipos y partes metálicas ubicadas en la misma (Ver Figura. 46.).



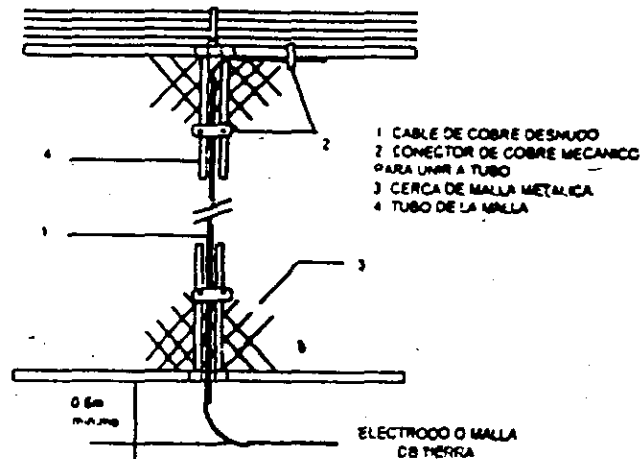
**Anillo Perimetral de la Azotea.**

**Figura 46.**

- Para edificios de concreto armado cuya altura sea menor o mayor 30.48 metros (100 ft) se deben instalar ocho bajantes de alambre de cobre desnudo, temple semiduro, calibre No 2 AWG conectados directamente a la malla principal de tierra. (Ver figura 46.)
- Para edificios con estructura metálica cuya altura sea mayor a 30.48m (100 ft) no se requiere la instalación de las 8 bajantes. El anillo perimetral de la azotea debe ser conectado directamente a la estructura metálica del edificio en 8 puntos. Esta estructura debe ser conectada en su base a 8 puntos de la malla principal de tierra.
- La fijación del anillo perimetral de la azotea y bajantes deben ser a cada 91.5 cm con abrazadera tipo uña. (Ver figura 46.)
- Todos los equipos y/o estructuras metálicas que se encuentren instalados en la azotea, deben ser conectados con soldadura exotérmica (Cadweld) al anillo perimetral de la azotea, como alambre desnudo de cobre, temple semiduro, calibre No 6 AWG. Ver figura 46. Anillo perimetral.

x) Las cercas ciclónicas perimetrales deben ser puestas a tierra de la siguiente manera (Ver figura 47):

- Si la distancia a la malla de tierra principal del edificio, es menor o igual a 2 m se debe de conectar a ésta con alambre de cobre desnudo, temple semiduro, calibre No 2 AWG, en dos puntos diferentes.
- Si la distancia a la malla de tierra principal del edificio es mayor de 2 m deben instalarse electrodos a lo largo de la cerca cada 6m, para finalmente interconectarla a la malla en dos puntos opuestos como mínimo con alambre de cobre desnudo, temple semiduro, calibre No 2 WAG.



**Conexión Típica de una Malla Ciclónica.**

Figura 47.

y) En todas las conexiones de tierra deben eliminarse la pintura a residuos, con una lija fina, del área de contacto del gabinete o barra a conectar .

#### 4.8.- CABLE VERTICAL (CV).

Es un conductor que tiene como función principal igualar el potencial eléctrico en cada nivel y proporcionar una referencia a tierra de baja impedancia para drenar cualquier corriente de falla (Ver figura 48).

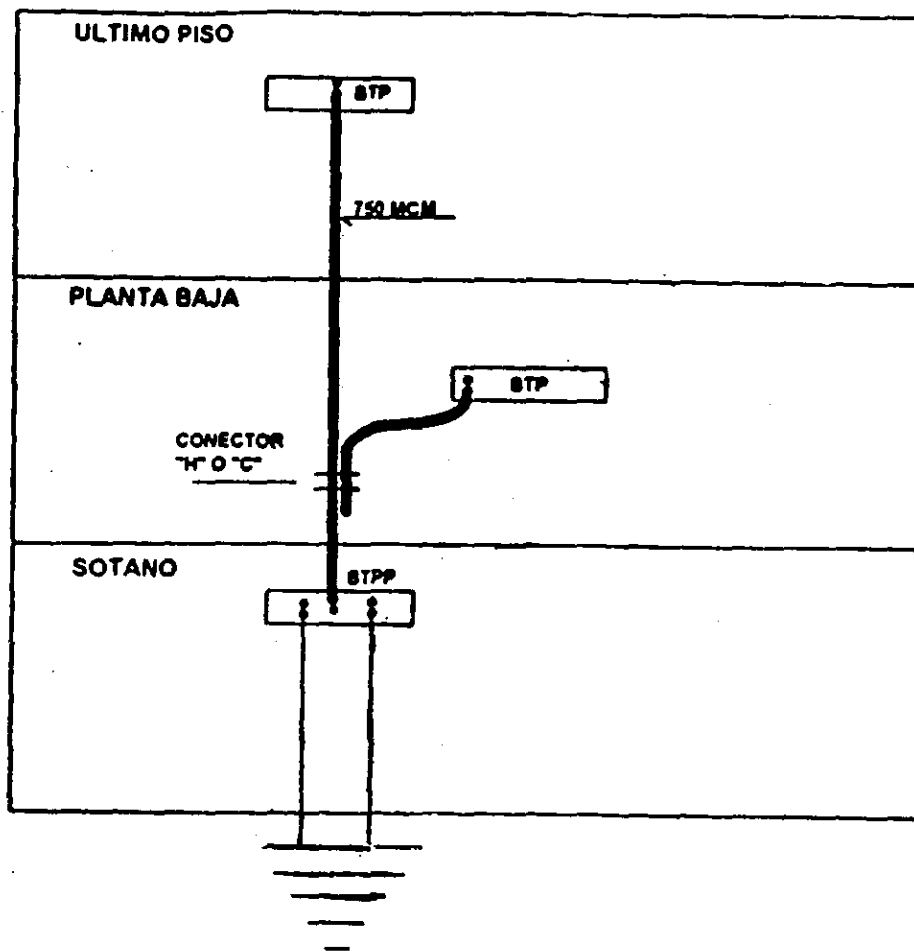
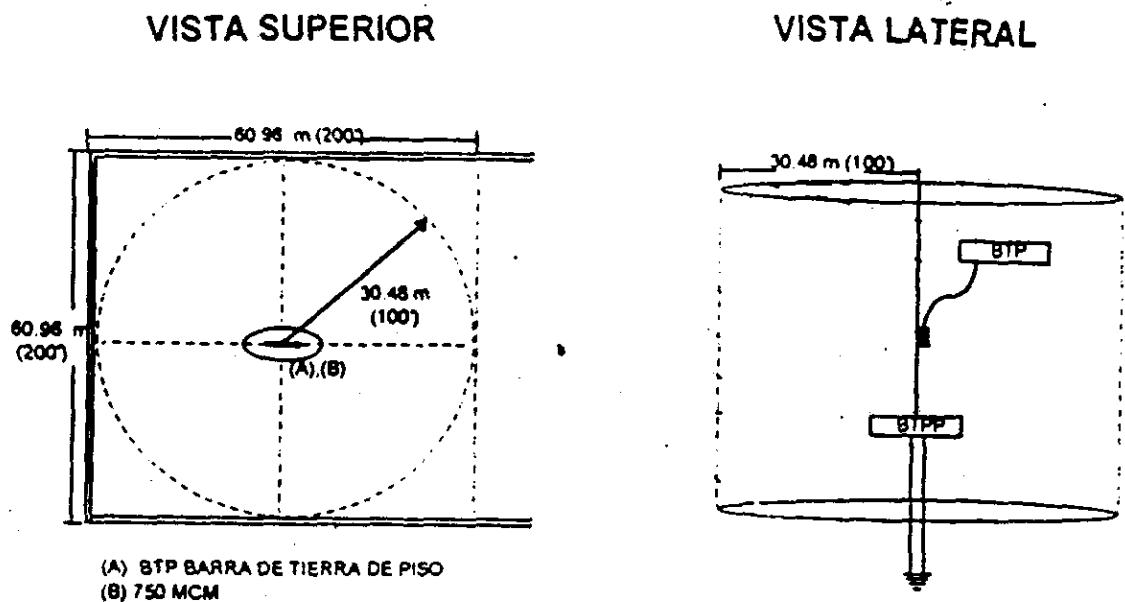


Figura 48 Conexión del cable vertical



#### 4.8.1.- NORMAS.

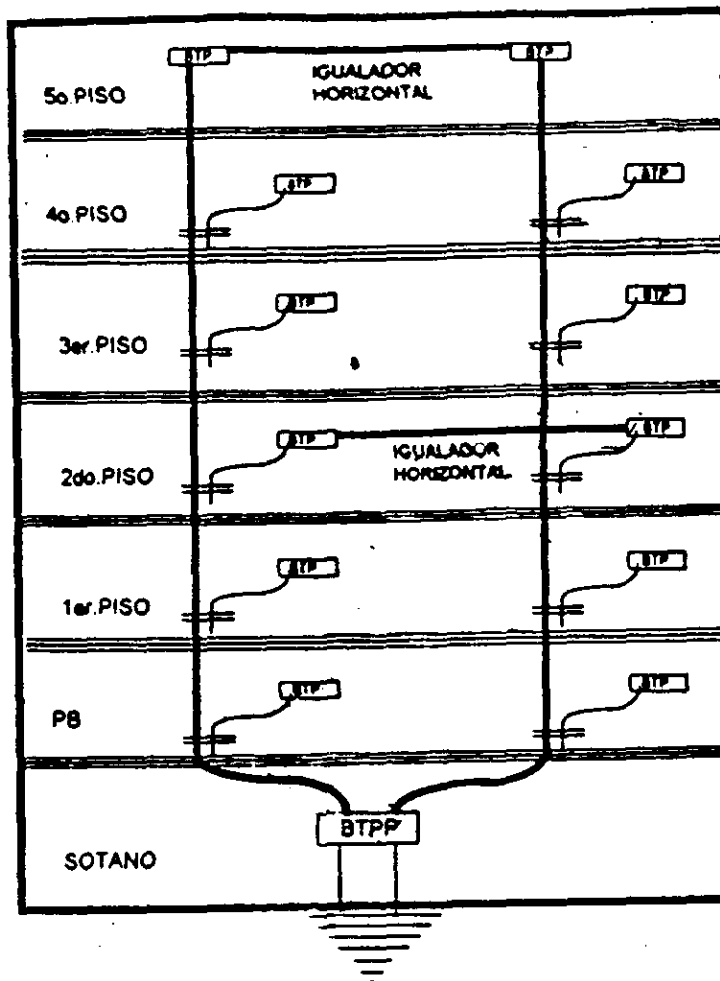
- a) El CV debe ser de una sola pieza.
- b) Se debe de establecer la trayectoria más recta posible del CV.
- c) El CV se debe instalar en la posición de mayor cobertura radial de 30.5 m (100') y por ninguna razón el equipo que se encuentre fuera de este radio debe de conectarse al CV (Ver figura 49).



**Area de Cobertura del Cable Vertical.**

Figura 49

d) En los casos de instalación que sobrepasen los 30.5 metros (100') de radio se deben instalar los verticales necesarios, interconectandolos a la misma barra de tierra principal (BTTP), afín de cubrir el área total del edificio. Para igualar potenciales, estos verticales se interconectarán cada tres niveles a través de la barra de tierra de piso (BTP), mediante un conductor de las mismas especificaciones del CV, que se llama igualador horizontal (IH) (Ver Figura 50).

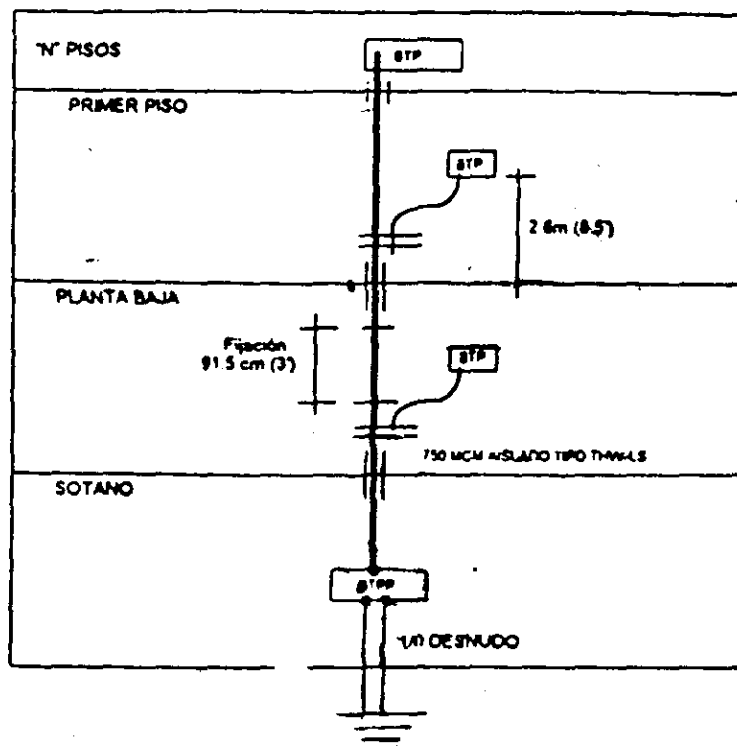


**Instalación Típica de Cables Verticales e Igualadores Horizontales.**

Figura 50

e) No se permite conectar ningún equipo al IH.

f) El extremo superior del CV en el último piso del edificio, debe conectarse en la BTP (Ver figura 51)



**Conexión del Cable Vertical en su Extremo del Ultimo Piso  
Directo a la BTP.**

Figura 51.

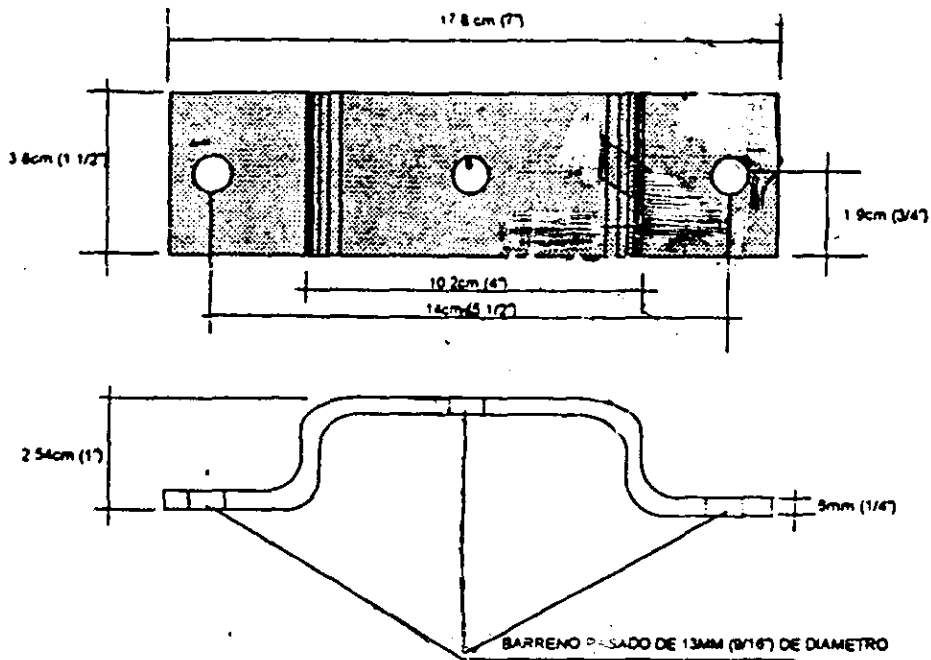
#### 4.8.2.- ESPECIFICACIONES.

a) **Para edificios de mas de un nivel**, se utilizará cable de cobre con temple semiduro, calibre 750 MCM, de 61 hilos, con aislamiento tipo THW-LS color verde, 600 volts, 90° C.

b) **Para unidades remotas de línea (URL's), repetidores de microondas y fibra óptica (RMO's y RFO's)**, se utilizará cable de cobre con temple semiduro, calibre 1/0 AWG, de 19 hilos, con aislamiento tipo THW-LS color verde, 600 volts, 90° C.

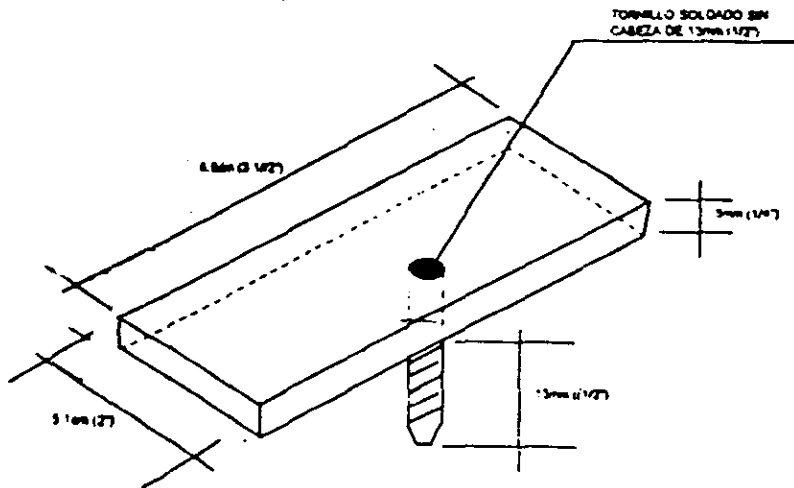
c) **Para proyectos rurales, como son: Multiplexores de Abonados, Radios Punto a Punto y Sistemas de Radio de Acceso Múltiple (RAM), instalados a la intemperie**, se utilizará alambre de cobre desnudo con temple semiduro, calibre No. 2 AWG y, para posteria de madera, calibre No 6 AWG.

d) El CV, la BTPP, BTP y la BVT deben estar separadas de la pared y columnas una distancia mínima de 7.6 cm (3"), con una solera de fierro galvanizado y un aislador de resina epóxica. Ver especificación para sujeción del cable y barra de tierra ( Ver figura 52. a, b,c,d,e y f).



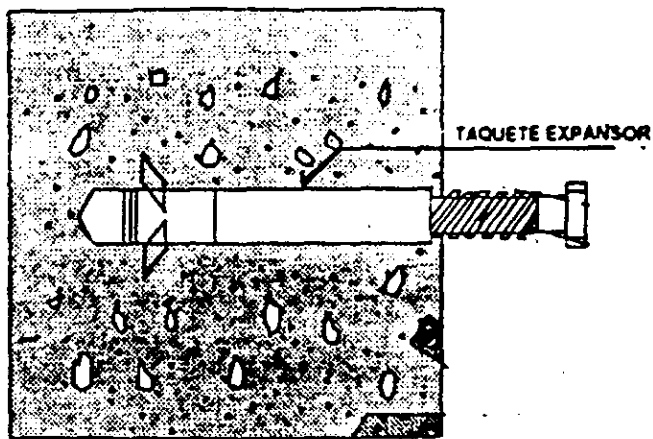
### Especificación de la Solera de Fierro Galvanizado.

Figura 52a.



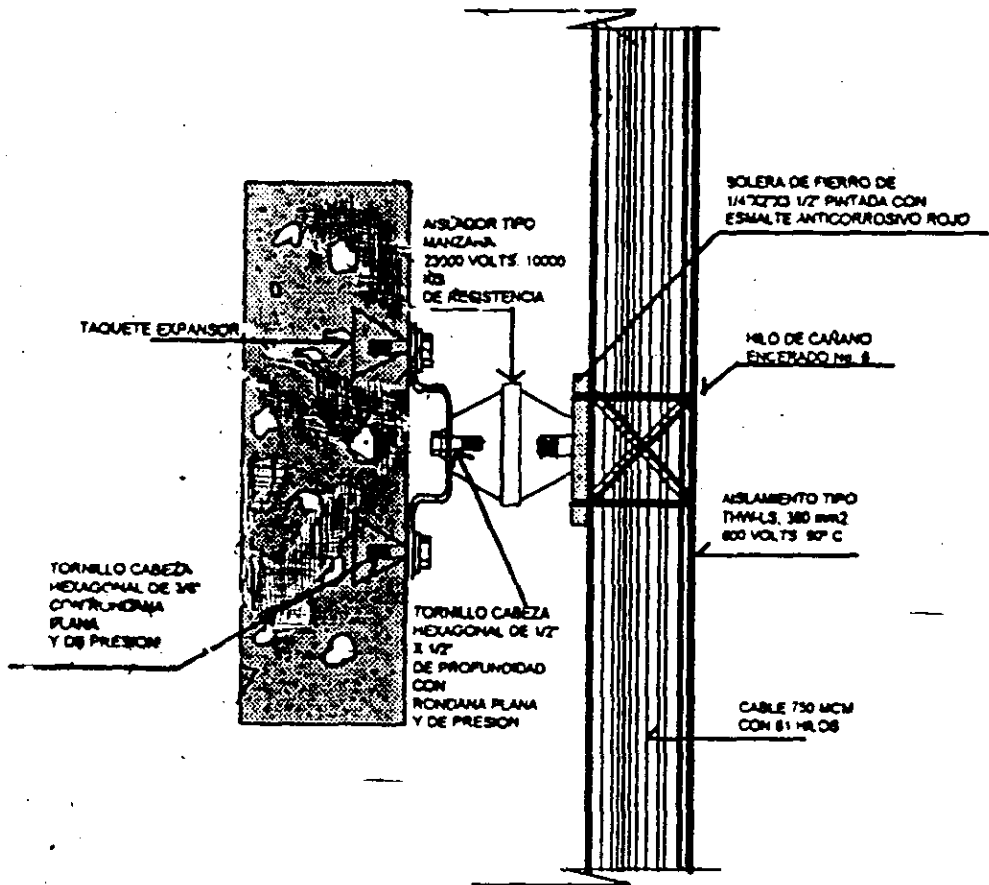
Solera de Fierro para la Sujeción del Cable Vertical al Aislador tipo Manzana.

Figura 52.b.



Taquete Expansor de 3/8"

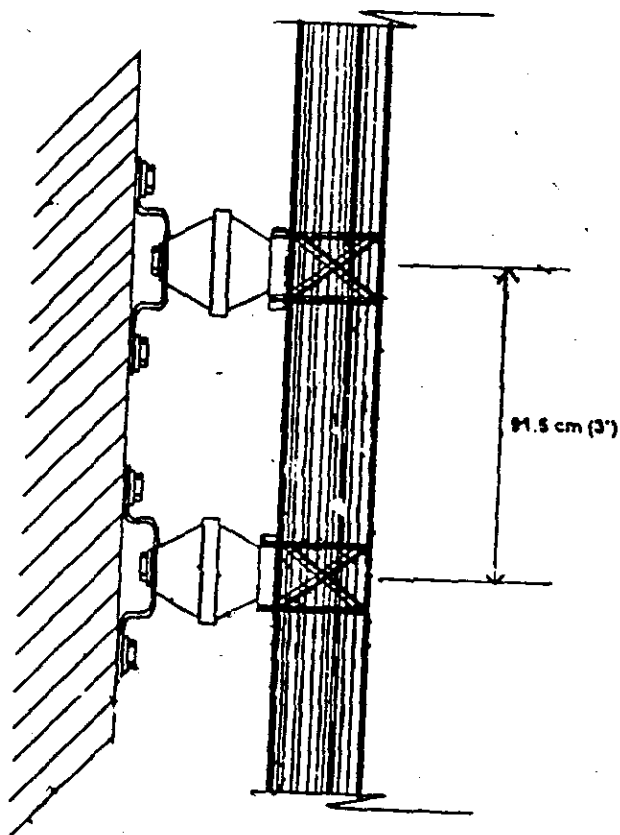
Figura 52c



Sujeción para el Cable Vertical.

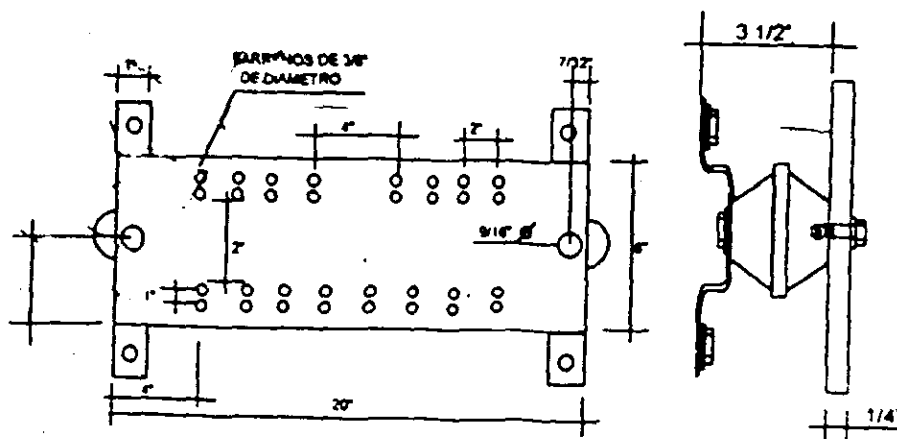
Figura 52d.

e) Los soportes para la fijación del cable vertical se instalarán cada 91.5 cm (3") a lo largo de la trayectoria del cable (Ver figura 52e)



**Separación entre Soportes de Fijación del Cable Vertical.**

Figura 52e

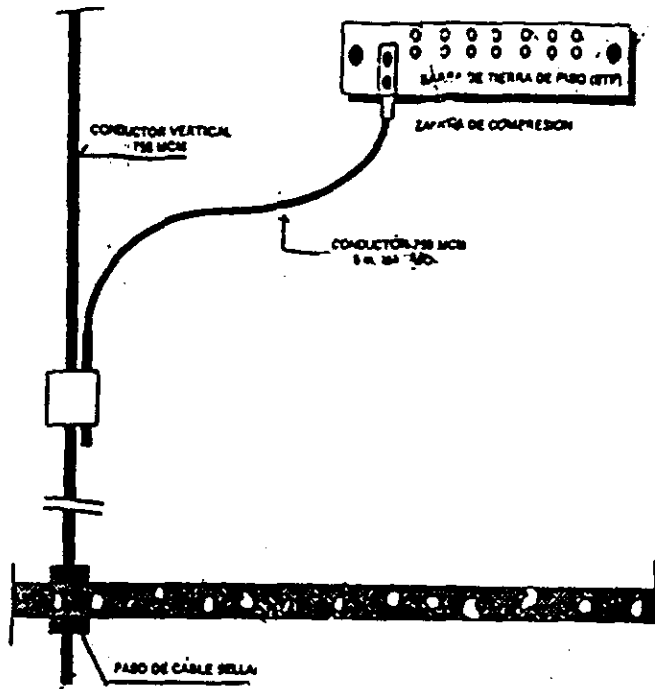


**Sujeción de las barras de cobre.**

Figura 52f.

### 4.8.3.- NORMAS DE LA BARRA DE TIERRA DE PISO (BTP)

a) La longitud del conductor, entre la BTP y el CV, no debe exceder de 6.1 metros (20') (Ver figura 53)

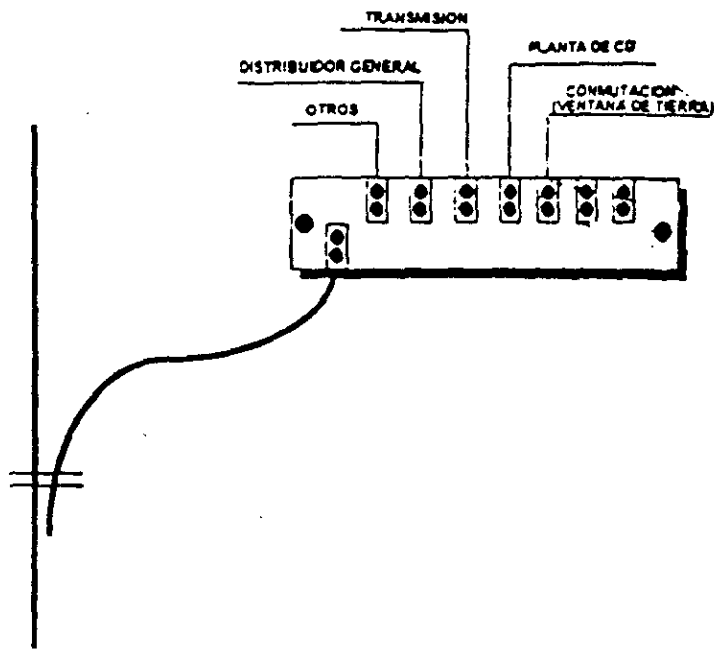


**Longitud Máxima del Conductor entre el Cable Vertical y la Barra de Tierra de Piso.**

Figura 53

b) El orden de conexión típica de la BTP es como se muestra en, la figura 54

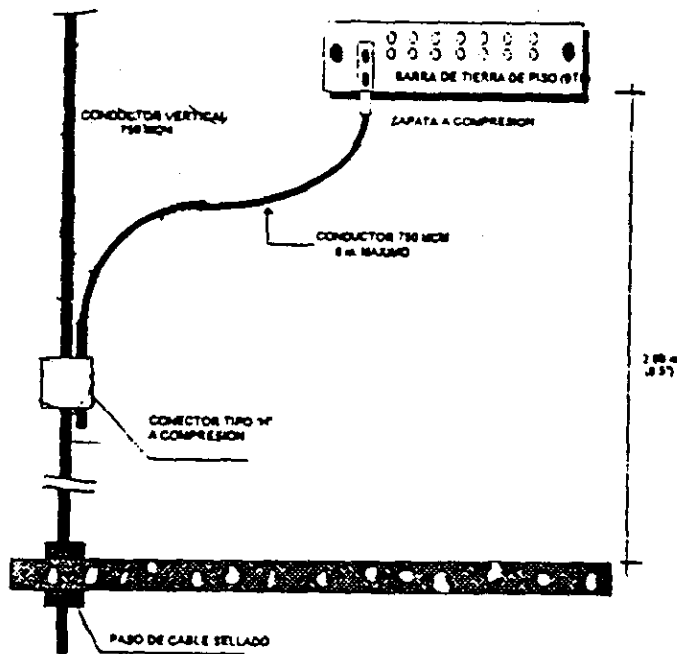
\* Debe conectarse cerca del CV el equipo que produce más ruido.



Conexión Típica a la Barra de Tierra de Piso.

Figura 54

c) La BTP debe estar instalada a una altura de 2.60 metro (8.5') del nivel del piso (Ver figura 55)

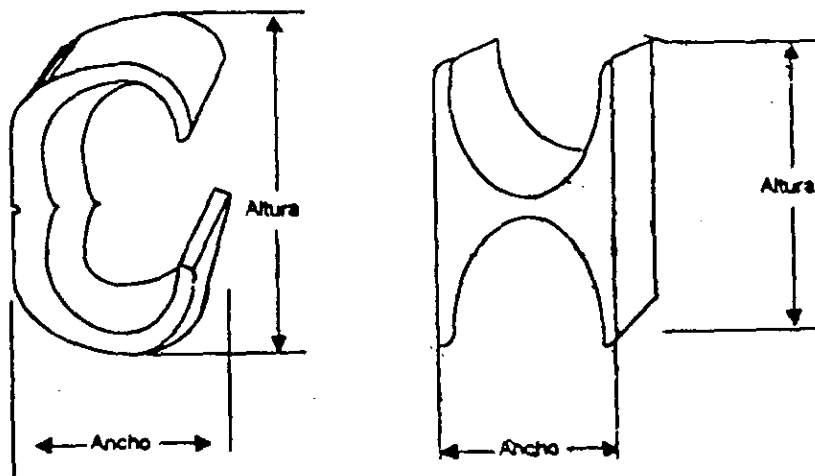


Altura de Instalación de la BTP.

Figura 55.



d) El conductor para conectar la BTP al CV es de las mismas especificaciones del punto 7.2 inciso a), estos conductores se deben unir a través de conectores de compresión de cobre tipos "H" o "C" ( Ver figuras 56)

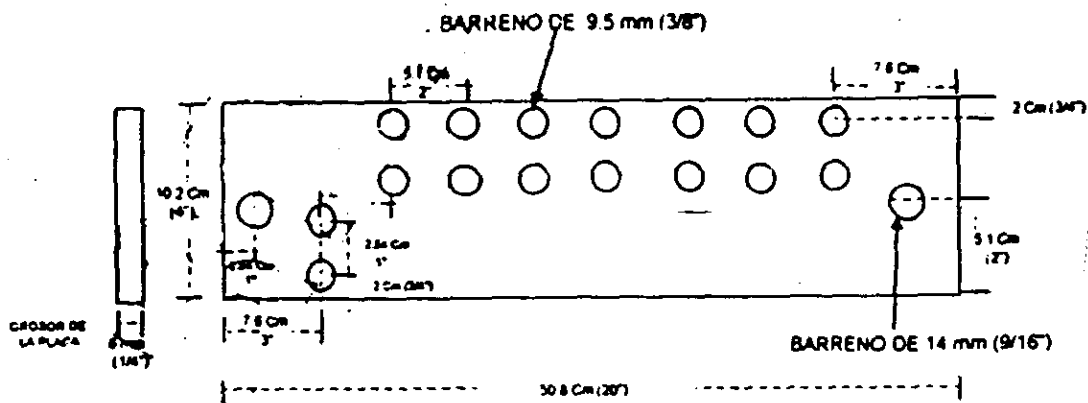


Conectores de Compresión de Cobre Tipos "H" ó "C".

Figura 56

#### 4.8.4.- ESPECIFICACIONES DE LA BTP.

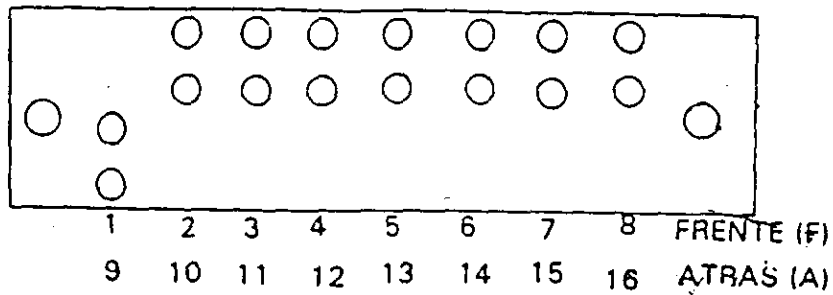
a) La BTP es una barra de cobre y sus dimensiones se especifican en la figura 57.



Especificación de la Barra de Piso BTP.

Figura 57.

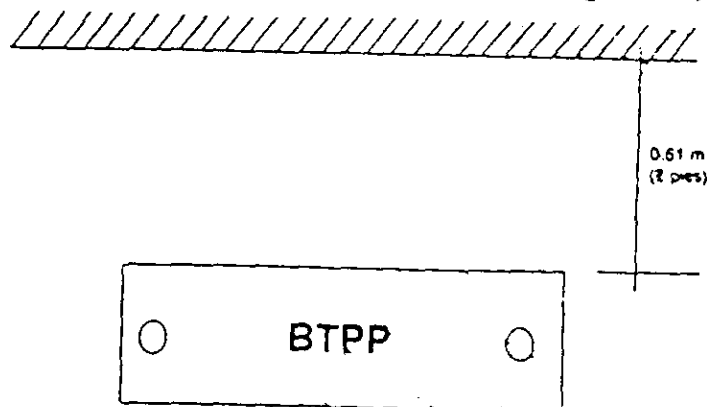
b) El orden de numeración de conexiones de la BTP será como se indica en la siguiente figura:



BTP- Barra de Tierra de piso. Localización: Columna 3B.			
Columna	A	B	C
Línea	Posición	Calibre del Cable	Asignación
1	1F	750MCM	Cable Vertical (CV)
2	1A		
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

#### 4.8.5.- NORMAS DE LA BARRA DE TIERRA DE PUNTO PRINCIPAL.

a) La BTPP debe estar instalada a una distancia de 0.61 m (2') de losa ó trabe de la fosa de cables en centrales urbanas (Ver figura 58)



Instalación de la BTPP en la Fosa de Cables.

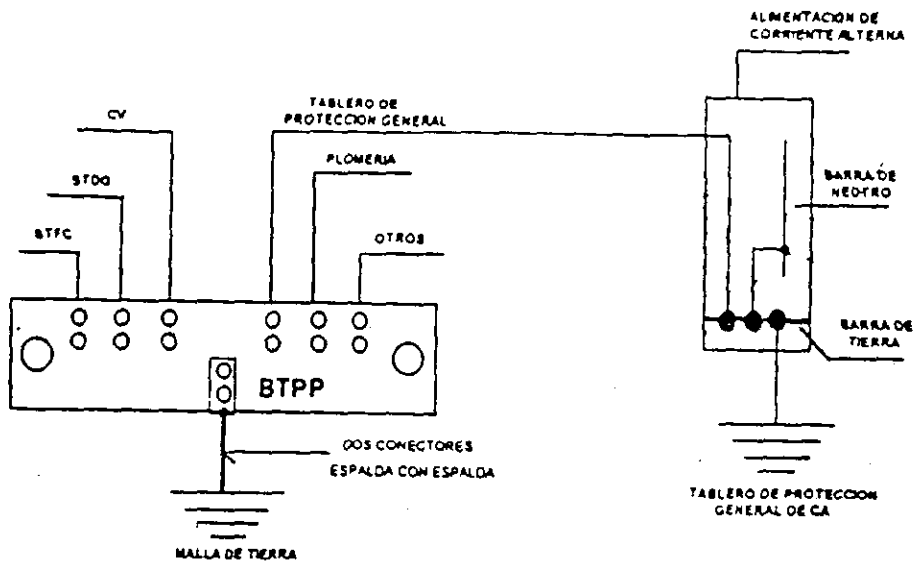
Figura 58.

b) En unidades remotas de línea, repetidores de microondas y fibra óptica, debe instalarse la BTTP lo más cerca posible de la acometida de corriente alterna o del tablero de protección general de CA.

c) La BTTP debe estar conectada a la malla de tierra en dos puntos opuestos, por seguridad.

d) La BTTP debe estar instalada a una altura de 1.5 m (5') del piso de URL's RMO's y RFO's.

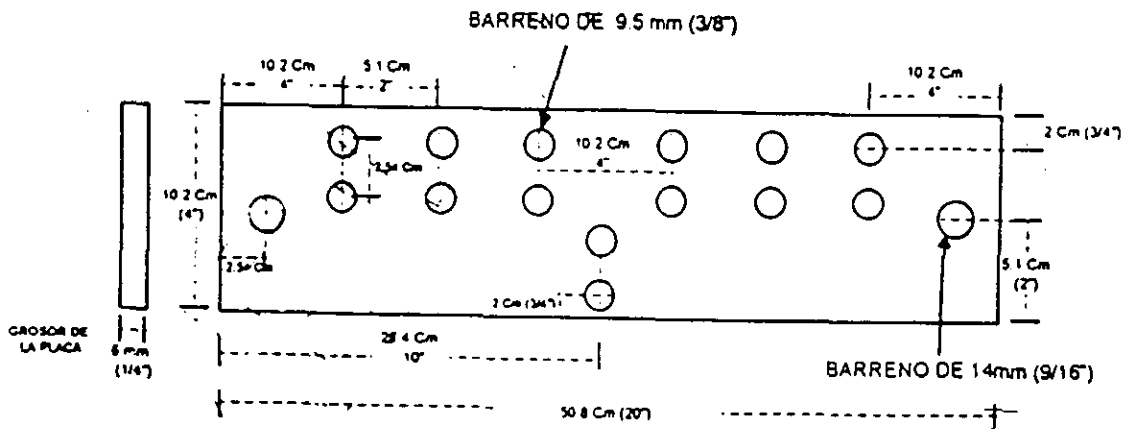
e) Las conexiones típicas de una BTTP deben ser como se muestra en la (figura 59)



**Conexiones Típicas de una BTTP.**

Figura 59

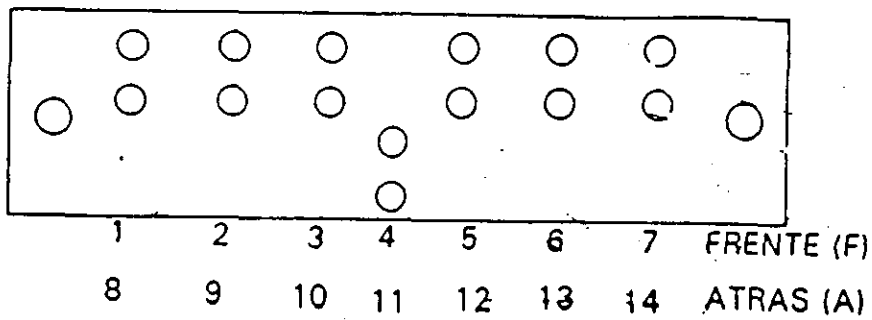
f) La BTTP es una barra de cobre y sus dimensiones se especifican en la siguiente figura 60



**Especificación de la BTTP.**

Figura 60

g) El orden de numeración y conexión de la BTTP será como se indica en la siguiente fig.



BTTP- Barra de Tierra de Punto Principal. Localización: Planta Baja (y/o Sótano).			
Columna	A	B	C
Línea	Posición	Calibre del Cable	Asignación
1	4F 4A	1/0	A la malla de Tierra
2	3F	1-750 MC	Cable Vertical (CV)
3			
4			
14			

#### **4.9.- VENTANA DE TIERRA (VT).**

Los modernos equipos de conmutación digital requieren de la incorporación del concepto de plano aislado, que consiste básicamente en la puerta a tierra a través de un punto único denominado ventana de tierra. La Ventana de Tierra, es una zona de transición tridimensional consistente en una esfera imaginaria con un radio máximo de 91.5 cm (3"), cual es la interface entre el plano integrado y el plano aislado de tierra. Físicamente la VT esta representada por una o varias barra de cobre interconectadas, denominada Barra de Ventana de Tierra (BVT).

**PLANO INTEGRADO DE TIERRA.** Es un conjunto de estructuras metálicas que se fijan al piso, paredes y techo sin aislamiento y que están intencionalmente puestos a tierra en más de una conexión. Es usual hacer conexiones múltiples de los bastidores a la referencia de tierra para reducir la caída de voltaje a niveles aceptables. La caída de voltaje ocurre cuando existe flujo de corriente a través de esos bastidores durante la ocurrencia de fallas en los sistemas de fuerza de CA o CD y cuando un rayo le pega a el edificio. Las estructuras metálicas de los edificios, tuberías de agua, piso falso gabinetes y charolas metálicas forman un plano integrado cuando están unidos por conexiones múltiples intencionales o accidentales.

Ejemplo de un plano integrado de tierra es utilizado para equipos de conmutación analógica que tienen multiconexiones a tierra de herrajes, paredes, techos, camas de cables, bastidores de equipo de radio de microondas y bastidor del distribuidor general.

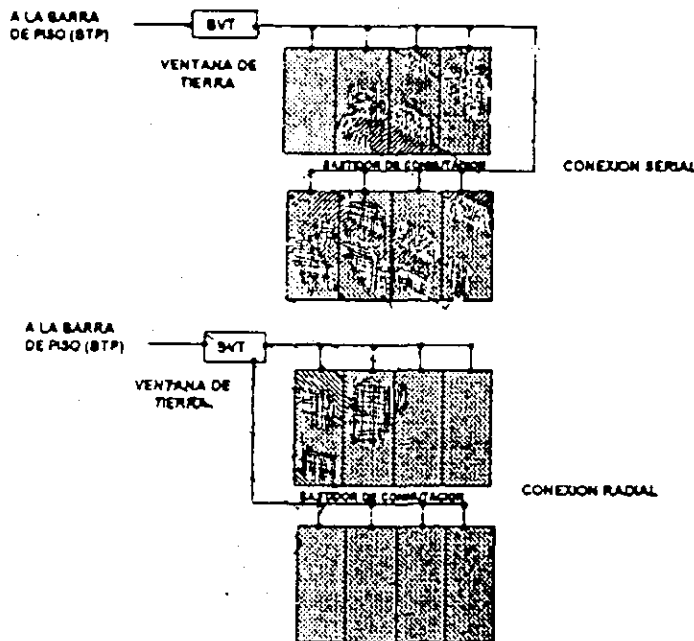
**PLANO AISLADO DE TIERRA.** Es un arreglo de bastidores interconectados intencionalmente a tierra, a través de una sola conexión. Este plano, tomado como unidad conductiva en todas sus superficies metálicas y cables de puesta a tierra, está aislado del contacto de cualquier punto de la estructura del edificio.

Durante la ocurrencia de la fallas de C.A, C.D o cuando una descarga de rayo circula en el edificio, ninguna de esas corrientes puede fluir al plano aislado de tierra a causa de la conexión a tierra en un solo punto.

Ejemplo de Plano Aislado de tierra es un Sistema de Conmutación Digital, el cual es necesario proteger de disturbios eléctricos, por lo que no deberá tener conexión eléctrica alguna con pisos, paredes, techos, equipos de clima, alumbrado, contactos eléctricos, tuberías, herrajes y estructuras metálicas.

Únicamente habrá un punto de conexión de los bastidores de conmutación a la sección del plano aislado de la BVT.

Cada proveedor de conductores de equipo de conmutación digital tiene sus propias especificaciones de conductores de puesta a tierra, que eviten se generen corrientes circulantes entre los bastidores de conmutación. Los equipos de conmutación digital se pueden conectar a la ventana de tierra en forma serial o radial siendo la conexión radial la más recomendable (Ver figura 61)



**Ventana de Tierra a la Conexión Serial o Radial de Bastidores de Conmutación.**

Figura 61

#### 4.9.1.- NORMAS DE LA VENTANA DE TIERRA.

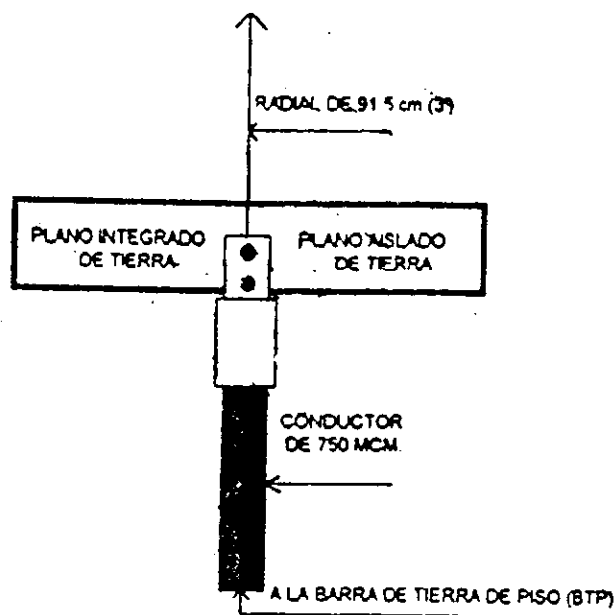
A) Debe instalarse una VT por cada planta de corriente directa.

B) La BVT debe instalarse dentro del área de cobertura radial de 30.5 m (100') que cubre el CV.

C) La VT tiene una cobertura máxima para tres pisos que contenga equipo telefónico digital, siempre y cuando esta se encuentre localizado en el piso intermedio.

D) La BVT se divide en dos secciones: Plano Aislado y Plano integrado de Tierra a partir del punto de conexión a al BTP (Ver figura 62).

E) La VT tiene un radio de acción de 91,5cm (3'), es decir , todos los elementos que estén contenidos en el plano aislado deben pasar por este radio de acción.



Ventana de Tierra para Centrales Digitales.

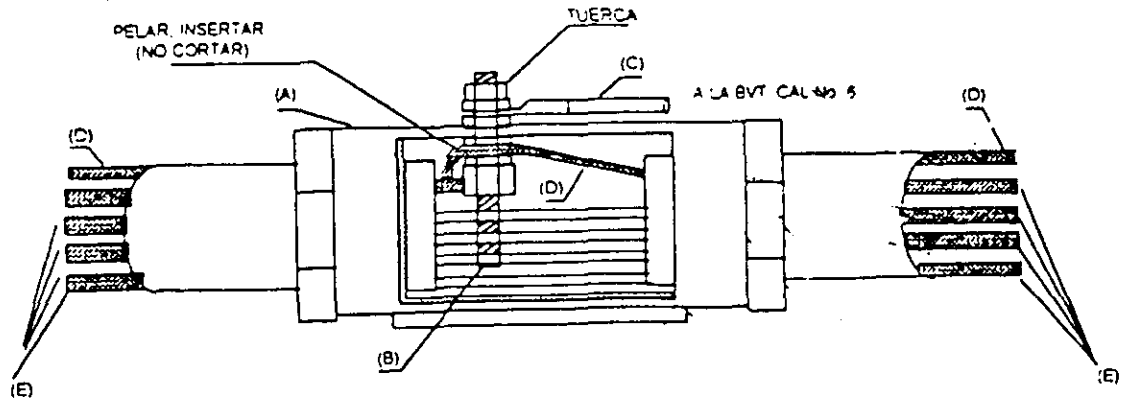
Figura 62

FALTA PAGINA

No.

117



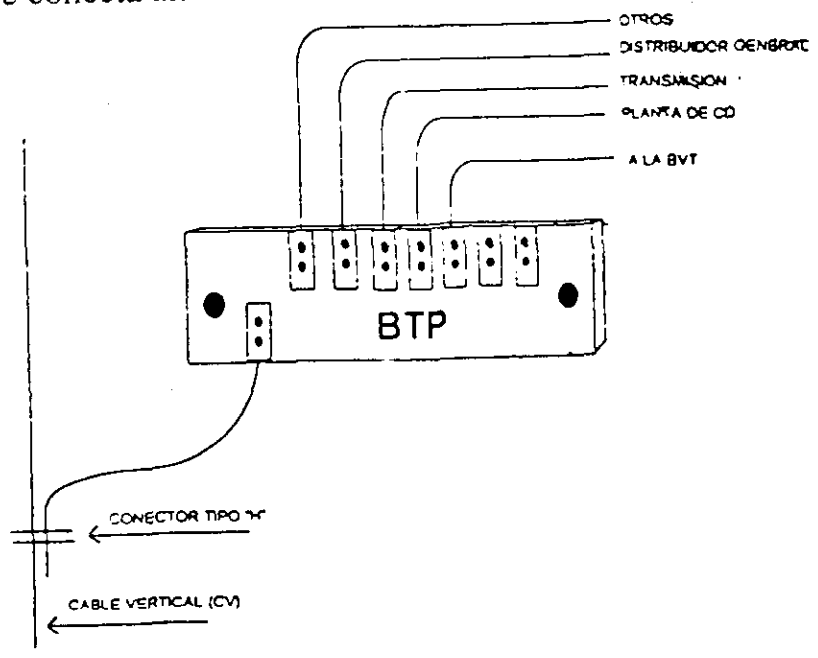


- (A) CAJA DE CONEXION METALICA PARA PUESTA A TIERRA DE CA
- (B) CONECTOR A TIERRA
- (C) CALIBRE No. 6 CONECTAR A LA BARRA DE LA VENTANA DE TIERRA
- (D) CONDUCTOR DE TIERRA DEL EQUIPO DE CA
- (E) CONDUCTORES DE ALIMENTACION DE CA

**Puesta a Tierra de Tuberías de Corriente Alterna.**  
 Figura 63b

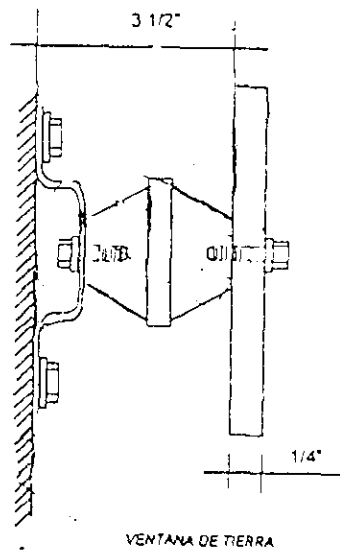
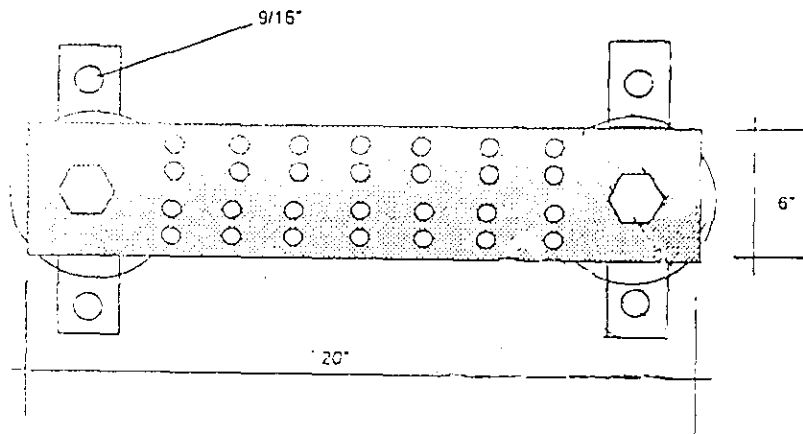
G) El recorrido de un conductor de tierra del plano aislado a la BVT tendrá una distancia máxima de 45.7 m (150').

H) La BVT se conecta ala BTP como se indica en la figura 64.



**Conexión de la BVT a la BTP.**  
 Figura 64

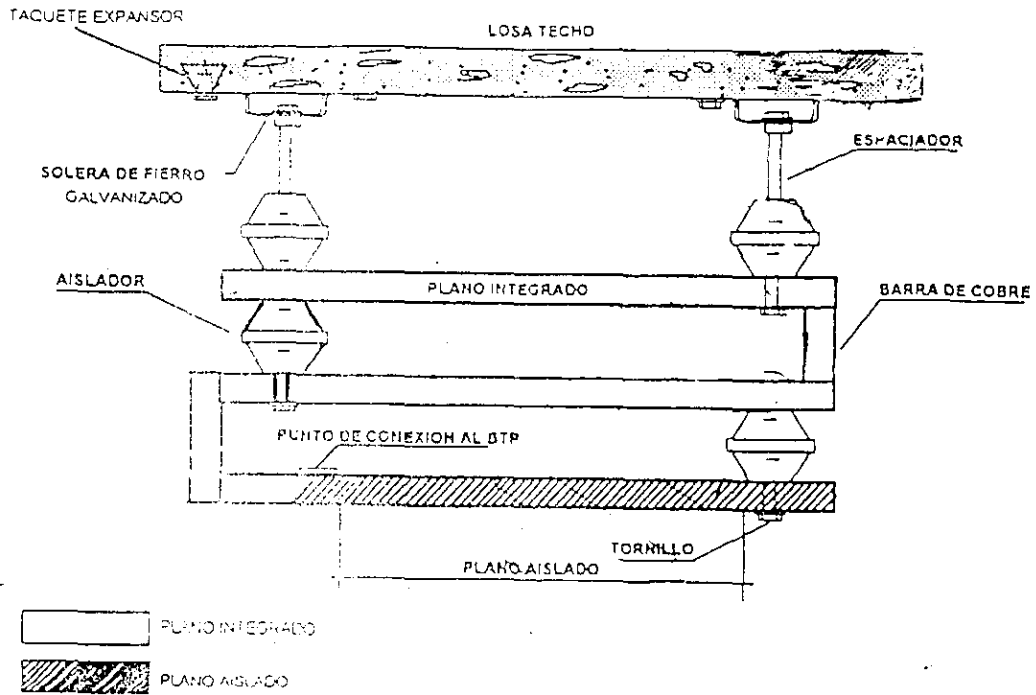
C) Sujeción de la BVT en la pared (Ver figura 67)



Ventana de Tierra en Pared.

Figura 67

D) Instalación de la BVT en el techo (Ver figura 68)

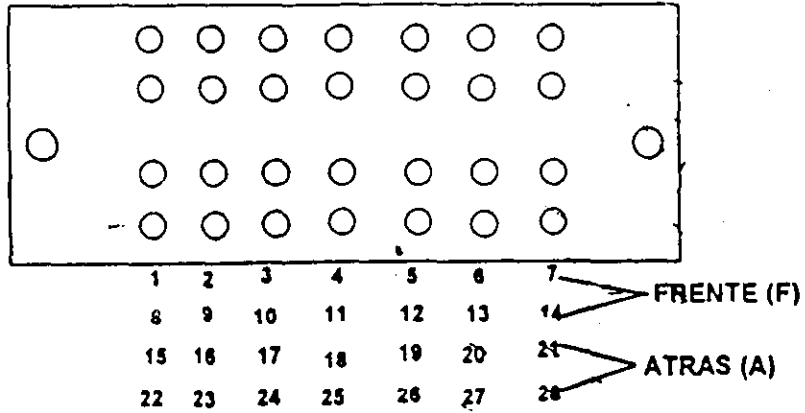


Instalación de BVT en Techo.

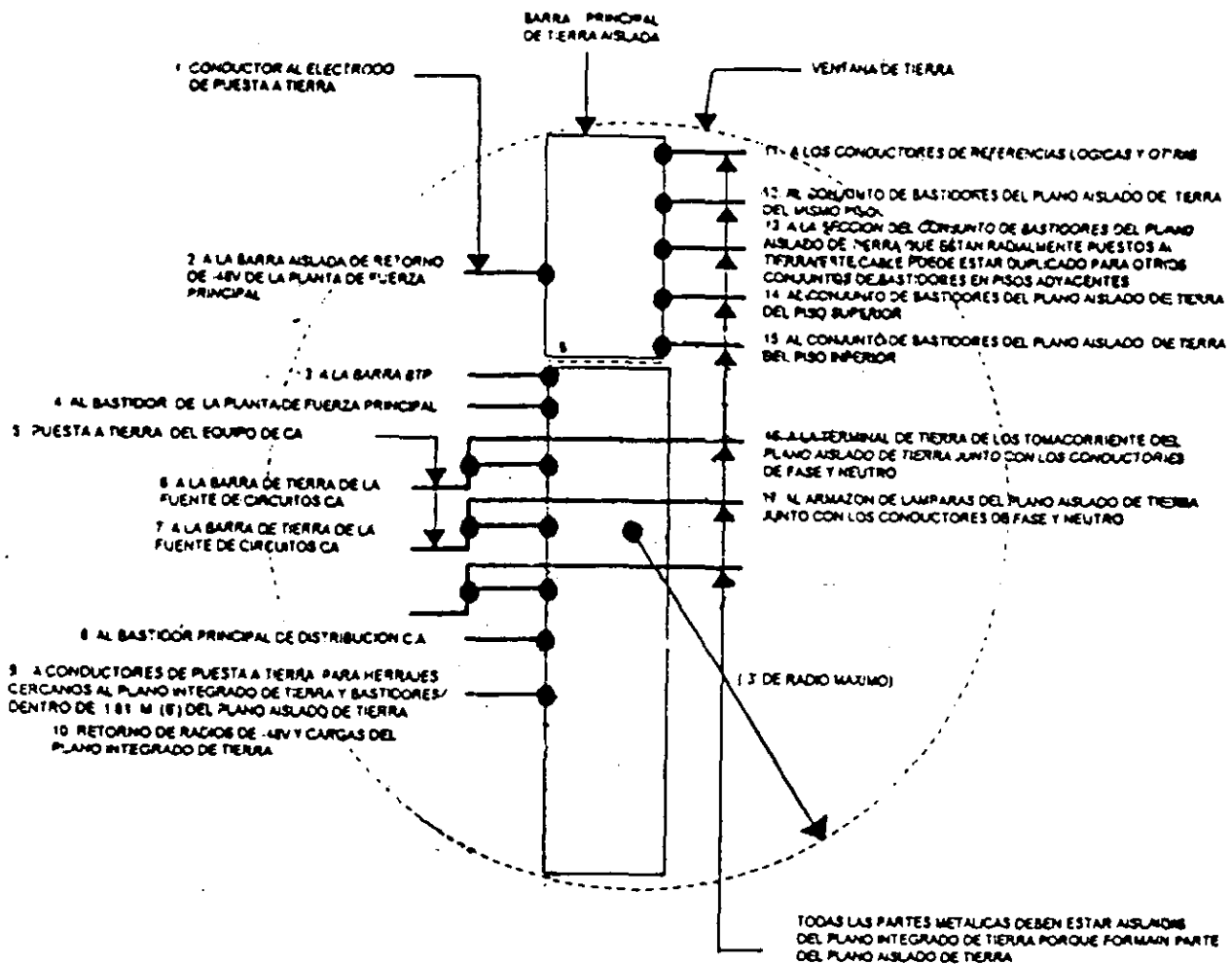
Figura 68

E) Orden de conexiones típicas de una BVT (Ver figura 69)

F) El orden de numeración y conexión de la BVT sea como se indica en la siguiente figura .



BVT- Barra de Ventana de Tierra. Localización: Entre ejes 5 y 6 del primer piso.			
Columna	A	B	C
Línea	Posición	Calibre del Cable	Asignación
1	9F	1/0	A la malla de Tierra
2	3F	1-750 MC	Cable Vertical (CV)
3			
4			
28			



**Figura 69 Conexiones típicas de la ventana de tierra.**

G) Los calibre típicos de los conductores que se conectan a la barra de la ventana de tierra se muestra en la tabla 4.

### CONEXIONES TÍPICAS DE UNA VENTANA DE TIERRA

Identificación del Conductor	Requerido en todas las Planta		Requerido en algunas Plantas		Calibre mínimo del conductor para conducir corriente de falla (AWG)
	Si	No	Si	No	
1,2 CONDUCTOR AL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA O A LA BARRA AISLADA DE RETORNO DE 48 V DE C.D.	X				750 MCM
3 CONEXIÓN DE LA BARRA DE VENTANA DE TIERRA (BVT) A LA BARRA DE TIERRA DE PISO (BTP).	X				750 MCM
4 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DEL BASTIDOR DE LA PLANTA DE FUERZA PRINCIPAL DE C.D.		X	X		6 HASTA 70 PIES (21 m) 1/0 DE 70 A 24 PIES 2/0 PARA MAS DE 240 PIES (73 m).
5, 6, 7 CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA DEL EQUIPO DE C.A. (PLANTAS DE FUERZA EXTERNA)		X	X		6
8 AL BASTIDOR DE DISTRIBUCION DE C.A.	X				6 AWG HASTA 1/2 PIES (21m) 1/0 DE 70 A 24 PIES 2/0 PARA MAS DE 240 PIES (73 m).
9 CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA PARA HERRAJES CERCANOS AL PLANO INTEGRADO DE TIERRA Y BASTIDORES DENTRO DE 6 PIES DEL PLANO AISLADO DE TIERRA		X	X		6
10 CONDUCTOR DE RETORNO DE 48 V Y CARGAS DE PLANO INTEGRADO DE TIERRA		X	X		CONDUCTOR DEL MISMO CALIBRE QUE EL DE LA CARGA MAXIMO 1/0
11 REFERENCIA A TIERRA LÓGICA Y OTROS CONDUCTORES EN EL PLANO AISLADO DE TIERRA	X	X			REQUISITOS DEL PROVEEDOR
12, 13, 14, 16 CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA DEL PLANO DE TIERRA AISLADO	X				1/0
16, 17 A LA TERMINAL DE TIERRA O LOS TOMA CORRIENTE, JUNTO CON LOS CONDUCTORES DE FASE NEUTRO		X			MISMO CALIBRE DEL CONDUCTOR Y LA FASE ASOCIADA

**CAPITULO 5**  
**5. PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPOS.**

## 5.1.- CORRIENTE ALTERNA.

a) La conexión a tierra de la acometida en alta tensión se debe hacer en un sólo punto de conexión entre apartarrayos, crucetas de fierro galvanizado y pantallas de tierra de los cables de potencia, utilizando un conector de compresión tipo YH y zapatas de compresión doble ojillo para la conexión de las crucetas de fierro galvanizado. El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre desnudo, temple semiduro, calibre No 4 AWG, conectado a una toma de tierra con un valor de resistencia menor o igual a 25 ohms, interconectada ésta malla de tierra de la subestación, cuando la distancia no sea mayor a 25 m, cuando la distancia sea mayor a 15 m no se requiere de esta interconexión. (Ver figura 70).

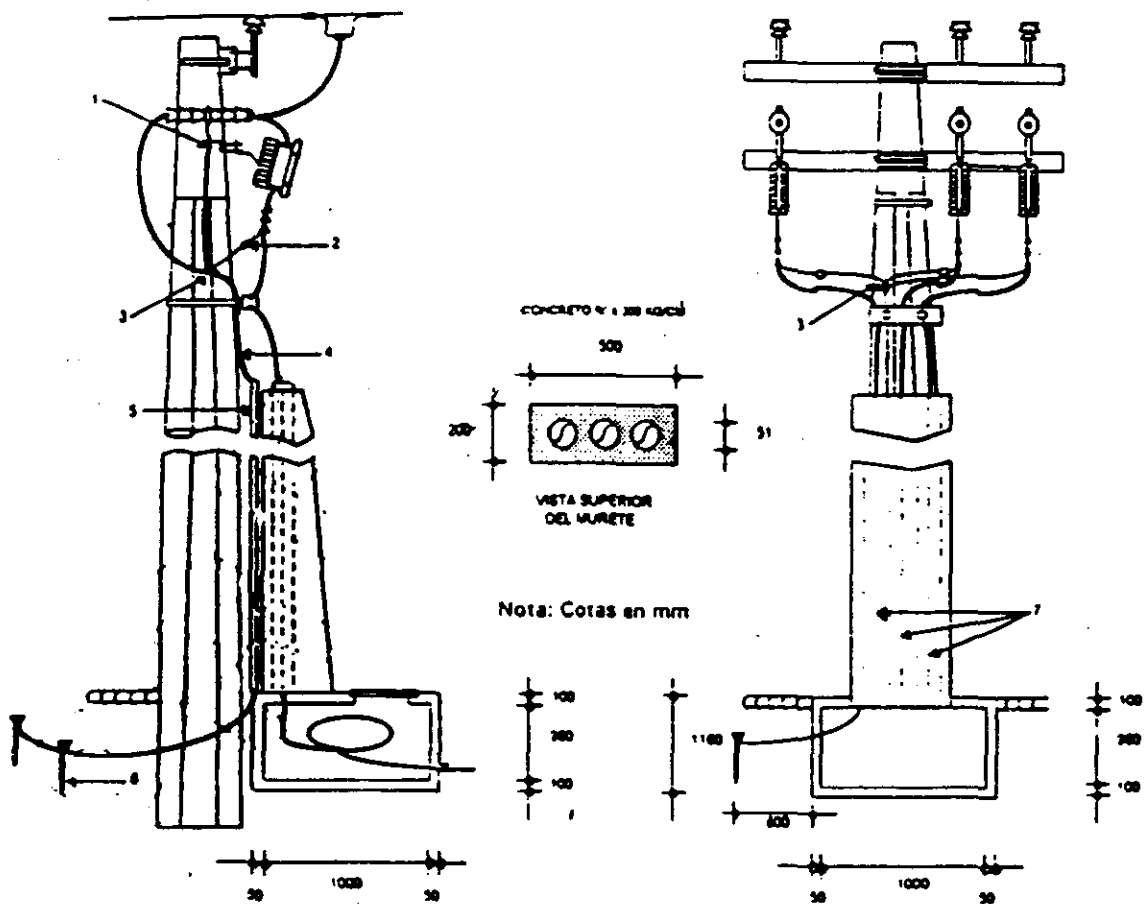
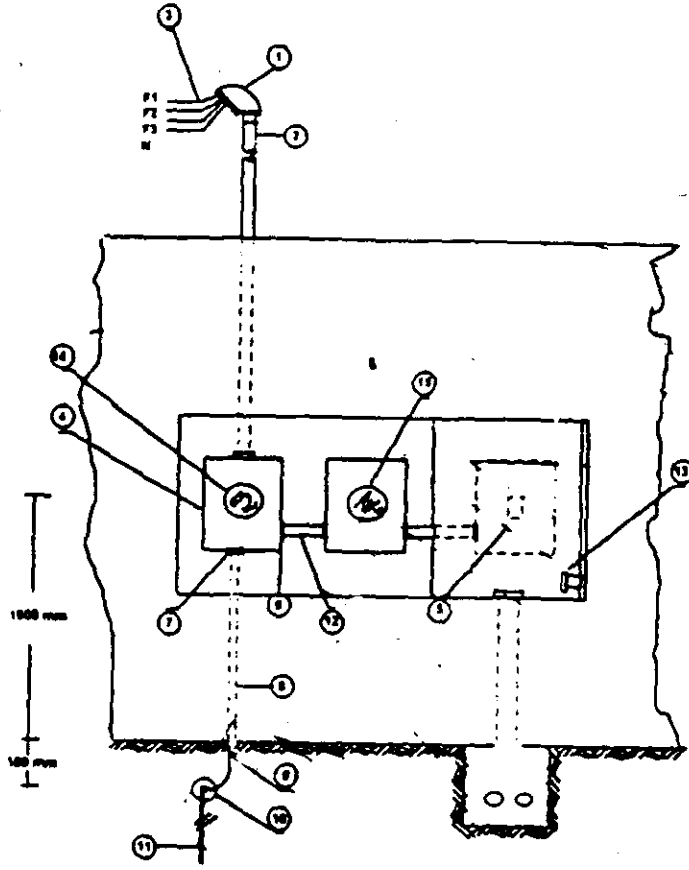


Figura 70 Puesta a tierra de acometida de alta tensión.

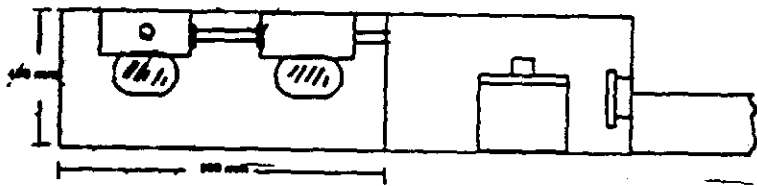


Donde:

1. - Zapata de compresión doble ojillo para conductor calibre No. 2AWG para conexión a cruceta de fierro galvanizado.
  2. - Conector de compresión para conexión de las pantallas de tierra de los cables de potencia.
  3. - Conector de compresión para conexión única de los elementos metálicos de la acometida, crucetas y apartarrayos.
  4. - Conductor de puesta a tierra, alambre calibre mínimo No. 2 AWG.
  5. - Tubo conduit PVC para el conductor de puesta a tierra de 19 mm de diámetro.
  6. - Varilla Copperweld de 5/8 " de diámetro y de 3.05 m de longitud.
  7. - Cable de potencia en la acometida en alta tensión.
- b) La conexión a tierra de la acometida en baja tensión se debe hacer con un conductor de cobre desnudo, temple semiduro, calibre acorde a la capacidad del interruptor general (Ver tabla 5), conectada a un electrodo Copperweld, el cual se interconectará a la malla de tierra. El punto de unión entre el conductor neutro y el del conductor de puesta a tierra se localizará en el gabinete del interruptor general y se debe hacer mediante zapatas a compresión de doble ojillo, cañón largo conectados a una barra de cobre ( Ver figura 71).



VISTA DE FRENTE



VISTA DE PLANTA

Acometida en Baja Tensión.

Figura 71

Donde:

1. - Mufa intemperie de 51 mm de diámetro mínimo permisible.
2. - Tubo conduit galvanizado pared gruesa, de 51 mm de diámetro permisible.
3. - Cable de cobre con aislamiento THW-LS, calibre de acuerdo a la carga por alimentar, mínimo 2 AWG.
4. - Base tipo soquet para equipo de medición de 7 terminales de 100 a ó 200 A ( 2 Piezas), según se requiera.
5. - Interruptor termomagnético de acuerdo a la carga por alimentar, mínimo permisible 100 a.
6. - Monitor y contra de 51 mm de diámetro.
7. - Reducción de 51 mm diámetro a 19 mm de diámetro .
8. - Tubo conduit, PVC de 13 mm.
9. - Conductor de puesta a tierra.
- 10.- Soldadura Cadweld.
- 11.- Electrodo de tierra.
- 12.- Niple de tubo conduit de 51 mm de diámetro.
- 13.- Barra de cobre de 10 \* 5 \* 0.635 cm (4'' \* 2'' \* 1/4).
- 14.- Medidor tipo enchufe para Kwatts hora.
- 15.- Medidor tipo enchufe para Kvolts amperes reactivos.

c) Puesta a tierra de los equipos de fuerza y accesorios metálicos en sala de fuerza (Ver figura 72a).

- La carcasa de la máquina de emergencia se debe conectar a la BTP con un conductor a la BTP con un conductor de cobre temple semiduro con aislamiento THW-LS color verde, del calibre acorde con la capacidad de la protección de la máquina de emergencia (Ver tabla 5) interconectandose a la carcasa con el patín (si existe), el atenuador del ruido y el estante de la batería de arranque.
- En los tableros de protección, distribución y transferencia se deben interconectar las barras del neutro las barras del neutro con los conductores neutros de cada uno de los circuitos de alimentación, es decir, los conductores activos y el neutro de cada circuito deben ir en la misma canalización y penetrar al tablero a través de una misma abertura, suficiente-mente grande para evitar la inducción a la cubierta metálica del tablero.
- Las barras de tierra se deben interconectar con un conductor que tenga la misma capacidad de conducción que la barra de tierra instalada en cada tablero.
- La cohesión única entre las barras del neutro y de tierra de protección se debe hacer con una barra de cobre o conductor con la misma capacidad de conducción en la barra de tierra.
- Se debe tener cuidado al realizar estas conexiones si se utiliza más de un conductor, los conductores deben tener la misma longitud, calibre y tipo de aislamiento, para asegurar una distribución uniforme de corriente.
- Todos los demás accesorios instalados en la sala de fuerza como son: Cargador de baterías, Extractor de aire, Centro de carga, Tablero de control precalentador deben conectarse a tierra a través de un conductor de puesta a tierra integrado a su alimentación eléctrica.
- La canalización metálica debe ser continúa eléctricamente entre equipos y accesorios, es decir, la escalerilla de cables deben estar sujetas a tableros . Si ésta no es continúa, se debe conectar con un conductor la parte no continúa.
- La subestación eléctrica se debe conecta a tierra como se muestra en la figura 72b, a través de una cola de tierra de la malla de la central localizada en el registro de alta tensión.

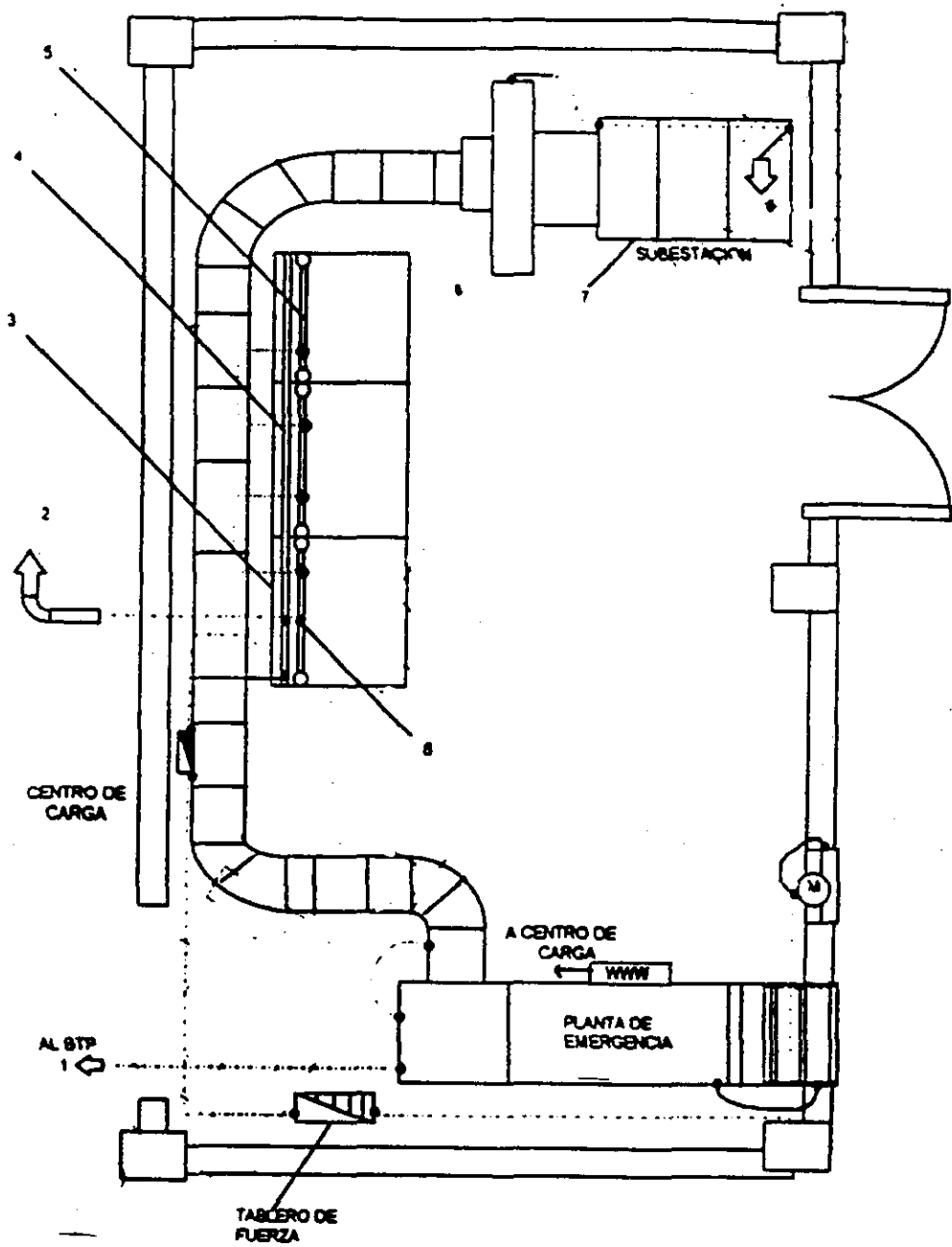
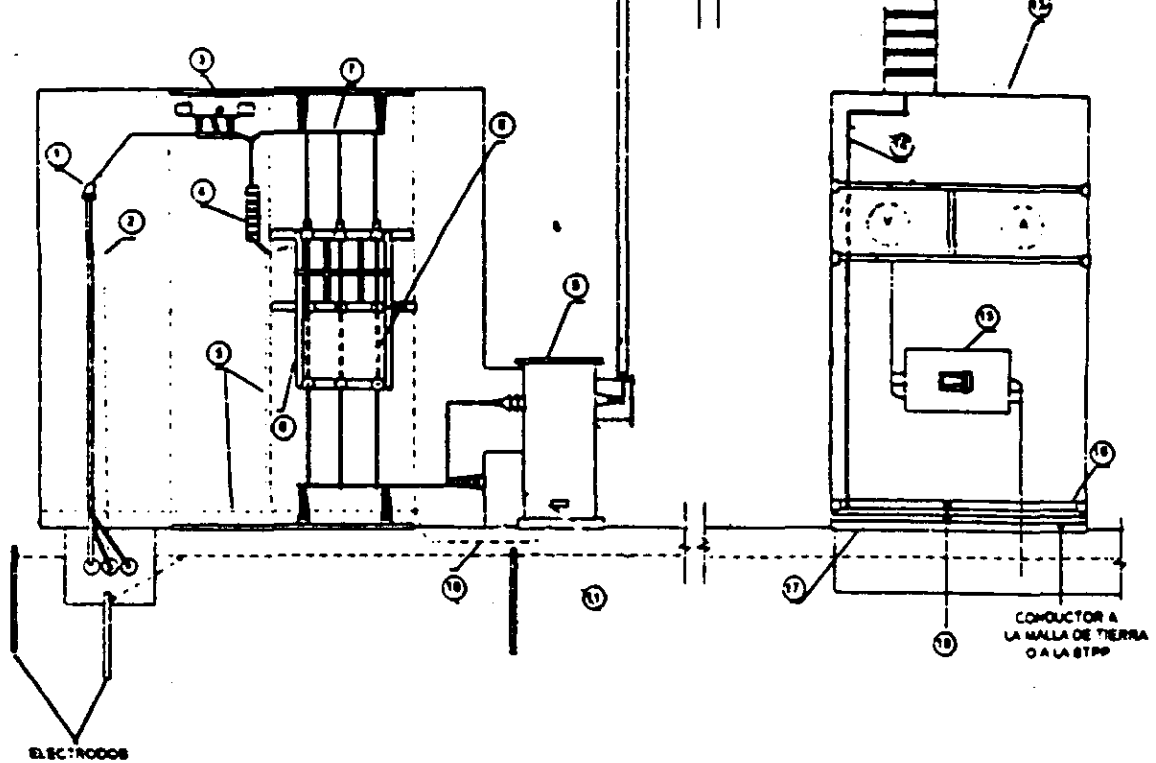


Figura 72a Puesta a Tierra de Equipos de Fuerza.

Donde:

1. - Conductor de puesta a tierra del grupo electrógeno (Calibre mínimo 2 AWG ) a barra de tierra de piso (BTP).
2. - Conductor de puesta a tierra del tablero de protección general a barra de tierra de punto principal (BTPP).
3. - Tablero de protección general.
4. - Barra de cobre para conexión a tierra.
5. - Barra de cobre para neutro.
6. - Punto de conexión única del neutro al sistema de tierra (interconexión entre barras del tablero de protección general )
7. - Subestación eléctrica tipo compacta.
8. - Conexión a tierra de los elementos que constituyen la subestación eléctrica directamente a la malla de tierra.



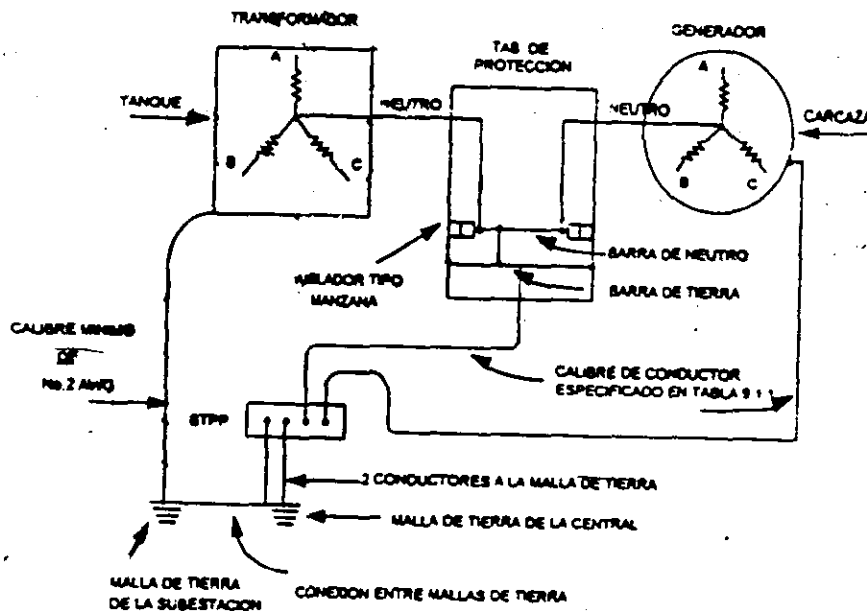
**Figura 72b Conexión a Tierra de una Subestación Eléctrica, tipo Compacta.**

Donde:

- 1.- Terminales termocontractiles.
- 2.- Conductor de puesta a tierra para las pantallas metálicas del cable de potencia.
- 3.- Cuchillas seccionadoras de operación sin carga.
- 4.- Apartarrayos autoválvulares.
- 5.- Barra de cobre para puesta a tierra.
- 6.- Interruptor en aire.
- 7.- Barras de cobre de alimentación eléctrica.
- 8.- Fusibles de potencia.
- 9.- Transformador.
- 10.- Conductor de puesta tierra para transformador.

- 11.- Malla de tierra.
- 12.- Escalerilla de cables.
- 13.- Tablero de protección.
- 14.- Conductor neutro.
- 15.- Interruptor termomagnético para protección general.
- 16.- Barras de cobre con aisladores para NEUTRO.
- 17.- Barra de cobre para TIERRA.
- 18.- Unión de barras de cobre NEUTRO y TIERRA.

d) Los tableros de CA ( Protección, Distribución, Centro de control de motores y Centros de Carga ) deben tener dos barras, una instalada sobre aisladores para neutro y otra unida mecánicamente al bastidor del tablero para tierra de protección ( Ver figura 73a y b).



**Conexión Única del Conductor de Puesta a Tierra y el Neutro del Sistema Eléctrico.**

Figura 73a



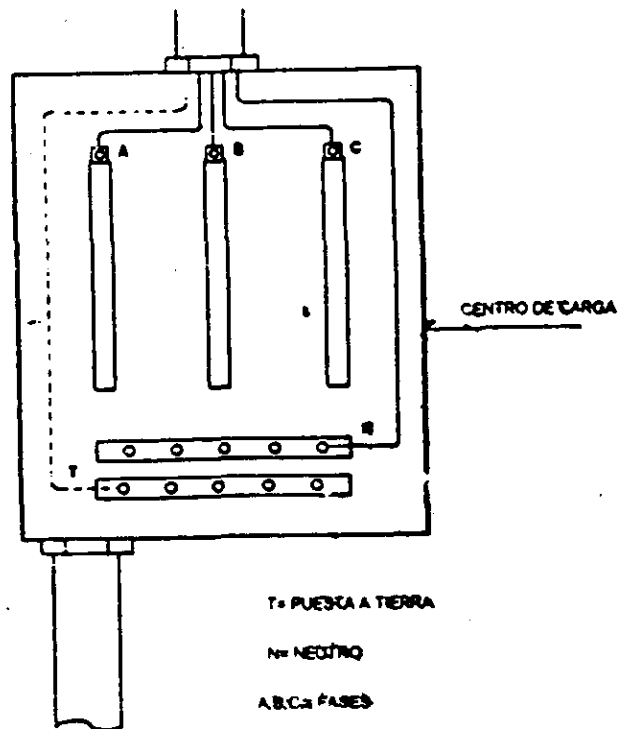


Figura 73b Centro de Carga.

- e) El conductor neutro y el conductor de puesta a tierra deben estar unidos en un solo punto, siendo este el tablero de protección general (Ver figura 73a).
- f) El CTP del tablero de protección general se debe conectar a la BTPP. Este conductor debe ser con aislamiento THW-LS y el calibre se seleccionará en base a la capacidad de protección general del tablero, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5 Calibre de los conductores para Puesta a Tierra de C.A

Capacidad nominal ó ajuste del dispositivo de protección contra sobrecorriente ubicado antes del equipo y/o conductor	Calibre del Conductor de puesta a tierra (Alto ó MCM)
No mayor de (amperes)	Calibre
15	14
20	14
30	12
40	10
60	10
100	8
200	6
400	4
600	2
800	1/0
1000	2/0
1200	3/0
1600	4/0
2000	250 MCM
2500	350 "
3000	400 "
4000	500 "
5000	700 "
*5500	*750 "
6000	800 "

Nota : Tabla No. 200-48 del RIE, Página. 186.—

\*Calibre Usado en TELARE\*

- g) Cada tablero de CA (Protección, Distribución, Centro de Control de Motores, Centro de Carga) deben alimentarse con conductores de fase o fases (activos), conductor neutro y conductor de puesta a tierra (Ver tabla 6.)



## 5.2.- CORRIENTE DIRECTA (CD).

Los equipos de la planta telefónica requieren para su funcionamiento de energía de CD a voltajes generalmente de -24 y -48 Volts con positivo (retorno) (+) conectado a tierra.

La obtención de CD se logra por medio de los equipos de rectificación, los cuales alimentan a los equipos telefónicos y bancos de baterías que sirven como reserva de energía y filtro de ruido eléctrico.

Los equipos de conmutación digital son altamente sensibles a las perturbaciones eléctricas, por lo que deben realizarse la correcta puesta a tierra de los rectificadores, baterías y tableros de distribución de CD, observándose las siguientes normas:

- a) La barra positiva del retorno debe estar aislada de los bastidores.
- b) Los proveedores de equipo de conmutación deben de considerar en su proyecto, la instalación de los bastidores de distribución de CD dentro de la sala de conmutación para alimentar estos equipos y cumplir con la caída de tensión permitidas como se muestra en la fig. 74
- c) Los elementos de protección CD deben ser fusibles de fusión rápida adecuada para la protección de equipo y deben ser calculados al 130 % de la carga nominal del equipo instalado.
- d) Se deben instalar bastidores de distribución en la planta de CA con fusibles de diferentes capacidades para ser compatibles con la diversidad del equipo a instalar, los cuales podrán ser : 400, 200, 150, 100, 60, 45, 30, 20, 15, 6, y 3 amperes.



Caidas de Tensión Permisibles.  
Figura 74

e) Los calibres de conductores de puesta a tierra de los gabinetes de la planta de CD se muestra en la figura 75

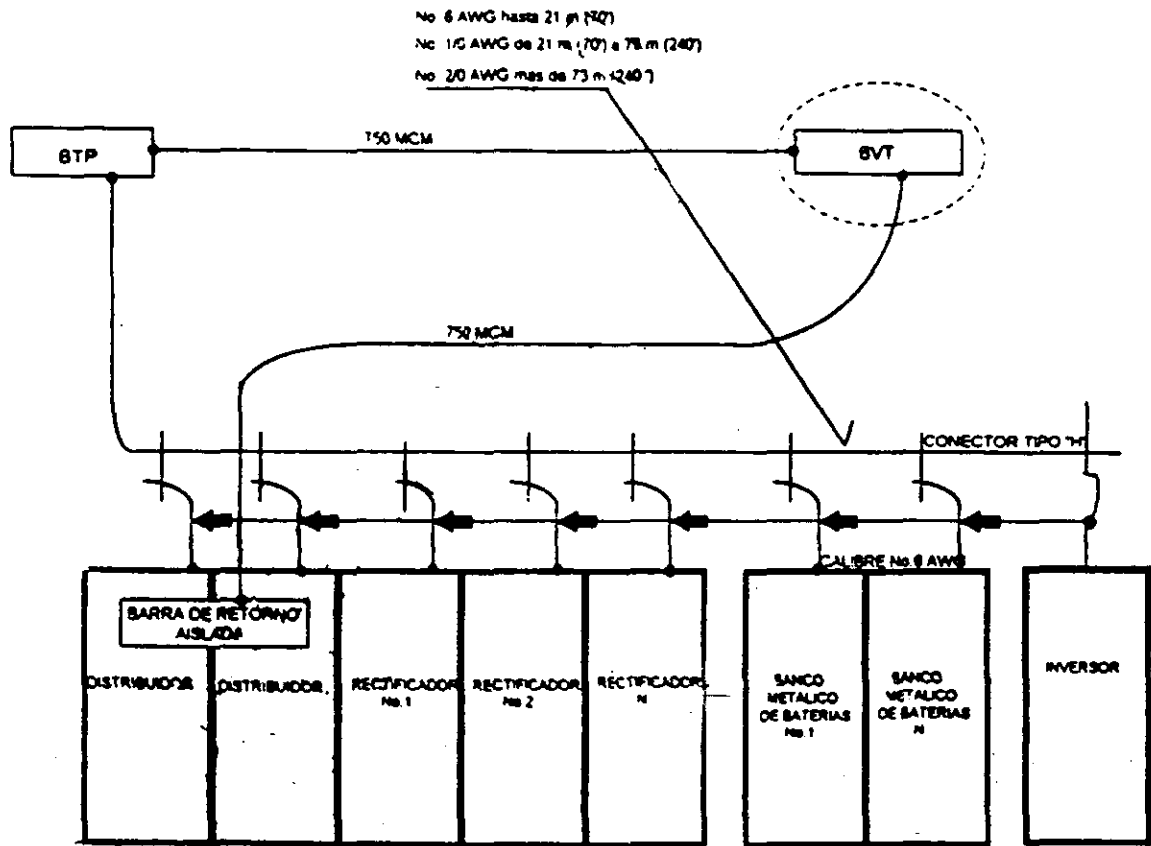


Figura 75 Planta de Corriente directa

f) La puesta a tierra típica de una planta de corriente directa localizada en un piso diferente que el equipo de conmutación se muestra en la figura 76

g) Cada planta de CD que alimente un equipo de conmutación digital debe tener su ventana de tierra asociada, la cual dará servicio hasta tres pisos contiguos.

En caso de instalarse otra Central Digital en el cuarto piso se deben instalar otra planta de CD con su ventana de tierra correspondiente.

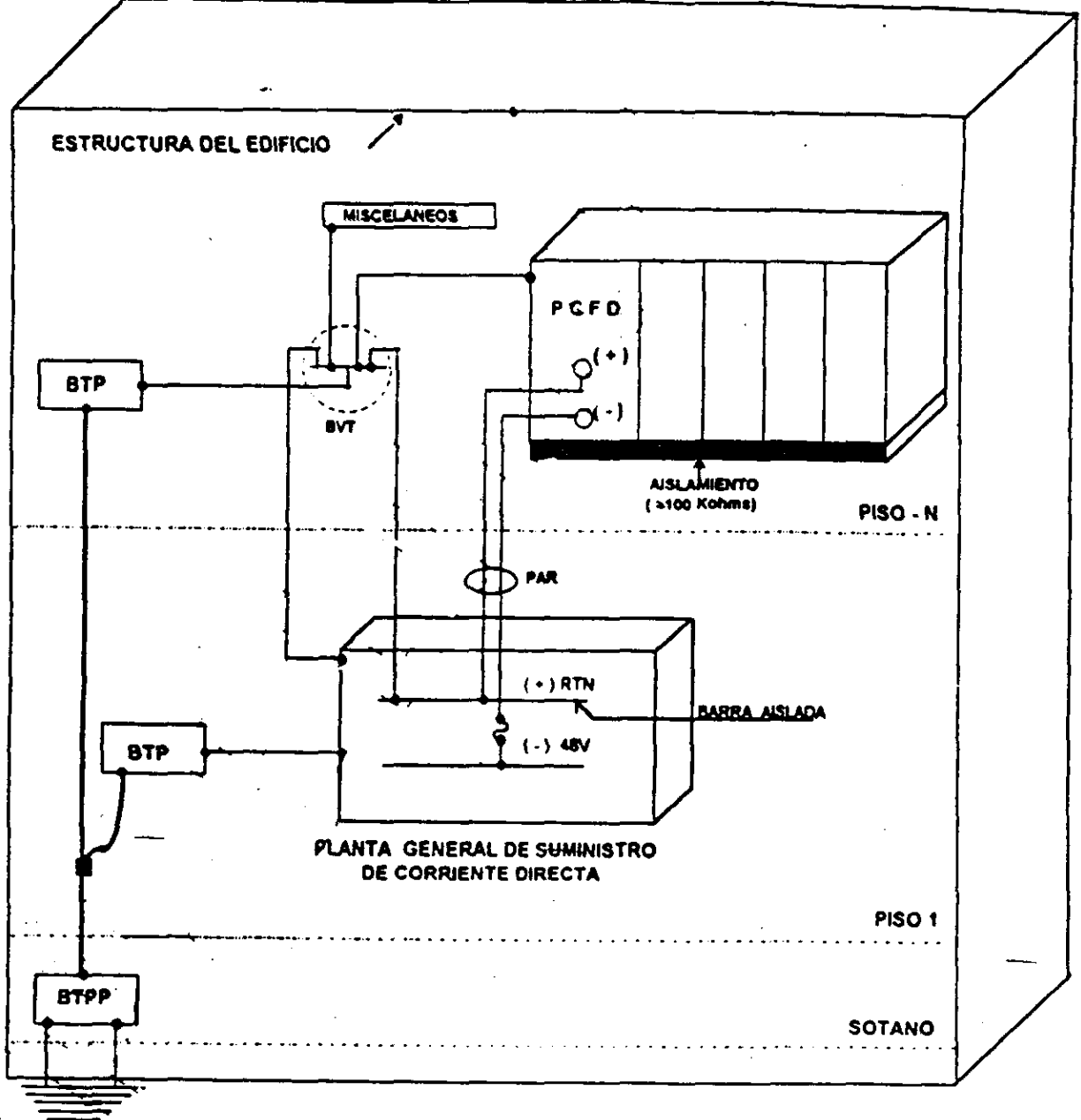


Figura 76 Planta de Corriente Directa en un piso diferente que el Equipo de Conmutación.

h) La puesta tierra típica de una planta de CD localizada en el mismo piso del equipo de Conmutación Digital se muestra en la figura 77.

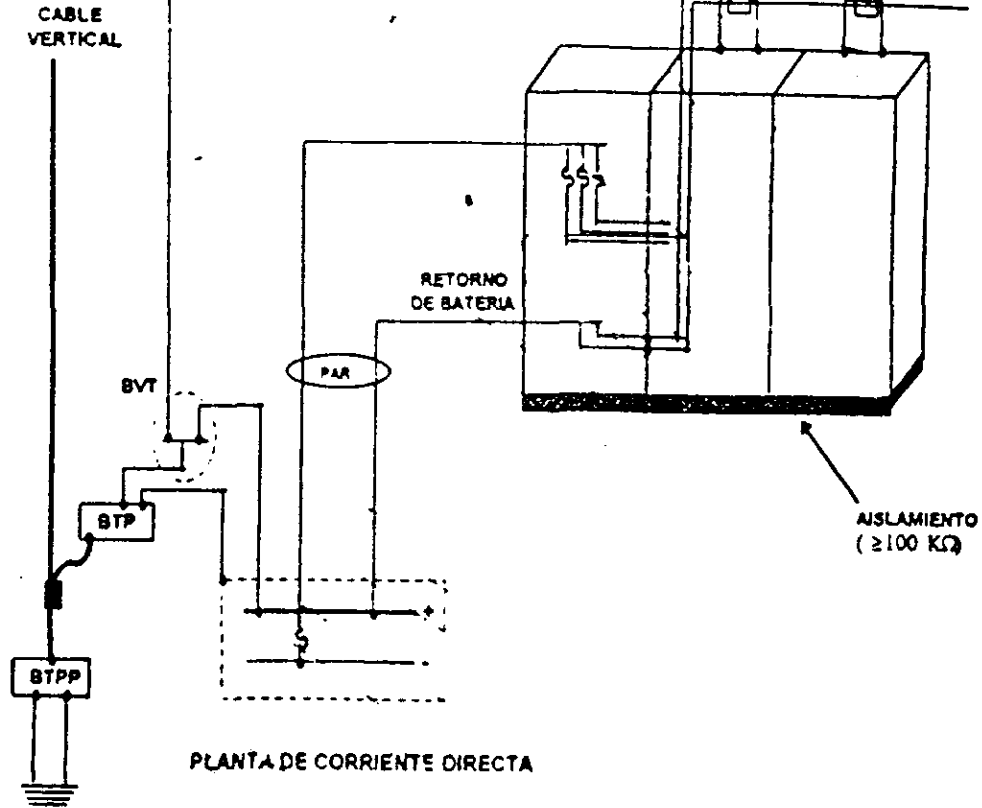


Figura 77. . Planta de Corriente Directa en el mismo piso que el Equipo de Conmutación.

i) La puesta a tierra típica del estante de baterías se debe hacer con un conductor de cobre, temple semiduro, calibre No. 6 AWG, con aislamiento THW-LS de color verde, temple semiduro, conectado a la BTP ( Ver figura 78)

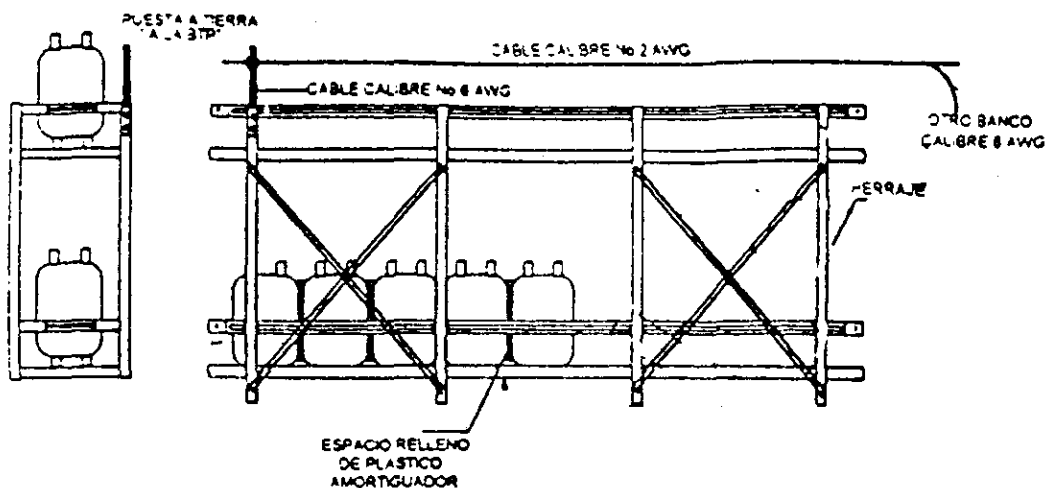


Figura 78 Puesta a tierra típica del estante de baterías.

### **5.3.- CONMUTACIÓN.**

En los últimos años ha evolucionado la naturaleza de los servicios conformando una red de Comunicaciones a través de la cual se impulsa la demanda de los usuarios y a la vez se ofrecen nuevos servicios. Como parte fundamental para brindar los nuevos servicios y productos de Telecomunicación, estos deben sustentarse por la sustitución de tecnología analógica por digital.

Esta no es la única situación a la que dirigen sus expectativas los diseñadores de Nuevas Centrales Digitales, ya que la complejidad en la Capacidad de las Redes Telefónicas no se limitan a establecer y a liberar llamadas, sino que también se ven afectados por las variaciones del suministro de energía, aunado a las afectaciones por descargas electrostáticas y situaciones de Falla por Corto Circuito, lo que ha obligado a diseñadores a incorporar Sistemas de Protección a Tierra e incluir los nuevos conceptos de "Plano Aislado", "Plano Integrado" y "Ventana de Tierra" que reducen estos efectos.

Los siguientes párrafos están dirigidos a describir las normas a observar en aplicación de estas nuevas técnicas de puesta a tierra en las Centrales Digitales.

#### **5.3.1.- NORMAS GENERALES.**

- a) Las centrales digitales, incluyendo los sistemas de conmutación de unidades remotas de líneas (URL's), deben de tener un plano de tierra aislado y deben de cumplir con una resistencia de aislamiento mayor o igual a 100,000 ohms.
  
- b) Es requisito indispensable tener aislado los bastidores de conmutación de: equipos de clima, paredes, techos, pisos, alumbrado, contactos y tuberías herrajes y cualquier estructura metálica que se encuentre dentro de la sala de conmutación que no pertenezca a la estructura propia de los equipos de conmutación digital, con la finalidad de proteger los equipos digitales de perturbaciones eléctricas, corto circuitos, ruido e inducción en las comunicaciones.



Para verificar lo anterior se deben efectuar las siguientes pruebas, mismas que deben realizarse después de anclar el bastidor y cuando no se tenga alimentación de fuerza ni conexión alguna de tierras, así como ninguna tarjeta electrónica. El requisito para todas estas pruebas es 100,000 ohms ó mayor.

\* Prueba de Bajo Voltaje. El multímetro se conecta entre el bastidor de conmutación y la Barra de Tierra de Piso correspondiente (Ver figura 79).

Requisito: 100,000 ohms ó mayor.

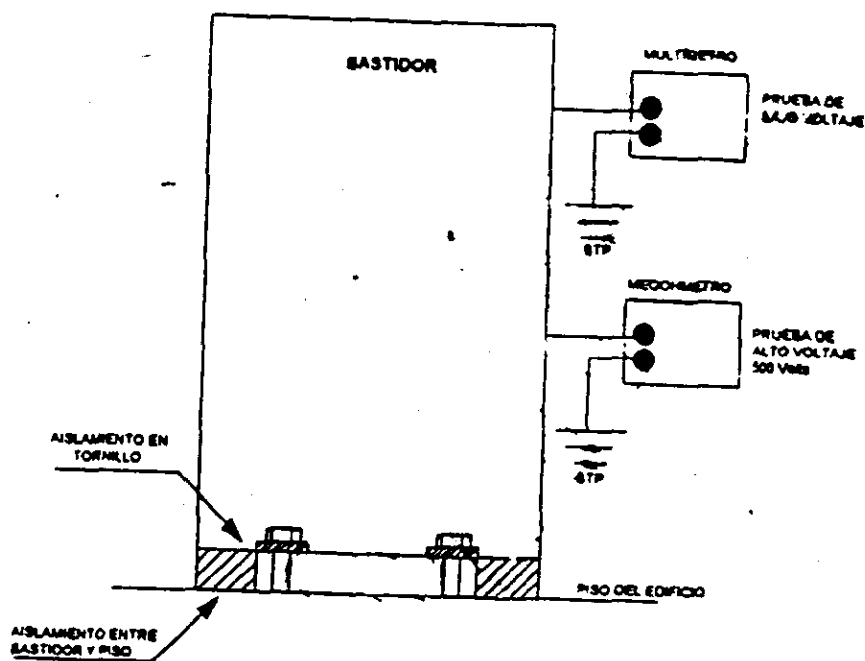


Figura 79 Pruebas de Aislamiento en bastidor desenergizado.

\* Prueba de alto voltaje.

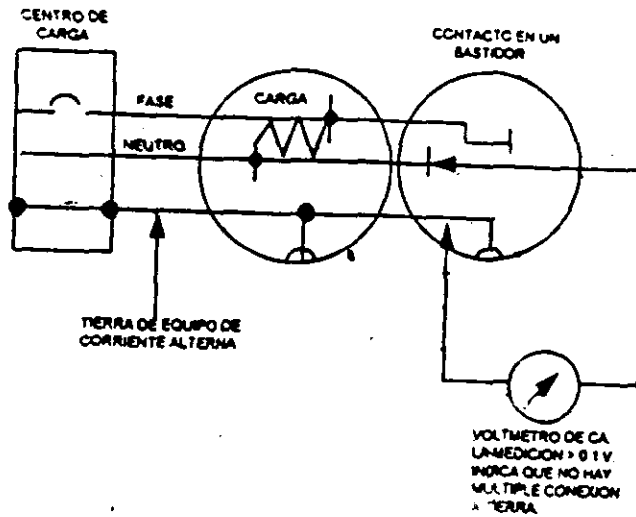
Conectar un megohmetro de 500 volts, aplicando entre el batidor de conmutación y el BTP (Ver figura 79)

\* Prueba para equipo de operación.

Se efectuara con volmetro, su requerimiento deberá ser mayor a 0.1 volts esto indica que los bastidores están aislados a tierra. Esta prueba se aplicará para centrales con dispositivos de retorno separado de la tierra de protección.

En caso de medir menor de 0.1 volts, indica que existe violación en el aislamiento y deberán tomarse acciones correctivas (Ver figura 80).

### PRUEBA DE MULTICONEXIÓN A TIERRA EN CORRIENTE ALTERNA.



### PRUEBA DE MULTICONEXIÓN A TIERRA EN CORRIENTE DIRECTA.

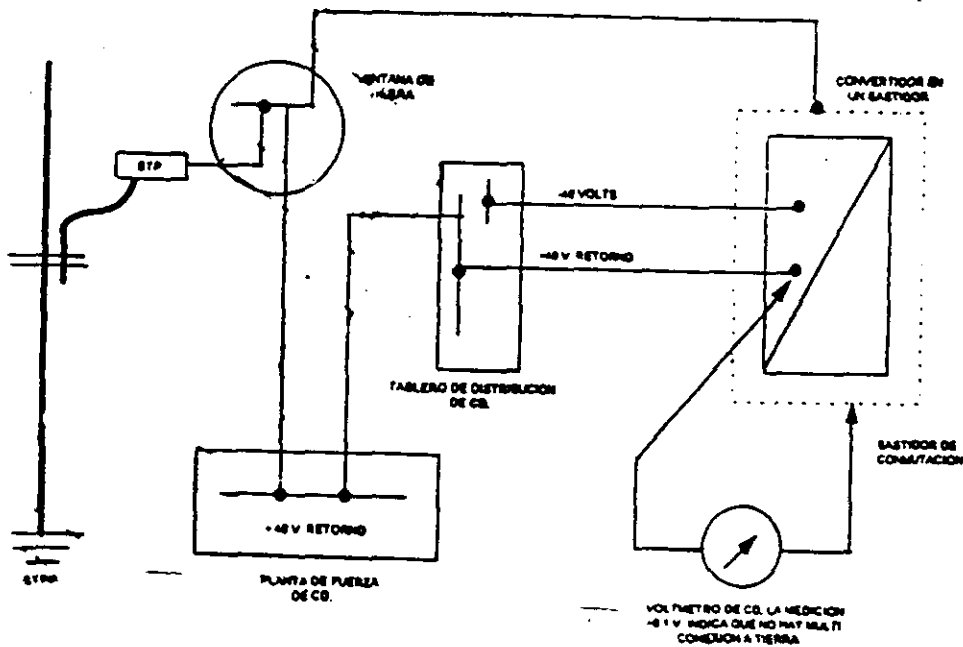


Figura 80 Pruebas de Aislamiento para Centrales en Operación.

\* Las protecciones antisísmicas no deben de violar el plano aislado y se someterán a pruebas anteriormente descritas.

c) No se permite el piso falso en instalaciones de conmutación digital por las siguientes razones:

- Aproximadamente el 80% de la República Mexicana se encuentra en zona sísmica, por lo que la instalación y acondicionamiento de piso falso incrementa el costo de inversión y, además representa alto riesgo en la continuidad del servicio.
- En el piso falso se viola fácilmente el aislamiento del plano aislado de tierra por el derrame de la condensación del Equipo de Aire Acondicionado, ocasionado por la obstrucción del drenaje del depósito de condensadores y rotula de tubería hidráulicas.
- En general, no existe un orden de trayectorias de los conductores bajo el piso falso y, además, se presenta obstrucción del flujo de aire acondicionado, perdiéndose eficiencia en la distribución homogénea del mismo.
- El costo del piso falso es un costo innecesario, ya que los equipos de Conmutación Digital de los diferentes proveedores no lo requieren.
- El mantenimiento correctivo o preventivo que efectúa el personal en el Equipo de Aire Acondicionado se realiza dentro de la sala de conmutación, con el riesgo de provocar violación al aislamiento.

d) No se deben de instalar equipos de aire acondicionado en la sala de conmutación digital.

e) Se deben conectar en la sección del Plano Integrado de la BVT los Misceláneos que se encuentren dentro de la sala de conmutación, como son:

- Tuercas metálicas.
- Ductos de aire acondicionado.
- Contactos polarizados.
- Lámparas de alumbrado.
- Escalerillas canaletas y charolas para cable (Metálicas).
- Tuberías conduit (Metálica).
- Tubería hidráulica (Metálica).
- Mobiliario Metálico: Gabinetes de almacenamiento de tarjetas digitales.

- f) En la sección de Plano Aislado de la VTP se deben conectar los bastidores del equipo de conmutación digital , la barra positiva de retorno aislada de la planta de CD y equipos del plano aislado .
- g) Los calibres de los conductores del sistema de distribución de tierra se basan en las especificaciones dadas por el fabricante de cada equipo. Si éstos no se encuentran especificados, el calibre del conductor debe ser calculado de acuerdo a las intensidades de disparo de los dispositivos de protección de CA.
- h) El alumbrado de la sala de conmutación debe estar aislado de los bastidores de equipo digital.
- i) No se debe violar el aislamiento del equipo de conmutación digital en las partes de interconexión de los bastidores de troncales que interconectan los cables coaxiales del equipo de conmutación digital hacia el equipo de transmisión.
- j) No se debe violar el aislamiento del equipo de conmutación digital al interconectarse con el distribuidor general.

### 5.3.2.- PUESTA A TIERRA TÍPICA DE DIVERSOS EQUIPOS DE CONMUTACIÓN DIGITAL.

Los nuevos proyectos que tengan equipo de conmutación digital de diferentes proveedores y una planta de CD compartida se deben poner a tierra como se esquematiza en la figura 81, cuando se instalan en edificios.

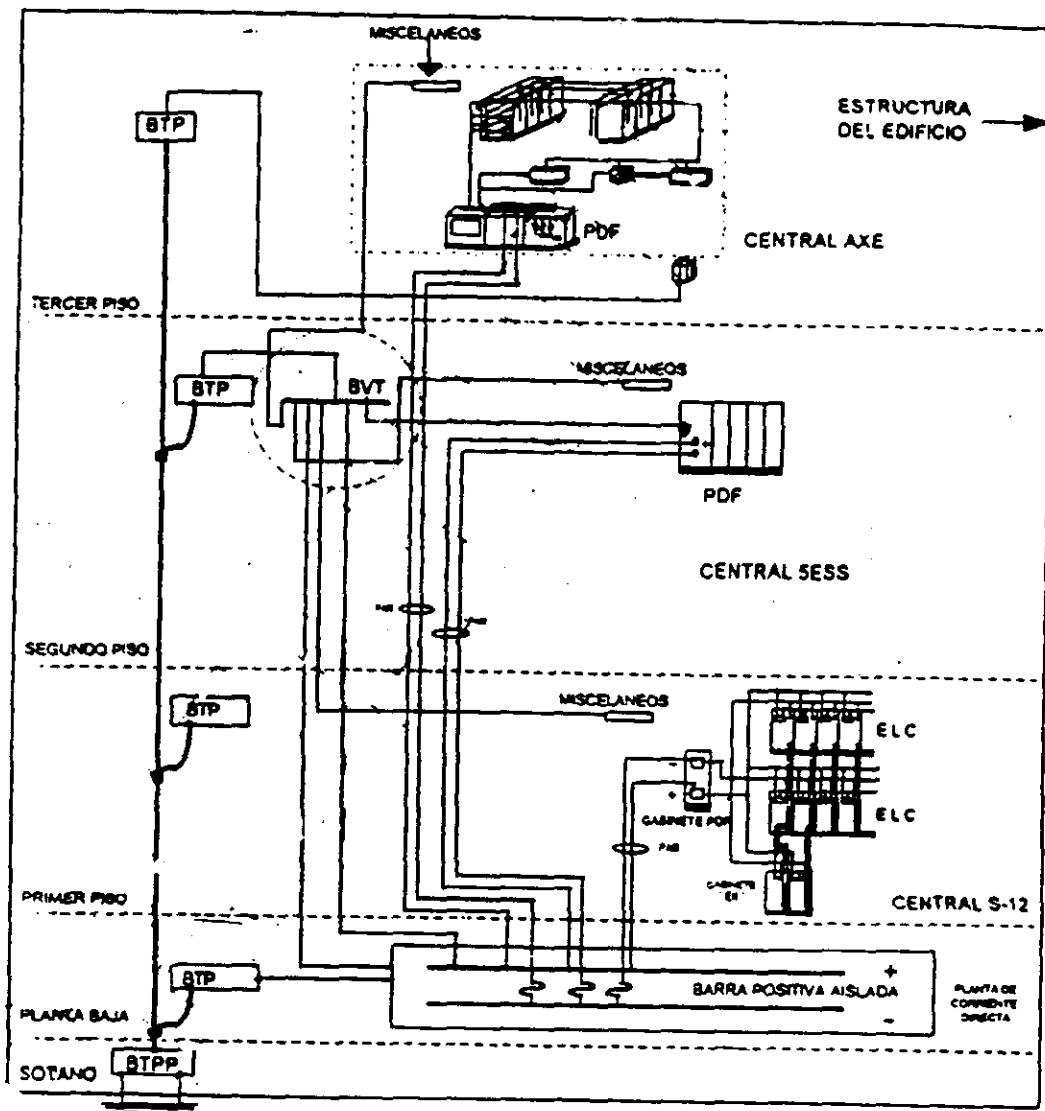


Figura 81 Conexión típica de puesta a tierra de centrales digitales con diferentes equipos de conmutación en un edificio.

### 5.3.3.- INSTALACIÓN TÍPICA DE LA PUESTA A TIERRA DE URL's.

En estas instalaciones se aplica la misma filosofía de puesta a tierra de los edificios, excluyéndose la BTP y realizando todas las conexiones de Puesta a Tierra a la BTPP ( Ver figura 82a y b)

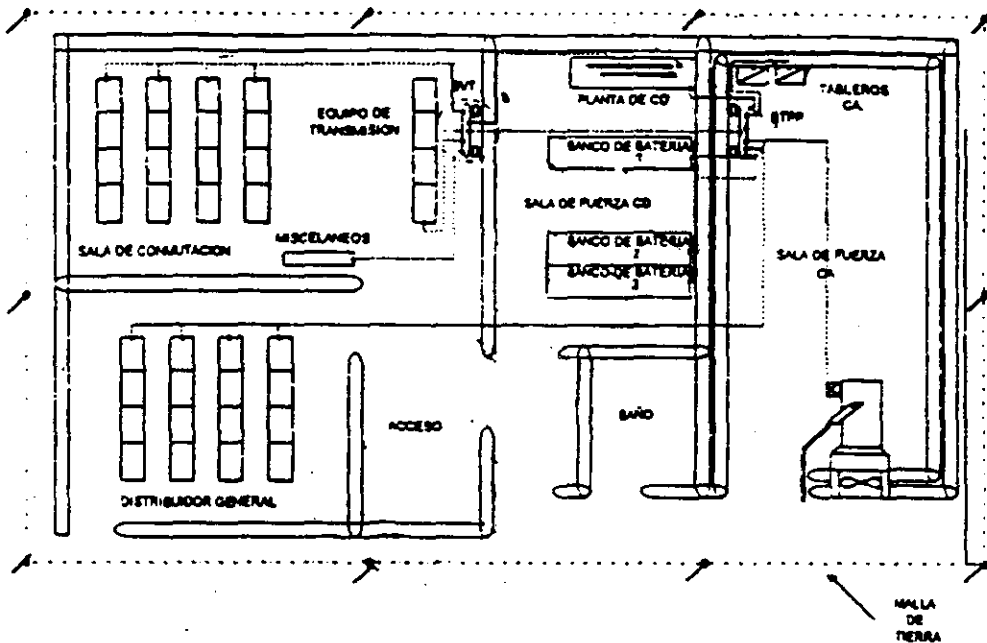


Figura 82a. Puesta a tierra de una URL de Mampostería.

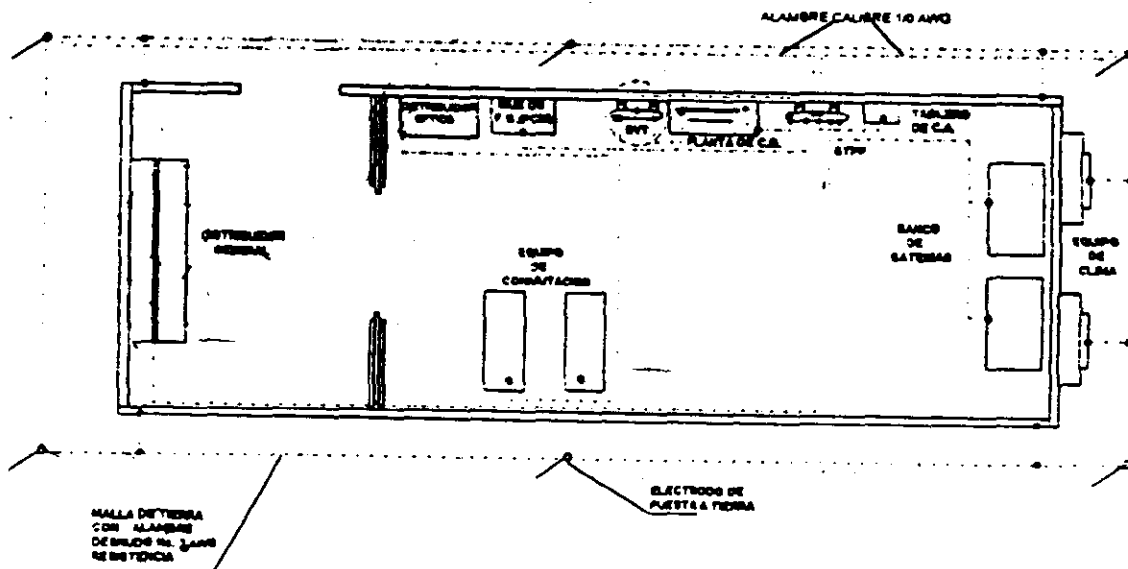


Figura 82b. Puesta a tierra de una URL en un contenedor.

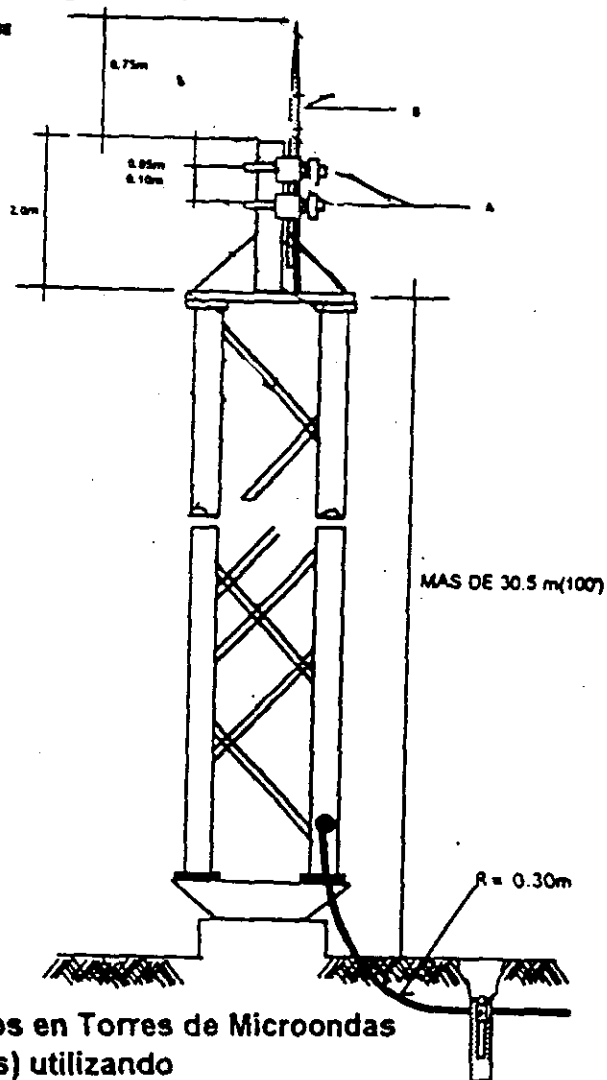
## 5.4.- EQUIPOS DE TRANSMISIÓN, INSTALACIONES RURALES Y TELEFONIA CELULAR.

### 5.4.1.- PARARRAYOS.

a) Si la torre de microondas es igual o mayor de 30.5 m (100') de altura, no requiere del conductor de puesta a tierra. Para la conexión a tierra del pararrayos se utilizará la estructura de la torre, misma que servirá de conductor, conectándose en su base a la malla de tierra con alambre desnudo, calibre No 2AWG (Ver figura 83)

A) CONECTOR MECANICO TIPO  
GG. PARA 7/32" (3") DE DIAMETRO. DE  
SERIATA UN TROZO DE  
0.15m (6.3") DE CONDUCTOR No. 6 AWG.

B) PARARRAYOS TIPO VARELLA DE  
COBRE MACIZO-CROMADA DE  
12.7 mm (1/2") Ø / 0.90 m DE LONG.



**Puesta a Tierra del Pararrayos en Torres de Microondas mayores de 30.5 m (100 Pies) utilizando la Estructura como Conductor.**

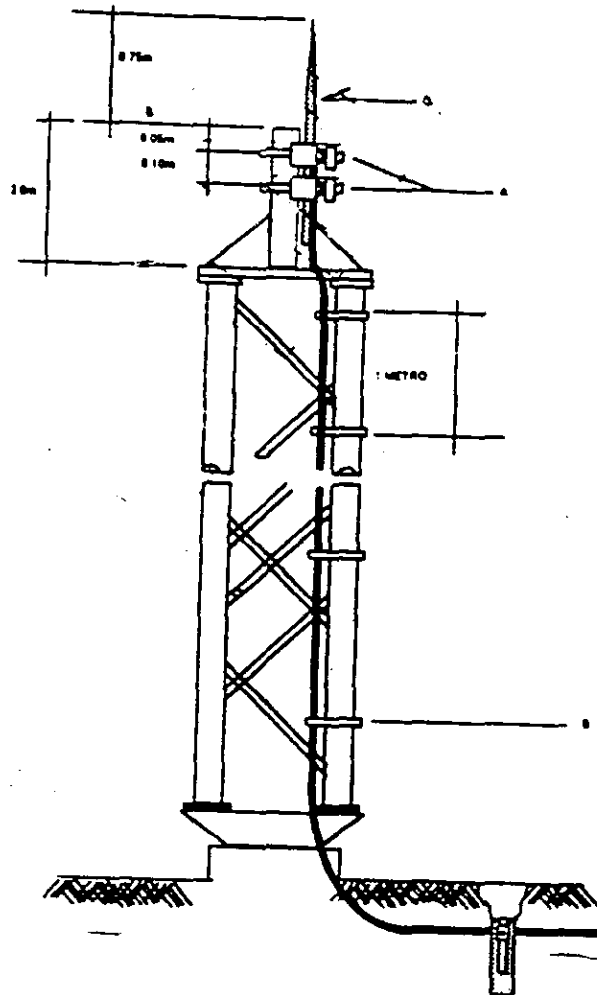
Figura 83

b) En torres menores de 30.5 m (100'), el conductor de puesta a tierra que baja del pararrayos debe ser de alambre desnudo, temple semiduro, calibre No. 2 AWG, continuo hasta electrodos de tierra y se sujeta cada metro a una de las piernas con abrazaderas metálicas de cremallera, tipo sinfin ( Ver figura 84 )

A) CONECTOR MECANICO TIPO GO  
PARA PARA B Y PARA UNA VARILLA  
Y CONDUCTOR A TIERRA.

B) ABRAZADERA METALICA DE CREMALLERA  
LLERA COLOCADA A CADA METRO PARA  
SUSCENSION DEL CONDUCTOR A TIERRA EN  
PIERNA DE LA TORRE

C) PARARRAYOS TIPO VARILLA DE COBRE  
MACIZACROMADA DE 1.7 x 8.80 M



Conexión de Puesta a Tierra del Pararrayos en Torres de Microondas menores de 30.5m (100pies).

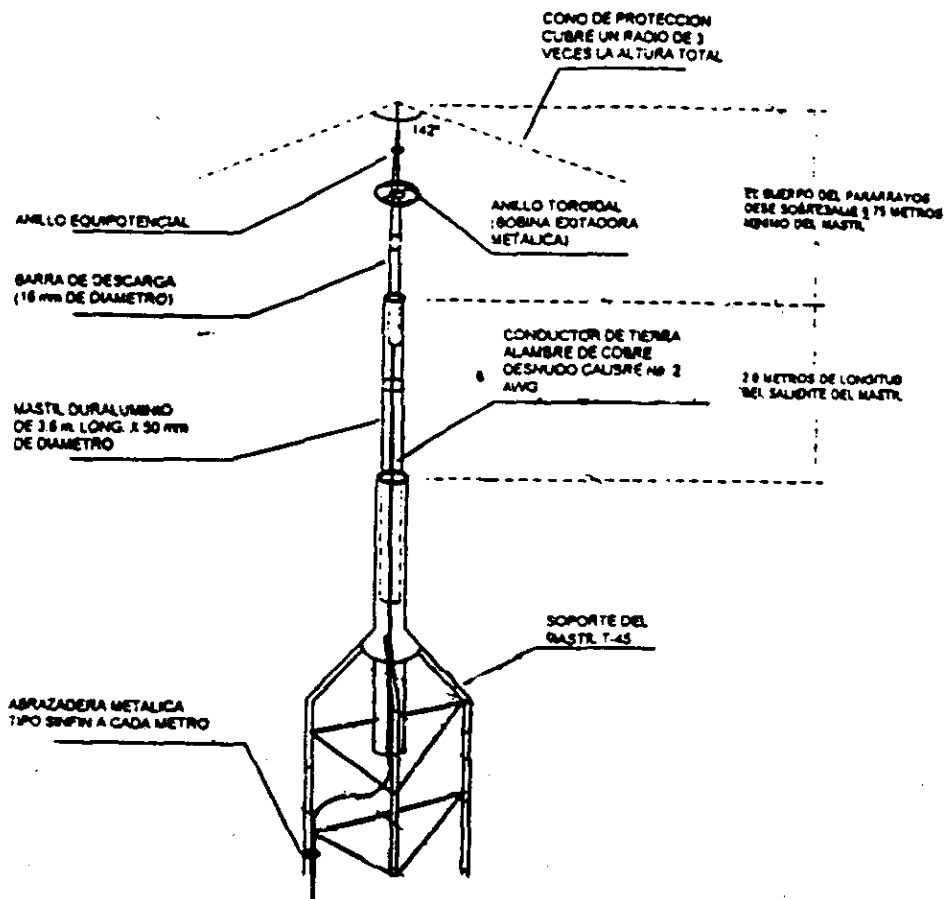
Figura 84.

c) los pararrayos se deben inspeccionar cuando menos cada 2 años.

d) El conductor de puesta a tierra del pararrayos debe instalarse evitando todo tipo de curvas.



- e) Los pararrayos deben instalarse en el mástil de la torre (Ver figura 85)
- f) Los pararrayos de telefonía rural protegen una zona en forma de cono, cuya base es una circunferencia de igual a dos veces la altura alcanzada por el pararrayos.
- g) El conductor del pararrayos debe ir a tierra con tres electrodos conectados en estrella y con longitud de 3 a 4.5 m con respecto al centro. Así mismo, se conecta a la malla de tierras.
- h) Reglas que se deben observar al instalarse el pararrayos de acuerdo al RIE:
- Los conductores y electrodos no deben utilizarse para puesta a tierra de instalaciones y equipo, sino que deben tener su propio sistema de tierra, pero se recomienda interconectarse entre sí los diferentes sistemas de tierra en una misma canalización.
  - Las canalizaciones y cubiertas metálicas y otras partes metálicas de equipos eléctricos que no lleven corriente, deben mantenerse por lo menos a dos metros de distancia de los conductores de puesta a tierra de los pararrayos, ó bien, solo cuando esto no sea posible, dichas partes deben conectarse firmemente a los conductores mencionados.
- i) El montaje del pararrayos en las torres se deben hacer mediante el mástil de tubo de fierro galvanizado de 2" de diámetro, cédula 40 y 3.60 m (9.85') de largo para telefonía celular (Ver figura. 85)



### Partes Típicas de un Pararrayos.

Figura 85

k) En el poste de madera de 13.7 m (45'), en agencia RAM y/o Terminal de Radio Punto a Punto se utilizará pararrayos montado en mástil de tubo galvanizado cédula 40 y de 2" de diámetro por 3.0 m (9.85') de longitud y la puesta a tierra de esta infraestructura será conforme a la Figura 86

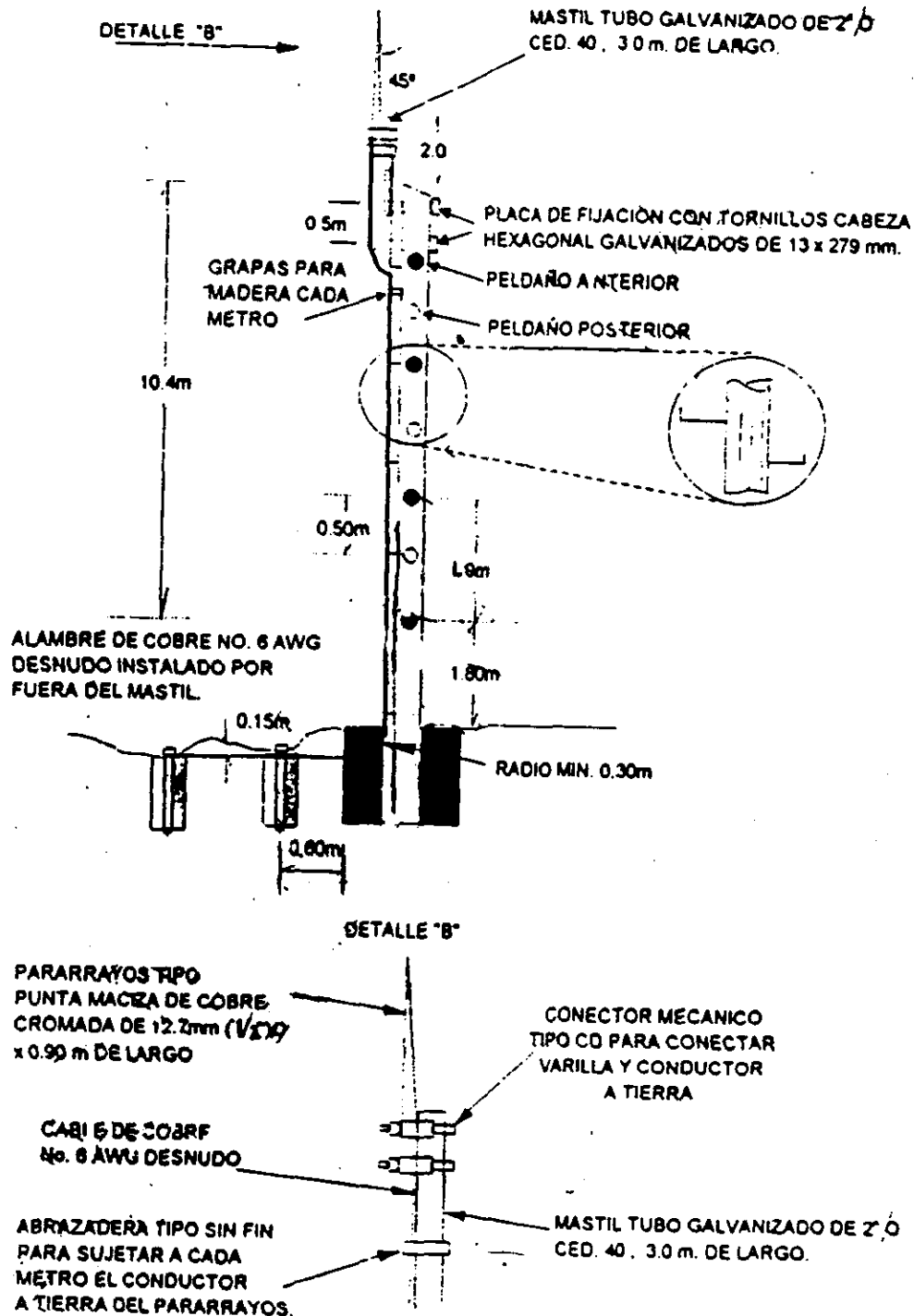
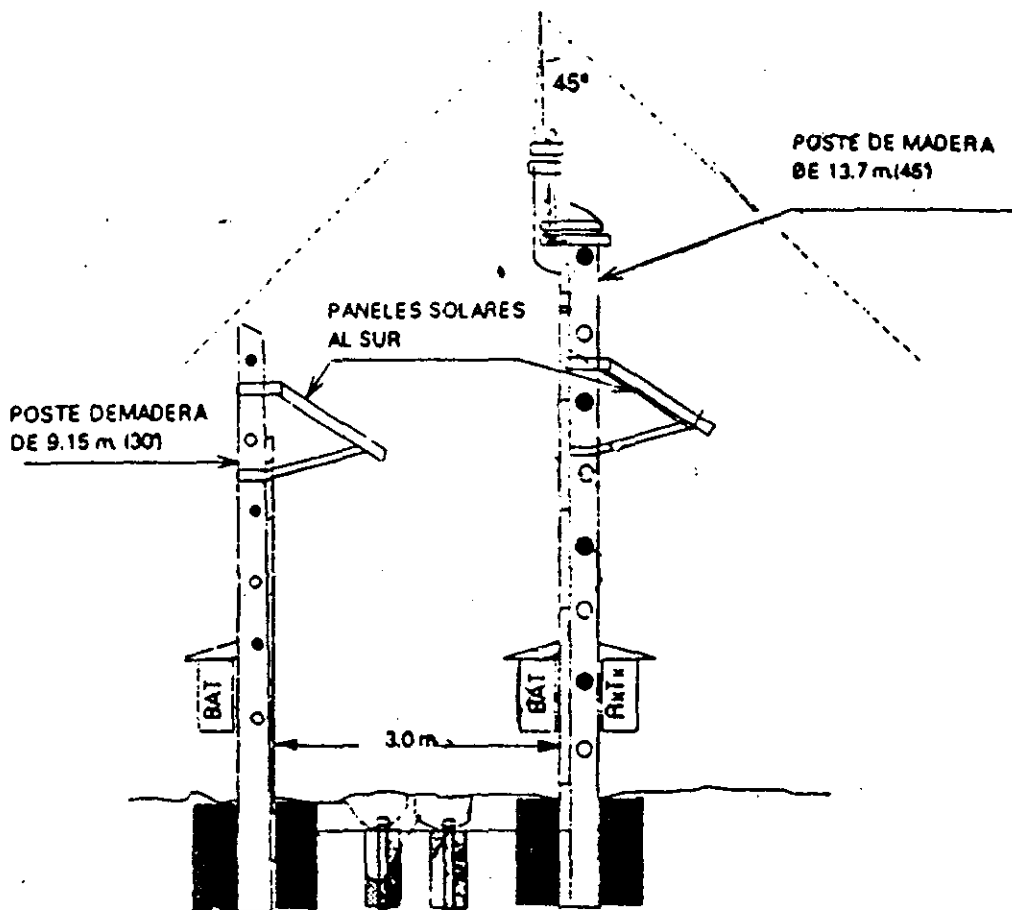


Figura 86 Montaje del Pararrayos en Postes de Madera de 13.7 m.

1) La infraestructura compuesta por dos postes requerirá que se instale el pararrayos en el poste de mayor altura (Ver figura 87)



**Sistema de Tierra en infraestructura con postes de 30 y 45 pies.**

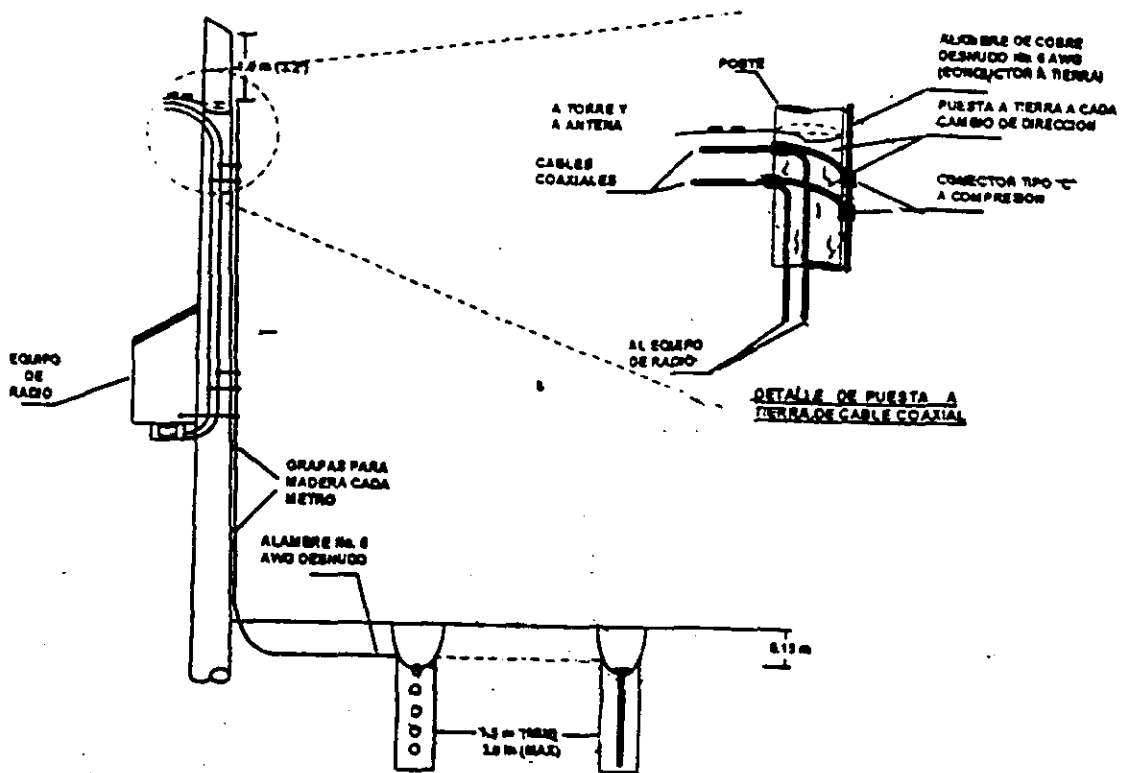
Figura 87

#### 5:4:2.- LINEAS DE TRANSMISIÓN (GUIA DE ONDA Y/O CABLE COAXIAL).

A) La puesta a tierra de las líneas de transmisión se deben hacer antes de cada cambio de dirección de arriba hacia abajo.

B) Cuando entre cambios de dirección se rebasen los 30 metros de longitud de las líneas de transmisión se deben de poner a tierra la parte media o proporcional.

C) Las líneas de transmisión se debe conectar BTT utilizando el juego de conexión a tierra (Kit) adecuado al tipo de línea, (Ver Figura 88)

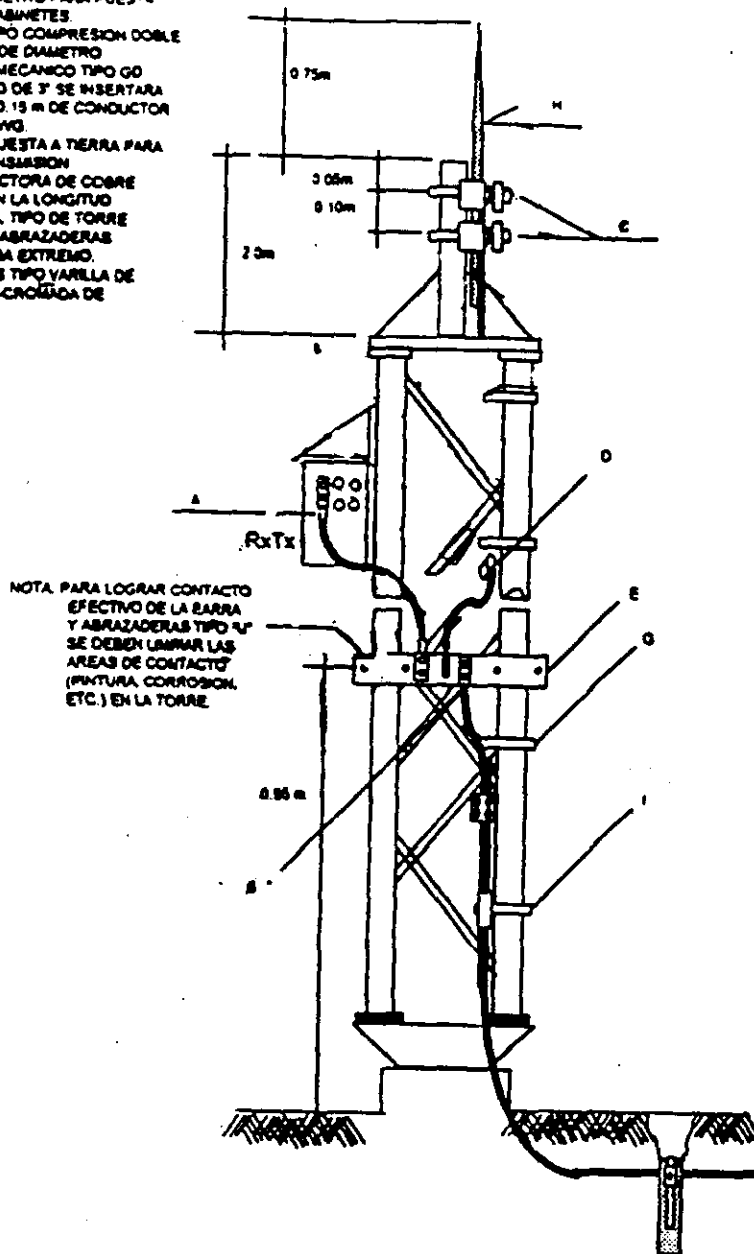


**Puesta a tierra de las líneas de transmisión en poste.**

**Figura 88.**

d) La BTT se debe conectar a la estructura de la torre, cuando está mida mas de 30 metros ó al de pararrayos cuando sea menor de 30 metros (Ver fig. 89)

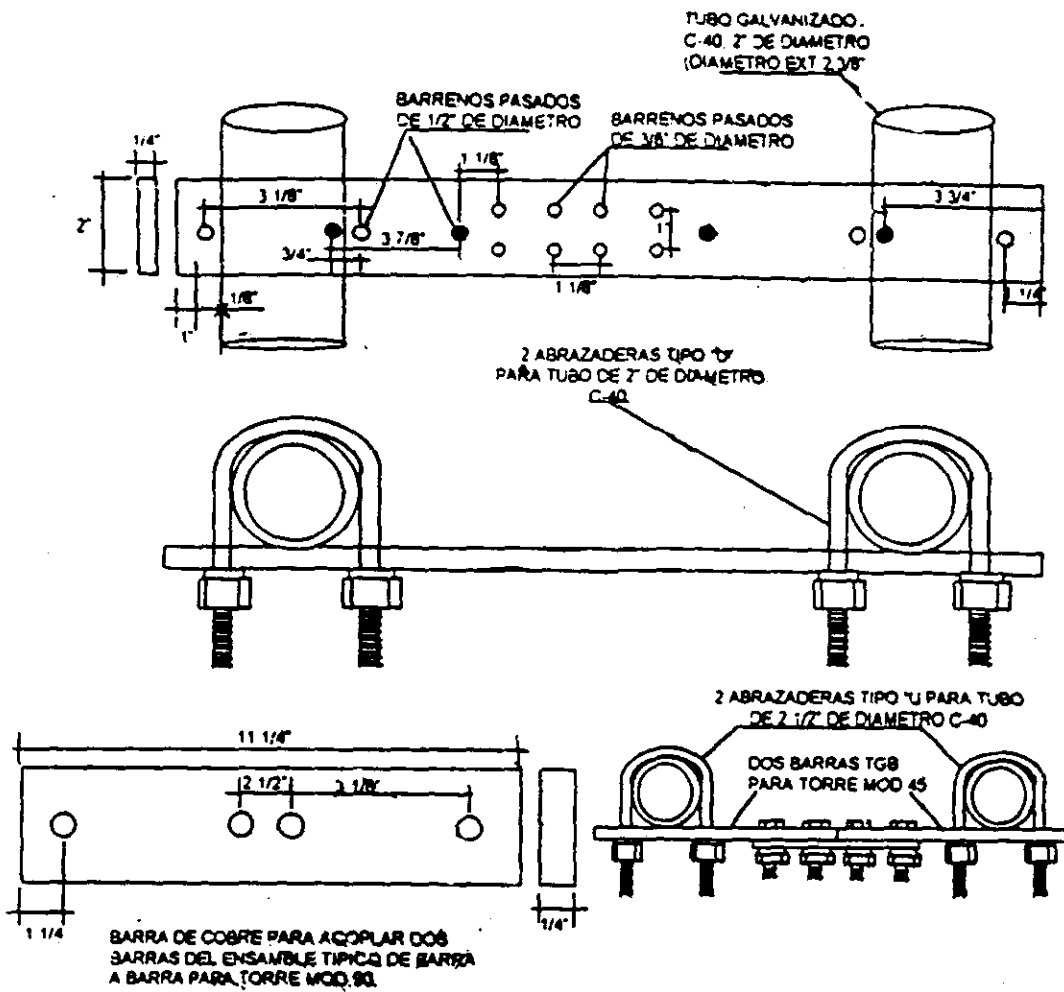
- A) CONECTOR DE ALAMBRE DESNUDO CALIBRE No 8 AWG CON TERMINAL DE 3/8" DE DIAMETRO PARA PUESTA A TIERRA DE GABINETES.
- B) TERMINAL TIPO COMPRESION DOBLE CILLO DE 3/8" DE DIAMETRO
- C) CONECTOR MECANICO TIPO GO PARA DIAMETRO DE 3" SE INSERTARA UN TRCZO DE 0.15 m DE CONDUCTOR CALIBRE No 8 AWG.
- D) AJUGO DE PUESTA A TIERRA PARA LINEAS DE TRANSMISION
- E) BARRA COLECTORA DE COBRE DE 1/2" x 2" CON LA LONGTUD DE ACUERDO AL TIPO DE TORRE SE PUJARA CON ABRAZADERAS TIPO "U" EN CADA EXTREMO.
- H) PARARAYOS TIPO VARILLA DE COBRE MACIZO-CROCEADA DE 1/2" x 0.80 m.



**Torre mayor de 30 metros.**

**Figura 89.**

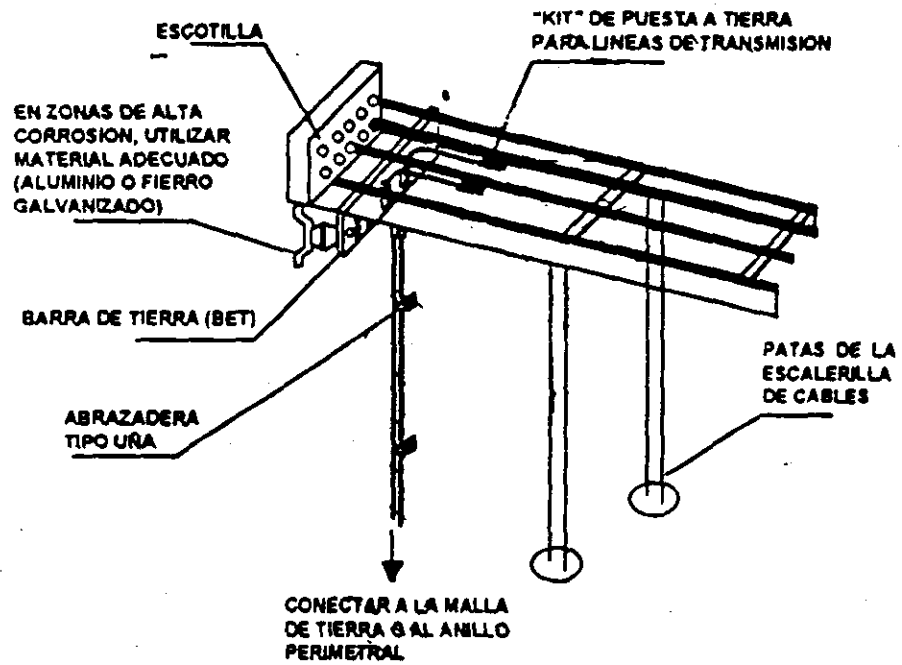
e) Las características y especificaciones de la BTT para la puesta a tierra de las líneas de transmisión se muestra en la figura 90.



**Características y Especificaciones de la BTT.**

Figura 90.

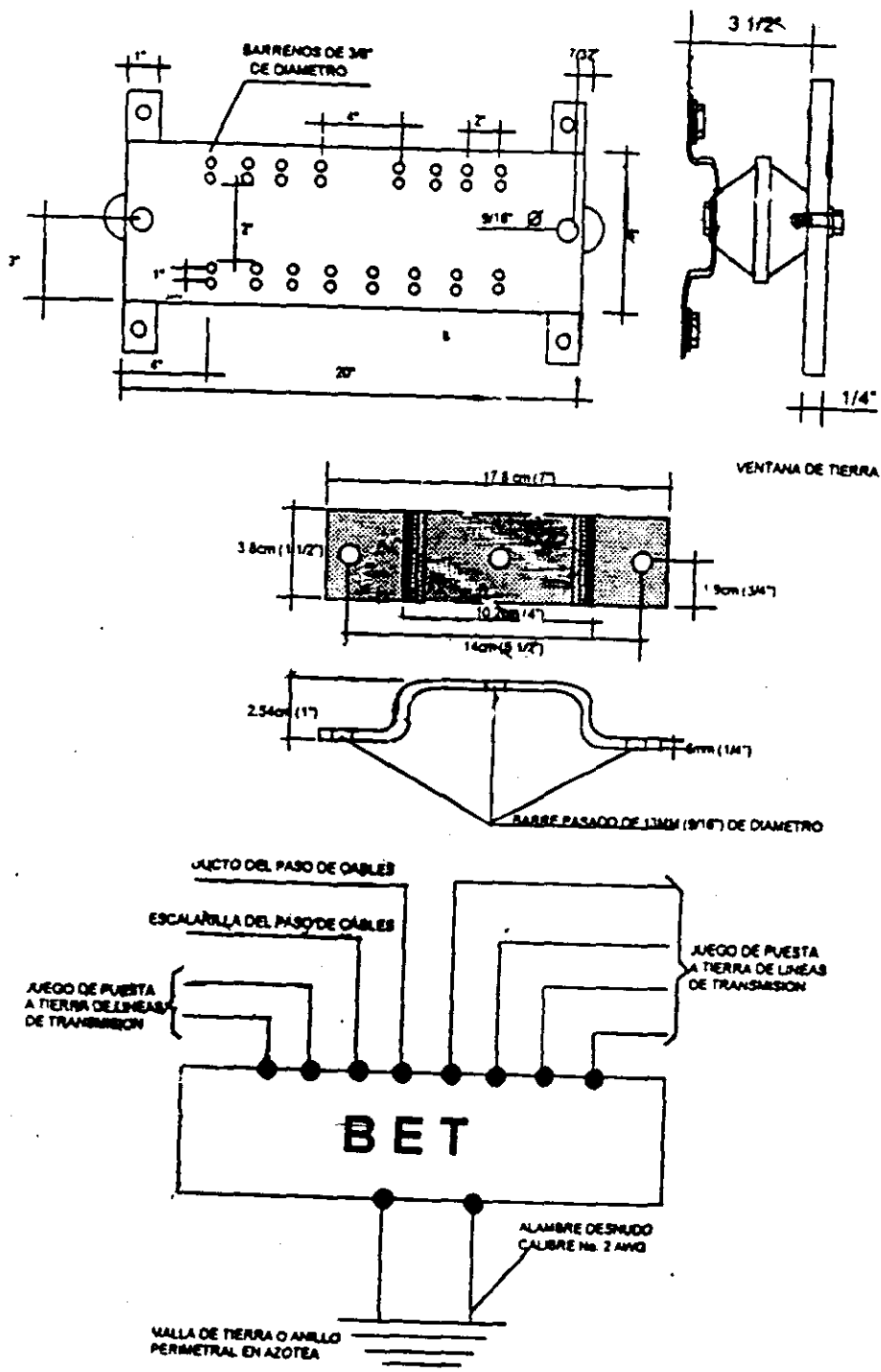
f) Las líneas de transmisión se conectarán a tierra en la parte exterior de la escotilla a una barra externa de tierra (BET) (Ver figura 91a y b)



**Puesta a tierra de las líneas de transmisión en el exterior de la sala.**

Figura 91a





Conexiones típicas y especificación de la barra externa de tierra (BET).

Figura 91b

g) Se debe conectar a tierra la escalerilla y el bastidor metálico de la escotilla, en el interior de la sala de transmisión, el anillo interior de la tierra de transmisión (AITT) y el exterior a la barra externa de tierra BET, con un conductor calibre No. 6 AWG con aislamiento THW-LS zapatas, terminales y conectores a compresión tipo "C" ( Ver Figura 92)

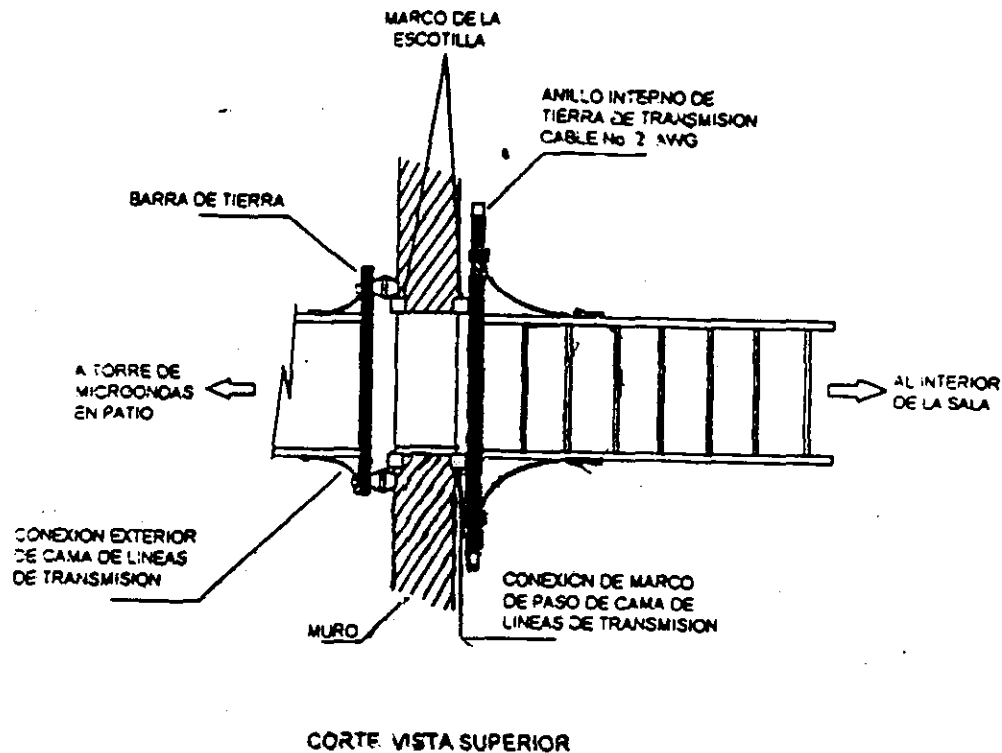


Figura 92 Puesta a tierra de la escalerilla y el bastidor metálico al paso de líneas de transmisión por la escotilla.

h) En una torre de microondas, los cables de alimentación eléctrica para las lamparas de advertencia, el conductor de puesta a tierra y a las líneas de transmisión se deben instalar como se muestra en la figura 93

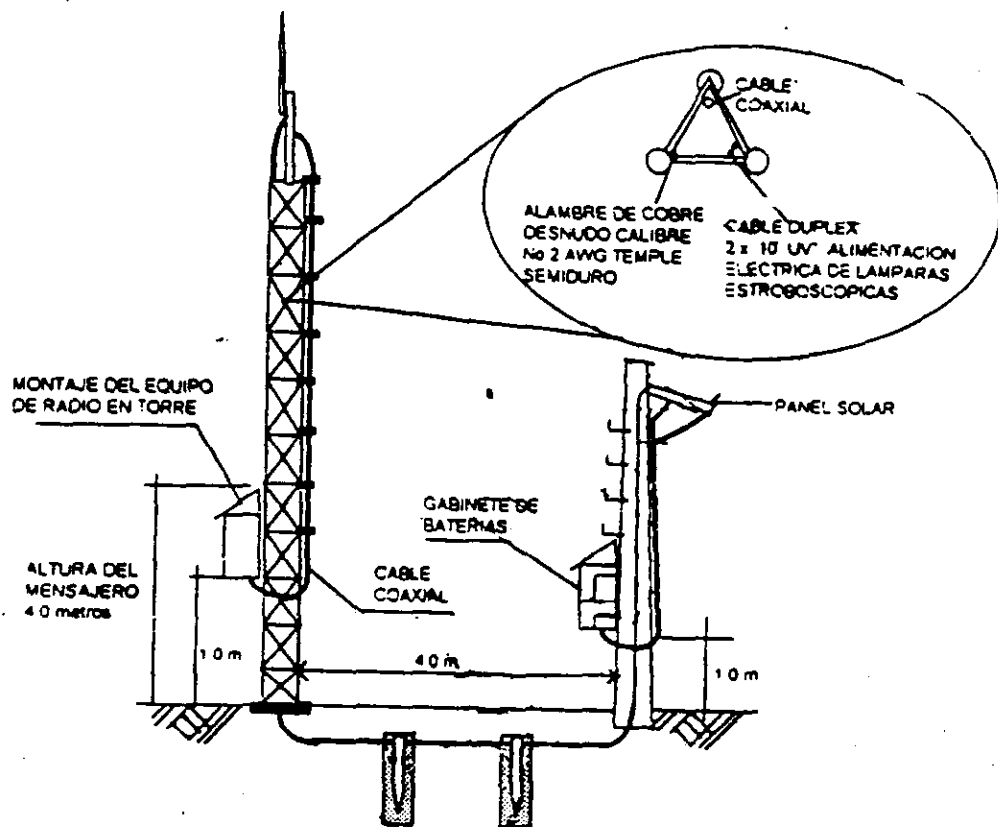


Figura 93 Ubicación de los cables de energía conductor de puesta a tierra y línea de transmisión.

- i) El montaje en la torre, del equipo de radioabonado RAM digital o de la terminal de Radios Punto a Punto, no requiere aislamiento entre gabinete y torre.
- j) El recorrido de la línea de transmisión, al utilizarse poste de madera como infraestructura, debe localizarse en el mismo lado del cable de alimentación del equipo de radioabonado (lado sureste) y el conductor a tierra se localizará diametralmente opuesto (es decir, al noreste) para evitar que sea dañado por los herrajes de sujeción de los gabinetes de radio y baterías ( Ver figura 94)

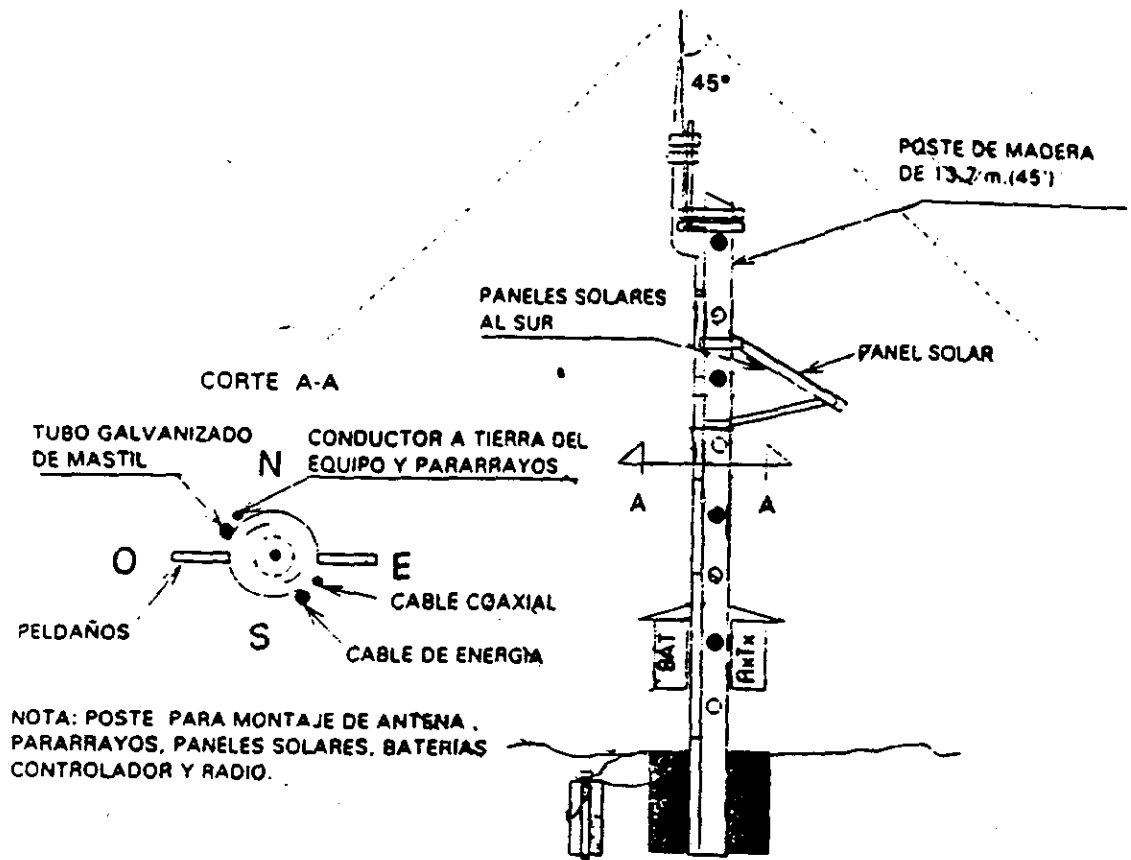


Figura 94. Recorrido del Cable Coaxial, cable de alimentación eléctrica y conductor puesta a tierra en poste de 45 pies.

#### 5.4.3.- CONTENEDORES EN AZOTEAS.

- a) Conectar la estructura metálica de la base del contenedor al anillo perimetral de la azotea o malla de tierra en dos puntos opuestos como mínimo, con cable de cobre desnudo calibre No.1/0 AWG y soldadura Cadweld.
- b) Conectar la barra de tierra principal del contenedor al anillo perimetral de la azotea o malla de tierra en dos puntos opuestos, con cable de cobre desnudo calibre numero 1/0 AWG, en tubo PVC y unido con soldadura CADWEL en conexiones externas y con zapata a compresión de cañón largo de doble ojillo en el interior. (Ver figura 95 )

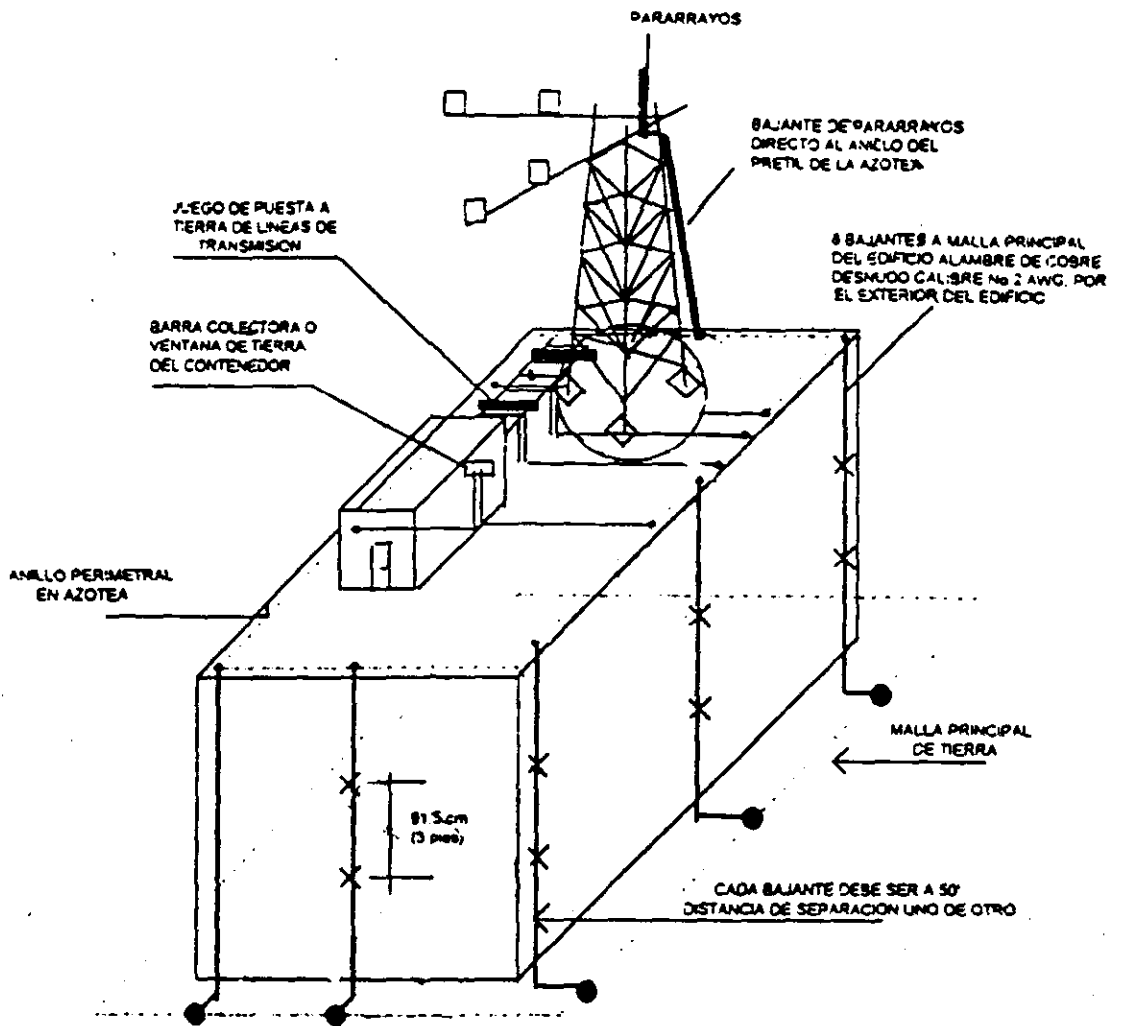


Figura 95 Conexión de contenedores en azotea.

c) Se debe instalar una malla de tierra de alambre calibre No. 2 AWG desnudo alrededor del contenedor, uniéndose cada uno de sus vértices con soldadura Cadweld.

d) La barra de tierra principal del contenedor (BTPC) debe ubicarse a una altura de 1.5 m (5') del piso a la parte inferior de la barra, Ver figura 96.

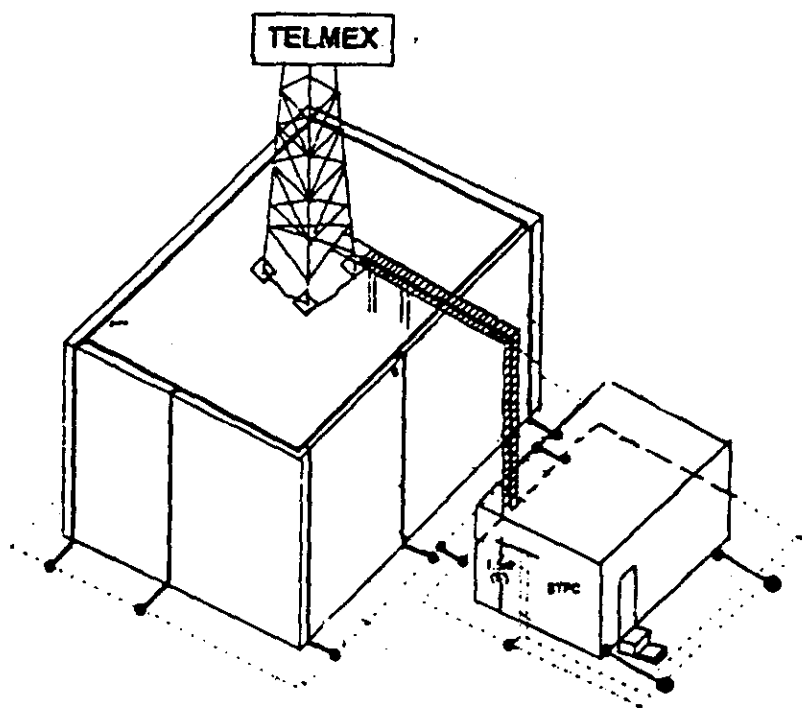


Figura 96. Puesta a tierra del contenedor a un costado del edificio.

#### **5.4.4.- CABLE DE FIBRA OPTICA.**

a) El cable de fibra óptica debe conectarse a tierra en la acometida de fosa de cables , cambiando el cable de uso externo a otro cable de uso interno. En los casos donde no exista este cambio se procederá de la siguiente manera:

- La pantalla de cable de fibra óptica debe ser conectada a la barra de tierra del equipo de transmisión (BTET) con cable calibre No. 6 AWG, con aislamiento THW-LS de color verde y zapata terminal a compresión doble ojillo (Ver figura 97)

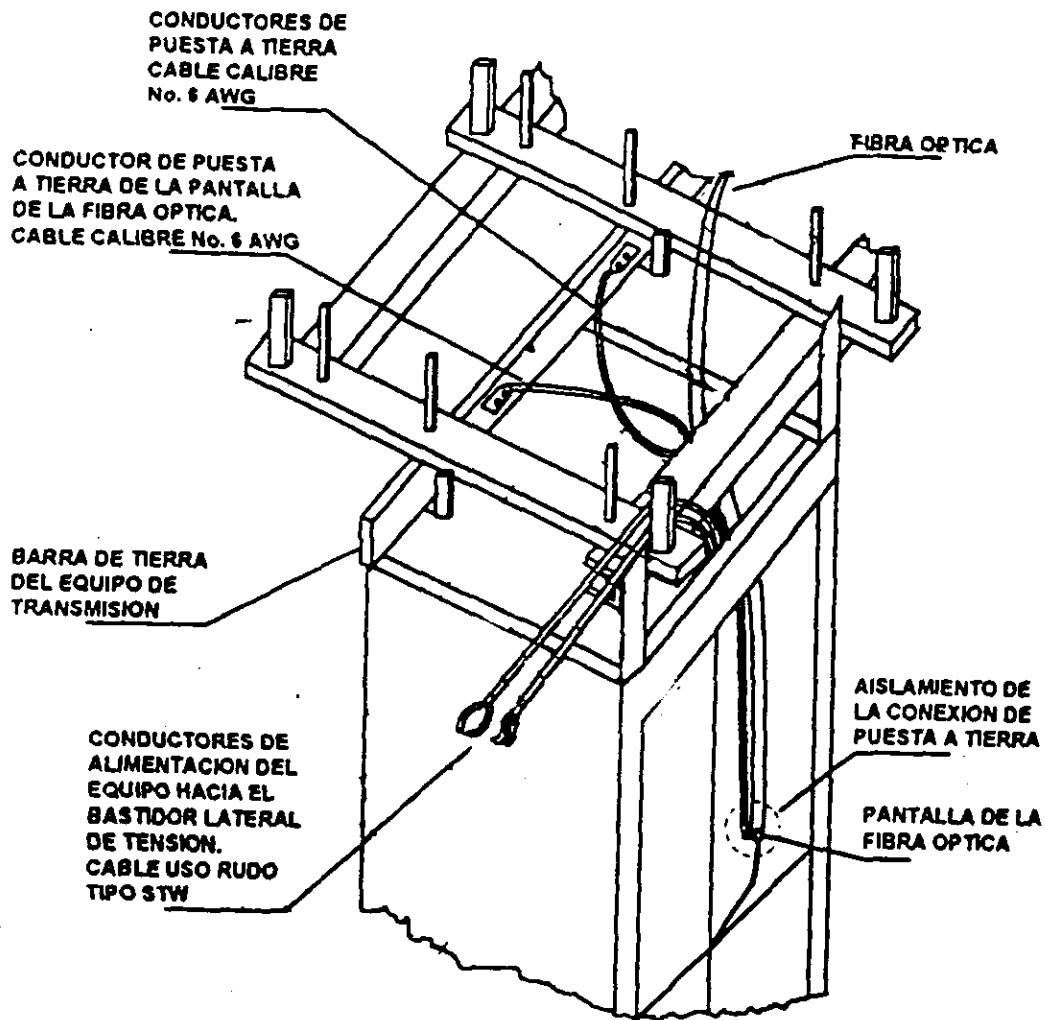


Figura 97 Puesta a Tierra del Cable de Fibra Óptica

#### 5.4.5- RADIO, EQUIPO OPTICO, MULTIPLEXORES Y PCM.

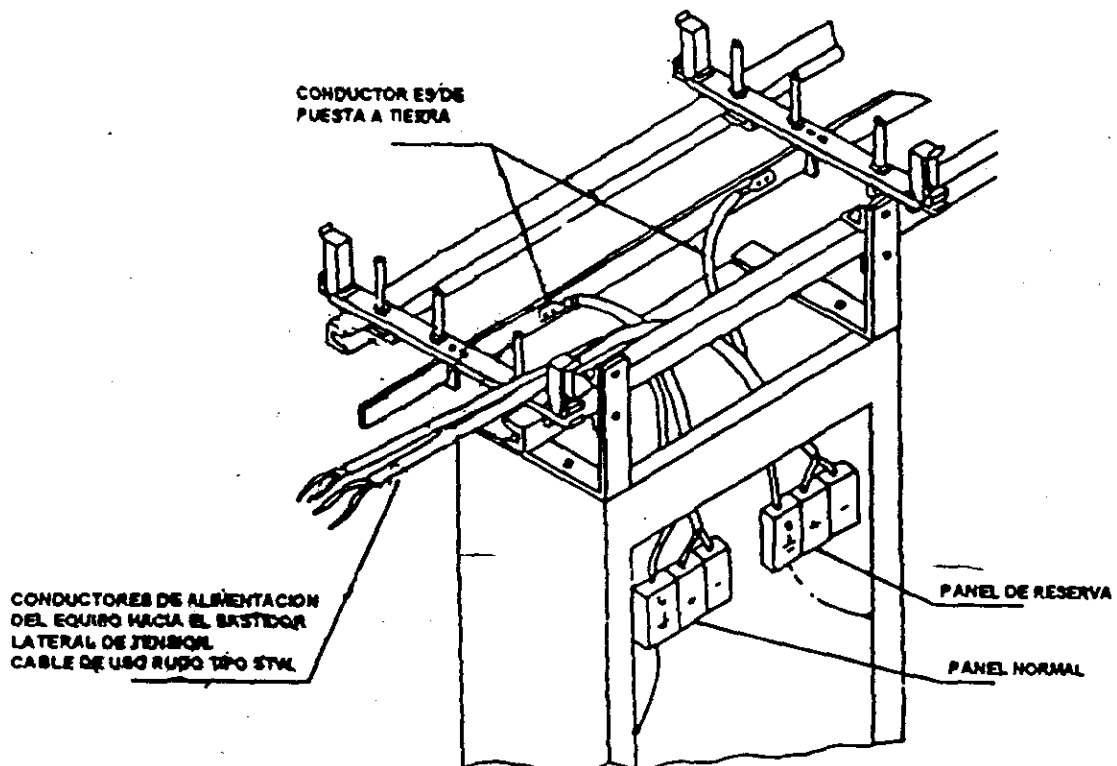
- a) Dado que una de las funciones de la puesta de los equipos, es hacer actuar la protección de la cual dependen, se deben instalar protecciones individuales para cada fuente de alimentación. Es decir una protección para operación normal y otra para operación de reserva. estas protecciones deben estar en diferente fila de fusibles en el bastidor lateral de tensión (BLT) (Ver figura 98).

b) La puesta a tierra de los equipos de transmisión se debe realizar a través del panel de conexiones eléctricas del equipo. Este panel está provisto de tres terminales (Ver figura 98)

- Una terminal de alimentación o negativo.
- Una terminal de retorno de baterías o positivo.
- Una terminal de puesta a tierra.

c) No debe unirse la terminal de retorno de baterías con la terminal de puesta a tierra (Ver figura 98)

d) la puesta a tierra del panel de conexiones del equipo debe ser con cable calibre No. 6AWG, con aislamiento THW-LS color verde y terminal zapata a compresión doble ojillo (Ver figura 98)



**Figura 98 Panel de conexiones eléctricas del equipo de transmisión.**



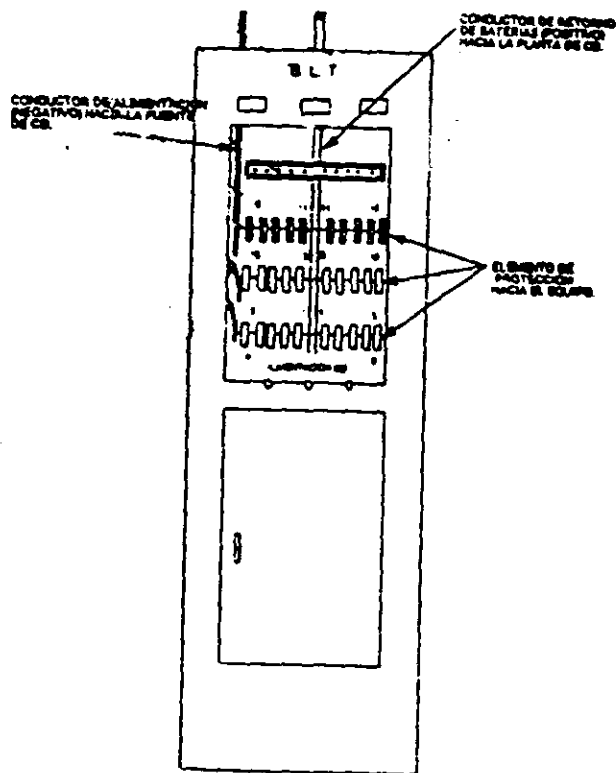
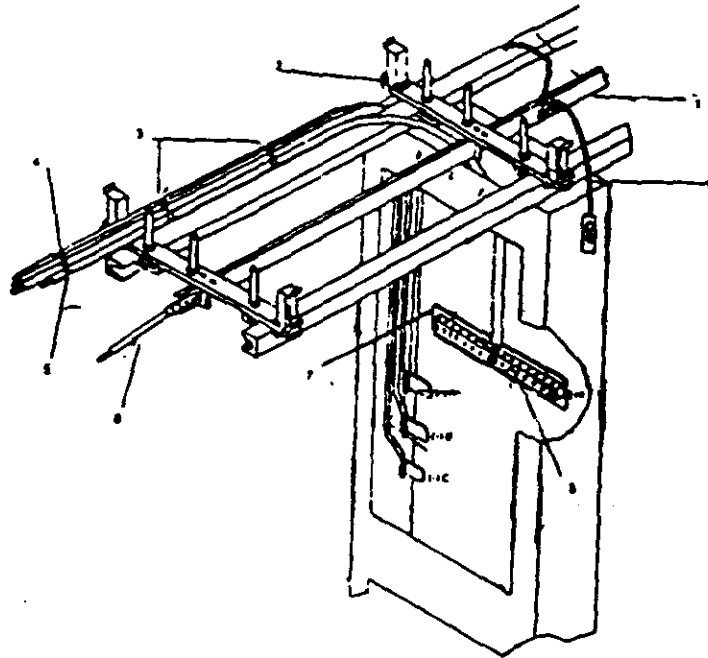
e) Los conductores que van de la planta de CD hacia la BLT deben instalarse en pares es decir , alimentación (negativo) y retorno de baterías (positivo) para evitar efectos inductivos, por lo que se sujetaran con hilo cáñamo encerado a cada 60 cm (2') durante todo el recorrido (Ver figura 99).

f) Los elementos de protección para corriente directa deben ser fusibles de fusión rápida , adecuados para la protección del equipo y deben ser calculados para la protección del equipo y deben ser adecuados al 130% de la carga nominal del equipo instalado, Además, cada fila de fusibles debe ser alimentada con un conductor independiente (Ver Figura 99)

g) La barra de retorno de baterías (positivo) debe ser aislada de los BLT colocándose una placa aislante, como baquelita ó equivalente, entre el bastidor y la barra de retorno de la batería (Ver figura 99)

h) Los conductores de retorno de baterías (positivo), deben ser independientes de la tierra de protección.

i) Los conductores de alimentación de los equipos de transmisión deben ser instalados en pares, para lo cual se deben utilizar cordón de uso rudo, tipo STW, consistente de conductores flexibles de cobre suave con aislamiento de PVC, relleno flexible, cinta reunidora y cubierta de PVC lisa. Este cordón se debe instalar desde el BLT hasta el equipo a conectar (Ver figura 99)



**Figura 99** Instalación típica de los conductores de alimentación en el bastidor lateral de tensiones (BLT) y barra colector de puesta a tierra de los equipos de transmisión (BTET).

Donde :

- 1.- Barra de tierra de los equipos de transmisión (BTET).
- 2.- Peldaño de fila para soporte del cableado del bastidor.
- 3.- Sujeción a cada 60 cm.
- 4.- Cáñamo encerado.
- 5.- Conductores de la planta de CD ( Tanto el positivo como el negativo en pares)
- 6.- Conductor de puesta a tierra hacia la barra colectora de BTP o anillo interior AITT según se trate.
- 7.- Aislamiento de baquelita.
- 8.- Barra de retorno de baterías.
- 9.- Conductor de puesta a tierra del bastidor BLT.

j) La barra de tierra del equipo de transmisión (BTET) será únicamente para la puesta a tierra y se ubicará sobre la parte superior de los equipos a conectar, con una longitud que abarque toda la fila y no requiere aislarse de los elementos metálicos de soporte. (Ver fig. 100).

k) El empalme de dos barras de tierra del equipo de transmisión (BTET) será a través de una barra de unión de 0.20 m (7.8") de largo, de las mismas características que la BTET y tornillos de acero cadmizado con rondana plana y de presión. Se debe limpiar el área de contacto de las barras con una solución protectora especial como Nolax o Penotrox (Ver fig. 100).

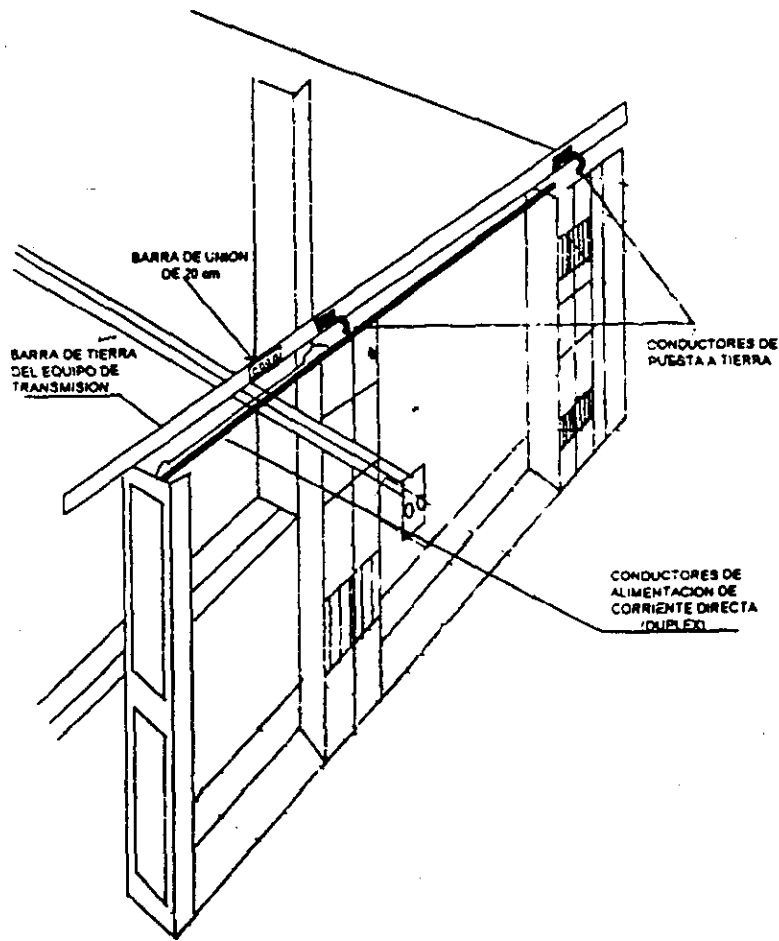


Figura 100 Barra de tierra de equipo de transmisión y barra de unión.

1) La barra de tierra del equipo de transmisión (BTET) tendrá las siguientes medidas: 5mm (3.16") de espesor  $\times$  38 mm (1.5") de ancho  $\times$  38 mm (1.5") de ancho 2,750 mm (108.2") de largo u barrenos de 9.52 mm (3/8 pulgadas) para las terminales zapatas de puesta a tierra (Ver figura 101)

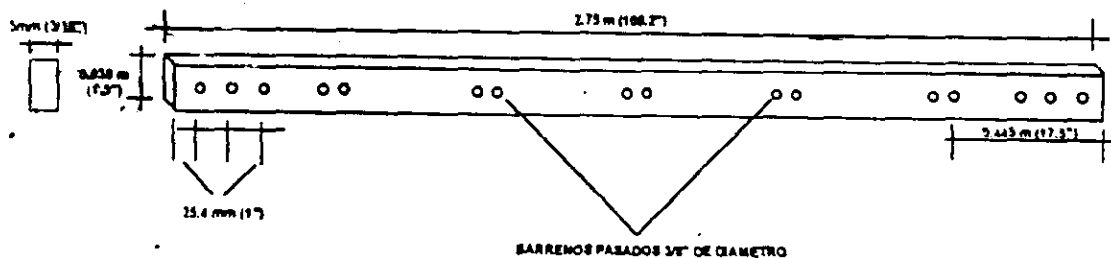


Figura 101. Especificación de la barra de tierra del equipo de transmisión.

m) EL cableado de CA para los toma corrientes de uso general (127 VCA) deben constar de tres conductores identificables:

- Una fase de cualquier color, excepto verde, blanco o gris.
- Un neutro de color blanco o gris.
- Una tierra de protección color verde.

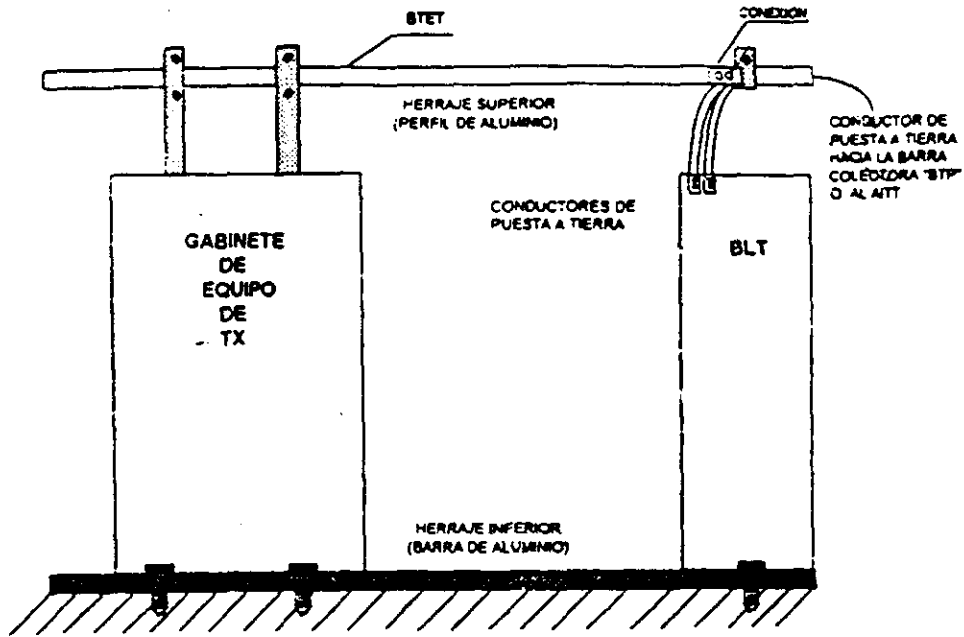
Nota: No debe de conectarse el neutro con tierra de protección.

n) Los conductores de alimentación de CA para toma corriente y alumbrado que se utilicen dentro del BLT serán canalizados en tuberías de PVC y los accesorios (Cajas de registro , chalupas y placas ) deben de ser de PVC. No debe instalarse tubería metálica.

ñ) Las lamparas con balastra (circuitos ferró -resonantes) se deben aislar de la estructura metálica para evitar que se induzcan señales electromagnéticas de 60 Hz de los equipos de transmisión.

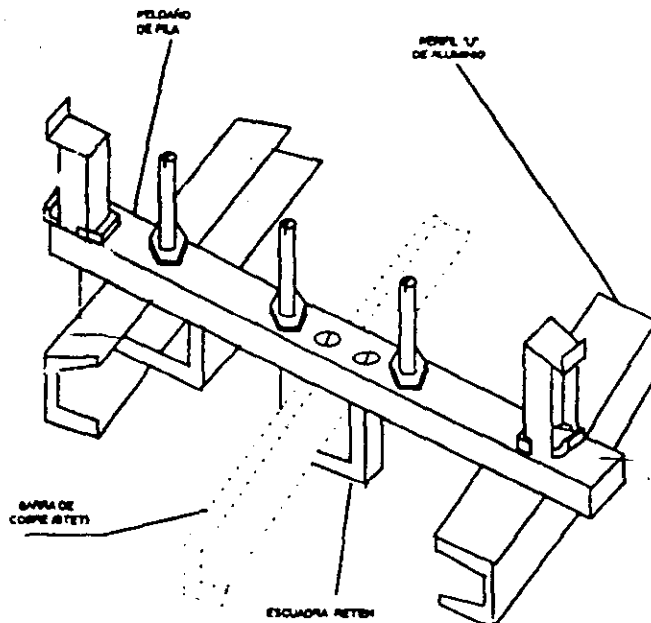
o) Cuando se instale equipo digital de transmisión, en la misma sala de conmutación, se debe referenciar a la sección del plano integrado de la BVT (Ver capítulo 4.9).

p) Los gabinetes de los equipos de transmisión, no requieren conexión a tierra por medio de conductores externos, ya que esto se logra a través de su estructura y, para el BLT, se deben colocar dos conductores por seguridad, con terminal zapata a compresión, doble ojillo y cañón largo, eliminando la pintura del área de contacto del gabinete y conectarlo a la BTET (Ver figuras 99 y 102).



**Figura 102 Bastidor lateral de tensión.**

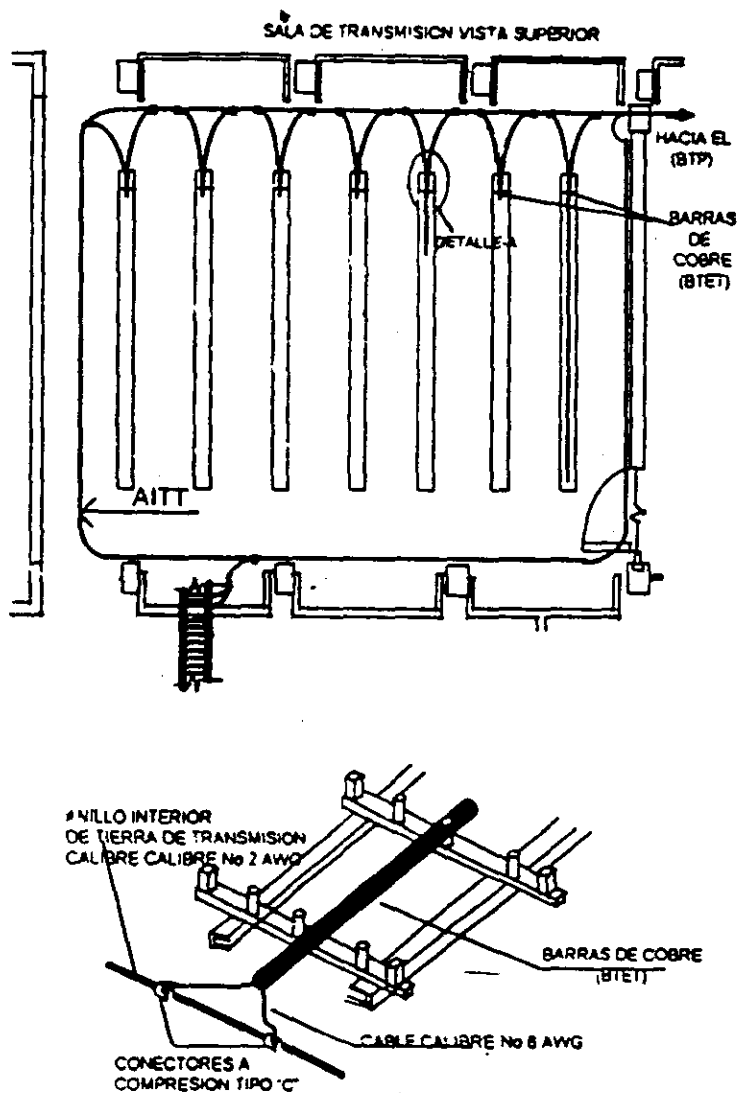
q) La estructura metálica de la sala de transmisión (fija tipo MUX) tendrá una referencia a tierra a través de la BTET. Esta barra de cobre se sujetara a los peldaños de la fila a través de la escuadra retén (Ver figura 103).



**Figura 103 Estructura para fila tipo MUX.**

r) La BTET debe conectarse a la BTP ó al AITT con un cable conductor calibre No. 6 AWG, con aislamiento THW- LS de color verde y zapata terminal a compresión, con doble ojillo de cañón largo o conector tipo "c" de compresión.

s) El AITT únicamente se instalará en las salas con equipo de radio, este anillo será de una sola pieza con cable conductor calibre No. 2 AWG, con aislamiento THW -LS de color verde , sujetándose a las paredes a una altura de 3.00 m (10') con abrazaderas tipo uña y conectándose a él toda estructura metálica que se encuentre en la sala (Ver figura 104).

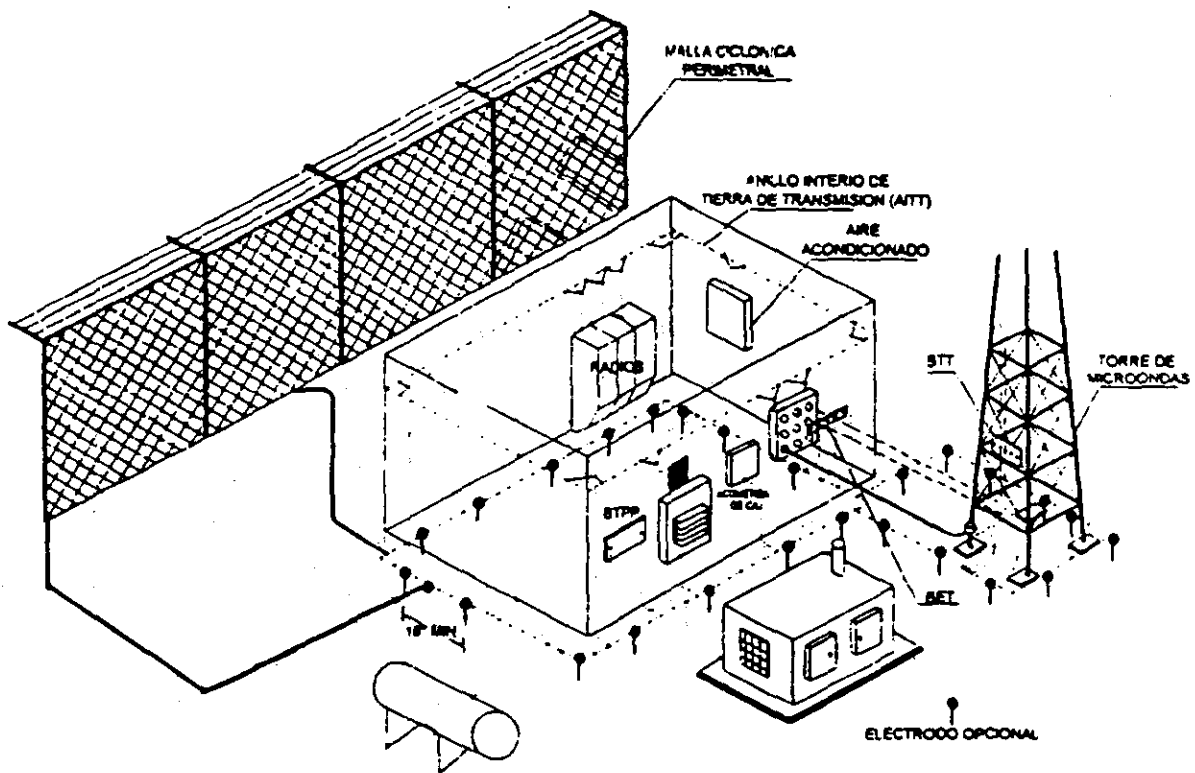


**Figura 104 Anillo interior en sala de transmisión.**

### 5.4.6 Repetidores de microondas.

La filosofía descrita en el punto 4.5 es aplicable en repetidores de microondas, exceptuando la instalación de la BVT y la BTP.

a) El equipo de transmisión, en repetidores de microondas, tendrá una altura de 1.5 m (5') y lo mas cerca a la acometida o al tablero de distribución general de CA (Ver figura 105)



**Figura 105 Interconexión de partes metálicas con la malla de tierra dentro de un radio de 15 m.**

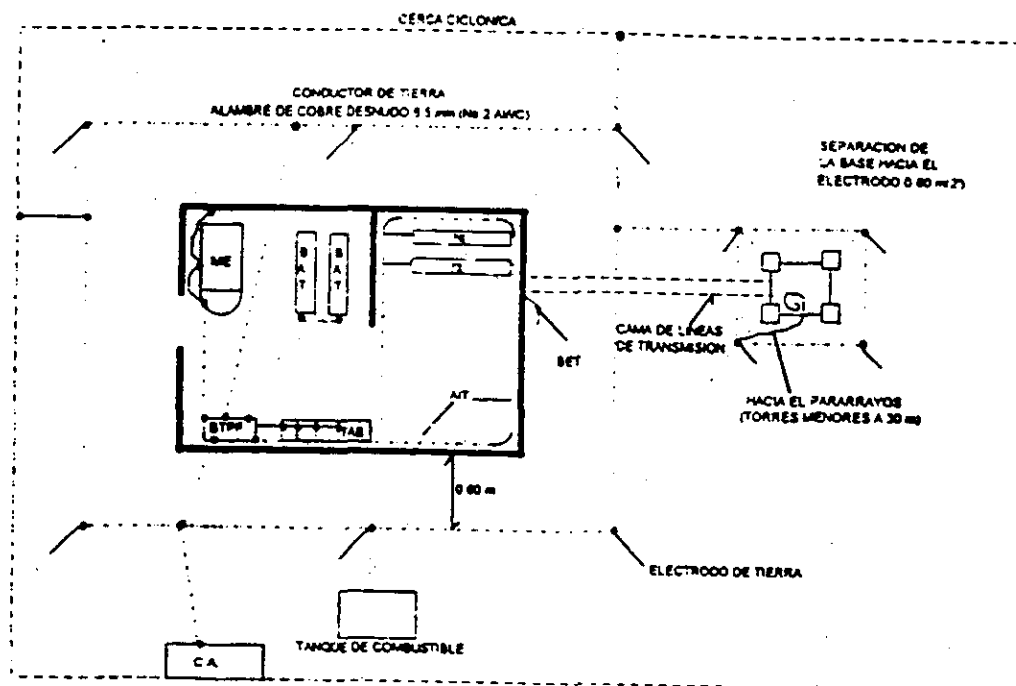
b) La BTPP debe estar conectada a la malla de tierra en dos puntos opuestos por seguridad (Ver figura 106).

c) La malla de tierra debe ser con alambre de cobre desnudo calibre No.2 AWG y sus uniones deben ser con soldadura Cadweld.



d) la malla de tierra se instalará bajo el lecho del piso a 0.61 m (2') de profundidad, separada de la base o cimentación 0.61 m (2') como mínimo (Ver figura 106)

e) A esta malla se conectarán todas las estructuras metálicas que se encuentren en el exterior, como son: anillo de tierra de la torre de microondas, juego de puesta a tierra de la líneas de transmisión a través de BET, tanques de combustible, cerca ciclónica, retenidas de la torre si se encuentran dentro de un radio de 15.2 m (50'), acometida de CA. Así mismo, se conectarán los conductores de puesta a tierra que provengan del interior del contenedor o caseta, como es la BTTP (Ver figura 106)



**Figura 106 Repetidores de Microondas.**

### **3.5 SISTEMAS DE COMPUTO Y EQUIPOS PERIFERICOS.**

La puesta a tierra de los sistemas de cómputo se debe hacer de un punto único de conexión a tierra, como es la Ventana de Tierra (BVT). Es conveniente usar como BVT la barrade tierra del bastidor de distribución de CA que alimenta al equipo de cómputo , o se puede colocar una BVT externa cerca del bastidor de CA y conectarlo a la barra de tierra del bastidor, con un conductor de cobre aislado calibre No. 6 AWG, que no exceda de 0.915 m (3').

En una central telefónica, la BVT se conecta a la BTP, si el equipo de cómputo no se encuentra en una central telefónica, la BVT se debe conectar a la malla de tierra de la instalación o al anillo exterior de puesta a tierra, el cual contará con sus electrodos Copperweld correspondientes.

Las reglas del plano aislado de tierra se aplican a los sistemas de cómputo, esto es:

1. Una ventana de tierra es de 0.915 m (3') de radio.
2. El área máxima que puede dar servicio una ventana de tierra es de tres pisos.
3. Los conduits de CA se deben conectar a la ventana de tierra
4. Los conductores de CD deben correr en pares, es decir negativo y positivo juntos y pasar por la VT.
5. Se debe utilizar conectores a compresión, cañon largo y doble ojillo.

## CONCLUSIONES

Podemos decir que la negligencia de hacer caso omiso a los peligros de descargas eléctricas, ocasionan riesgos que pueden llegar hacer fatales durante el desarrollo de actividades propias del trabajo.

Tanto a la seguridad integral de las vidas humanas como de los equipos utilizados, se exponen a riesgos indebidos, es imperativo darle un seguimiento exacto a las especificaciones del sistema de tierra.

El personal técnico responsable debe tener conocimientos básicos o ser capacitado en la materia.

Es de importancia instalar un sistema de tierra en todo lugar donde se encuentre una instalación eléctrica, desde una casa habitación hasta una nave industrial; ya que para la correcta instalación y funcionamiento, así como una adecuada manipulación de equipo eléctrico, de comunicaciones, de computo o aparatos electrodomésticos.

Su inversión no representa un gasto infructuoso, en cambio trae consigo mismo la seguridad para todo el personal que labora en el recinto y en las inmediaciones del mismo.

El deceso por electrocución ya sea por; descargas atmosféricas o corto circuito, debido a un mal aterrizaje o la falta de éste, en las instalaciones. Se ha observado que durante la incidencia de una falla en una instalación eléctrica, puede ocasionar peligrosas diferencias de tensiones entre las estructuras o equipos que se encuentren aterrizadas, es erróneo pensar que se puede tocar sin ningún peligro esto a ocasionado numerosos accidentes.

La dimensión de la malla de tierra no se determina con el valor de la resistencia de dispersión a tierra global, sino que debe analizar los valores de las tensiones de paso, de contacto, de malla y en la periferia de la malla, que pueden presentarse dentro del área en caso de falla.

La modificación del sistema de la red de tierra en el inmueble es a consecuencia, a los avances tecnológicos acelerados que constantemente cambian o son modificados en los sistemas de comunicación, computo, telefonía. Es importante a demás, para el buen funcionamiento del equipo eléctrico, electrónico y de comunicaciones, pues un buen sistema de tierra disminuye los errores en las mediciones y elimina ruido e interferencias en los equipos.

## **BIBLIOGRAFIA**

NORMA OFICIAL DE EMERGENCIA  
NOM-Em-001, SEMP-1993

NORMA 09 DE CFE.

SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CONEXIÓN A TIERRA  
ELECTROSTÁTICA PARRES, S. A. DE C.V.

ARTICULO DE LA REVISTA ELÉCTRICAL CONSTRUCTION AND MAINTENACE.  
NOV. 83

LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS NATURALES  
IMSS SEPT. 77, Dr MELCHOR PAZ HERRERA INGENIERIA  
BIOMEDACA.

OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO TENSIÓN EN MÉXICO (800Kv)  
COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, ING. ROQUE DAVILA.  
AGOSTO 77

PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES COONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS SISTEMAS DE  
TIERRA  
ESCUELA MILITAR DE INGENIEROS.

CONSTRUCCIÓN DE TOMAS DE TIERRA EN POZOS CON REGENERADORES DE PCM.

CONEXIÓN A TIERRA (PLANTA DE FUERZA).

INSTRUCTIVO PARA VERIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TIERRA.  
TELMEX, Sof-01-23. MARZO 1983.

INSTUCTIVO DE OPERCIÓN DEL MEDIDOR DE TIERRA (GEOHM 2).  
TELMEX, Soof-05-04. MARXO 1993.

IT 1 50 01.

TIERRAS PARA PROTECIÓN ELÉCTRICA.  
TELMEX. It 1-50-02, 1976/09.

PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS Y CORRIENTES LONGITUDINALES.  
TELMEX, It 1-50-04, 1980/7.

SISTEMAS DE TIERRA PARA SISTEMAS ELECTRÓNICOS (CENTRALES DIGITALES).  
TELMEX, It1-50-05, 1983/12.

PARARRAYOS DE GAS, TRES ELECTRODOS.  
19 1745-1 19, 1780-8, 1977/04

CONTRATO DE TECNOLOGÍA DIGITAL.  
ERICSSON, 1991 5/16, 100HMS A TIERRA. HOJAS 1/16.

CONEXIÓN DE UN SISTEMA DE TIERRA EN EQUIPOS TELEFÓNICOS.  
INDETEL, 820902.

ESPECIFICACIÓN DE TIERRA PARA SISTEMAS.

13-730 It 1000 As 5 000HMS A TIERRA, INDETEL. 840509.

PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LOS CAPITULOS 4.5, Y 6 DEL TERCER MANUAL "PUERTA A TIERRA".

CCITT, PERÍODO 1973-1976.

CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LAS INSTALACIONES DE TIERRA DE PROTECCIÓN.

COM IV-N16-S (290).

ESPECIFICACIONES DEL ELECTRODO Ep-Et MARCA "PARRES" PARA CASSETAS DE MICROONDAS DE TELMEX.

MANUAL DE INSTALACIÓN PARA ELECTRODOS A TIERRA.

MATIMSA E-6C, JUNIO 1983.

THE EARTHING PROBLEM PARTICULARLY IN ITS APPLICATION TO TELEPHONY POR MARTIN THIELERS.

PRACTICAL GROUNDING.

COPPERWELD STEEL COMPANY, 1972.

GUIDE TO SAFETY IN ALTERNATING CURRENT SUBSTATION GROUNDING.

ONDA LD SISTEMAS DE TIERRA.

ING. JULIO A. RUBIO LÓPEZ.

GUIA DE PROTECCIÓN A TIERRA (PARA INFRAESTRUCTURA DE RADIO CELULAR MOTOROLA).

CARACTERÍSTICAS DE CONECTORES MECÁNICOS Y DE COMPRESIÓN.

HOJA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN A TIERRA (INSTALACIÓN TIPO RAM).

REGLAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN LAS INSTALACIONES DEL EQUIPO RAM DIGITAL.

REGLAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN LAS INSTALACIONES DE CENTRALES DIGITALES, CENTRALES RURALES Y REPETIDORES.

INSTALACIÓN TÍPICA DE UNA TORRE INSTALADA SOBRE UN EDIFICIO (CON ESTRUCTURA METÁLICA) Y MÉTODO DE PROTECCIÓN A TIERRA.

FORMATO DE PROTOCOLO DE RECEPCIÓN PARA INFRAESTRUCTURA CON POSTE DE 45 PIES.

FORMATO DE RECEPCIÓN PARA RECTIFICADORES.

PROTOCOLO DE RECEPCIÓN DE TORRES TIPO ESPECIALUM Y MODELO 45.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL PROVEEDOR S. R. TELECOM PARA PROTECCIÓN A TIERRA DEL EQUIPO RAM DIGITAL.

RESISTENCIA DE UN SISTEMA DE TIERRA, VALORES RECOMENDADOS.

NEC Año 1990

TÉCNICA CADWELD EN DIFERENTES TIPOS DE CONEXIONES PARA PUESTA A TIERRA.

NORMAS Y ESPEIFICACIONES DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE RADIO DE ACCESO MÚLTIPLE DIGITAL PARA TELEFONÍA RURAL.

"PLANTAS DE FUERZA DE CORRIENTE CONTINUA PARA CENTRALES RURALES Y REPETIDORES.  
Nom-1-187-1988.

MÉTODO DE PUESTA AA TIERRA DE UNA TORRE INSTALADA SOBRE UN EDIFICIO.

SISTEMA TÍPICO DE ATERRIZAJE PARA TORRES TIPO ANDREW.  
KIT DE ATERRIZAJE PARA CABLE COAXIAL TIPO ANDEW.

KIT DE ATERRIZAJE PARA GUIA DE ONDA TIPO ANDREW.

PUESTA DE TIERRA DE DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS DE TORRES Y RETENIDAS.

CENTRAL OFFICE GROUNDING.  
LORIAN.

ESPECIFICACIÓN DE TIERRA PARA SISTEMA 12.  
ALCATEL

INTALACIÓN Y RECOMENDACIONES PARA SISTEMAS DE TIERRA.  
ALCATEL

ESTANDARD CONCERNING EARTHING AND BONDING TELECOMUNICATION EQUIPMENT IN TELECOMUNICATION CENTRES.  
ALCATEL

EARTHING OF TELECOMUNICATION INSTALATIONS (CCITT).  
ALCATEL

CONEXIÓN DE UN SISTEMA DE TIERRA EN EQUIPOS TELEFÓNICOS.  
ALCATEL

SISTEMA 12 POWER DISTRIBUTION (Aep) DOCUMENTO 211 01016 Baaa As.  
ALCATEL

AXETRANSMISION EQUIPMENT WITH CONNECTION BETWEEN EARTH SYSTEMS.  
ERICSSON.

EARTHING OF TRANSMISION EQUIPMENT IN CONNECTION WITH AXE.  
ERICSSON.

PUESTA ATIERRA EN CENTRALES TELEFÓNICAS DE TIPO DE SISTEMA Spc ( EQUIPOS ANTERIORES A 84-06).  
ERICSSON.

PUESTA A TIERRA EN CENTRALES TELEFÓNICAAS DE TIPO DE SISTEMA Spc (EQUIPOS POSTERIORES A 84-06), DOCUMENTO: 1588-103/2 Usp POWER SUPPLY Bza 28 A, EARTHING OF AXE.  
ERICSSON.

OVERHEND CCABLING SISTEM AXE  
ERICSSON.

POWER SUPPLY B2a 28ª. EARTHING IN DOUBLE FLOORING ROOM SYSTEMS AXE.  
ERICSSON.

DISPOSITIVOS I/C-ALIMENTACIÓN DE CA Y PUESTA A TIERRA.  
ERICSSON.

POWER SUPPLY FOR TELEPHONE EXCHANGES TYPE AXE.  
ERICSSON.

DISTRIBUCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA A LAS  
INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES.  
ERICSSON.

CONTRATO SWITCH SESS.  
AT&T.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO COMÚN.  
AT&T.

SESS GORUNDING DE 5D 022-11.  
AT&T.

DESCRIPCIÓN AMBIENTAL.  
AT&T.

EARTHING OF TELECOMUNICATION INSTALATIONS. CCITT.  
SIEMENS.

CRITERIOS PARA EVALUAR LAS REDES Y CONEXIONES DE PUESTA A TIERRA EN LAS  
CENTRALES TELEFÓNICAS, CON OBJETO DE MINIMIZAR LOS EFECTOS DE RUIDO,  
ATENUACIÓN Y DISTORSIÓN EN LES SEÑALES DE TELECOMUNICACIONES MEDICIONES EN  
SISTEMAS DE TIERRA.  
TELMEX, Se-4.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE TIERRA PARA CENTRALES DIGITALES Y ESTACIONES  
REMOTAS.  
TELMEX, Asc-Lt-1505.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE ACOPLAMIENTOS ELECTROMAGNÉTICOS.

NORMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA PLANTA EXTERNA CONTRA PERTURBACIONES  
ELÉCTRICAS OCASIONADAS POR RAYOS Y FUENTES DE ENERÍA.

REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RIE).  
NOM-Em-001, SEPT.-1993.

EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.  
AUTOR ING. GILBERTO ENRIQUEZ HARPER.  
EDITORIAL LIMUSA, SEXTA REIMPRESIÓN 1993

RECOMENDACIONES DE PUESTA A TIERRA DE LOS EDIFICIOS DE TELECOMUNICACIONES.  
CCITT CIRCULAR/063551, TXS 1988 1992.



"CURSO Vd/ 1993" INSTITUTO DE ASTRONOMIA Y METEOROLOGÍA.

"BELL COMMUNICATION RESEARCH CENTRAL OFFIE GROUNDING".  
BELLCORE.

NATIONAL ELECTRICAL CODE HANBOOK.  
NEC 1993.

PUESTA A TIERRA.  
JESÚS VELASCO.

REGLAMENTOIEEE.  
EDICIÓN ESMERALDA.

MANUAL TÉCNICO DE CABLES DE ENERGÍA.  
MC□□ GRAW HILL.

DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

MC□□ GRAW HILL.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO PARA ACEPTACIÓN DE CENTRALES DIGITALES REF:  
Tx/B/T/94/0001, Rev: A.

REGLAS DE CONEXIÓN A TIERRA PARA CENTRALES DIGITALES REF: Tx/B/T/94/0002, Rev: A.

NORMA Y ESPECIFICACIÓN DEL CABLE VERTICAL REF: Tx/N/T/94/0003, Rev: A.

PUESTA A TIERRA PARA LA PLANTA EXTERNA, FOSA DE CABLES Y  
DISTRIBUIDOR GENERAL. REF: Tx/B/T/94/0004, Rev: A.

REGLAS Y ESPECIFICACIONES DE PUESTA A TIERRA DE LAS INSTALACIONES RURALES  
DIGITALES A LA INTEMPERIE. REF: Tx/B/T/94/0005, Rev: A.

REGLAS DE PUESTA A TIERRA PARA EL PLANO AISLADO DE CENTRALES DE  
CONMUTACIÓN DIGITAL (AXE), ALCATEL-INDETAL (S-12) Y AT&T (5ESS), REF:  
Tx/B/T/94/0006, Rev: A.

SISTEMA DE TIERRA PARA EQUIPO DE CORRIENTE ALTERNA. REF: Tx/B/T/94/0007, Rev: A.

NORMA Y ESPECIFICACIÓN DE LA VENTANA DE TIERRA Y PLANTA DE CORRIENTE  
DIRECTA, REF: Tx/B/T/94/0008, Rev: A.

PUESTA A TIERRA DE TRROS DE MICROEONDAS Y CONTENEDORES DE TELEFONÍA  
CELULAR INSTALADOS SOBRE UN EDIFICIO. REF: Tx/B/T/94/00010, Rev: A.

PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS DE TRANSMISIÓN , REF: Tx/B/T/94/00012, Rev: A.

NORMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA PLANTA EXTERNA CONTRA PERTURBACIONES  
ELÉCTRICAS OCASIONADAS POR RAYOS Y FUENTES DE ENERGÍA. REF: Tx/N/T/93/001, Rev: A.