



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Sistema de Tierras para Equipo de Telecomunicaciones
y Planta Externa en una Central Telefónica**

TESIS

Que para obtener por el título de
Ingeniero Eléctrico y Electrónico

P R E S E N T A N

Alfonso Alejandro Martínez Aguirre

Armando Echegollen Toxqui

Diego Arturo Gil Marquez

Efren San Miguel Peña

Gersón Monroy Reyes

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Juan Manuel González Fernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Dedicado a:

Todo aquel que mantiene un objetivo inamovible, guiado por una convicción de logro y fe...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, a mi Facultad de Ingeniería, a mis compañeros y a la U.N.A.M. que le da tanto a la sociedad.

A todos y cada uno de ustedes, ¡Gracias!

Alfonso Alejandro Martínez Aguirre

Quiero agradecer a mis compañeros, que siempre aportaron su tiempo y conocimientos para llegar a la finalización de este proyecto, que nos lleva a cerrar un ciclo importante en nuestro desarrollo como profesionistas.

Agradezco y dedico este triunfo a mi madre Martha Rosa Toxqui Coix; quien a pesar del desánimo que llego a surgir a lo largo de este camino, siempre estuvo ahí para apoyarme y animarme para llegar al final.

Armando Echegollen Toxqui

Me gustaría agradecer a la U.N.A.M. y a la Facultad de Ingeniería por mi formación académica y por darme tanto, a mis padres por su comprensión e incondicional apoyo durante mi formación profesional. ¡Muchas gracias !

Diego Arturo Gil Marquez

Este título se lo dedico a mi Madre, hermanos, esposa e hijos ya que siempre estuvieron a mi lado apoyándome y motivándome a terminar este ciclo. Pero muy en especial se lo quiero dedicar a una persona que fue la que me enseñó a nunca rendirse, a no claudicar ante las adversidades que se nos presentan en la vida y también me enseñó a luchar por todo lo que uno quiere. Con todo mi amor y cariño esto es para ti PAPA, a donde quiera que estés siempre vivirás en mi corazón.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y Facultad de Ingeniería que me acogieron para bien estar en esta gran institución y formarme como ingeniero. A todos los ingenieros y profesores que me impartieron clases y que gracias a ellos descubrí y me formé en esta hermosa carrera.

A mis compañeros de tesis: Alfonso Alejandro Martínez Aguirre, Armando Echegollen Toxqui, Diego Arturo Gil Márquez y Gerson Monroy Reyes, que sin duda formamos un muy buen equipo de trabajo. Les deseo que les vaya mas que bien, excelente en su vida profesional y personal.

Efren San Miguel Peña

Me gustaría agradecer primeramente a Dios mi creador por la fortaleza dada, todos los días, a mi Alma Mater la Universidad Nacional Autónoma de México, por tanto que me ha dado, a la Facultad de Ingeniería y a mis compañero que estuvieron conmigo a lo largo de este camino por tantos recuerdos maravillosos, a mis padres y a mi hermano por todo el apoyo y a todas las personas que han formado parte de mi vida y de mi formación académica les dedico este título con mucho cariño.

Gersón Monroy Reyes

¡México, Pumas, Universidad!

ÍNDICE

LISTA DE SÍMBOLOS	6
GLOSARIO	7
INTRODUCCIÓN	12
1 MARCO TEÓRICO	14
1.1 Resistencia y resistividad eléctrica.....	174
1.2 Potencial eléctrico y diferencia de potencial.....	177
1.3 Sobrevoltajes.....	188
1.3.1 Sobretensiones de origen atmosférico.....	199
1.3.2 Sobretensión por descarga electrostática.....	20
1.3.3 Sobretensión por maniobra de interruptores.....	20
1.3.4 Sobretensión a la frecuencia del sistema.....	21
1.4 Corriente eléctrica y sus efectos.....	21
1.4.1 Efecto Joule.....	22
1.4.2 Destrucción de circuitos electrónicos por sobrecorriente.....	22
1.5 Definiciones	23
1.5.1 Tierra Física	23
1.5.2 Electrodo	23
1.5.3 Fallas.....	24
1.5.4 Corto circuito	25
1.5.5 Falla a tierra	25
1.5.6 Falla por arco eléctrico	25
1.5.7 Aislantes.....	25
1.5.8 Frecuencia.....	28
1.5.9 Impedancia.....	28
2 SISTEMA DE TIERRAS	30
2.1 Sistema de puesta a tierra.....	30
2.1.1 Función de un sistema de puesta a tierra.....	31
2.1.2 Función de un sistema de puesta a tierra.....	32
2.2 Elementos que conforman un sistema de puesta a tierra	33
2.2.1 Puesta a tierra del equipo.....	33
2.2.2 Conductor de puesta a tierra	34
2.2.3 Conductor de puesta a tierra de los equipos	35
2.3 Conceptos fundamentales.....	36

2.3.1	Componentes del circuito de impedancia.....	38
2.3.2	Propiedades de los conductores de puesta a tierra	40
2.4	Tipos de electrodos	41
2.4.1	Configuraciones de mallas y electrodos	42
2.5	Tipos de suelo	44
2.5.1	Características eléctricas del terreno	44
2.5.2	Medición de sistema de tierras.....	45
2.6	Pararrayos.....	46
2.6.1	Sistema de protección externa (SPE)	48
2.6.2	Sistema de protección interna (SPI).....	49
2.6.3	Método de la esfera rodante.....	49
3	PLANTA TELEFÓNICA.....	54
3.1	Normas y especificaciones generales para cada una central telefónica	55
3.1.1	Cable vertical.....	59
3.1.2	Barra de tierra de piso (BTP).....	62
3.1.3	Barra de tierra de piso principal (BTPP).....	65
3.2	Ventana de tierra.....	67
3.2.1	Plano integrado de tierra	68
3.2.2	Plano aislado de tierra.....	68
3.2.3	Normas de la ventana de tierra (BVT)	70
3.3	Puesta a tierra de equipos en una central telefónica.....	72
3.3.1	Puesta a tierra de equipos de corriente directa de la central telefónica	80
3.3.2	Distribuidor general	83
3.3.3	La NAM	85
3.4	Planta externa	87
3.4.1	Red troncal.....	87
3.4.2	Red principal	87
3.4.3	Red secundaria	88
3.4.4	Fibra óptica.....	89
3.4.5	Cajas de distribución	89
3.4.6	Normas y especificaciones en la planta exterior	91
3.4.7	Puesta a tierra de las guías de acero de cables aéreos.....	93
4	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	95
4.1	Prácticas recomendadas por el Std 1100-1999 (Emerald Book).....	96

4.2 Etapas llevadas a cabo para la mejora del sistema de puesta a tierra en la central telefónica	97
4.3 Condiciones iniciales del sistema de puesta a tierra actual en la central telefónica y características del terreno	98
4.3.1 Parámetros de diseño de un sistema de puesta a tierra	102
4.3.2 Resistividad del terreno ρ	104
4.3.3 Medidas de resistividad	105
4.3.4 Estructura del suelo en la zona de Xochimilco	107
4.3.5 Cálculo del calibre de los conductores de fase en la central telefónica....	109
4.3.6 Cálculo de la corriente de falla	112
4.3.7 Área de instalación	113
4.3.8 Resistencia de la malla de tierra	114
4.3.9 Resistividad de la capa superficial	115
4.3.10 Duración de la falla (t_f) y duración del choque (t_s)	117
4.3.11 Geometría de la malla	117
4.3.12 Selección del conductor	118
4.3.13 Cálculo del conductor de puesta a tierra	119
4.3.14 Criterios de tensión de paso y de toque tolerables.....	120
4.3.15 Valor teórico de la resistencia total del sistema de puesta a tierra.....	123
4.4 Diseño de electrodos múltiples.....	125
4.4.1 Diseño de cuatro electrodos en cuadro para el sistema de puesta a tierra en la central telefónica	126
4.4.2 Implementación real del sistema propuesto	129
4.4.3 Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra implementado en la central telefónica	133
4.4.4 Barra de tierra principal	136
4.4.5 Tratamiento del suelo para obtener resistividad más baja	137
4.5 Calidad de la energía en la central telefónica.....	138
4.5.1 Presencia de armónicas en la central telefónica	139
4.5.2 Tierra de referencia cero	141
4.5.3 Ventajas de la tierra aislada	143
4.5.4 Sistema de tierra aislada en la central telefónica	144
4.5.5 Conexión a tierra y neutro	145
4.5.6 Transformador de aislamiento.....	147
4.5.7 Configuración de banco de baterías con transformador de aislamiento y distribución aislada, con electrodo a tierra	151

4.5.8 Propuesta de transformador de aislamiento en la central telefónica	151
5 MANTENIMIENTO.....	153
5.1 Mantenimiento preventivo	153
5.1.1 Periodicidad del mantenimiento	153
5.1.2 Revisión del valor del S.P.T.	154
5.1.3 Elementos a revisar en el mantenimiento.....	155
5.1.4 Equipos de prueba.	158
5.2 Mantenimiento correctivo.	158
5.2.1 Solución de problemas básicos (Troubleshooting).....	158
5.3 Seguridad y prevención de riesgos.	159
6 CONCLUSIONES	161
ANEXOS	162
ANEXO 1: Diagrama de la conformidad de la planta externa	162
ANEXO 2: Diagrama de la conformidad de la planta externa indicando sistema de puesta a tierra	163
ANEXO 3: Vista en planta del terreno donde se localiza la central telefónica	164
ANEXO 4 Diagrama del sistema de tierra de punto único (barra principal de tierra) ..	165
ANEXO 5: Dibujo isométrico del sistema de puesta a tierra propuesto para la central telefónica.....	166
ANEXO 6: Tabla 4.7 Constantes de los materiales conductores	167
ANEXO 7: Tabla 4.8 Dimensiones y propiedades de conductores de cobre y aluminio ..	168
BIBLIOGRAFÍA	169

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ω	Ohmios
π	Pi
I	Corriente Eléctrica
V	Tensión de alimentación de fase a neutro
Hz	Hertz
f	Frecuencia
ρ	Resistividad del terreno
ρ_a	Resistividad aparente del suelo
m	Metro
mm	Milímetro
R	Resistencia
Z	Impedancia
F.P.	Factor de potencia
$I_{3\phi}$	Corriente trifásica en Amperes
$P_{3\phi}$	Potencia real trifásica en Kw
V_{FF}	Tensión de fase a fase en kV
I_{CC}	Intensidad de corriente de corto circuito máxima en el punto considerado
tf	Duración de la falla
ts	Duración del choque
C_s	Factor de disminución de la capa superficial
ρ_s	Espesor de la capa superficial
E_p	Tensión de paso
E_t	Tensión de choque límite

GLOSARIO

AWG.

La dependencia entre el diámetro y el área del conductor permite establecer un método de clasificación para los cables. A determinados diámetros se les asigna un número en una escala arbitraria, al que se conoce como el calibre del conductor. Esta escala se la conoce como el AWG (*American Wire Gauge*, calibre americano para conductores). El rango de calibres comienza con el calibre 4/0 (4 ceros), al que corresponde el mayor diámetro. El número de ceros disminuye hasta alcanzar el valor 1/0. A partir de este valor el calibre del cable está asociado a un valor numérico creciente (2, 4, 6, etc). Es importante recordar que para estos calibres el diámetro del conductor se *reduce* cuando el valor numérico asignado *aumenta*.

Apartarrayos.

Aparato o dispositivo que se emplea para proteger el equipo conectado a un circuito eléctrico contra el efecto 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 Punto Principal (B.T.P.P.).

Es una barra de tierra única, localizada cerca del suministro de corriente alterna, generalmente en el sótano del edificio de Central o URL que 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.

Barra de Tierra de Piso (B.T.P.).

Es una barra instalada en la central telefónica que referencia 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 del Distribuidor General (B.T.D.G.).

Es una barra instalada en el Distribuidor General que se conecta a la Barra de tierra de piso (BTP) que referencia el punto principal de toma de tierra. Normalmente esta barra es suministrada en la parte inferior de la estructura del distribuidor general para permitir la puesta a tierra de la estructura metálicas, y pantalla de cables multipares y F.O., según se requiera.

Barra de Tierra de Fosa de Cables (B.T.F.C.).

Es una barra instalada en la fosa de cables lo más próximo posible a la boquilla de la fosa, esta barra referencia el punto principal de toma de tierra. A esta barra se conecta la barra colectora de los bastidores de la fosa de cables.

Barra Colectora en la Fosa de Cables (B.C.F.C.).

Es una barra de cobre instalada en los tubos con soportes para cables a lo largo de la trayectoria de la fosa de cables, a la cual se conectan las tomas de tierra de los cierres de empalmes y las ligaduras de los cables de plomo, la barra colectora a su vez se conecta a la Barra de Tierra de Fosa de Cables (B.T.F.C.) que referencia el punto principal de toma de tierra.

Cable vertical (C.V).

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 ser continuo, extendiéndose a todo lo alto del edificio.

Campo Eléctrico.

Región del espacio en que una masa eléctrica pasiva colocada en cualquier punto sufre la acción de una fuerza.

Campo Magnético

Campo de fuerzas creado por cargas eléctricas en movimiento, que se manifiesta por la fuerza que experimenta una carga eléctrica al moverse en su interior.

Carga electrostática.

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

Conductor de puesta a tierra (CPT).

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.

Corriente

Es el valor eficaz (raíz cuadrática media) del flujo de carga eléctrica por un conductor se representa por la letra I y su unidad es el ampere (A); también se conoce como intensidad.

Circular Mil.

Para aquellos conductores eléctricos de mayor grosor, superiores al calibre 4/0 (se lee "cuatro ceros"), se optó la solución de identificarlos directamente por su área en el sistema inglés de unidades. Se usa el término "Mil" cuando los diámetros de los conductores eléctricos miden una milésima de pulgada. El "Circular Mil" es una unidad equivalente al área de un círculo con un diámetro de una milésima de pulgada. Las siglas M.C.M. nos están indicando el área transversal de los conductores eléctricos en "Mil Circular Mils". Entonces, un cable calibre 250 MCM (muy usado en la industria) es un

cable de 250,000 circular mils, uno calibre 500 MCM tiene un área de 500,000 circular mils.

Electrodo de puesta a tierra.

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

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 constituye un medio seguro de conducir a tierra las descargas que inciden directamente sobre los puntos más elevados de un edificio, torre de transmisión o estructura de cualquier tipo.

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.

Es el tamaño eléctrico de una fuente o carga; está en función del producto de la tensión por la corriente. En corriente alterna se obtienen tres potencias: la real o activa, la reactiva y la aparente, ligadas entre sí por el llamado triángulo de potencias y dependientes del

factor de potencia. La potencia real o activa se representa por la letra P y su unidad es el Watt (W), la reactiva se representa por la letra Q y su unidad es el VAR (volt-ampere-reactivo) y la aparente se representa por la letra S y su unidad es el VA (volt-ampere).

Proyecto

Es un conjunto de documentos (planos y memoria técnica) en los cuales se plasman los requerimientos de un usuario de la electricidad, así como la planeación de un técnico calificado, de acuerdo con las disposiciones legales y/o técnicas y los criterios técnicos establecidos para satisfacer esos requerimientos con seguridad.

Puesta a tierra.

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

Tensión.

Es el mayor valor eficaz (raíz cuadrática media) de la diferencia de potencial entre dos conductores o puntos determinados de la instalación, se representa por la letra V y su unidad es el volt (V); también se conoce como voltaje.

Tierra.

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

Toma de tierra.

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

Zonas de riesgo.

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

INTRODUCCIÓN

Asumiendo que el planeta Tierra tiene potencial cero, que puede ser un excelente o pésimo conductor, todas las partes metálicas que normalmente no transportan energía eléctrica de los equipos eléctricos, deben igualarse al potencial del planeta Tierra, para que no exista diferencia de potencial que pudiera representar un peligro a los seres humanos.

Una central telefónica se ha diseñado pensando en tener una alta seguridad para su personal en el manejo de corriente directa y corriente alterna, poniendo en práctica técnicas modernas a tierra de sus equipos de potencia, aire acondicionado, conmutación, transmisión, planta externa e instalaciones rurales.

Debido al cambio de tecnología analógica a 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 su impedancia y proporcionar protección contra altas tensiones transitorias, descargas electroestáticas y disminuir el ruido en los sistemas electrónicos, ya que los equipos digitales presentan requerimientos específicos de puesta a tierra.

La demanda actual del mercado de telecomunicaciones está enfocada a los servicios de voz, datos y video de alta calidad, por lo tanto, se debe ser capaz de proporcionar estos y otros nuevos servicios, lo que compromete a que se cumpla con los parámetros de operación específicos para cada servicio, aumentando la confiabilidad de los enlaces y mejorando la calidad de los servicios. En la actualidad, un gran número de centrales telefónicas tienen más de 35 años de operación, en el cual, la demanda de nuevos servicios tal como el internet también ha ido en aumento. Para brindar este y otros servicios es necesario contar con el correcto funcionamiento de los equipos y de toda la infraestructura que compone a una central telefónica.

El sistema de tierras utilizada en las centrales telefónicas, cumplen con los requerimientos de seguridad y operación de los equipos, no así en la distribución del

sistema de tierra a lo largo de toda la red de la planta externa, provocando en muchos casos el mal y deficiente funcionamiento de los servicios que se brindan (voz y datos).

Los métodos de energización y puesta a tierra de las centrales telefónicas, se han vuelto mucho más estrictas para poder asegurar la continuidad en el servicio.

Como una de las premisas prioritarias para el mejoramiento de la calidad de los servicios, se ha determinado desarrollar todo lo relativo a la normatividad de los sistemas de tierra en la central telefónica y en la planta externa.

En esta obra se propondrá una solución a los problemas que se presentan en la actualidad en una central telefónica, estudiaremos las necesidades y la problemática actual, y se propondrán soluciones de acuerdo a las normas establecidas.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Resistencia y resistividad eléctrica.

La resistencia eléctrica es la oposición que sufre la corriente eléctrica a su paso por un circuito eléctrico, reduciendo o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones. Cualquier dispositivo conectado a un circuito eléctrico representa una carga, obstáculo o resistencia para la circulación de la corriente eléctrica.

Todos los materiales conocidos ofrecen mayor o menor resistencia al paso de la corriente eléctrica, esta capacidad para diferenciar la fuerza con la que se oponen ciertos materiales al paso de corriente, es denominada resistividad de los materiales, entre los materiales con menor oposición al paso de flujo eléctrico se encuentran los metales, de los cuales el oro y la plata resultan ser los mejores conductores, caso contrario para el níquel y cromo siendo estos los metales con mayor oposición al libre flujo de una carga eléctrica.

El Ohm es la unidad de medida de la resistencia que oponen los materiales al paso de la corriente eléctrica y es representado con la letra griega Ω (omega). El Ohm se define como la resistencia que ofrece al paso de la corriente eléctrica en una columna de mercurio (Hg) de 106.3 cm de alto, con una sección transversal de 1 mm² a una temperatura de 0° Celsius.

La llamada ley de Ohm es representada en la ecuación 1.1. Según la ley de Ohm para que un conductor de resistencia R conduzca una corriente de intensidad I deberá existir entre sus extremos una diferencia de potencial o tensión V.

$$V = RI$$

Ec.1.1

La intensidad de la corriente eléctrica se mide en coulomb por segundo y su unidad es denominada ampere (símbolo A) en honor al hombre de ciencia francés André Marie

Ampere. Mientras que la diferencia de potencial se le asigna la unidad denominada Volt (símbolo V), en recuerdo del pionero de la electricidad, Alessandro Volta.

La resistencia eléctrica, por su parte, se identifica con el símbolo o letra (R) y la fórmula para despejar su valor, derivada de la fórmula general de la Ley de Ohm, es decir de la ecuación 1.1, es la siguiente:

$$R = \frac{V}{I}$$

Ec.1.2

Para calcular la resistencia (R) que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica, es necesario conocer primero cuál es el coeficiente de resistividad o resistencia específica “ρ” (rho) de dicho material, la longitud que posee y el área de su sección transversal.

A continuación, se muestra en la tabla 1.1 donde se puede conocer la resistencia específica en $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$, de algunos materiales, a una temperatura de 20° Celsius.

Material	Resistividad ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$) a 20° C
Aluminio	0,028
Carbón	40,0
Cobre	0,0172
Constatan	0,489
Nicromo	1,5
Plata	0,0159
Platino	0,111
Plomo	0,205
Tungsteno	0,0549

Tabla 1.1 Resistencia de materiales a una temperatura de 20°C^[1].

Para realizar el cálculo de la resistencia que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica, se utiliza la siguiente fórmula:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Ec.1.3

De donde:

R → Resistencia del material en Ohms (Ω).

P → Coeficiente de resistividad o resistencia específica del material en una temperatura dada, en:

$$\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

L → Longitud del material en metros.

S → Superficie o área transversal del material en mm².

La temperatura influye directamente en la resistencia que ofrece un conductor al paso de la corriente eléctrica. A mayor temperatura la resistencia se incrementa, mientras que a menor temperatura disminuye.

Sin embargo, teóricamente toda la resistencia que ofrecen los metales al paso de la corriente eléctrica debe desaparecer a una temperatura de 0 °K (cero grado Kelvin), o "cero absoluto", equivalente a – 273.16 °C (grados Celsius), o – 459.69 °F (grados Fahrenheit), punto del termómetro donde se supone aparece la superconductividad o "resistencia cero" en los materiales conductores.

En el caso de los metales, la resistencia es directamente proporcional a la temperatura, es decir si la temperatura aumenta la resistencia también aumenta y viceversa, si la temperatura disminuye la resistencia también disminuye; sin embargo, si hablamos de elementos semiconductores, como el silicio (Si) y el germanio (Ge), por ejemplo, ocurre

todo lo contrario, pues en esos elementos la resistencia y la temperatura se comportan de forma inversamente proporcional, es decir, si una sube la otra baja su valor y viceversa.

1.2 Potencial eléctrico y diferencia de potencial.

El potencial eléctrico en un punto representa el trabajo que debe realizar un campo eléctrico para mover una carga entre ese punto y otro punto tomado como referencia, o bien, es el trabajo que debe realizar una fuerza para mover una carga en contra del campo eléctrico, desde el punto de referencia hasta el punto para el cual se mide el potencial. Como punto de referencia, muchas veces se toma el valor de tierra.

Normalmente se habla de diferencia de potencial o de tensión eléctrica, cuando en lugar de tomar un punto de referencia se toman dos puntos de un campo eléctrico.

La diferencia de potencial entre dos puntos A y B de un campo eléctrico es un valor escalar, que indica el trabajo que se debe realizar para mover una carga q_0 desde el punto A hasta el punto B como se muestra en la figura 1.1. La unidad en la que se mide el potencial es el Voltio o Volt.

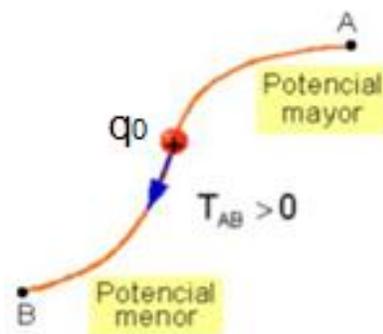


Figura 1.1 Diferencia de potencial entre dos puntos A y B^[3].

Si dos puntos entre los cuales hay una diferencia de potencial están unidos por un conductor, se produce un movimiento de cargas eléctricas generando una corriente eléctrica.

1.3 Sobrevoltajes.

Se considera una sobretensión o sobrevoltaje al aumento repentino y muy breve del valor del voltaje por encima del valor nominal de la red ^[1].

En general se pueden presentar cuatro tipos de sobretensiones en los sistemas eléctricos:

- De origen atmosférico.
- Por descarga electrostática.
- Por maniobra de interruptores.
- A la frecuencia del sistema.

Las sobretensiones producen perturbaciones que se superponen a la onda de tensión nominal de la red y se pueden aplicar en dos formas distintas.

- Entre los conductores energizados a tierra.
- Entre conductores energizados.

En los dos casos, los daños provienen de una descarga eléctrica que puede producir la destrucción de los aislamientos y materiales sensibles a las sobretensiones, en especial de los componentes electrónicos.

Todas las instalaciones eléctricas quedan expuestas a este tipo de perturbaciones, que pueden producir desde múltiples tipos de fallas, hasta la destrucción de equipos y materiales que trae como consecuencia interrupciones del servicio.

1.3.1 Sobretensiones de origen atmosférico.

Este tipo de sobretensiones es causado por el impacto de un rayo en una instalación eléctrica, produciendo efectos catastróficos en la red eléctrica, como son: el daño a transformadores, equipos electrodomésticos, equipos de cómputo, entre otros ^[1].

El rayo es consecuencia de la formación de nubes de tormenta que forman en el suelo un sistema de cargas de signo opuesto o dipolo, el campo eléctrico en el suelo puede alcanzar un valor hasta de 20kV/m. Dependiendo de la polaridad de la nube con respecto a tierra, se puede hablar de descarga negativa o descarga positiva, y según el origen del arco, puede ser ascendente o descendente como se muestra en la figura 1.2.

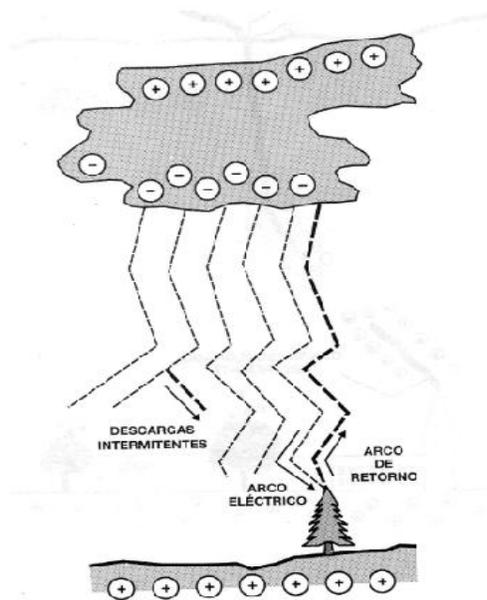


Figura 1.2 Esquemmatización de la caída de un rayo^[1].

Desde el punto de vista del impacto del rayo, conocemos que el tipo de descarga puede ser directa o indirecta.

Descarga directa.

La descarga directa del rayo es aquella que alcanza a las instalaciones, por ejemplo, transformadores, líneas de transmisión, antenas, entre otras, que tienen un impacto destructivo, ya que pueden producir la electrocución de los seres vivos [1].

Descarga indirecta.

Es la manifestación a distancia de una descarga atmosférica, se puede presentar como: sobretensiones inducidas, elevación del potencial de tierra y el efecto de radiación.

1.3.2 Sobretensión por descarga electrostática.

Este tipo de sobretensiones se producen de distintas formas, basta que una persona se cargue electrostáticamente por frotamiento, para que alcance una tensión del orden de los kilovolts, la descarga puede llegar a ser del orden de las decenas de amperes.

1.3.3 Sobretensiones por maniobra de interruptores.

Estas se producen durante la operación de apertura y cierre de los interruptores, las principales operaciones de maniobra que producen sobretensiones son:

- Desconexión de corrientes inductivas: Como son la desconexión de transformadores, desconexión de motores, entre otros.
- Desconexión de circuitos capacitivos: Los bancos de capacitores que se instalan para corregir el factor de potencia producen sobretensiones durante su desconexión.
- Interrupciones de corrientes elevadas: La interrupción de corrientes de cortocircuito cuando el corte es rápido, produce sobretensiones.

1.3.4 Sobretensiones a la frecuencia del sistema.

Se dan la mayoría de las veces por variaciones en la carga, corto circuito de fase a tierra, fallas en transformadores, etc., su característica principal es que siguen a la frecuencia de la red que en México tiene un valor de 60Hz [1].

1.4 Corriente eléctrica y sus efectos.

La corriente eléctrica de conducción es el flujo de electrones a través de un conductor debido a la diferencia de potencial entre dos puntos, conceptualmente es cualquier cambio de posición con respecto al tiempo de cualquier tipo de carga eléctrica. Su magnitud está determinada directamente por la Ley de Ohm, esto es, a mayor resistencia con una fuente de voltaje constante menor corriente, a menor resistencia mayor corriente y proporcional al incremento o disminución de la diferencia de potencial si es que la resistencia no varía.

Para entender mejor este concepto comúnmente se utiliza una analogía con un sistema hidráulico donde la diferencia de potencial está representada por la diferencia de altura de un líquido, el cual tiene la energía potencial para producir flujo como podría ser un tinaco a cierta altura; la corriente sería la cantidad de agua o el flujo que se presente en una tubería que provenga desde dicho tanque, así como la resistencia la dimensión de la tubería, se entiende que a una tubería más pequeña de diámetro la presión y el flujo será mayor y viceversa como la Ley de Ohm establece. Matemáticamente se representa la corriente como la derivada de la carga respecto al tiempo, la cual se mide en Amperes (A) y se representa como corriente. La corriente instantánea está dada por la Ley de Ohm (Ecs. 1.1 y 1.2) o por la relación de potencia medida en Watts (W):

$$P = VI$$

Ec 1.4

La corriente convencional fluye de un potencial mayor a uno menor, esto se puede representar vectorialmente como se mencionó en la diferencia de potencial, así como recordar que la corriente toma el camino de menor resistencia.

1.4.1 Efecto Joule.

La corriente tiene efectos en los elementos sobre los cuales desplaza electrones ya que al haber este flujo de cargas existen fricciones entre los elementos y se genera calor, este efecto puede ser indeseable como las pérdidas en un conductor de alta tensión o aprovechados como conversión de energía eléctrica a térmica aunque generalmente es un proceso poco eficiente (una revisión a los equipos domésticos muestra que los mayores consumidores de energía, es decir una mayor corriente y por ende, potencia, son aquellos dispositivos que transforman la energía eléctrica en calor). Desde un punto de vista de diseño y operación este calor puede resultar peligroso si no es estimado correctamente o si existen situaciones de corto circuito que incrementen en demasía la corriente en un momento dado, recordando que la Ley de Ohm mantiene una proporción entre voltaje e intensidad de corriente, dependiendo de la resistencia y que si esta tiende a cero la corriente se incrementará de manera muy rápida con los correspondientes efectos a los conductores y aislantes [2].

1.4.2 Destrucción de circuitos electrónicos por sobrecorriente.

En general los circuitos electrónicos operan con corrientes bajas, ya que su función es la de transmitir información y no energía, con la excepción de los circuitos electrónicos de potencia, sin embargo estos también están sujetos a las mismas leyes físicas que los otros dispositivos y todos tienen regiones de operación y tolerancias que están detalladas en las hojas de especificaciones del fabricante, ignorar estos límites físicos por omisión o accidente resulta en daños irreversibles para la función óptima del circuito electrónico o en una reducción de la vida útil del dispositivo dependiendo de la robustez del mismo y a veces de la complejidad de su tarea.

1.5 Definiciones.

1.5.1 Tierra Física.

Por tierra física generalmente entendemos como una conexión eléctrica a la masa general de la Tierra, siendo esta última un volumen de suelo, roca, entre otras, cuyas dimensiones son muy grandes en comparación el tamaño del sistema eléctrico que está siendo considerado.

La definición de la IEEE de tierra (puesta a tierra) es: Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple con la función de la tierra.

Todo esto se consigue proporcionando un camino de baja resistencia a los fenómenos eléctricos indeseables en los sistemas hacia un sitio seguro donde se disipan en forma de calor en la tierra.

Los objetivos principales que se buscan al conectar los elementos de la planta externa a un sistema de tierra son los siguientes:

- Proteger a las personas contra descargas eléctricas por el contacto con equipos y con la tierra en condiciones de operación normal y de falla.
- Proteger los equipos contra descargas eléctricas y corrientes de falla.
- Eliminar interferencias electromagnéticas en los sistemas de comunicación.
- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.

1.5.2 Electrodo.

El electrodo de tierra es el componente del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el terreno y así proporciona un medio para recoger o drenar cualquier tipo de corrientes de fuga a tierra. En un sistema de puesta a tierra se requerirá llevar una corriente de falla por un corto periodo de tiempo, y en consecuencia, se necesitará tener una sección suficientemente grande como para ser capaz de llevar esta corriente en forma segura a la tierra.

Los electrodos deben tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para continuar respondiendo las sollicitaciones durante un periodo de tiempo relativamente largo, en el cual es difícil efectuar ensayos reales o alguna inspección.

El material debe tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro de un amplio rango de condiciones de suelo. Los materiales usados incluyen cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y fierro fundido. El cobre generalmente es el material preferido. El aluminio se usa algunas veces para conexiones fuera del terreno, pero la mayoría de los estándares prohíben su uso como electrodo de tierra debido al riesgo de corrosión acelerada. El producto corrosivo -una capa de óxido- deja de ser conductivo y reduce la efectividad de la puesta a tierra.

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

El electrodo puede tomar diversas formas: barras verticales, placas y conductores horizontales. Para las puestas a tierra se emplean principalmente electrodos artificiales.

1.5.3 Fallas.

Se conoce como falla en un circuito a cualquier evento o condición anormal que interfiere con el flujo normal de la corriente de éste ^[4]. En las redes de distribución las fallas se generan a partir de una reducción de la resistencia del aislamiento, que hay entre algunos o todos los conductores de las fases o entre los conductores de las fases y la tierra.

1.5.4 Corto Circuito.

Un corto circuito es un fenómeno eléctrico que ocurre cuando dos puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial se ponen en contacto entre sí, caracterizándose por elevadas corrientes circulantes hasta el punto de falla ^[4].

La corriente eléctrica circula por caminos establecidos previamente a través de conductores y está limitada a conducir a través de ellos mediante la barrera de aislamiento que hay entre el material conductor y el medio. La corriente de cortocircuito es el flujo de energía eléctrica que, como resultado de una falla en la barrera de aislamiento, va a través de un camino más corto que el establecido.

1.5.5 Falla a tierra.

Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.

1.5.6 Falla por arco eléctrico.

El arco eléctrico es causado por la pérdida de la distancia de aislamiento entre equipos energizados y puede definirse al arco eléctrico como un corto circuito a través del aire (debido a la ionización del aire). Durante un arco eléctrico una gran cantidad de energía concentrada es liberada en muy poco tiempo hacia el exterior del equipo eléctrico, creando ondas de presión (explosión).

1.5.7 Aislantes.

Es un material con escasa capacidad de conducción de la electricidad, utilizado para separar conductores eléctricos evitando un cortocircuito y para mantener alejadas del usuario determinadas partes de los sistemas eléctricos, que de tocarse accidentalmente cuando se encuentran con tensión pueden producir una descarga eléctrica.

Los materiales aislantes en la actualidad son polímeros, que en química se definen como un material formado por la unión de muchas moléculas idénticas, para formar una nueva molécula más grande.

Antiguamente los aislantes fueron de origen natural, tela y papel. Posteriormente la tecnología los cambió por aislantes artificiales de uso común en la fabricación de conductores eléctricos.

Los diferentes tipos de aislamiento de los conductores están dados por su comportamiento térmico y mecánico, considerando el medio ambiente y las condiciones de canalización a que se verán sometidos los conductores que protegen su resistencia a los agentes químicos, a los rayos solares, a la humedad, a las altas temperaturas, entre otros.

Para fines de identificación y en diferentes circunstancias de uso, el conductor de puesta a tierra debe estar con aislamiento de color verde o verde con unas o más franjas amarillas y aprobadas como adecuado para ese propósito. Se recomienda el uso de cables de tipo THW y THHW. Se permitirá que un conductor de puesta a tierra de equipos aislado o cubierto sea identificado como tal durante la instalación con marcación permanente en ambos extremos y en cualquier punto donde sea accesible.

A continuación, se muestra la tabla 1.2 algunos de los tipos de aislantes y sus características que se utilizan en las instalaciones eléctricas.

Material Aislante	Cubierta Exterior	Utilización
Hule resistente al calor	Resistente a la humedad, retardadora de la flama, no metálica	Locales secos
Hule resistente al calor	Resistente a la humedad, retardadora de la flama, no metálica	Locales secos
Hule resistente al calor y a la humedad	Resistente a la humedad, retardadora de la flama, no metálica	Locales húmedos y secos
90% Hule no molido, sin grano	Resistente a la humedad, retardadora de la flama, no metálica	Locales secos

90% Hule no molido, sin grano	Resistente a la humedad, retardadora de la flama, no metálica	Locales húmedos y secos
Compuesto termoplástico retardador de la flama	Ninguna	Locales secos
Termoplástico resistente a la humedad, retardador de la flama.	Ninguna	Locales húmedos y secos
Termoplástico resistente al calor, retardador de la flama.	Nylon o equivalente	Locales secos
Termoplástico, resistente al calor y a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales secos y húmedos
	Ninguna	Aplicaciones especiales dentro de equipos de alumbrado. Limita a 1000 V o menos en circuito abierto
Termoplástico, resistente al calor y a la humedad, retardador de la flama	Nylon o equivalente	Locales húmedos
Polietileno vulcanizado, retardador de flama	Ninguna	Locales secos

Tabla 1.2. Características de aislantes eléctricos^[1].

1.5.8 Frecuencia.

El tiempo que tarda un ciclo periódico de un fenómeno físico es conocido como frecuencia, se expresa en Hertz (Hz); un Hertz equivale a un ciclo por segundo, las instalaciones eléctricas de corriente alterna operan en México a 60 Hz, esto es 60 ciclos de su señal senoidal por segundo ^[4].

1.5.9 Impedancia.

La impedancia es la oposición al paso de la corriente en un circuito eléctrico tomando en cuenta los efectos de la reactancia, la reactancia es la suma vectorial de efectos asociados a la frecuencia provocados en elementos capacitivos e inductivos [5]. De manera general la impedancia se define como:

$$Z = \frac{v(t)}{i(t)}$$

Ec. 1.5

Así mismo, vectorialmente se representa como la suma de una parte real, que es la resistencia pura, y una parte imaginaria, la reactancia, dependiendo de si es capacitiva o inductiva. En un circuito puramente capacitivo (RC) la magnitud de la impedancia donde omega (ω) es la frecuencia y C la capacitancia será:

$$\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Ec. 1.6

De manera análoga, en un circuito puramente inductivo (RL) donde L representa a la inductancia y ω es la velocidad angular, que es igual a $2\pi f$, la magnitud será:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

Ec. 1.7

2 SISTEMA DE TIERRAS.

2.1 Sistema de puesta a tierra.

El sistema de puesta a tierra es uno de los más importantes aspectos en el diseño de un sistema eléctrico. Una adecuada red de tierras contribuye a la seguridad del personal y del equipo.

La mayoría de los sistemas eléctricos necesitan ser aterrizados. Anteriormente la estática se descargaba por una conexión a una placa que estaba en contacto con la masa general de la tierra. Esta práctica ha continuado y se ha desarrollado progresivamente, de modo que tales conexiones a tierra se encuentran en casi todos los puntos en un sistema eléctrico. Esto incluye la estación generadora, las líneas y los cables que distribuyen la energía eléctrica en los cuales se utiliza.

Un sistema de puesta a tierra es una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra ^[N¹].

En los sistemas de comunicaciones, es común la presencia de descargas atmosféricas, las cuales pueden ingresar a las instalaciones a través de diversos medios, por impacto directo o por corrientes inducidas. Esta energía busca su propio camino para llegar a tierra utilizando conexiones de alimentación de energía eléctrica, de voz y datos, produciendo acciones destructivas.

Un sistema de puesta a tierra para los sistemas de comunicaciones debe ofrecer un camino seguro para las descargas de corrientes de fallas, descargas de rayos, descargas estáticas y señales de interferencia electromagnética y radiofrecuencia.

En el sistema eléctrico existen diferentes dispositivos o partes del sistema con un fin determinado, pero cada uno tiene diferente propósito, no es lo mismo la puesta a tierra contra descargas atmosféricas que la puesta a tierra para cargas electrostáticas. Por tal motivo, es necesario mencionar la clasificación de los sistemas de puesta a tierra de acuerdo con su uso, es decir:

Puesta a tierra de sistemas eléctricos.

Esta clasificación tiene el propósito de limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de descargas atmosféricas, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos.

Puesta a tierra en señales electrónicas.

Su propósito es evitar la contaminación de señales con frecuencias diferentes a las deseadas. La puesta a tierra se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero, que puede ser el planeta Tierra. También tiene el propósito de evitar la destrucción de los elementos semiconductores por un incremento en el voltaje. Se colocan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y la referencia cero.

Puesta a tierra de protección atmosférica.

Sirve para canalizar la energía de las descargas atmosféricas a tierra sin mayores daños a personas y edificaciones. Esta protección se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta Tierra que cubre los equipos o edificios a proteger.

Puesta a tierra de protección electrostática.

La finalidad de esta protección es neutralizar las cargas electrostáticas producidas en materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando el planeta Tierra como referencia de voltaje cero.

2.1.1 Función de un sistema de tierras.

Las funciones de la red de tierras son las siguientes:

- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia, para la circulación de las corrientes a tierra, ya sea que se deban a una falla de corto circuito o a la operación de un pararrayo.
- Evitar que, durante la circulación de corrientes de falla a tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de un sistema eléctrico, que puedan ser peligrosos y que pongan en riesgo la seguridad de las personas.
- Brindar una referencia de potencial "cero" durante la operación del sistema eléctrico, como lo hace para las conexiones de los neutros de equipos eléctricos conformados por devanados, evitando sobretensiones que pudieran resultar peligrosos para los mismos equipos, así como para las personas.

- Conexiones a tierra que se realicen temporalmente durante maniobras o mantenimiento de la instalación.
- Disipar la corriente asociada a las descargas atmosféricas, limitando las sobretensiones generadas.
- Facilitar la operación de los dispositivos de protección para la liberación de fallas a tierra.

2.1.2 Diferencia entre tierra y neutro.

Los conductores de tierra y neutro, aunque idealmente terminan conectados en algún punto a tierra, su función de cada uno es muy distinta. El conductor de neutro es el encargado de la transmisión de corriente y de regreso de ésta al circuito, mientras que el conductor de tierra es una seguridad primaria de los equipos contra una descarga eléctrica.

En el hipotético caso que se tome el neutro y tierra como la misma cosa, cuando el cable de tierra se corte o anule, el chasis de los equipos que estén conectados a esta tierra-neutro tendrá el potencial de línea y así toda persona o ser que tenga contacto con ello estará expuesta a una descarga eléctrica. Así que, es de suma importancia entender y distinguir la función de cada uno de estos.

2.2 Elementos que conforman un sistema de puesta a tierra.

2.2.1 Puesta a tierra del equipo.

El objetivo principal es limitar el potencial entre las partes metálicas no conductoras de electricidad en inmuebles industriales, comerciales o domésticos, con un valor seguro bajo condiciones normales de operación y condiciones de falla eléctrica.

También se busca tener un potencial uniforme en todas las partes de la estructura y de los equipos, así como tener una trayectoria de baja impedancia, para que circule la corriente de falla a tierra.

Cuando ocurre una falla eléctrica a tierra, las vidas humanas dependerán de una adecuada instalación del equipo de puesta a tierra.

La importancia de la puesta a tierra del equipo radica, en que, si no se realiza adecuadamente la instalación, se pueden producir accidentes eléctricos en personas y en equipos.

Si la puesta a tierra del equipo se ha instalado adecuadamente el resultado será que se tendrá un camino de retorno de la falla a tierra de baja impedancia ver figura 2.1 [6].

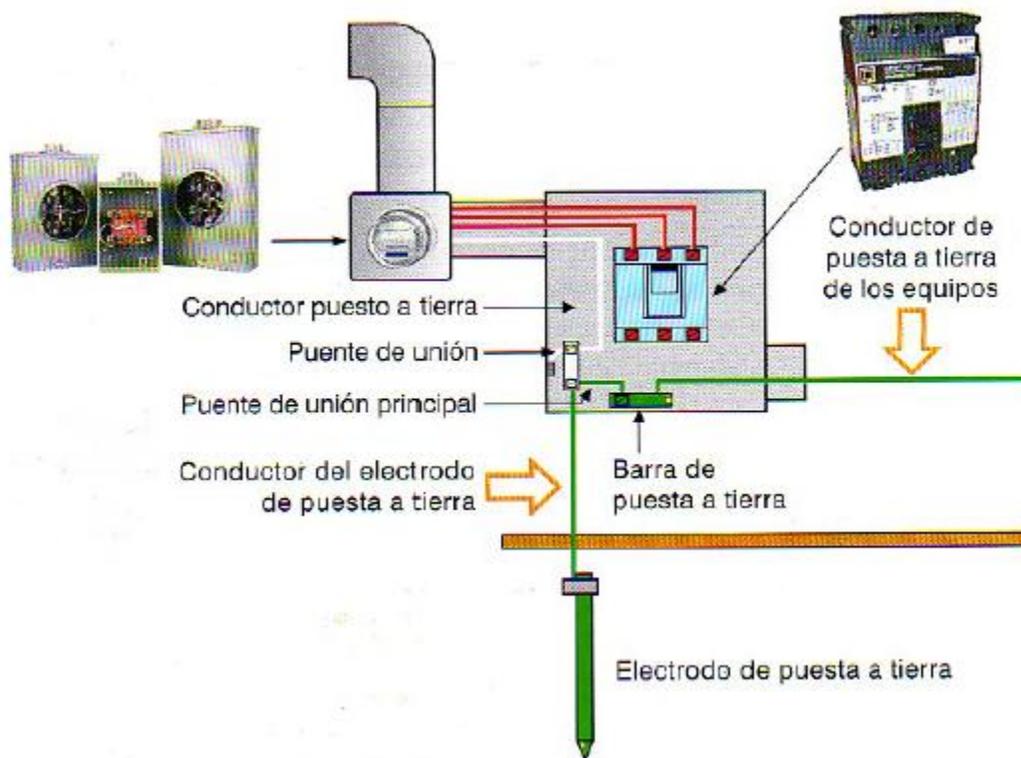


Figura 2.1. Ejemplo de la puesta a tierra de equipos^[6].

2.2.2 Conductor de puesta a tierra.

Es un conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema mallado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

Cualquier persona se encuentra en peligro inminente de una descarga eléctrica por contacto directo con una superficie metálica que accidentalmente se encuentre energizada.

Esto puede ser causado por el deterioro o falla en el aislamiento de un conductor que se encuentre energizado, al entrar en contacto con la canalización en la que se encuentra, provocando que la canalización también se energice. Es por eso que la puesta a tierra del equipo, se considera una parte esencial del sistema eléctrico, para intentar nulificar los potenciales peligrosos que pudieran presentarse y poner en riesgo de daño a las personas y a los equipos ^[6].

La impedancia de la puesta a tierra del equipo debe ser de un valor muy bajo para que la corriente de falla a tierra no provoque potenciales peligrosos.

El conductor de puesta a tierra debe ser capaz de conducir la corriente de falla a tierra sin presentar deterioro.

Un adecuado diseño, instalación y mantenimiento de la puesta a tierra del equipo es vital para reducir los peligros de incendios.

La supervisión eléctrica es fundamental en la construcción de una instalación eléctrica y debe de contar con los conocimientos requeridos por la norma vigente en la ejecución adecuada de la puesta a tierra.

2.2.3 Conductor de puesta a tierra de los equipos.

Es el conductor utilizado para conectar las partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica de los equipos, canalizaciones y otras envolventes al conductor del sistema puesto a tierra o ambos. Se logra una puesta a tierra eficaz conectado al terreno natural intencionalmente a través de una interconexión o conexiones que tengan una impedancia suficientemente baja y capacidad de conducción de corriente, para prevenir la formación de tensiones eléctricas peligrosas a las personas o a los equipos conectados.

Puente de unión.

Es un conductor confiable, para asegurar la conductividad eléctrica requerida entre partes metálicas que requieren ser conectadas eléctricamente.

Puente de unión principal.

Es la interconexión entre dos o más partes del conductor de puesta a tierra del equipo.

Unión

Interconexión permanente de partes metálicas para formar una trayectoria eléctricamente conductora que asegure la continuidad y capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica a la que puedan estar sometidas.

2.3 Conceptos fundamentales.

Todos los conductores que formen un circuito eléctrico para alimentar una carga deberán instalarse juntos. Es decir, deberán estar juntos en la misma canalización: las fases y el conductor de puesta a tierra.

Es importante que el conductor de puesta a tierra se aloje en la misma canalización, debido a que la separación del conductor de fase influye en la impedancia del conductor de puesta a tierra. Entre más cercano se encuentre el conductor de fase la impedancia aumentará y por lo tanto aumentará el voltaje de descarga eléctrica ver figura 2.2.

Campo magnético de un conductor de fase y un conductor de puesta a tierra

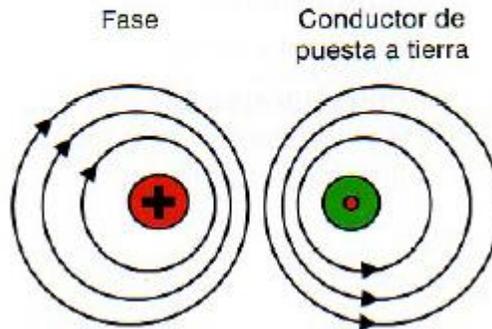


Figura 2.2 Campo magnético en dos conductores [6].

Los círculos alrededor del conductor de fase son el campo magnético que está asociado con la reactancia del conductor. Así mismo, los círculos alrededor del conductor de puesta a tierra se consideran asociados con la reactancia del propio conductor.

Canalización metálica

Si los conductores de fase y el neutro son instalados dentro de una tubería metálica y la propia tubería se utiliza como conductor de puesta a tierra, cuando ocurriera una falla a tierra, la corriente de cortocircuito de falla a tierra, se distribuirá uniformemente ver figura 2.3.



Figura 2.3 Tubería metálica utilizada como conductor de puesta a tierra [6].

Los campos eléctricos y magnéticos son contenidos dentro de la tubería metálica (conduit) y el campo en el exterior tenderá a ser cero.

La normatividad vigente permite utilizar la tubería metálica como conductor de puesta a tierra; pero sus conexiones, terminaciones, conectores, deberán estar adecuadamente terminados para que no sea introducida una impedancia adicional.

La tubería metálica (conduit) es preferida para utilizarse como conductor de puesta a tierra. Al ocurrir una falla a tierra se producirá un gradiente de potencial a lo largo del conductor de puesta a tierra debido a la caída de tensión que resulta por la propia impedancia.

El efecto del material magnético dentro de la pared del tubo metálico (conduit) confina la corriente de fase a tierra de retorno a lo largo de la pared interna, penetrando la superficie exterior como saturación magnética dentro del acero cuando ocurren corrientes de falla a tierra de larga duración.

Si se utiliza la tubería metálica como canalización en un circuito y se adiciona en su interior un conductor de puesta a tierra, se reducirá la impedancia de puesta a tierra del equipo y el voltaje de descarga eléctrica.

Tanto la tubería metálica (conduit) como el conductor de puesta a tierra quedarán en paralelo, por lo que la impedancia de la trayectoria de retorno de la corriente de falla a tierra se reducirá y se permitirá que la longitud del circuito alimentador se pueda incrementar.

2.3.1 Componentes del circuito de impedancia.

La expresión general en un sistema trifásico para una falla de fase a tierra es ^[N1].

$$IF = 3 \frac{EA}{Z1 + Z2 + Z0 + 3 ZG}$$

Ec. 2.1

IF→Corriente de falla de fase a tierra para un sistema trifásico.

Z1→ Impedancia de Secuencia Positiva, Ohms por fase

Z2→ Impedancia de Secuencia Negativa, Ohms por fase

Z0→ Impedancia de Secuencia Cero = $Z_0 + 3Z_G$

EA→ Voltaje de fase a neutro, Volts

ZG→ Impedancia del circuito de retorno a tierra, incluyendo falla por arco, el circuito de puesta a tierra y la impedancia del neutro intencional.

Las múltiples conexiones de puesta a tierra muchas veces resultan en el concepto erróneo de que el resultado será favorable. Lo que se puede obtener es:

- A) No se presentarán voltajes peligrosos en las conexiones de puesta a tierra a la estructura.
- B) Existirán múltiples trayectorias de retorno para la corriente de falla a tierra a su lugar de origen.

Las desventajas son.

- A) Debido a la división de la corriente por las múltiples trayectorias de retorno de la corriente de falla a tierra, en algunas partes en que las uniones no se encuentren firmes se pueden producir arcos eléctricos, pudiéndonos iniciar un incendio o puntos de una descarga eléctrica para las personas.
- B) Se incrementan la impedancia de la trayectoria de retorno de la corriente de falla a tierra cuando el conductor de puesta a tierra se encuentre alejado del conductor de fase.

Puente de unión entre la tubería metálica y el conductor de puesta a tierra.

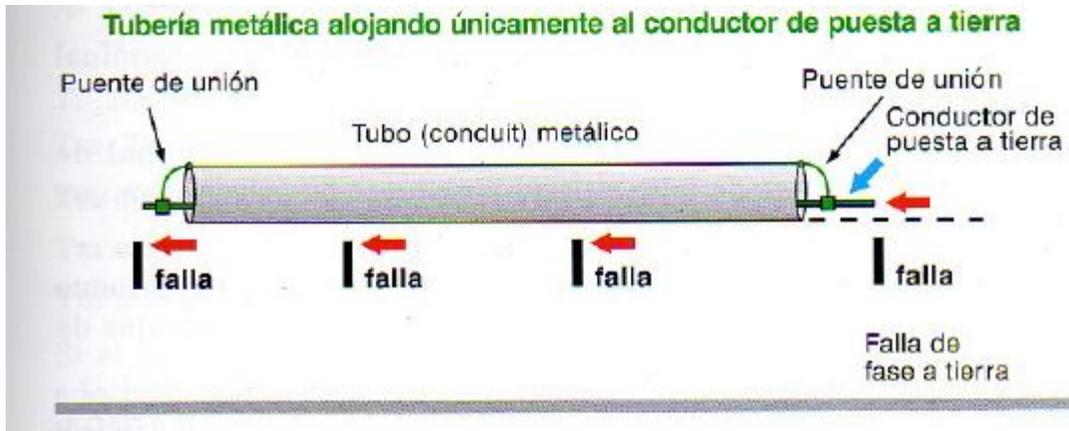


Figura 2.4 Unión entre la tubería (conduit) y el conductor de puesta a tierra^[6].

Cuando se tiene una instalación, en donde se instala un conductor de puesta a tierra únicamente dentro de una tubería metálica (conduit). La función que tiene el conductor de puesta a tierra es conducir la corriente de falla a tierra a su lugar de origen. Como la canalización es metálica se incrementará el campo magnético producido por la corriente de falla a tierra.

En la tubería plástica o de PVC, no se presentará este efecto.

Se deben hacer puentes de unión entre el conductor de puesta a tierra y la tubería metálica (conduit) para prevenir:

- A) El aumento de la caída de tensión.
- B) Caída de tensión baja, asociada a la sección transversal y a la longitud del conductor de puesta a tierra.
- C) Permitir que la tubería (conduit) metálica transporte la mayor cantidad de falla a tierra.
- D) Fase.

2.3.2 Propiedades de los conductores de puesta a tierra.

Cuando se utiliza la tubería metálica (conduit) como conductor de puesta a tierra no es necesario tomar consideraciones especiales para la conducción de la corriente de falla

a tierra, pero sí se debe tener en cuenta las uniones entre cajas, accesorios, gabinetes, accesorios de puesta a tierra.

Cuando se utiliza un conductor de puesta a tierra monopolar dentro de la canalización ya sea metálica o no metálica, el cálculo deberá considerar el valor térmico del conductor que no sea excedido.

Exceder el valor térmico de los conductores tiene los siguientes efectos:

A) Incrementa la temperatura del conductor y por consiguiente empezará a modificar las propiedades de su aislamiento en caso de que el conductor de puesta a tierra se instale con aislamiento.

Si el conductor de puesta a tierra se instala sin aislamiento (desnudo) puede dañar a los conductores adyacentes a él, cuando transporta la corriente de falla a tierra.

B) Puede fundir al conductor de puesta a tierra, creando con ello una instalación eléctrica peligrosa, debido a que los dispositivos de protección contra sobre corriente no operarían y no liberarían la falla a tierra.

El incremento en la temperatura puede considerarse a una alta corriente de falla o al largo tiempo en que se libera la falla.

2.4 Tipos de electrodos.

Como se ha mencionado, el electrodo de puesta a tierra es el objeto conductor a través del cual se establece una conexión directa a tierra, y deben cumplir ciertas características, tales como que sean resistentes a la corrosión debido a sales de la tierra; algunos de los tipos de electrodos que existen son:

- Electrodo verticales. Son elementos conductores cuya función es establecer una conexión eléctrica a tierra. Estos pueden ser electrodos químicos o varillas de cobre.
- Electrodo horizontales. Son elementos conductores cuya función principal es la de realizar la conexión en paralelo de los electrodos de puesta a tierra.

Los electrodos verticales más usados comúnmente, son las varillas copperweld, que están compuestos por un núcleo de hierro con una cubierta de cobre unidos metalúrgicamente. La capa de cobre brinda protección suficiente contra la corrosión del terreno y la varilla en conjunto permite una adecuada difusión a tierra de las corrientes de falla que se puedan presentar, por ejemplo, en una central telefónica y en la planta exterior.

La varilla copperweld basa su funcionamiento en la longitud de la misma, por lo que disminuiría en proporción a su largo la resistencia de propagación de corrientes. Es importante una adecuada instalación y homogeneidad del terreno, el cual previamente hay que tratar con aditamentos químicos para mejoramiento de la tierra. Generalmente su tiempo de vida es limitado por lo tanto su eficiencia también es limitada.

El tipo de electrodo que se utiliza en el sistema de mallas de tierra de una central telefónica debe ser de alto desempeño construido en su totalidad en acero galvanizado y debe cumplir con la Norma Mexicana de Protección contra Tormentas Eléctricas NMX J549.

La pasta de este electrodo químico mejora la conductividad eléctrica del cuerpo metálico al terreno además de proteger al electrodo de agentes corrosivos. El electrodo de puesta a tierra tiene integrado un ánodo para controlar los efectos de corrosión.

2.4.1 Configuraciones de mallas y electrodos.

Tipo radial.

Consiste de uno o varios electrodos de tierra a los cuales se conectan la derivación de cada uno de los equipos. Este sistema es el menos seguro, ya que al producirse una falla en el equipo se producen elevados gradientes de potencial ver figura 2.5.

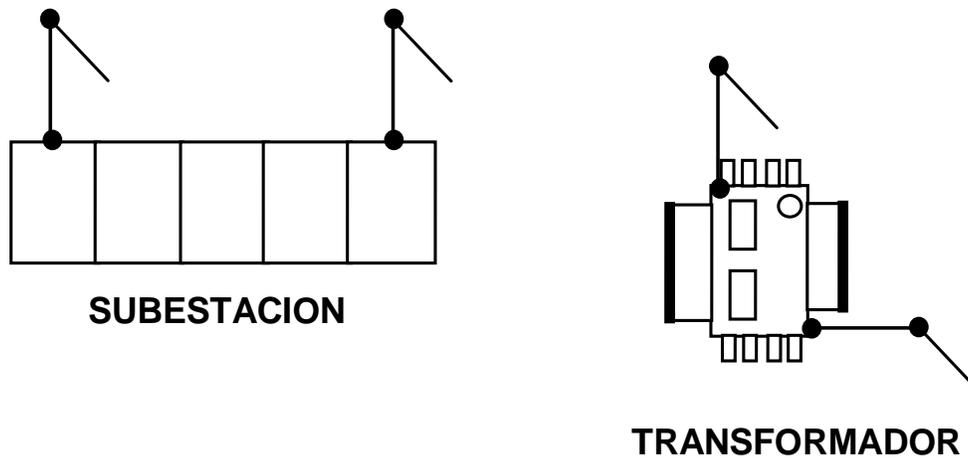


Figura 2.5. Sistema radial^[22].

Sistema 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 más eficiente que el sistema radial ya que los potenciales disminuyen al disiparse la corriente de falla por varias trayectorias ver figura 2.6.

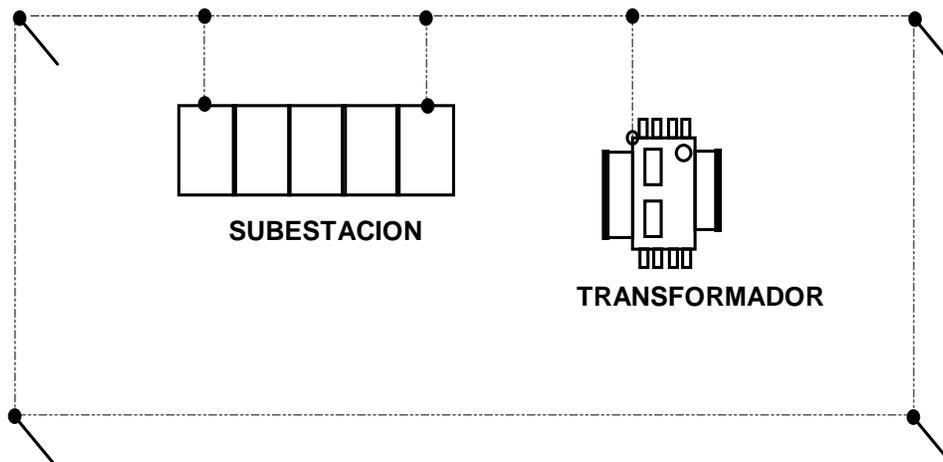


Figura 2.6. Sistema anillo^[22].

Sistema de malla.

Es el más usado actualmente y consiste de un 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 el perímetro de la malla generalmente se colocan electrodos. Este sistema es el más eficiente, ya que se limitan los potenciales originados por la circulación de la corriente de falla ver figura 2.7.

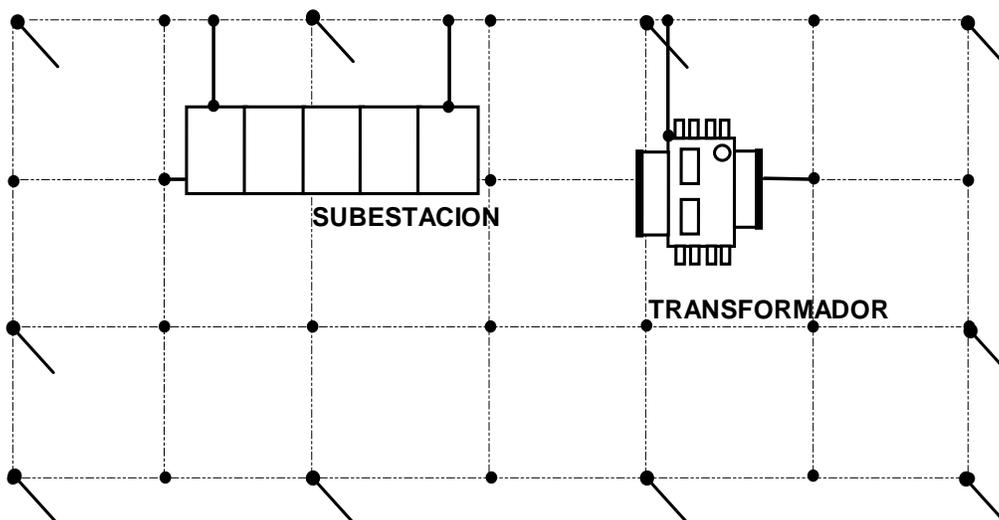


Figura 2.7. Sistema de malla[22].

2.5 Tipos de suelo.

Los tipos de suelo se clasifican por el componente mayoritario en su composición, una clasificación es: ordinario, arenoso, poligonal silicio, calcáreo, arcilloso, humífero, rojo, grava y otros. Así como los elementos en estado natural, rara vez se encuentran en estado puro; el suelo está conformado por distintos elementos que a su vez varían dependiendo de las condiciones de clima y factores externos como humedad o cambio de las estaciones [7].

Los elementos que se encuentran en mayor o menor medida son: arena, la cual representa el elemento más abundante; caliza, el cual es un mineral disuelto por agua con presencia de carbono; arcilla, formada por granos de menos de dos milímetros compuesta por elementos orgánicos; materia orgánica, que consiste en los residuos vegetales u animales en distintos estados de descomposición que se revuelven con la

arcilla; agua, el cual tiene características eléctricas bien conocidas pero que al tener distintos niveles de mineralización y condiciones particulares depende de la región donde es estudiada; minerales, que son sustancias que contienen metales o metaloides disueltos en forma de roca, rocas y depósitos superficiales [7].

2.5.1 Características eléctricas del terreno.

Para entender las características eléctricas del suelo con la electricidad hay que recordar que a nivel microscópico la electricidad siempre toma el camino de menor resistencia. La resistencia como ya se mencionó, es la oposición al paso de corriente el cual físicamente depende de la alineación de los electrones en el conductor o medio por el cual se mueve la energía, en el caso particular del suelo depende así mismo de la composición microscópica del terreno.

Una clasificación sería por tipo de estructura, la forma microscópica que tengan las moléculas que lo compongan. La composición química a partir de los porcentajes de ciertos elementos compuestos o materiales. Una característica importante para nuestro análisis es la humedad relativa al suelo, al conductor y al medio ambiente.

La combinación de estos factores da lugar a dos análisis; uno, las características intrínsecas del terreno y dos, las condiciones estacionales o transitorias; lo anterior da lugar a poder estimar las características eléctricas del terreno con base a las resistencias eléctricas que presenten los diferentes elementos y la variación de la humedad que modifica también estas características de manera estimable pero no continua [2.3].

Estas características naturales hacen que en un mismo terreno con solo algunos metros de separación las características eléctricas puedan variar de manera significativa.

2.5.2 Medición de sistema de tierras.

La medida del valor de la resistencia de un electrodo enterrado se realiza para revisar su valor, posteriormente a la instalación y previo a la conexión de un equipo dentro o fuera de la central telefónica. Esta acción es parte del mantenimiento (que muy pocas veces o casi nunca se llega a realizar) para confirmar que su valor no ha aumentado sustancialmente respecto al valor medido originalmente o de su valor de diseño.

El método más común para medir el valor de resistencia a tierra de electrodos de pequeño o mediano tamaño se conoce como el método de “caída de potencial”. La medición de resistencia de una toma de tierra por el método de caída de potencial se fundamenta en el principio de la Ley de Ohm. Para la medición con este método, se utilizan tres terminales, dos de corriente y una de potencial.

Los dos electrodos auxiliares de potencial y de corriente, deben ser instalados en línea al electrodo de la toma de tierra a medir de acuerdo al siguiente principio de medición, ver figura 2.8 [8].

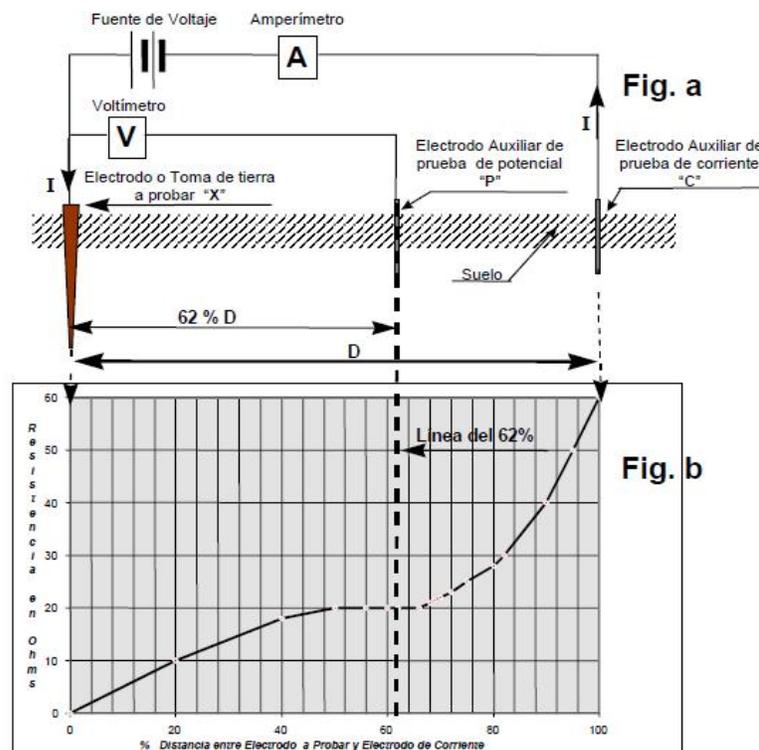


Figura 2.8 Diagrama de conexión para el método de caída de potencial^[8].

2.6 Pararrayos.

El objetivo principal de un sistema de protección contra descargas atmosféricas es brindar protección a instalaciones, al personal y equipos que se encuentren en estos ya que los efectos en personas y equipos resulta dañinos.

Los factores decisivos para colocar un sistema de protección contra descargas atmosféricas son la probabilidad de descargas en la zona, su gravedad y consecuencias para personas y equipos.

Las descargas atmosféricas conocidas comúnmente como rayos, es la igualación de forma violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o entre nubes.

En condiciones atmosféricas propicias, se crea dentro de una nube una separación de cargas, colocándose las negativas en la base de la nube mientras las positivas lo hacen en la parte superior. El potencial dentro de la nube es de varios millones de voltios.

Los rayos iniciados en las nubes, normalmente aparecen en nubes de tormenta del tipo cumulonimbus convectivas que usualmente miden de 3 a más de 50 km de largo, y son consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico. El rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50 metros por microsegundo con descansos de 50 microsegundos.

Una vez que el rompimiento ha creado una columna de plasma en el aire, la descarga eléctrica surgirá inmediatamente dentro de un hemisferio de unos 50 m de radio del punto de potencial más alto y cualquier objeto puede ser el foco de esta descarga.

Una vez que se ha tomado la decisión de optar por un sistema de protección contra descargas atmosféricas tomando en cuenta como ya dijimos la probabilidad de descargas en la zona, su gravedad y consecuencias para personas y equipos.

Se debe analizar los métodos, sistemas y elementos que componen un sistema de protección contra descargas atmosféricas. Para realizar una correcta protección debemos emplear en nuestra estructura a proteger dos sistemas.

Protección externa contra impactos directos de descargas atmosféricas (pararrayos) y de protección interna contra sobre corrientes provocadas por la caída de descargas atmosféricas en cualquier tendido (limitadores de tensión). Ambos sistemas deben estar apoyados por un buen sistema de puesta tierra, para que funcione de manera eficiente el drenado de la corriente proporcionada por las descargas atmosféricas, así como una adecuada equipotencialidad entre todos los sistemas de tierra, tanto de los sistemas de protección como de los circuitos eléctricos y de telecomunicaciones del lugar a proteger.

2.6.1 Sistemas de protección externa (SPE).

Los sistemas de protección externa (SPE), son el conjunto de dispositivos situados sobre el objeto a proteger y tiene como objetivo interceptar los impactos directos de rayos que se dirijan a la estructura, conducir y dispersando de manera segura la corriente del rayo desde el punto de impacto a tierra sin causar daños térmicos y mecánicos.

Los pararrayos son los sistemas de protección externa contra descargas atmosféricas más conocidos y empleados ya que el pararrayos proporciona un circuito de menor resistencia siendo este el mejor método para dirigir la descarga atmosférica a tierra.

Los sistemas de pararrayos están compuestos por una línea de captación o terminal aérea, líneas de bajada, estructuras metálicas, blindajes, una red de toma de tierra, picas y varillas de puesta a tierra. Algunos otros elementos de un (SPE) son:

Punta Franklin.

Este elemento provoca la excitación atmosférica por encima de cualquier otro punto de la estructura a proteger, para aumentar la probabilidad que la descarga incida en su zona de influencia, y derivar a tierra la corriente del rayo.

Tendido.

Esta protección formada por uno o múltiples conductores aéreos situados sobre la estructura a proteger. Los conductores se deberán unir a tierra mediante 3 aterrizadores en cada uno de sus extremos. El área protegida vendrá dada por el área formada por el conjunto de conductores aéreos.

Jaula de Faraday.

Este sistema consiste en la recepción del rayo a través de un conjunto de puntas captadoras unidas entre sí por cable conductor, formando una malla, y derivarla a tierra mediante una red de conductores.

2.6.2 Sistemas de protección interna (SPI).

Los sistemas de protección interna (SPI), son el conjunto de elementos y medidas, como la equipotencialización y la distancia de separación entre los componentes del sistema de protección, orientadas a evitar y reducir la aparición de chispas (descargas eléctricas) que puedan presentarse al interior de la instalación provocando daños a personas y equipos.

Las protecciones internas se necesitan a nivel del equipo o sistema a proteger, son implementadas a nivel de líneas de datos y transmisión, componentes electrónicos y tarjetas de circuitos impresos.

El método electrogeométrico, es un sistema analítico que busca probar la efectividad de un apantallamiento, previniendo o evitando totalmente el impacto del rayo en áreas o zonas determinadas, el método implementa varillas verticales y conductores horizontales

a estructuras y líneas de transmisión. Este método fue desarrollado para diseño de apantallamientos en líneas de transmisión de energía eléctrica pero sus fundamentos tienen aplicación en cualquier tipo de estructura que se desee proteger contra rayos. En él se busca que los objetos a ser protegidos, como un edificio o una torre de comunicaciones para que sean menos atractivos a los rayos que los elementos de protección externa, como es el caso de las varillas tipo Franklin.

2.6.3. Método de la esfera rodante (MER).

El método de la esfera rodante se utiliza para establecer el área de protección de las terminales de captación. Este consiste en girar una esfera imaginaria sobre tierra, alrededor y encima de la instalación a proteger o cualquier otro objeto en contacto con la tierra, capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo.

La esfera imaginaria debe rodarse desde el nivel de tierra y donde toque por primera vez a la estructura debe colocarse una terminal aérea denominada “pivote”, cuya altura debe ser suficiente para que la esfera no toque la estructura cuando este apoyada en la tierra y sobre la punta de la terminal aérea “pivote”. Después debe rodarse la esfera por encima del “pivote” y hacia el techo de la estructura e instalarse una terminal aérea en todos aquellos puntos donde la esfera imaginaria toque a la estructura que se pretende proteger. Este procedimiento se realiza hasta que la esfera imaginaria haga contacto con la tierra nuevamente y donde el espacio imaginario que cubrió su recorrido es el volumen que será protegido como se muestra en la figura 2.9.

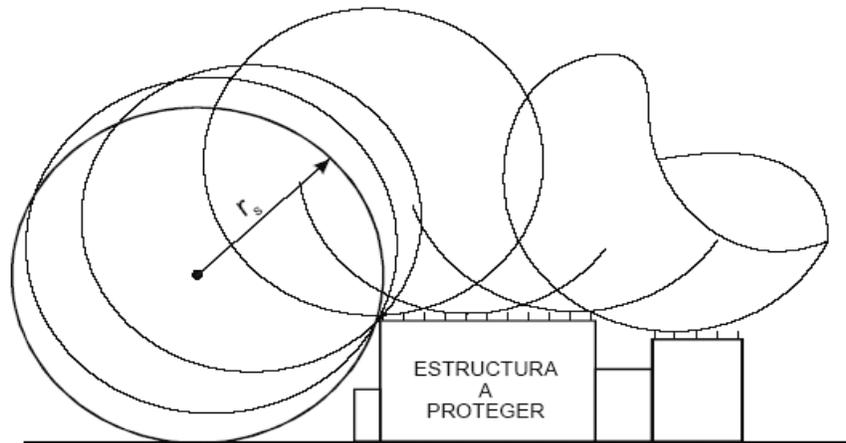


Figura 2.9 Metodo de la esfera rodante.

El radio r_s de la esfera imaginaria se determina de acuerdo al nivel de protección que se requiere para cierta estructura. El nivel de protección está dado por la tabla 2.1.

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Nivel de protección recomendado
---------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Residencia	Daño a la instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en la punta de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	III o IV
Edificios de servicios como: Centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, centros deportivos, escuelas, estacionamientos, estaciones de autobuses, metro o trenes.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	II
Hospitales, Asilos y Reclusorios.	Falla de equipos, daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control. Pérdida de enlaces de información, falla de computadoras y pérdida de información.	I o II
Museos y sitios arqueológicos.	Pérdida de estigios culturales irremplazables.	II

Tabla 2.1 Niveles de protección de acuerdo a la NOM NMXJ-549.

Una vez ubicado el nivel de protección se puede determinar el valor de la corriente de Rayo i [KV] así como el radio la esfera rodante r_s [m] a través de la tabla 2.2.

Nivel de protección.	Radio de la esfera rodante r_s y su correspondiente valor de corriente de rayo.		Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger.
	r_s [m]	i [kV]	h [m]
I	20	3	≤ 20
II	30	6	≤ 30
III	45	10	≤ 45
IV	60	16	≤ 60

Tabla 2.2 Nivel de proteccion. Fuente NOM NMXJ-549-ANCE-2005.

Debido a que el rayo (líder escalonado descendente) puede aproximarse desde cualquier dirección hacia el punto a ser golpeado, el ángulo de aproximación puede ser representado por el radio de una esfera imaginaria alrededor y por encima del objeto a ser golpeado. Si la esfera toca el volumen de la estructura entonces necesitara protección. El radio de la esfera imaginaria debe ser igual a la distancia del último paso de la descarga para un valor pico de la corriente del rayo al punto de incidencia. Analizando la tabla 2.2 observamos que para un nivel I de protección el radio de la esfera rodante será de 20 [m] y la protección será para corrientes de rayo iguales o mayores a 3 [kA], los rayos con corrientes menores serán susceptibles de incidir dentro del área de protección que se asegura con este nivel, mientras que para un nivel II de protección con un radio de la esfera rodante de 30 m la protección será para corrientes de rayo mayores o iguales a 6 [kA] y de la misma forma los rayos con corrientes menores serán susceptibles de penetrar el área de protección.

De acuerdo a este análisis cuanto menor sea el nivel de protección, es decir menor el radio de la esfera rodante, mayor será la protección que le proporcionemos a la estructura. Por otro lado al aumentar el radio de la esfera rodante disminuirá el número de terminales aéreas necesarias para una correcta protección sin embargo la probabilidad de que la corriente de un rayo penetre el sistema de protección aumentará. Un aspecto importante es que la altura máxima efectiva del elemento de protección a partir del plano a proteger será igual al radio utilizado para la esfera rodante.

Cuando la altura de la terminal aérea es mayor que el radio de la esfera rodante, la protección máxima estará limitada a la zona de protección definida por el punto de unión entre la esfera rodante y la altura de la terminal aérea correspondiente al radio de la esfera rodante.

3 PLANTA TELEFÓNICA.

La planta telefónica es el conjunto de infraestructura y equipos que se requieren para poder establecer comunicación a distancia. Contiene esencialmente dos partes fundamentales y son:

- La central telefónica.
- Planta externa.

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

Un sistema de tierras en la central telefónica consiste básicamente en 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.

Los materiales utilizados tanto en el sistema de protección contra descargas atmosféricas como en todo el sistema de tierra, deben tener alta conductividad y durabilidad, además de que deben ser resistentes a la corrosión provocada por las condiciones ambientales, la composición del suelo o agua, y/o contaminantes y el contacto con metales o aleaciones que generen corrosión por efecto galvánico.

3.1 Normas y especificaciones generales para una central telefónica.

Esta información tiene como propósito fundamental los siguientes aspectos:

- Aumentar la seguridad del personal.
- Reducir al mínimo los daños al equipo y por consiguiente aumentar la confiabilidad, disponibilidad y continuidad del servicio.
- Minimizar las inducciones electromagnéticas radiadas y conductivas.
- Aumentar la tolerancia a las descargas electrostáticas y a las interferencias causadas por descargas atmosféricas.

De acuerdo con lo especificado en la NOM-001-SEDE-2012 relativo al tamaño nominal del conductor de puesta a tierra, este debe ser de un tamaño nominal no menor que 2,08 mm² (14 AWG). En lo que respecta a las características de instalación de cableado y canalizaciones de circuitos de comunicaciones, éstas se ven reflejadas en el Art. 800 de la misma norma ^[N2].

La trayectoria del cableado de energía de corriente alterna y corriente directa deben ir en canalizaciones independientes (charolas, escalerillas, tuberías).

Los conductores de puesta a tierra (CPT) no deben instalarse dentro de tuberías metálicas, excepto en circuitos de alimentación de corriente alterna en donde el CPT debe ir por la misma tubería ^[6].

Las canalizaciones metálicas, así como sus conexiones a cajas de registro, conduit, gabinetes, bastidores y tableros, deben tener una continuidad eléctrica efectiva a lo largo de todo el sistema de canalización, con una adecuada conexión a tierra.

Los cables de alimentación de corriente directa para equipos de conmutación digital deben ir en pares, es decir, alimentación (negativo) y retorno (positivo) juntos para evitar inducciones.

La trayectoria de los CPT, debe ser lo más recta posible, admitiéndose desviaciones con radios de curvatura mínimo de 30.48 cm (1'), ver figura 3.1.

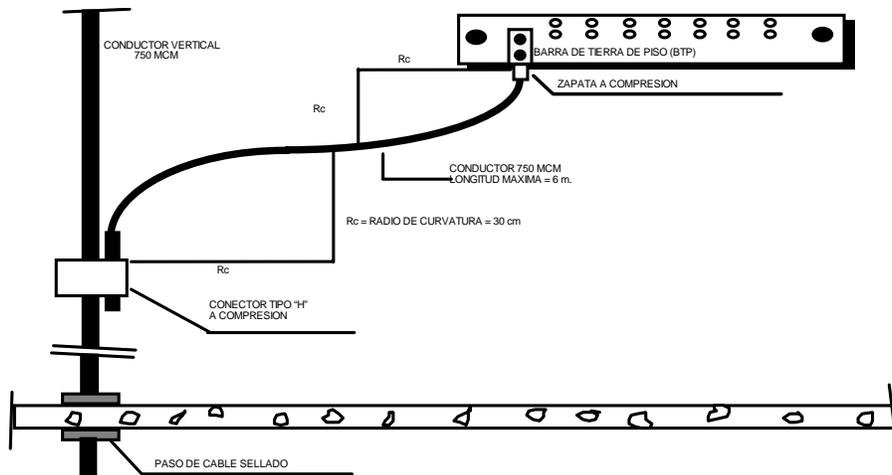


Figura 3.1 Radios de curvatura permisibles^[22].

Los CPT deben conectarse por la parte superior de la barra de tierra del piso correspondiente, de modo que permita el flujo de corriente en cascada, ver figura 3.2.

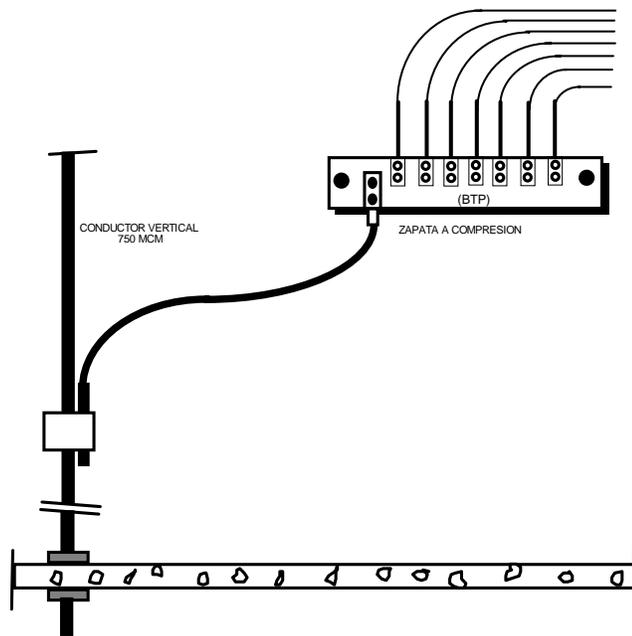


Figura 3.2 Conexión en cascada.

Deben existir dos puntos de conexión de la BTP ó de la BTPC a la malla de tierra, uno en cada extremo por seguridad, ver figura 3.3.

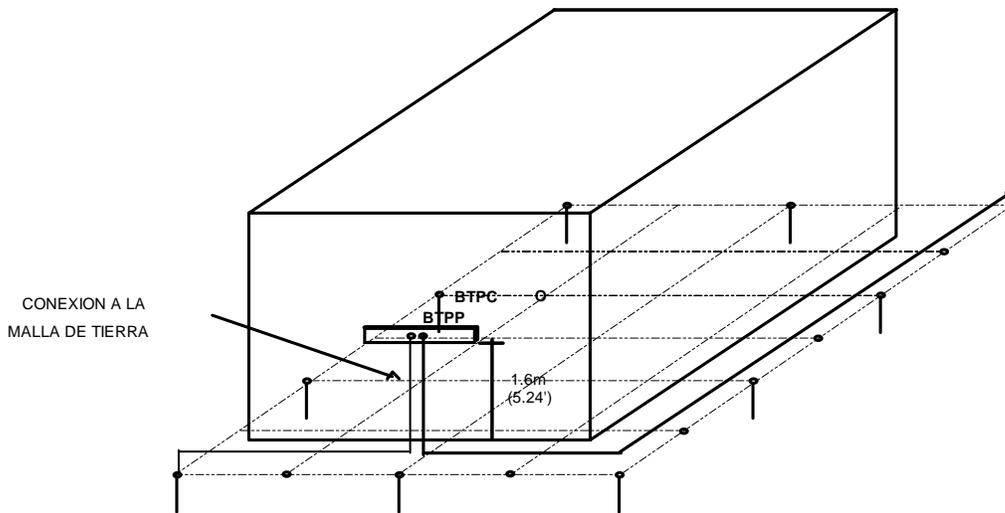


Figura 3.3 Conexión de puesta a tierra de la BTTP y la BTPC^[22].

No debe introducirse ni conectarse al interior del edificio ningún CPT de pararrayos o torre de microondas^[21]. La resistencia de la malla de tierra debe ser como lo indica la tabla 3.1.

Tipo de Instalación	Resistencia "R" (ohms)
Edificio Urbano y URL's	£ 5
Edificio Rural	£ 25
Planta externa	£ 20
Subestaciones	de 250kVA y 34.5kV £ 25 si ³ 250kVA y 34.5kV £ 10

Tabla 3.1 Resistencia de la malla de tierra^[21]..

Los CPT que corren en el interior del edificio deben ser visibles, con aislante tipo THW-LS de color verde. En las azoteas de los edificios se debe instalar un anillo perimetral con alambre de cobre desnudo, temple semiduro, calibre No. 2 AWG, para la puesta a tierra de todos los equipos y partes metálicas ubicadas en la misma ^[22].

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, con alambre desnudo de cobre, temple semiduro, calibre No. 6 AWG ver figura 3.4.

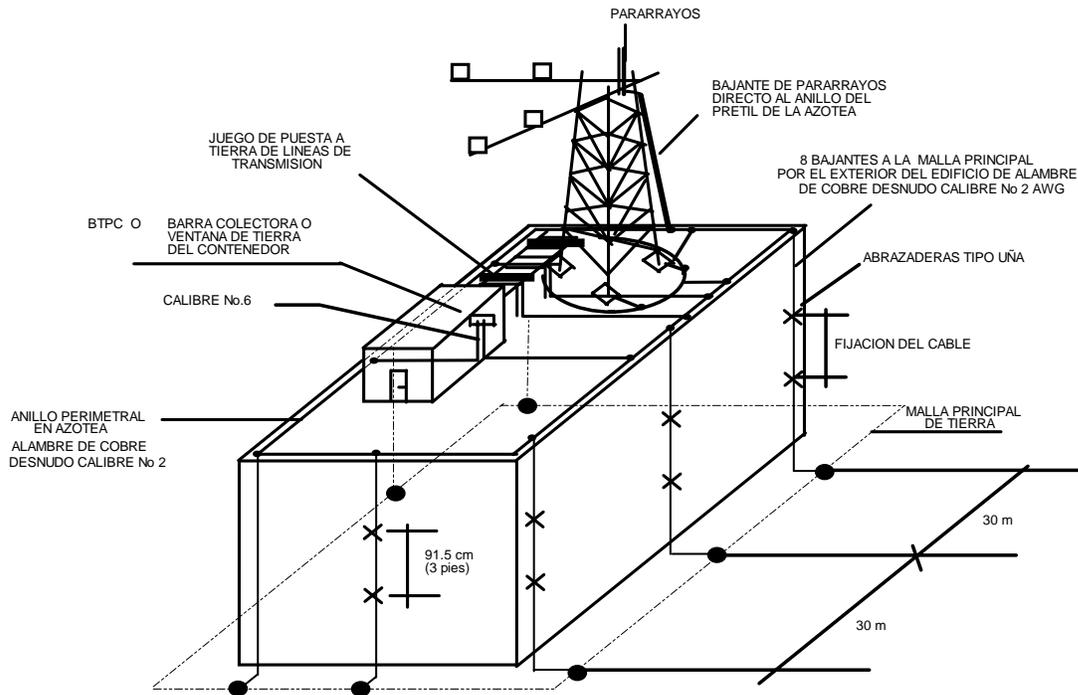


Figura 3.4 Anillo perimetral de la azotea^[22].

Las cercas ciclónicas perimetrales deben ser puestas a tierra de la siguiente manera. Si la distancia a la malla de tierra principal del edificio es menor o igual a 2 metros, se debe 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 metros, deben instalarse electrodos a lo largo de la cerca cada 6 metros, para finalmente interconectarlos a la malla en dos puntos opuestos como mínimo con alambre de cobre desnudo, temple semiduro, calibre No. 2 AWG ver figura 3.5.

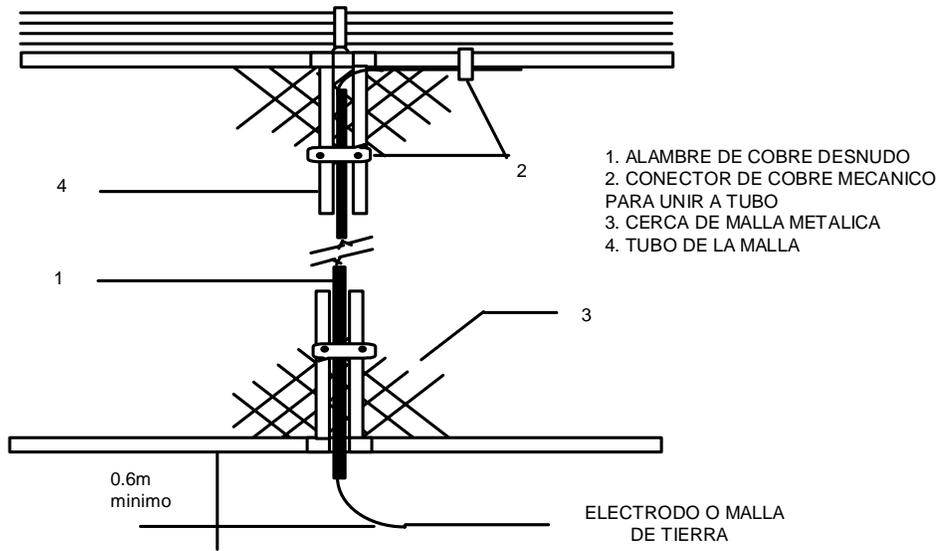


Figura 3.5 Conexión típica de una malla ciclónica^[22].

3.1.1 Cable vertical.

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 3.6.

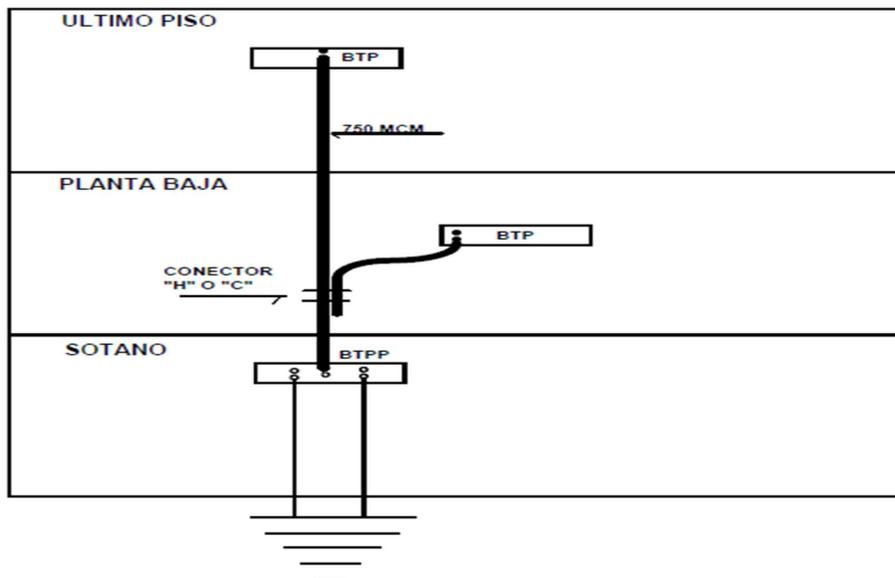


Figura 3.6 Conexión del cable vertical^[22].

El cable vertical debe ser de una sola pieza y se debe establecer la trayectoria más recta posible. Se debe instalar en la posición de mayor cobertura radial de 30.5 metros y por ninguna razón el equipo que se encuentre fuera de este radio debe conectarse al cable vertical, ver figura 3.7.

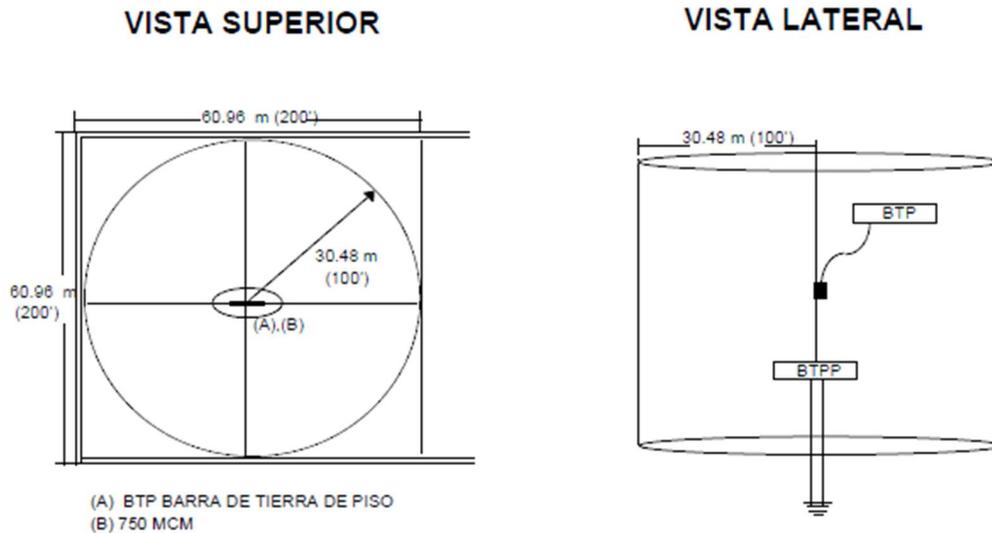


Figura 3.7 Área de cobertura del cable vertical^[22].

En los casos de instalaciones en las que se sobrepasen los 30.5 metros de radio se deben instalar los verticales necesarios, interconectados a la misma barra de tierra de punto principal (BTTP), a fin 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 cable vertical, que se llama igualador horizontal, ver figura 3.8.

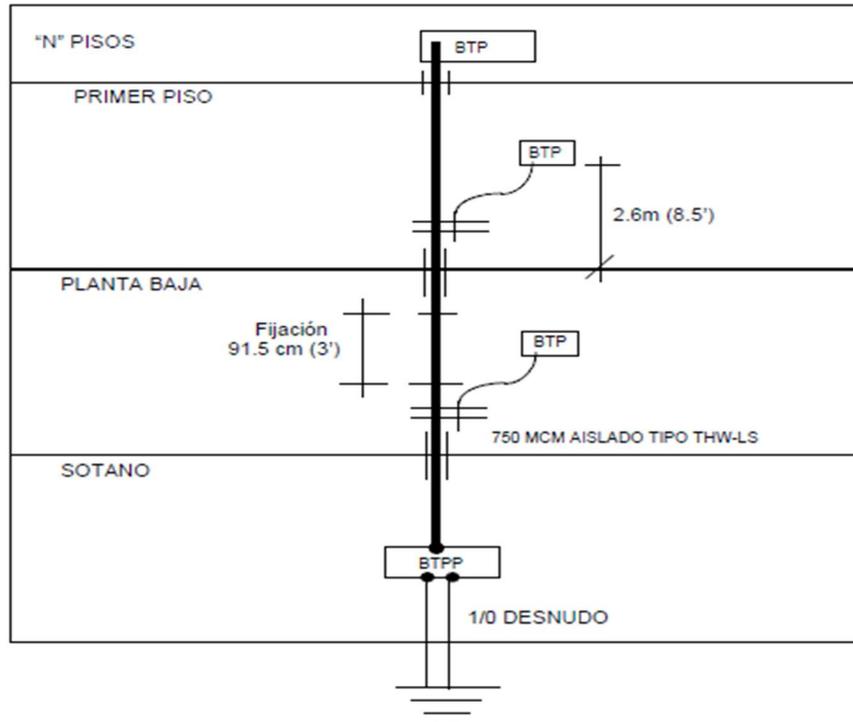


Figura 3.9 Conexión del cable vertical en su extremo del último piso directo a la BTP.

3.1.2 Barra de tierra de piso (BTP).

Es una barra instalada en la central telefónica, que referencia al 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.

La longitud del conductor, entre la BTP y el cable vertical no debe exceder de 6.1 metros, ver figura 3.10.

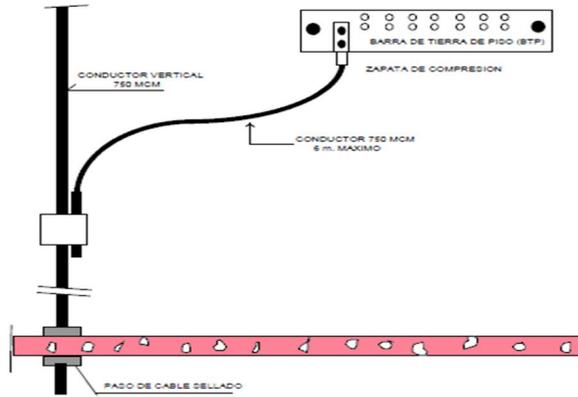


Figura 3.10 Longitud máxima del conductor entre el cable vertical y la barra de tierra de piso.

El orden de conexión típica de la BTP, es como se muestra en la figura 3.11.

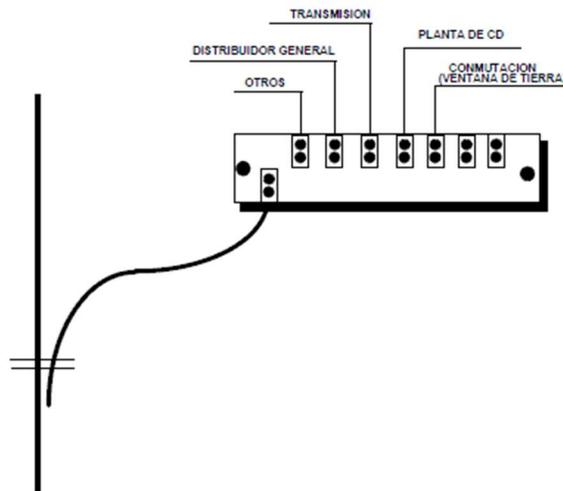


Figura 3.11 Conexión típica a la barra de tierra de piso^[22].

La BTP debe estar instalada a una altura de 2.60 metros del nivel de piso, ver figura 3.12.

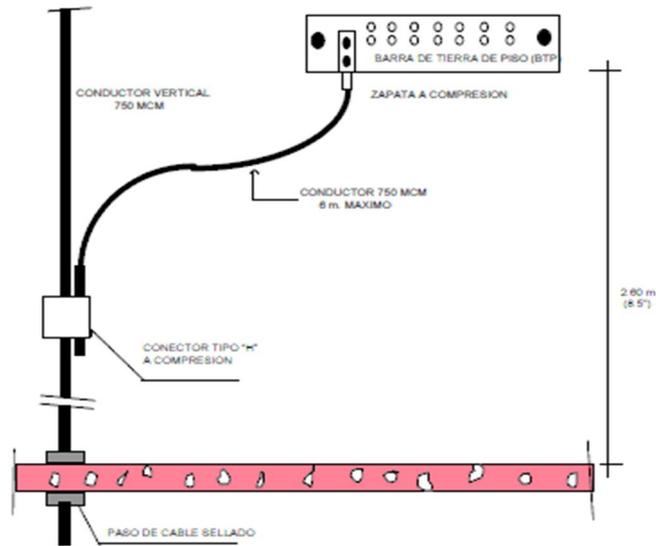


Figura 3.12 Altura de instalación de la BTP.

El conductor para conectar la BTP al cable vertical debe ser cable de cobre con temple semiduro, calibre 750 MCM, de 61 hilos, con aislamiento tipo THW-LS color verde, 600 volts, 90 °C.

La BTP es una barra de cobre y sus dimensiones se especifican en la figura 3.13.

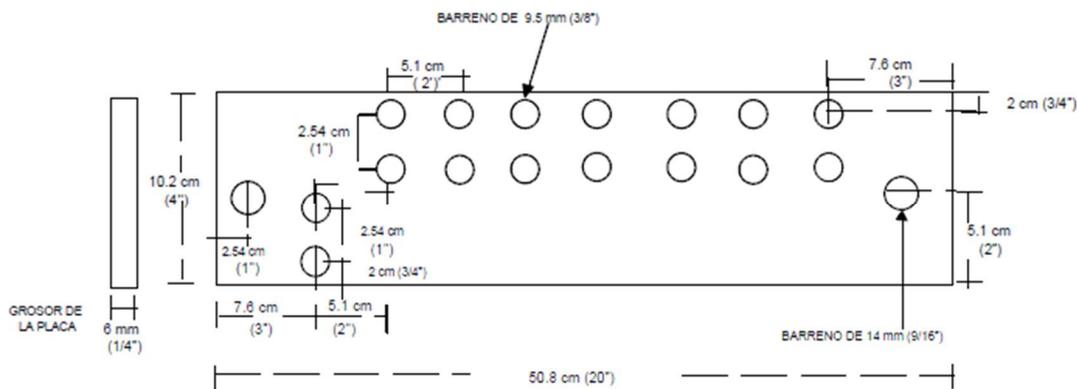
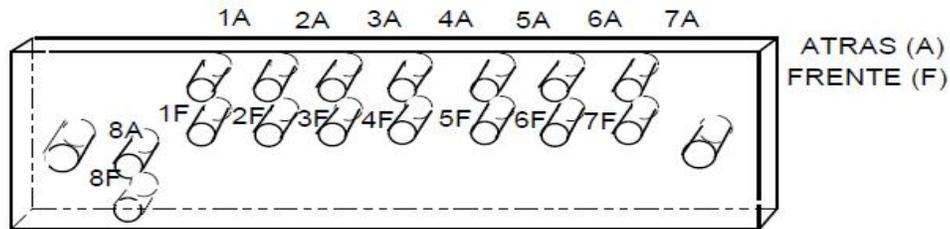


Figura 3.13 Especificación de la BTP^[22].

El orden de numeración de conexiones de la BTP es como se indica en la figura 3.14.



BTP- Barra de Tierra de piso.	Localización: Columna 3B.	
Posición	Calibre del Cable	Asignación
1F		OTROS
2F		D.G.
3F		
4F		
5F		TX
6F		C.D.
7F		CTL. DIG. (BVT)
8F	750 MCM	CV
1A		OTROS
2A		D.G.
3A		
4A		
5A		TX
6A		C.D.
7A		CTL. DIG. (BVT)
8A		

Figura 3.14 Orden de conexiones en la BTP^[22].

3.1.3 Barra de tierra de piso principal (BTPP).

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 malla.

La BTTP debe estar instalada a una distancia de 0.61 metros de la losa o trabe de la fosa de cables en la central, ver figura 3.15.



Figura 3.15 Instalación de la BTTP en la fosa de cables^[22].

Las conexiones típicas de una BTTP deben ser como se muestra en la figura 3.16.

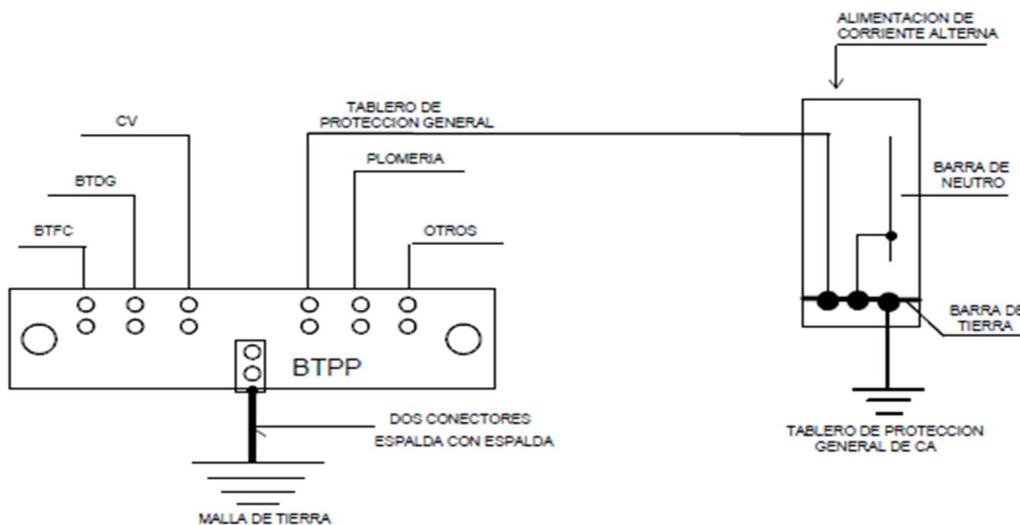
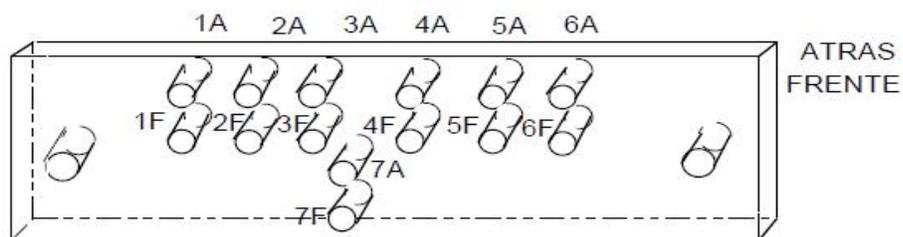


Figura 3.16 Conexiones típicas de una BTTP^[22].

El orden de numeración y conexión de la BTTP debe ser como se indica en la figura 3.17.



BTPP- Barra de Tierra de Punto Principal. Localización: Planta Baja ó Sótano.		
Posición	Calibre del Cable	Asignación
1F		BTFC
2F		BTDG
3F	750 MCM	CV
4F		TPG
5F		Plomería
6F		Otros
7F	1/0	A la malla de tierra
1A		
2A		
3A		
4A		
5A		
6A		
7A	1/0	A la malla de tierra

Figura 3.17 Conexión típica de una BTPP^[22].

3.2 Ventana de tierra.

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

3.2.1 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 corriente alterna, corriente directa o cuando un rayo le pega al edificio. Las estructuras metálicas de edificios, tuberías de agua, piso falso, gabinetes y charolas metálicas, forman un plano integrado de tierra cuando están unidos por conexiones múltiples intencionales o accidentales.

Un ejemplo de plano integrado de tierra es el utilizado para equipos de conmutación analógica que tiene multiconexiones a tierra de herrajes, paredes, techos, camas de cables bastidores de equipos de radio de microondas y bastidor del distribuidor general.

3.2.2 Plano aislado de tierra.

La tierra aislada es la tierra de referencia cero para la lógica digital y la mantiene libre de ruidos eléctricos. El propósito es mantener los equipos eléctricos sensibles protegidos de los ruidos eléctricos producidos en los bucles de tierra y múltiples conexiones a tierra [3.3].

El calibre del conductor tiene un papel importante para los modernos circuitos electrónicos. El conductor de la “tierra del sistema” debe ser continuo, de calibre mínimo de 8 AWG o del mismo calibre que los conductores portadores de corriente (conductores de fase), con aislamiento y con forro de color verde. Cuando el forro de aislante se utiliza para la tierra de seguridad, debe utilizarse aislamiento verde con franjas amarillas para la tierra del sistema^[6].

En la central telefónica, 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 metálica y/o del concreto del edificio.

Durante la ocurrencia de fallas de corriente alterna, corriente directa 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.

Un 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 los pisos, paredes, techos, equipos de clima, alumbrado, contactos eléctricos, tuberías, herrajes y estructuras metálicas.

Cada proveedor de equipo de conmutación digital tiene sus propias especificaciones de conductores de puesta a tierra, que evitan 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 3.18.

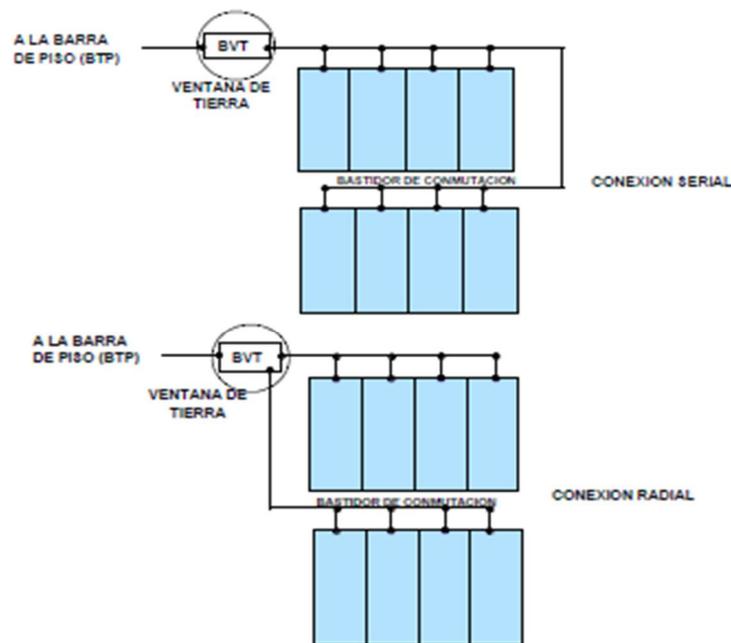


Figura 3.18 Ventana de tierra a la conexión serial o radial de bastidores de conmutación^[22].

3.2.3 Normas de la ventana de tierra (BVT).

Se debe instalar una ventana de tierra por cada planta de corriente directa. La BVT debe instalarse dentro del área de cobertura radial de 30.5 m, que cubre el cable vertical.

La BVT se divide en dos secciones: plano aislado y plano integrado de tierra a partir del

punto de conexión a la BTP, ver figura 3.19. La ventana de tierra tiene un radio de acción de 91.5 cm, es decir, todos los elementos y/o equipos que estén contenidos en el plano aislado deben pasar por este radio de acción.

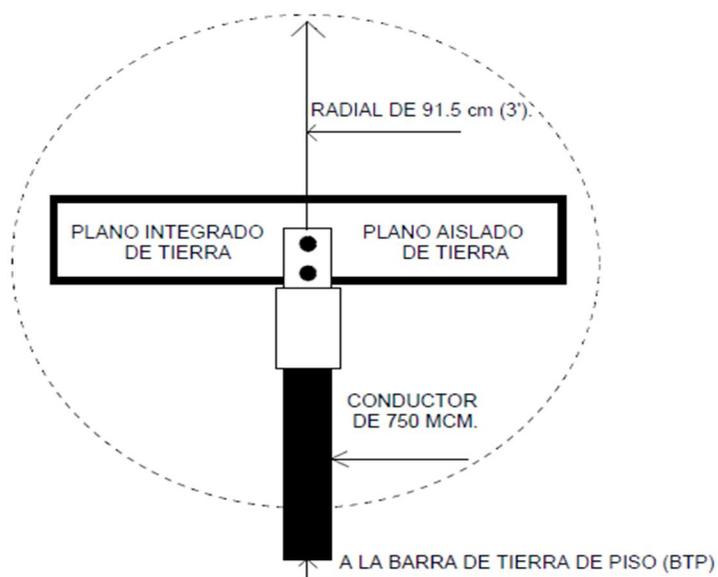


Figura 3.19. Ventana de tierra para centrales digitales^[22].

Las tuberías metálicas (conduits) que lleven alimentación de corriente alterna para equipos misceláneos, instalados dentro de la sala de conmutación deben pasar por el radio de cobertura de la VT de 91.5 cm antes de entrar a la sala de conmutación y conectarse a la sección del plano integrado de la BVT, aislándose de la estructura del edificio y de las partes metálicas donde hagan contacto físico, ver figuras 3.20a y 3.20b.

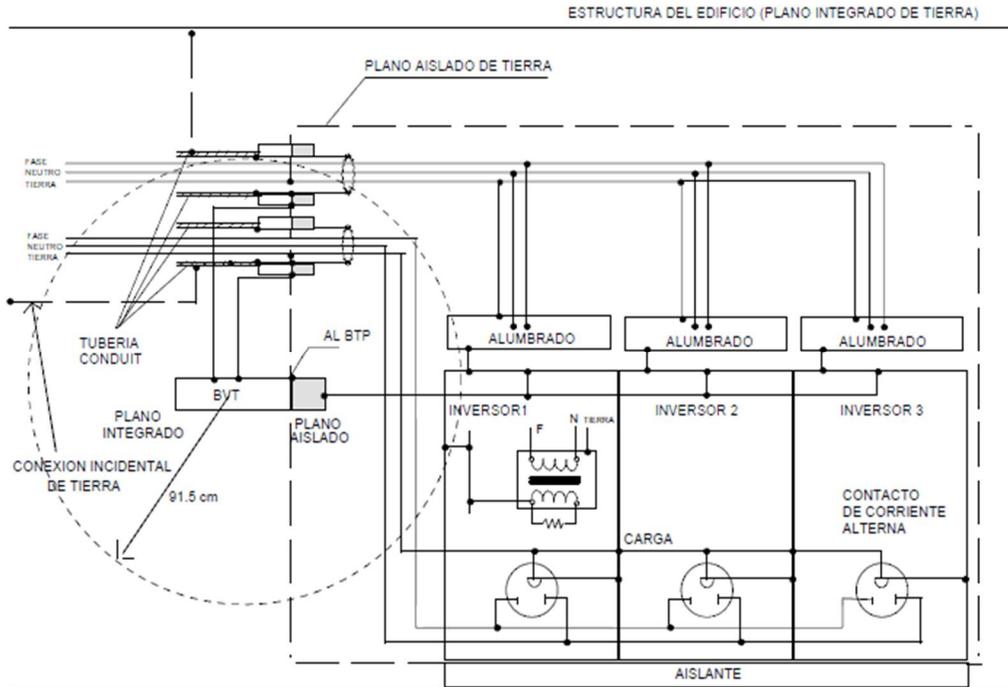
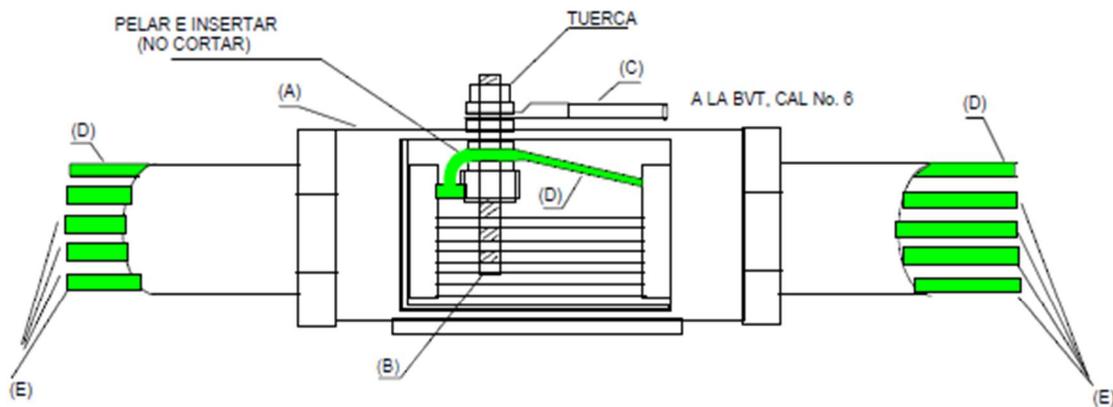


Figura 3.20a. Puesta a tierra de tuberías de corriente alterna^[22].



- (A) CAJA DE CONEXION METALICA PARA PUESTA A TIERRA DE CA
- (B) CONECTOR A TIERRA
- (C) CABLE 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

Figura 3.20b. Puesta a tierra de tuberías de corriente alterna^[22].

3.3 Puesta a tierra de equipos en una central telefónica.

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.

El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre desnudo, temple semiduro, calibre No. 2 AWG, conectado a una toma de tierra con un valor de resistencia menor o igual a 10 ohms, interconectada ésta a la malla de tierra de la subestación, ver figura 3.21.

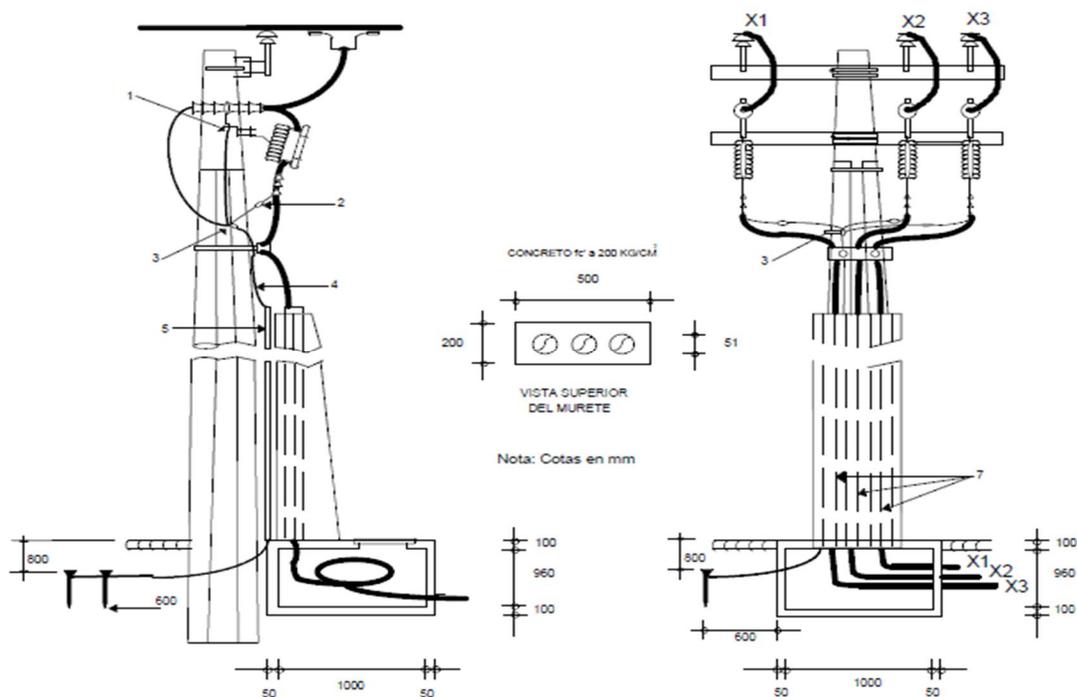


Figura 3.21 Puesta a tierra de acometida de alta tensión^[23].

La conexión a tierra de la acometida en baja tensión se debe hacer con un conductor de cobre desnudo, temple semiduro, de calibre acorde a la capacidad del interruptor general conectado a un electrodo coperweld, el cual se interconectará a la malla de tierra. El punto de unión entre el conductor neutro y el conductor de puesta a tierra se localizará en el gabinete del interruptor general conectado a una barra de cobre.

La puesta a tierra de los equipos de fuerza y accesorios metálicos en sala de fuerza se muestra en la figura 3.22.

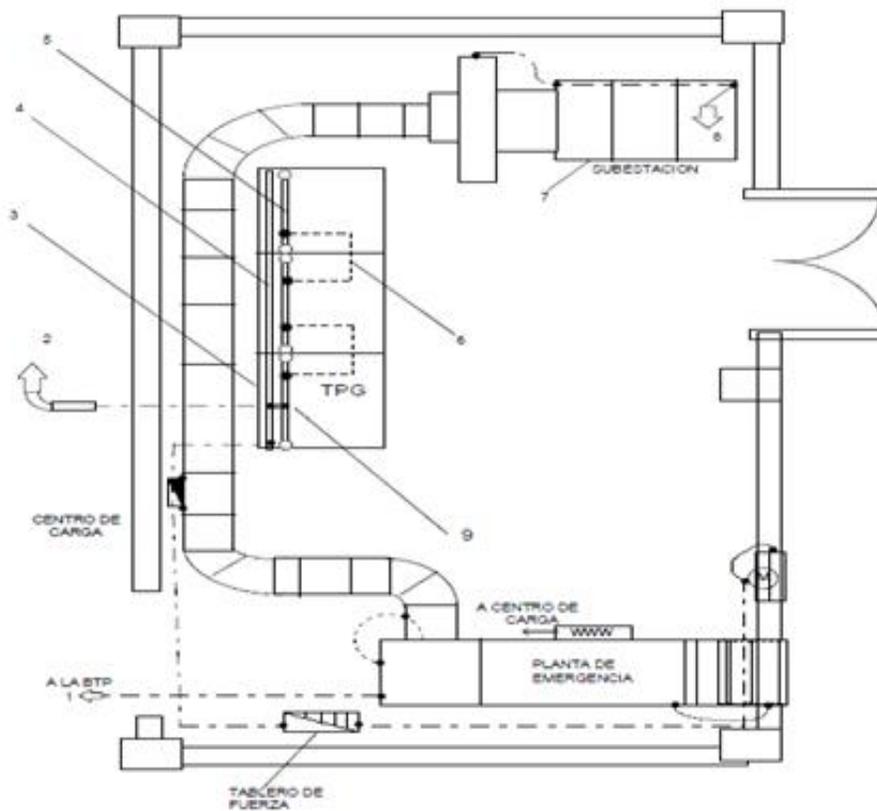


Figura 3.22. Puesta a tierra de los equipos de fuerza y accesorios metálicos en sala de fuerza^[23].

Dónde:

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 (BTTP).
3. Tablero de protección general.
4. Barra de cobre no aislada para conexión de tierra.
5. Barra de cobre aislada para neutro.

6. Puentes de conexión de barras de neutro.
7. Subestación eléctrica tipo compacta.
8. Conexión a tierra de los elementos que constituyen la subestación eléctrica directamente a la malla de tierra.
9. Punto de conexión único, del neutro al sistema de tierra (interconexión entre barras del tablero de protección general).

La máquina de emergencia se debe conectar a la BTP con un conductor de cobre calibre No. 6 AWG, temple semiduro con aislamiento THW-LS color verde, al patín la carcasa. El atenuador de ruido y el estante de la batería de arranque se conectarán también con cables del No. 6 AWG de iguales características, ver siguiente diagrama núm. 3.1.

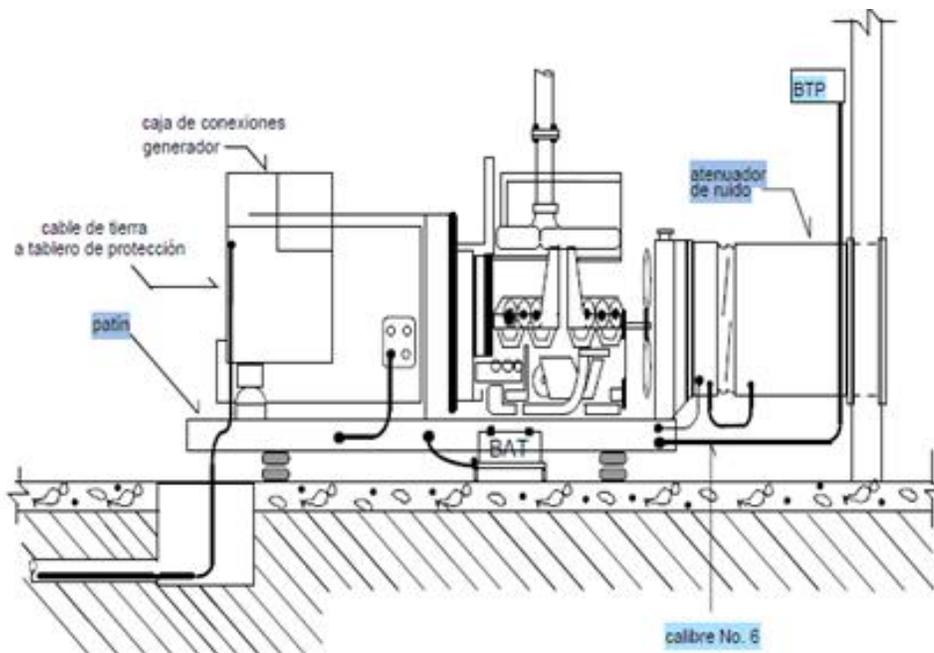


Diagrama núm. 3.1^[23].

En los tableros de protección, distribución y transferencia se deben interconectar 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, suficientemente 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 conexión única entre las barras del neutro y de tierra de protección se debe hacer con barra de cobre o conductor con la misma capacidad de conducción de 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 del conductor de puesta a tierra integrado a su alimentación eléctrica.

La canalización metálica debe ser eléctricamente continua entre equipos y accesorios, es decir, la escalerilla de cables debe estar sujeta a tableros. Si ésta no es continua, se debe hacer un puente con un cable calibre No. 6 AWG temple semiduro con aislamiento THW-LS para conectar eléctricamente la parte no continua.

La subestación eléctrica se debe conectar a tierra como se muestra en la figura 3.23 a través de una cola de tierra de la malla de la central localizada en el registro de alta tensión.

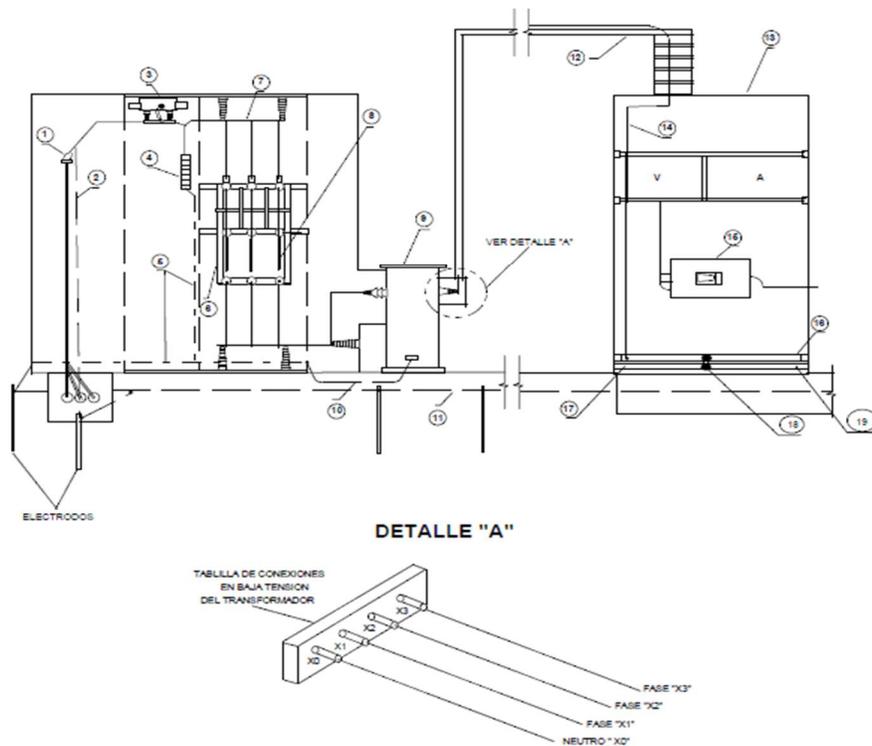


Figura 3.23 Conexiones de una subestación eléctrica^[23].

Dónde:

1. Terminales termo contráctiles.
2. Conductor de puesta a tierra para las pantallas metálicas del cable de potencia.
3. Cuchillas seccionadoras de operación sin carga.
4. Apartarrayos autovalvulares.
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 a 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. Barra de cobre con aisladores para neutro.
17. Barra de cobre para tierra de protección, ver detalle "A".
18. Unión de barras de cobre neutro y tierra "5º hilo". Punto único de conexión del neutro y el sistema de tierras (interconexión entre barras en el tablero de protección general).
19. Conectar con un conductor a la BTTP.

El conductor neutro y el conductor de puesta a tierra deben estar unidos en un solo punto en toda la central o instalación telefónica, siendo éste el tablero de protección general, ver figura 3.24.

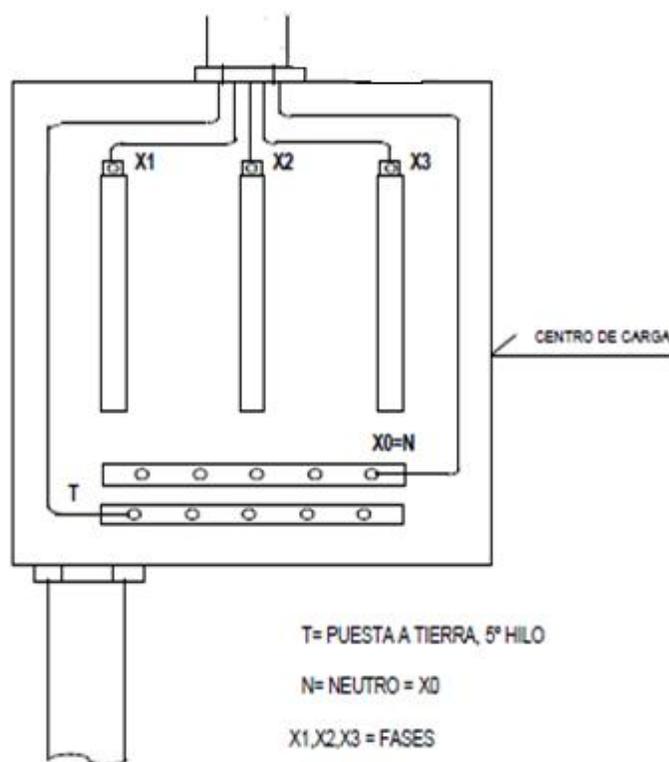


Figura 3.24 Centro de carga^[21].

El CPT del tablero de protección general se debe conectar a la BTPP. Este conductor debe ser con aislamiento tipo THW-LS y el calibre se seleccionará en base a la capacidad de la protección general del tablero ^[N2], como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Calibre de los conductores para puesta a tierra de c.a

Capacidad nominal o ajuste del dispositivo de protección contra sobrecorriente ubicado antes del equipo y/o conductor	Calibre del conductor de puesta a tierra (AWG o MCM)
No mayor de (amperes)	Cobre
15	14
20	12
30	10
40	10
60	10
100	8
200	6
300	4
400	3
500	2
600	1
800	1/0
1000	2/0
1200	3/0
1600	4/0
2000	250 MCM
2500	350 MCM
3000	400 MCM

4000	500 MCM
5000	700 MCM
5500	750 MCM
6000	800 MCM

Tabla 3.2 No 250-95 sección transversal mínima de los conductores de puesta a tierra para canalizadores y equipos del diario oficial NOM-001SEMP-2005.

Cada tablero de corriente alterna (protección, distribución, centro de control de motores, centro de carga) debe alimentarse con conductores de fase o fases activos, conductor neutro y conductor de puesta a tierra, ver tabla 3.3.

Circuito	No. de conductores	Conexión
Monofásico	3	1 Fase 1 Neutro 1 Tierra
Bifásico	4	2 Fases 1 Neutro 1 Tierra
Trifásico	5	3 Fases 1 Neutro 1 Tierra

Tabla 3.3. Identificación de Conductores^[23].

Estos conductores se deben identificar de la siguiente manera (regla 202.4 del RIE pagina 161, octava edición, 1993), como lo muestra en la tabla 3.4.

Color	Color de
Verde	Puesta a tierra
Blanco o gris claro	Neutro
Diferente a los anteriores	Fase (activo)

Tabla 3.4^[23].

Cuando la subestación se encuentra localizada en el interior del edificio, todas las partes metálicas, apartarrayos y pantallas metálicas de los conductores de alta tensión, se deben conectar directamente a la malla de tierra de la central. Los conductores de puesta a tierra de los sistemas de distribución de corriente alterna no deben ser usados para conectar a tierra los bastidores que contengan equipo de conmutación y transmisión.

3.3.1 Puesta a tierra de equipos en corriente directa de la central telefónica.

Los equipos de la planta telefónica requieren para su funcionamiento de energía de corriente directa a voltajes de -24 y -48 V, con positivo (retorno) (+) conectado a tierra.

La obtención de corriente directa 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.

Los equipos de conmutación digital son altamente sensibles a perturbaciones eléctricas, por lo que debe realizarse la correcta puesta a tierra de los rectificadores, baterías y tableros de distribución de corriente directa, teniendo en cuenta las siguientes observaciones.

La barra positiva de retorno debe estar aislada de los bastidores. Los proveedores de equipos de conmutación digital deben considerar la instalación de los bastidores de distribución de corriente directa dentro de la sala de conmutación para alimentar estos equipos y cumplir con las caídas de tensión permisibles, como se muestra en la figura 3.25.

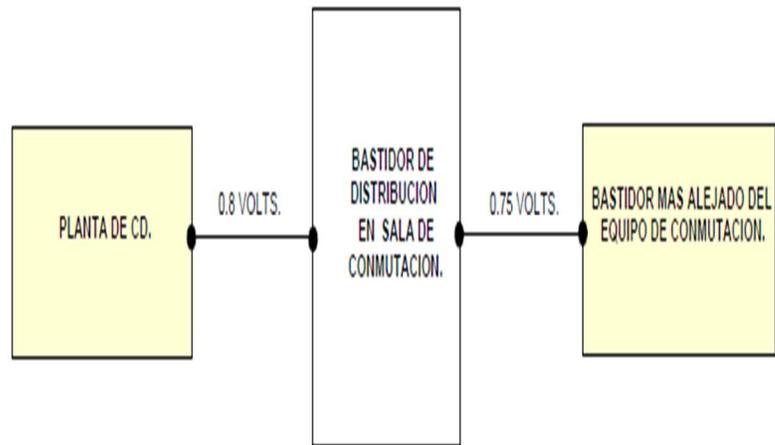


Figura 3.25 Caídas de tensión permisibles^[22].

Los elementos de protección de corriente directa deben ser fusibles de fusión rápida adecuada para la protección del equipo y deben ser calculados al 130% de la carga nominal del equipo instalado. Los calibres de conductores de puesta a tierra de los gabinetes para la planta de corriente directa, se muestran en la figura 3.26.

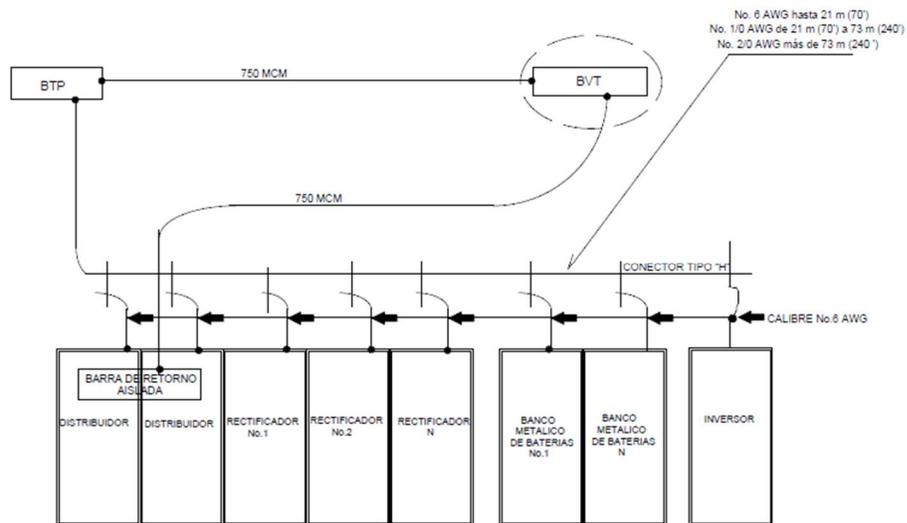


Figura 3.26 Planta de corriente directa^[22].

Cada planta de corriente directa que alimente un equipo de conmutación digital debe tener su ventana de tierra asociada. En caso de instalarse otra central digital en otro piso se debe instalar otra planta de corriente directa con su ventana de tierra correspondiente.

La puesta a tierra típica de una planta de corriente directa localizada en el mismo piso del equipo de conmutación digital se muestra en la figura 3.27.

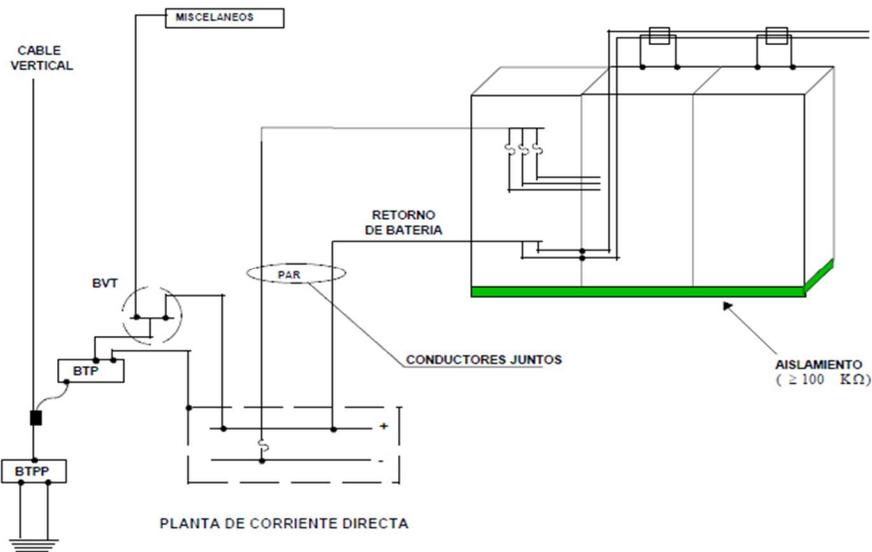


Figura 3.27 Planta de corriente directa en el mismo piso que el equipo de conmutación^[23].

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, conectado a la BTP, ver figura 3.28.

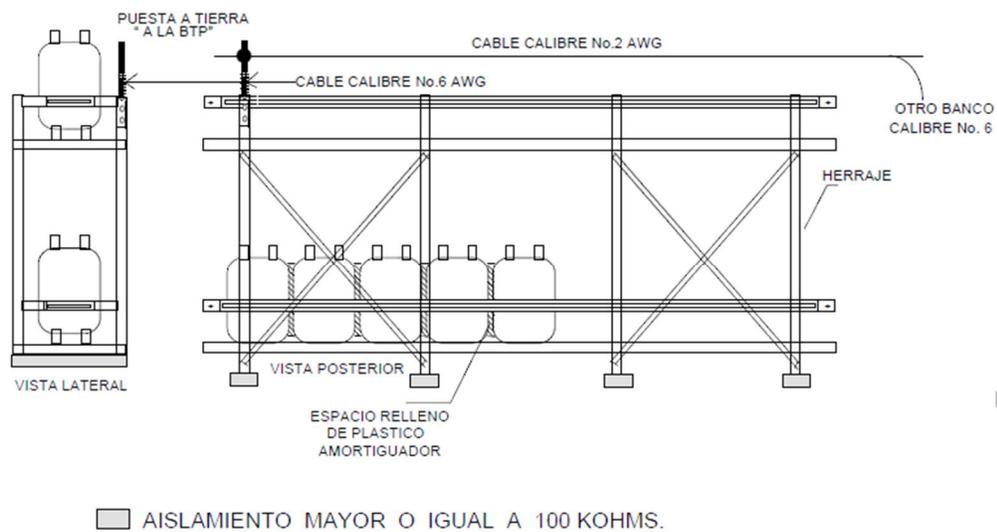


Figura 3.28 Puesta a tierra típica del estante de baterías^[23].

3.3.2 Distribuidor general.

El distribuidor general (D.G) es el punto de enlace entre el equipo de conmutación, transmisión y demás equipos asociados a la central telefónica junto con los cables que componen la planta externa. El D.G siempre estará ubicado sobre la fosa de cables en los edificios de las centrales telefónicas ^[3.5]. Los principales componentes del D.G son los siguientes.

Tablillas horizontales: Es donde se rematan los cables del equipo de conmutación o transmisión y su principal función es la interconexión de los números telefónicos con los cables de planta externa.

Tablillas verticales: Es donde se conectan los cables de la planta exterior. Debe existir continuidad a tierra desde el punto de tierra de las tablillas hasta la barra de tierra del D.G. Así mismo, se debe colocar un arnés de tierra conectando la pantalla del cable en el lugar del corte a dicha barra del D.G.

Bastidor: Es el conjunto de herrajes donde se colocan las tablillas, puentes, escaleras de servicio, dispositivos de prueba y tierras. El bastidor del D.G debe estar debidamente aterrizado soldada o atornillada a la barra de tierras de la central.

Módulos de protección: Los dispositivos de protección contra descargas y corrientes eléctricas permanentes, tienen como objetivo primordial proteger al personal técnico que labora en el D.G así como a los equipos de la central y su correcto funcionamiento depende de la buena trayectoria de tierra entre el módulo y la barra de tierra de la central.

Puentes: Son los cordones que unen o enlazan a las tablillas horizontales (número telefónico) con las tablillas verticales (red de planta exterior).

En el distribuidor general se debe hacer la continuidad de puesta a tierra uniendo todas las tablillas con cable No. 8 AWG y conectándolas a la barra de cobre del distribuidor general (BTDG). Las características de las especificaciones son consideradas como las mínimas necesarias para cubrir los requerimientos técnicos de puesta a tierra, ver figuras 3.29 y 3.30.

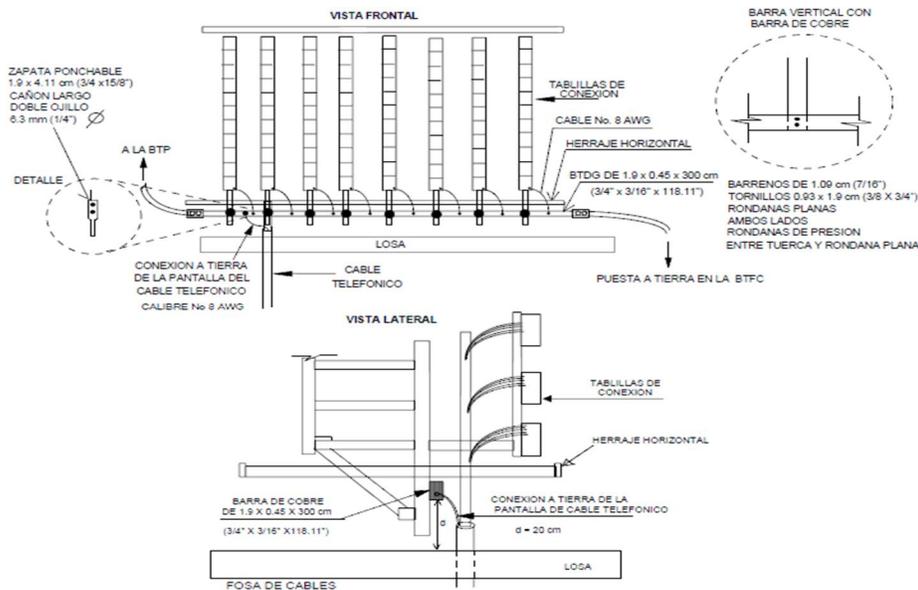


Figura 3.29 Puesta a tierra de pantallas de cable multipar en el distribuidor general^[22].

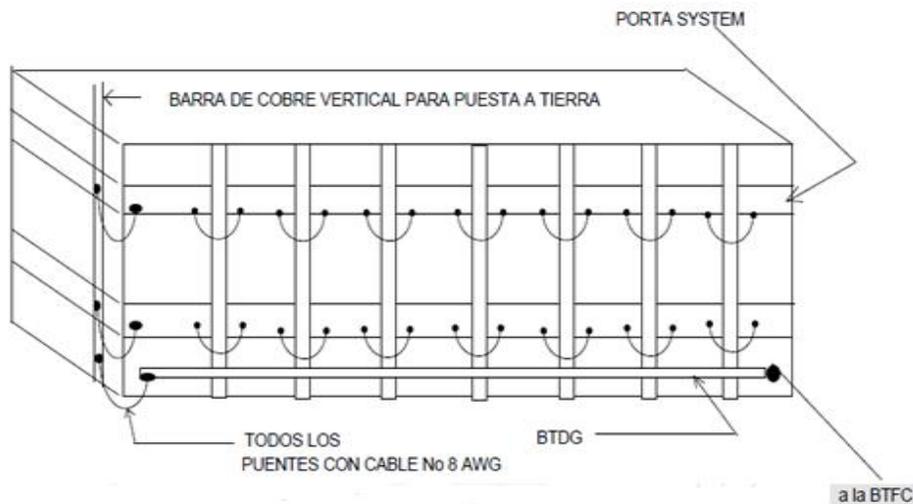


Figura 3.30 Puesta a tierra de un distribuidor general tipo horizontal^[24].

3.3.3 La NAM

La NAM (nodos de acceso multiservicios) es una tecnología para suministrar servicios de banda angosta y de banda ancha, enfocada a entornos residenciales y de negocios. Entre los servicios de banda angosta se encuentran las líneas telefónicas tradicionales, servicios dedicados (NX64) y servicios conmutados; los servicios de banda ancha se entregan a través de líneas ADSL.

El equipo está formado por elementos hardware y software, cuya combinación permite una configuración particularizada para los servicios que se van a proporcionar.

En áreas urbanas donde el crecimiento excede la capacidad de los cables de cobre existentes, los NAM representan una opción a bajo costo como sustituto de cable principal, de la misma manera sustituye al hardware de crecimiento de centrales de conmutación y de equipos multiplexores de acceso, posibilitando la migración hacia una red optimizada.

La instalación de esta tecnología puede ser en gabinetes de banqueta, contenedores o en el edificio de la central telefónica. El gabinete para exterior cuenta con tres compartimentos independientes destinados a diferentes usos.

El compartimento del lado izquierdo alberga básicamente el equipo de aire acondicionado y el centro de carga. Este compartimento tiene el orificio para la acometida eléctrica y de tierras.

El compartimento central está destinado para el bastidor de equipo NAM, el equipo de transmisión, el equipo de telefonía pública, equipo de fuerza, baterías y tablillas de remate de cables.

El tercer compartimento es el que corresponde al área de planta externa. A través de este se introducen los cables de transmisión (fibra óptica) y los cables de planta externa que van hacia los bloques protegidos del distribuidor general y salen hacia la red secundaria para acceso a los clientes.

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 BTPC, ver figuras 3.31 y 3.32.

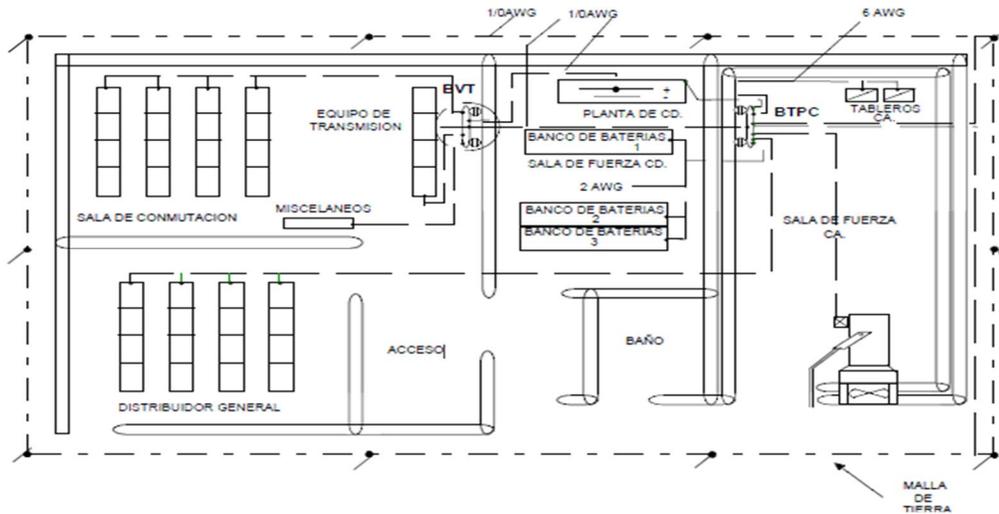


Figura 3.31 Puesta a tierra de una URL de mampostería^[24].

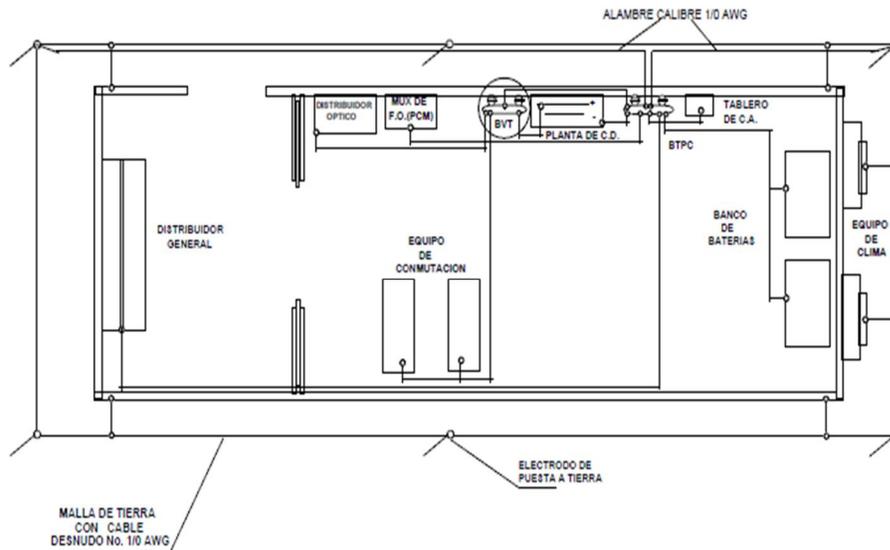


Figura 3.32 Puesta a tierra de una URL en un contenedor^[24].

3.4 Planta externa.

Es el conjunto de medios que enlazan la central telefónica con los clientes. Se compone de las siguientes partes:

- Canalización.
- Cables.
- Cajas de distribución.
- Posteria y cajas terminales.

3.4.1 Red troncal.

Es la que sirve de enlace entre las centrales a través de los distribuidores generales. El enlace entre las centrales tiende a ser únicamente con cables de fibra óptica.

3.4.2 Red principal.

Es el conjunto de cables de cobre (multipar) que parten de las centrales y son repartidos en diferentes cajas de distribución, conocidos también como distritos, estas son instaladas en diferentes direcciones.

La red principal se distribuye en un área geográfica determinada y se canaliza por medio de construcciones subterráneas de registros y pozos unidos por tubos de P.V.C (polivinil) semirígidos. Los pozos son obras subterráneas destinadas a tender la red principal, su distribución y empalme de cables.

Existen cables en la red principal que contienen un blindaje de aluminio el cual va adherido a la cubierta exterior, este blindaje tiene una doble función que es contra interferencias y contra la humedad. A continuación, se muestran dos tipos de cable

usados generalmente en la red principal. El primero, es cable seco SCREB, ver figura 3.33a, el segundo es cable relleno SCReEBh, ver figura 3.33b.



Descripción:

- Conductores de cobre suave.
- Aislamiento de polietileno.
- Conductores pareados y cableados.
- Cinta reunidora no higroscópica.
- Blindaje de aluminio adherido a la cubierta.
- Cubierta de polietileno color negro.

ESPECIFICACIONES:

NMX-I-262/O1-NYCE

APLICACIÓN:

Redes telefónicas en exterior; instalación en charola, ductos ó aéreo sujeto a un mensajero externo. Cuando se use subterráneo, se recomienda usar un sistema de sobrepresión para evitar penetración de agua en caso de daños en la cubierta.

Figura 3.33a Cable seco SCREB^[15].



DESCRIPCIÓN:

- Conductores de cobre suave.
- Aislamiento de polietileno celular con capa externa sólida.
- Conductores pareados y cableados.
- Compuesto de relleno.
- Cinta reunidora no higroscópica.
- Blindaje de aluminio corrugado
- Cubierta de polietileno en color negro.

ESPECIFICACIONES:

NMX-I-262/O1-NYCE

APLICACIÓN:

Redes telefónicas en exterior; instalación en charola, trinchera o subterránea en ductos. No usan sistemas de sobrepresión.

Figura 3.33b Cable relleno SCReEBh^[15].

3.4.3 Red secundaria.

Es aquella que parte de las cajas de distribución en cables de un determinado número de pares, hasta una terminal de contactos receptores, conocida generalmente como caja terminal instaladas en postes, fachadas, interiores o azoteas.

3.4.4 Fibra óptica

El cable de fibra óptica debe conectarse a tierra en la acometida de la 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 del 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 THWLS de color verde, ver figura 3.34.

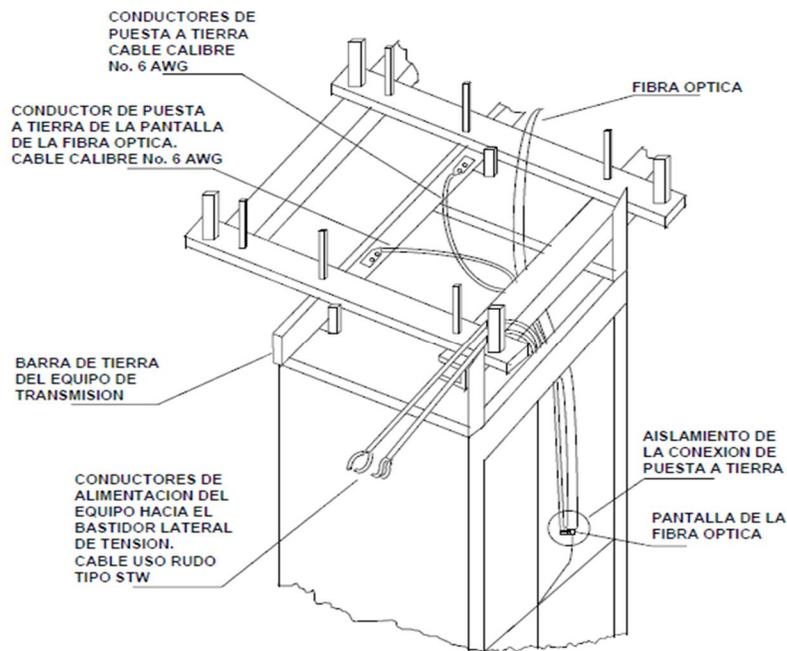


Figura 3.34 Puesta a tierra del cable de fibra óptica^[24].

3.4.5 Cajas de distribución.

Las cajas de distribución son cajas de lámina montadas en una base de cemento y conectadas a un pozo por medio de ductos, en su interior se encuentra un armazón de fierro que sirve para instalar mufas principales y secundarias.

En este lugar se reúnen los cables de la red principal y la red secundaria, para poder identificarlos tienen su colocación de tal manera que no se puedan confundir. Las cajas de distribución tienen una identificación para saber a qué central y distrito pertenecen.

En estas cajas se conecta cualquier par del cable de la red principal con cualquier par de la red secundaria para el suministro del servicio telefónico u otro servicio digital para particulares.

Todas las cajas de distribución deben ser puestas a tierra con cable de cobre, calibre No. 6 AWG, conectado en la parte inferior de la caja hacia un electrodo de tierra (copperweld) de 1.57 cm (5/8") de diámetro x 1.5 metros de largo, ver figura 3.35.

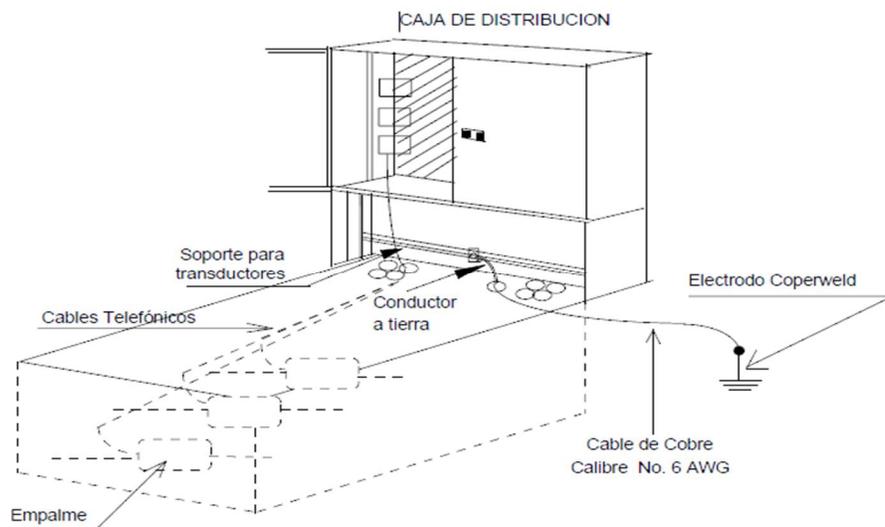


Figura 3.35 Puesta a tierra de una caja de distribución^[22].

Se deben conectar los cables multipares, con las colas de las mufas en las cajas de distribución, para permitir la continuidad de pantallas de los elementos metálicos hasta la caja de distribución.

3.4.6 Normas y especificaciones en la planta exterior.

La continuidad eléctrica de las pantallas y cubiertas metálicas de los cables contribuye a disminuir ruido eléctrico, el deterioro del material y mejora la protección de la red, respecto a cualquier tipo de afectación electromagnética. Por lo tanto, no se debe en ningún caso interrumpir la continuidad de las cubiertas metálicas de los cables y si se deben conectar éstas al sistema de tierra en la fosa de cables^[21].

Cuando no se respeta esta regla, se anula la influencia del resto de las protecciones instaladas en la red, en particular la eficacia del blindaje o de las puestas a tierra, ver figura 3.36.

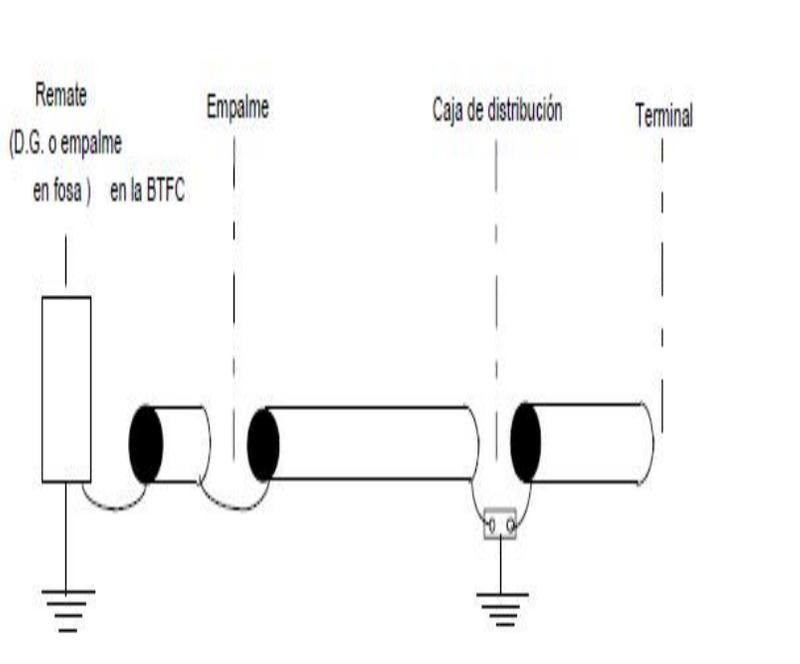


Figura 3.36 Configuración general del circuito de pantallas y cubiertas metálicas de los cables^[21].

Las cubiertas metálicas de todos los cables de la planta externa (fibra óptica y multipar), deben ser puestas a tierra en la barra colectora o de ser posible en la barra de tierra de la fosa de cables (BTFC) y/o en el distribuidor al que se conecten, ver figura 3.37. El bastidor de distribución de fibra óptica se debe conectar a la BTP del piso correspondiente.

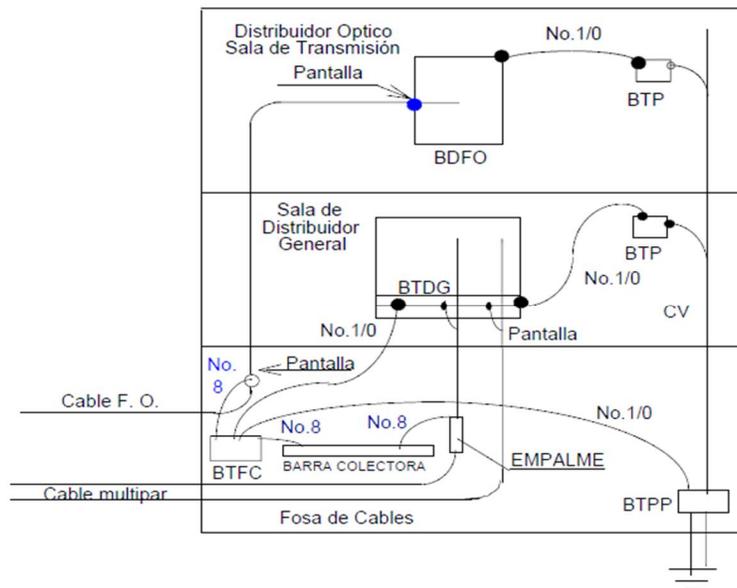


Figura 3.37 Puesta a tierra de pantallas en fosas de cables, distribuidor general y distribuidor óptico^[21].

En el caso de los cables de fibra óptica de la planta externa que entran a la fosa de cables, la puesta a tierra se debe hacer conectando el cierre del cable de fibra óptica, a la barra de tierra de la fosa de cables, debido al cambio de cable de uso externo por cable de uso interno.

La barra de tierra en fosa de cables (BTFC) se debe colocar lo más cercano posible a la acometida de cables para captar todo el ruido y la inducción que viene del exterior.

La fijación de la BTFC se debe hacer en el mismo muro donde se localiza la acometida de los cables telefónicos de la planta exterior y arriba de la acometida a una distancia menor o igual a 40 cm. (16"), como aparece en la figura 3.38.

La puesta a tierra de los empalmes de los cables en la fosa, debe ser a través de un cable conductor calibre No. 8 AWG, conectado a una barra de cobre que se encuentra instalada sobre los tubos que soportan las camas de cables, ver figura 3.38.

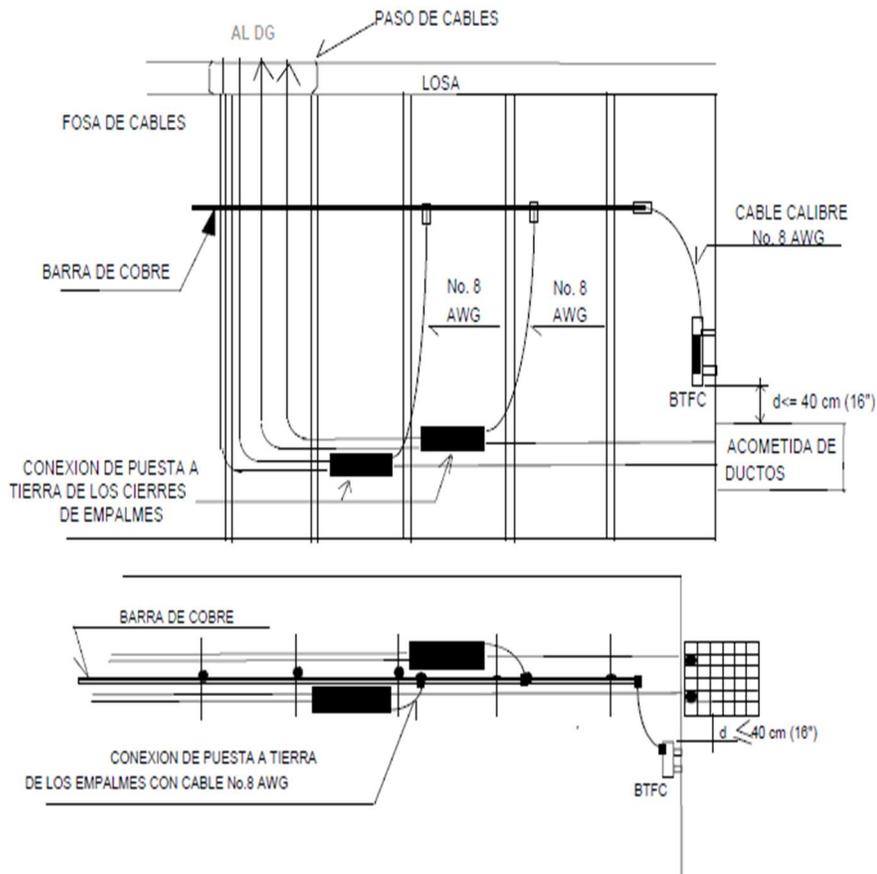


Figura 3.38. Continuidad de los empalmes en la fosa de cables^[21].

3.4.7 Puesta a tierra de las guías de acero de cables aéreos (multipar y fibra óptica) en zonas de riesgo.

Las guías de acero de cables aéreos, en zonas de riesgo, deben ser puestas a tierra cada 300 m aproximadamente, sin que esta puesta a tierra coincida con la de ningún otro elemento de la planta externa. No se deben conectar las retenidas a las guías de los cables. En ningún caso las retenidas deben estar puestas a tierra, ver figura 3.39.

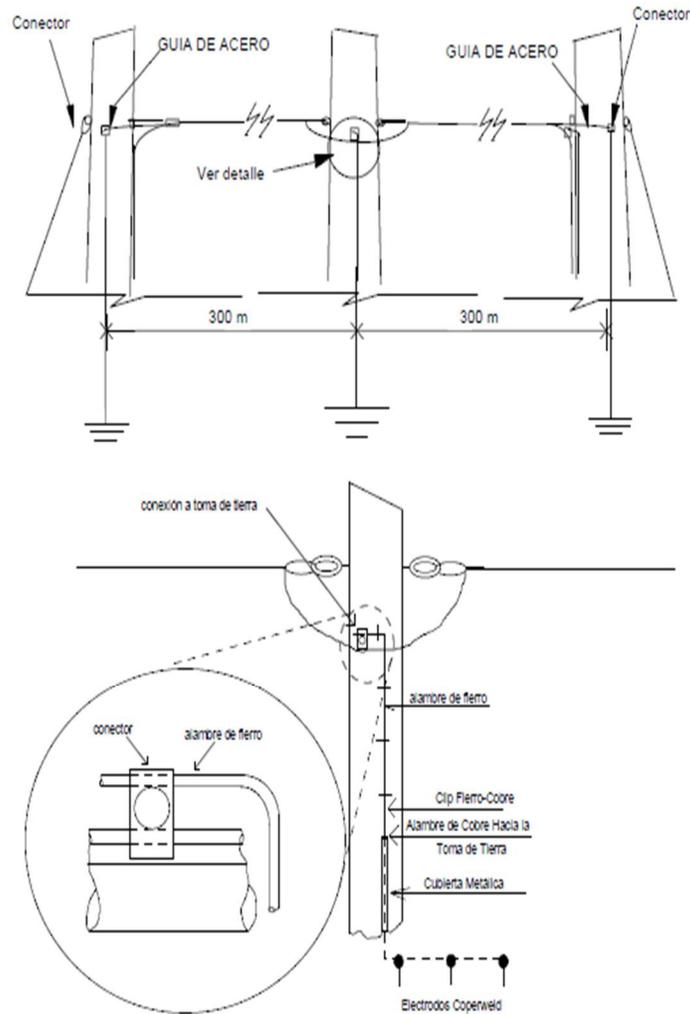


Figura 3.39 Puesta a tierra de las guías de acero de cables aéreos en zonas de riesgo^[22].

En el ANEXO 1 se indica el diagrama completo de la planta externa y en el ANEXO 2 se indica el diagrama de planta externa indicando el sistema de puesta a tierra.

4 DESARROLLO DEL PROYECTO.

Con el objetivo de asegurar la continuidad del servicio en una Central Telefónica, se busca resaltar la importancia de tener un buen sistema de puesta a tierra para el mantenimiento, monitoreo y funcionamiento de los equipos que encontramos en este lugar y en la Planta Externa, como son los equipos de conmutación, equipos de transmisión entre centrales que utilizan fibra óptica, equipos de ventilación, banco de baterías entre otros. También se propondrá un sistema de puesta a tierra adecuado que cumpla las características que encontramos en normas como la IEEE o la NOM-001-SEDE 2012 en su artículo 250 para los sistemas de puesta a tierra, aplicando los conocimientos adquiridos durante nuestra formación académica y utilizando las fórmulas y los procedimientos adecuados. Con estos objetivos se pretende minimizar los riesgos al personal, proteger a los equipos de daño permanente y prevenir interrupciones temporales de funcionamiento durante sobretensiones o fallas de tierra.

Las oficinas centrales de telefonía se organizan en una red de switcheo conteniendo estaciones telefónicas locales para acceder de manera instantánea a cualquier estación telefónica conectada en cualquier parte dentro del sistema.

En la actualidad los métodos de energización y puesta a tierra de oficinas centrales de telefonía se han vuelto mucho más estrictas para poder asegurar la continuidad en el servicio.

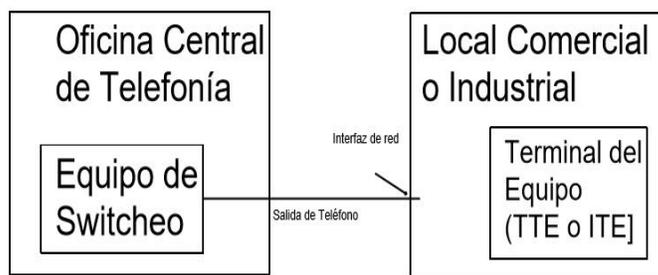


Figura 4.1 Sistema Telefónico Tradicional

4.1 Prácticas recomendadas por el Std 1100-1999 (Emerald Book).

El libro esmeralda o estándar 1100 del IEEE, proporciona una lista de prácticas recomendadas para telecomunicaciones y sistemas de computacionales, aunque aclara que, no debe limitarse a ellas.

- A) Cada unidad de una red de telecomunicaciones o computadoras debería ser vista como parte de toda una infraestructura eléctrica y electrónica.
- B) Utilizar los criterios específicos establecidos para cada tipo de topología, tanto para energizar como para puesta a tierra, ya sea sistemas de puesta a tierra común, como para sistemas de puesta a tierra aislada.
- C) Desacoplar sistemas interconectados que son energizados de diferentes fuentes de energía. Esto ayuda a reducir cualquier problema relacionado con las fallas de suministro y diferencia de potencial en el sistema de tierra.
- D) d) Desacoplar sistemas interconectados en diferentes referencias a tierra que pueden hacer llegar potenciales de riesgo, componentes de corriente en estado estable. Esto ayuda a reducir problemas relacionados con corrientes excesivas en el sistema de tierra.

El Std 1100-1999 (Emerald Book) plantea tres escenarios de probable peligro para los equipos electrónicos, los cuales es conveniente tener en cuenta:

- Un sistema de procesamiento de datos, mal conectados en su referencia de puesta a tierra. Los voltajes transitorios y las corrientes de retorno, existentes en la mala conexión, pueden resultar dañinos a los equipos electrónicos. Una práctica muy común a nivel industrial, por ejemplo, es trozar el cable de puesta a tierra aislada de los equipos, o aislarlo simplemente pero sin conexión real a ninguna parte, para ahorrar dinero o por desidia.
- Un sistema electrónico conectado a diferentes sistemas externos de puesta a tierra (a diferentes electrodos de tierra, por ejemplo). Como en el caso anterior, esto se puede prevenir mediante la correcta implementación de un plano equipotencial, para así prevenir los voltajes transitorios y las diferencias de potencial peligrosas para nuestro dispositivo.
- Un sistema de procesamiento electrónico, correctamente conectado a la misma puesta a tierra, sin diferencia de potencial en sus fuentes de energía (contactos),

pero, sin embargo, interconectado por varios cables de datos, como una interfaz RS-232, DH+, utilizados en la intercomunicación entre usuario y controladores lógicos programables (PLC), entre otros. Al primera instancia, esto no puede presentar mayor problema, debido a que en comunicaciones, se utilizan voltajes aparentemente bajos, de ± 24 [Vdc], ± 42 [Vdc]; sin embargo, hay que recordar, que éstos cables deben ser aterrizados, en ambos extremos, y además, una diferencia de potencial, de 2 o 3 volts, puede ser la diferencia entre un 1 o un 0 lógico, cambiando la información enviada.

4.2 Etapas llevadas a cabo para la mejora del sistema de puesta a tierra en la central telefónica.

En este capítulo se desarrollará una propuesta para la mejora del sistema de puesta a tierra en la central telefónica, la cual se va desarrollar en cuatro etapas:

Etapa 1:

Se realizará una visita en la central telefónica para hacer una inspección ocular de la instalación actual del sistema de puesta a tierra, de los electrodos, de las conexiones de los gabinetes, tablero eléctrico y planta de emergencia al sistema de puesta a tierra, también se realizó el levantamiento sobre el plano, de las instalaciones para determinar las dimensiones del terreno donde se localiza la central, el tipo de terreno y con estos datos, poder proponer el sistema de puesta a tierra adecuado.

Etapa 2:

Se realizará el diseño del sistema de puesta a tierra de acuerdo a las condiciones actuales de la instalación, se calcularán los parámetros con que operará el sistema, se realizará el reporte fotográfico, la memoria de cálculo, se propondrá el conductor adecuado para el sistema de tierra y el arreglo de electrodos necesario para el valor de resistencia a tierra de nuestro sistema, y que éste cumpla con las normas para los sistemas de comunicaciones.

Etapa 3:

Se implementará, de acuerdo al modelo teórico, el sistema de puesta a tierra en la central telefónica, después se medirá el valor de resistencia total del sistema para comprobar de manera experimental los cálculos obtenidos y observar la exactitud de los mismos.

Etapa 4:

Con base en el levantamiento realizado, se propondrá una solución para el sistema de tierra aislada que proporcionará protección a los equipos dentro de la central telefónica, aislándolo de interferencias de radiofrecuencia, así como de ruido eléctrico que pueda montarse en la señal telefónica.

4.3 Condiciones iniciales del Sistema de puesta a tierra actual en la central telefónica y características del terreno.

La etapa uno consistió de una visita a la central telefónica y se llevaron a cabo las siguientes acciones:

1. Se realizó una inspección ocular para verificar que el sistema de tierra cumpla con los requisitos establecidos en la normatividad vigente, para ofrecer las condiciones adecuadas de funcionamiento y seguridad.
2. Se verificó si el sistema de tierra cumplía con el valor de resistencia establecido en la norma para drenar a tierra las sobrecorrientes que pudieran causar un corto circuito y proteger a los equipos electrónicos instalados del daño que pudiera causar.

Los criterios de análisis son los siguientes:

El análisis se realiza en función de las recomendaciones emitidas por la Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas NOM-001-SEDE-2012 (de utilización) de la Secretaría de Energía y por la IEEE y la NEC.

La NOM-001-SEDE-2005 indica en su artículo 250-81 que los “electrodos que se encuentren en la misma propiedad, en cada edificio o estructura perteneciente a la misma, deben de interconectarse entre sí”. De la misma manera en la sección 9.10.16 del

IEEE Std.1100-2005 (libro esmeralda), recomienda claramente la unión de los distintos sistemas de electrodos.

La justificación de la no interconexión de los sistemas de puesta a tierra que muchos ingenieros (principalmente ingenieros en telecomunicaciones) comentan, es que las corrientes de falla o descarga que fluyen por la malla provenientes de otros sistemas de puesta a tierra, tales como el de pararrayos o el de la subestación provocan fallas en los dispositivos electrónicos, debido a las “altas frecuencias” y por lo tanto los sistemas deben estar separados.

Las normas mexicanas e internacionales señalan las medidas mínimas de seguridad que debe cumplir los sistemas de tierra física para evitar riesgos en las instalaciones.

Actividades realizadas:

- Se ubicó el sistema de tierra de la central telefónica.
- Se revisaron las condiciones en que se encuentra el sistema de tierra de la central telefónica.

La visita se realizó en la central telefónica ubicada en el poblado de San Gregorio Atlapulco, Delegación Xochimilco, en la Ciudad de México (CDMX). En el ANEXO 3 se muestra la vista en planta del terreno.

El sistema de puesta a tierra actual de esta central telefónica, tiene aproximadamente 35 años de antigüedad, hace unos 4 años se realizó una modificación en los conductores de puesta a tierra que aterrizan a las carcasas, estructuras metálicas y gabinetes, esto debido al vandalismo, ya que había un constante robo de los conductores y de las barras de tierra, ver figura 4.2.



Figura 4.2 Conductor de puesta a tierra de equipos y carcasa conectados a un bus dentro de la central telefónica.

Como se puede observar en la figura 4.3, se encuentra que los gabinetes y las estructuras metálicas están conectadas hacia un bus de tierra, sin embargo, al seguir la trayectoria de los conductores hacia los electrodos a tierra, no se encuentra ningún registro, ya que fueron sepultados en concreto en donde ahora está el patio.

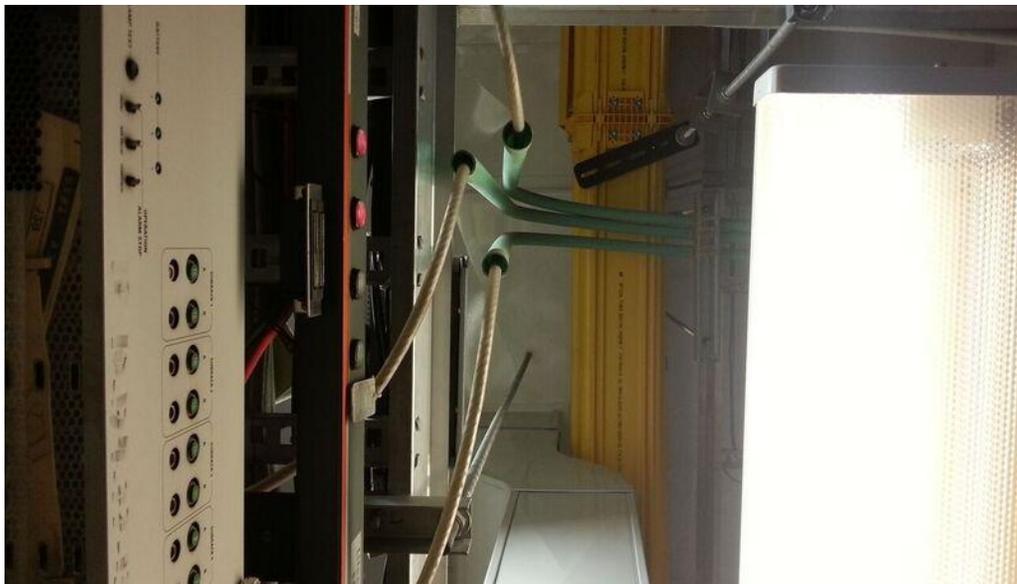


Figura 4.3 Puesta a tierra de gabinetes en la central telefónica.

Por otro lado, en la parte de la azotea se encontraron estructuras metálicas en la escalera y en los sistemas de aire acondicionado, también en el tinaco del agua, se observó que estas estructuras metálicas se encuentran interconectadas por un conductor de puesta a tierra, sin embargo, al seguir la trayectoria del conductor de puesta a tierra hacia los electrodos, no se encontró ningún registro, ya que quedaron sepultados por concreto. Se muestra en la figura 4.4a y 4.4b.



Figura 4.4a Conductor de puesta a tierra de estructuras metálicas y carcasas en azotea.



Figura 4.4b Conductor de puesta a tierra en el patio exterior.

4.3.1 Parámetros de diseño de un sistema de puesta a tierra.

Los factores principales que se consideran para un sistema de tierras son: la resistividad del terreno, la tensión de servicio, la potencia de corto circuito, la corriente de corto circuito, el espacio disponible, el equipo y personal que se quiere proteger, entre otros.

Cuando el hombre comenzó a utilizar la energía eléctrica, los sistemas de tierra solamente se utilizaban como una referencia de tensión, sin embargo, con el transcurso del tiempo se han agregado otras funciones, entre otras, limitar las tensiones debido a descargas atmosféricas a fenómenos transitorios en el propio circuito, así como a estabilizar la tensión a tierra del circuito durante su operación normal.

Una conexión a tierra de mala calidad no solo contribuye a un tiempo de inactividad innecesario, sino que es peligroso y aumenta el riesgo de fallos en los equipos. Sin un sistema de conexión a tierra eficaz, el sistema está en riesgo de descarga eléctrica, por no mencionar los errores en los instrumentos, los problemas de distorsión armónica, los problemas de factor de potencia y un buen número de posibles errores intermitentes. Si las corrientes de falla no cuentan con una ruta a tierra a través de un sistema de conexión a tierra diseñado de la forma apropiada, podrían encontrar rutas no deseadas que

podrían terminar dañando a las personas. Las siguientes organizaciones proporcionan recomendaciones y estándares para garantizar la seguridad en la conexión a tierra ^[6]:

OSHA (Occupational Safety Health Administration)

NFPA (National Fire Protection Association)

ANSI/ISA (American National Standards Institute and Instrument Society of America)

TIA (Telecommunications Industry Association)

IEC (International Electrotechnical Commission)

CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Sin embargo, los objetivos de una buena puesta a tierra son, además de la seguridad del personal operativo evitar daños en los equipos y plantas industriales. Un buen sistema de conexión a tierra mejora la confiabilidad de los equipos y reduce la posibilidad de daños, debidos a rayos o corrientes de falla.

Hoy en día las normas antes mencionadas y los fabricantes de equipos exigen la conexión a tierra de todas las partes metálicas que pueden energizarse en un momento dado por una falla a tierra.

Hay una gran confusión entre los profesionales del ramo que se desempeñan en la industria con respecto a qué constituye una buena conexión a tierra para sus equipos, y cuál sería el valor de resistencia de tierra correcto. Lo ideal es que una conexión a tierra tenga una resistencia de cero Ohm.

No existe ningún umbral de resistencia de tierra estándar que se haya reconocido de manera unánime por parte de todas las agencias de normativas. No obstante, la NFPA y el IEEE recomiendan un valor de resistencia de tierra de 5.0 Ohms o menos.

El NEC indica que es necesario "asegurarse de que la impedancia del sistema a tierra sea menor de 25 Ohms", tal y como se especifica en la norma NEC 250.56. En instalaciones con equipos sensibles, debería ser de 5.0 Ohms o menos".

El sector de las telecomunicaciones usa 5.0 Ohms o menos como el valor para la puesta a tierra y las conexiones eléctricas. El objetivo de la resistencia de tierra es lograr el menor valor posible de resistencia de tierra que sea razonable en términos económicos y físicos.

Los pasos para el diseño de un sistema de puesta a tierra en una central telefónica son los siguientes ^[10].

- Calcular la máxima corriente de falla a tierra.
- Diseño preliminar del sistema de puesta a tierra.
- Cálculo de la resistencia a tierra del sistema de puesta a tierra.
- Cálculo del área del terreno donde se va a instalar la malla.
- Cálculo del radio equivalente de esta área.
- Calcular la longitud del conductor requerido que se propone.
- Análisis de las tensiones de paso y de contacto.
- Corrección o afirmación del diseño preliminar.
- Medición en campo de la resistencia a tierra del sistema de puesta a tierra.

A continuación, se muestra en la figura 4.5 el diagrama de flujo para diseñar una red de tierras.

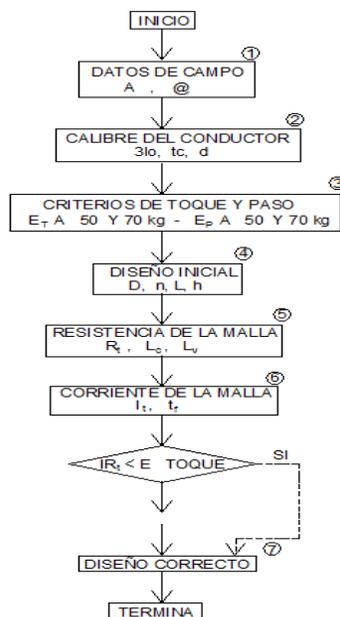


Figura 4.5 Diagrama de flujo.

4.3.2 Resistividad del terreno (ρ).

La resistencia de la malla y los gradientes de tensión dentro de una subestación están directamente relacionados con la resistividad del terreno, lo cual variará horizontal y verticalmente. Se deben reunir suficientes datos relacionados con el patio de la subestación, con base en mediciones directas de resistividad empleando un telurómetro. La resistividad del terreno es directamente afectada por la humedad, la temperatura ambiente y el contenido de químicos ^[12].

4.3.3 Medidas de resistividad.

Los estimativos basados en la clasificación del suelo ofrecen sólo una aproximación de la resistividad; por tanto, las pruebas reales son imperativas. Éstas deben hacerse en muchos lugares dentro del área de la subestación. Rara vez se encuentran sitios de la subestación donde la resistividad sea uniforme en toda el área completa y a profundidades considerables. Típicamente existen varias capas y cada una tiene una resistividad diferente. Con frecuencia ocurren cambios laterales y en comparación con los verticales esos cambios son más grandes. Las pruebas de resistividad del suelo deben hacerse para determinar si existen variaciones importantes de la resistividad con la profundidad.

El número de medidas tomadas debe ser más grande donde las variaciones son mayores, especialmente si algunas lecturas son tan altas como para sugerir un posible problema de seguridad. Si la resistividad varía apreciablemente con la profundidad, es deseable usar un rango incrementado de espaciamientos de prueba para obtener un estimativo de la resistividad de capas más profundas.

El método de Wenner o de los cuatro electrodos, mostrado en la figura 4.6, es la técnica más comúnmente usada ^[12].

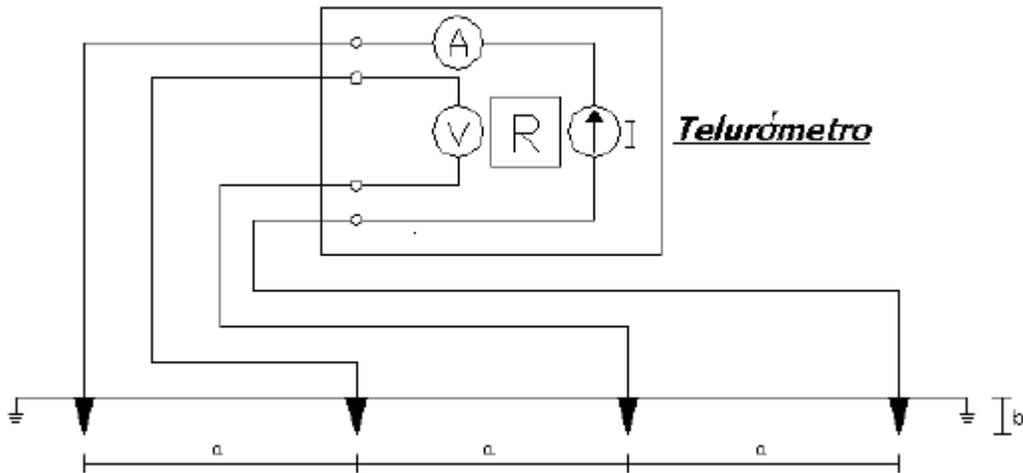


Figura 4.6 Método de los cuatro electrodos o de Wenner^[12].

Los cuatro electrodos son clavados en la tierra en línea recta a una profundidad “b”, separados a una distancia “a”. La tensión entre los dos terminales interiores (o de potencial) es luego medido y dividido por la corriente entre los dos terminales exteriores (o de corriente) para dar el valor de la resistencia R, que aparece indicada en el telurómetro. Luego se aplica la siguiente fórmula:

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

Ec.4.1

ρ_a → Resistividad aparente del suelo (Ω-m).

R → Resistencia medida en Ω.

a → Distancia entre electrodos adyacentes en m.

b → Profundidad de los electrodos en m.

si $b \ll a$, como es el caso más común tenemos:

$$\rho_a = 2\pi aR$$

Ec.4.2

Las ecuaciones anteriores se pueden usar para determinar la resistividad aparente ρ_a a una profundidad a .

4.3.4 Estructura del suelo en la zona de Xochimilco.

La investigación sobre la resistividad del terreno es esencial para determinar la composición general del suelo y el grado de homogeneidad. Las pruebas de las muestras de excavaciones, perforaciones y otras investigaciones geológicas, proporcionan información útil sobre la presencia de varias capas y la naturaleza del suelo, y dan una idea sobre el rango de resistividad del terreno del sitio. La tabla 4.1 muestra el rango de resistividades de suelos típicos.

Naturaleza del material	Resistividad en ohm-m
Terrenos pantanosos	30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactadas	100 a 200
Arena arcillosa	30 a 40
Arena silícea	50 a 500
Suelo con boleos cubierto de césped	200 a 3000
Suelo con boleos	300 a 500
Calizas blandas	1500 a 3000
Calizas compactadas	100 a 300
Calizas agrietadas	1000 a 5000
Pizarras	500 a 1000
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gneis procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gneis muy alterados	100 a 600

Tabla 4.1 Valores típicos de resistividad^[12].

Una clasificación general de la resistividad del terreno es:

- Tierra orgánica húmeda 10 Ohms-metro.
- Tierra húmeda 100 Ohms-metro.
- Tierra seca 1,000 Ohms-metro.
- Roca 5,700 Ohms-metro.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México está conformada totalmente por rocas de la era cenozoica, caracterizada por la predominación de rocas volcánicas extrusivas, mismas que dieron origen a las sierras que conforman el eje volcánico transversal ^[13].

El poblado en el cual se localiza la zona de estudio corresponde a la zona de chinampas de Xochimilco, a los poblados de San Gregorio Atlapulco y San Luís Tlaxialtemalco.

El territorio de la delegación Xochimilco está ubicado fisiográficamente dentro de la subprovincia número 57 de los lagos y volcanes Anáhuac, y a su vez pertenece a la provincia geológica del Eje Neo - volcánico, en el extremo sur de la Cuenca de México.

Para poder conocer los materiales que componen el suelo en este lugar de Xochimilco y así poder estimar el valor de la resistividad a través de la tabla 4.2, por lo que nos basamos en un estudio del subsuelo en dicha área realizado por alumnos de la facultad de ingeniería de la U.N.A.M en septiembre de 2015.

La clasificación de campo obtenida al momento de realizar las perforaciones con un total de 24 muestras, se describen en la tabla 4.2.

Profundidad (m)	Material
0-0.4	Mezcla asfáltica
0.4-1	Gravas
1-3.4	Arena limosa café
3.4-4	Arena limosa con grava

4-4.6	Arena limosa café compactada
5.2-5.8	Basalto con arena media
5.8-6.4	Gravas con arena media
6.4-8.2	Basalto con arena y limo
8.2-8.95	Basalto con arena media
8.95-30-10	Basalto

Tabla 4.2 Clasificación de campo^[13].

La central telefónica se encuentra a 200m de los canales del pueblo de San Gregorio Atlapulco, por lo que el tipo de terreno es viable para el cultivo de plantas y hortalizas debido a la humedad, gracias a estas características podemos deducir que la resistividad del terreno que podemos tomar de la tabla sería para un terreno con arena limosa café debido a que es la profundidad a la que estarán enterradas las varillas copperweld, cuyo rango va de 20 a 100 Ohms- metro. El valor teórico de resistividad que tomaremos para realizar los cálculos de resistencia será de 20 Ohms-metro debido a que el terreno donde se ubica la central telefónica tiene un porcentaje de humedad muy alto.

4.3.5 Calculo del calibre de los conductores de fase en la central telefónica.

La carga instalada cuyo valor es proporcionado por C.F.E. en la central telefónica es la siguiente:

$$P_{3\varphi} = 28 \text{ kW}$$

Procedemos a calcular la corriente trifásica de nuestro sistema:

$$I_{3\varphi} = \frac{P_{3\varphi}}{\text{F.P.} \cdot V_{FF} \cdot \sqrt{3}}$$

Ec.4.3

Donde:

$I_{3\phi}$ → Corriente trifásica en Amperes.

$P_{3\phi}$ → Potencia real en kW.

F.P. → Factor de potencia.

V_{FF} → Tensión de fase a fase en kV.

Sustituyendo valores en la ecuación 4.3 tenemos:

$$I_{3\phi} = \frac{28000}{(0.9)(220)(\sqrt{3})} \cdot 1.25$$

$$I_{3\phi} = 102.0567 \text{ A}$$

De acuerdo a la tabla 4.3, referido de la tabla 310-16 de la NOM-001 SEDE 2012 para una temperatura de 30°C podemos obtener el tamaño nominal equivalente del conductor al electrodo de puesta a tierra.

Calibre AWG/K CM	Área nominal de la sección transver sal	Núm ero de hilos	Espe so r nominal del aislami ento	Diámet ro exterio r aprox.	Peso aproxi mado kg/100 m	Capacidad de conducción de corriente (Amperes)		
	mm ²		mm	mm		60°	75°	90°
14	2.082	19	0.76	3.5	2.95	20	20	25
14	2.082	1	0.76	3.3	2.70	20	20	25
12	3.307	19	0.76	4	4.20	25	25	30
12	3.307	1	0.76	3.7	3.94	25	25	30
10	5.26	19	0.76	4.6	6.30	30	35	40
10	5.26	1	0.76	4.2	5.86	30	35	40
8	8.367	19	1.14	6.2	10.5	40	50	55
6	13.30	19	1.52	8	16.9	55	65	75
4	21.15	19	1.52	9.2	25.0	70	85	95
2	33.62	19	1.52	10.8	38.0	95	115	130
1/0	53.48	19	2.03	13.9	60.7	125	150	170
2/0	67.43	19	2.03	15.1	74.8	145	175	195
3/0	85.01	19	2.03	16.1	92.4	165	200	225
4/0	107.1	19	2.03	17.6	117.7	195	230	260
250	126.7	37	2.41	19.5	136.0	215	255	290
300	152	37	2.41	20.9	161.0	240	285	320
350	177.3	37	2.41	22.2	185.7	260	310	350
400	202.7	37	2.41	23.4	210.4	280	335	380
500	253.4	37	2.41	25.6	259.6	320	380	430
600	304	61	2.79	28.3	312.8	355	420	475
750	380	61	2.79	30.6	386.1	400	475	535
1000	506.7	61	2.79	24.2	502.7	455	545	615

Tabla 4.3 Basada en la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE 2012 para una temperatura ambiente de 30 °C.

El conductor apropiado para las fases de acuerdo a la corriente calculada trifásica calculada y de la tabla de conductores eléctricos es un cable calibre 2 AWG de cobre.

4.3.6 Cálculo de la corriente de falla.

Este cálculo de corriente de corto circuito se realiza en baja tensión, por lo que generalmente se desconoce la impedancia del circuito de alimentación a la red, por lo que se admite que en caso de cortocircuito la tensión en el inicio de las instalaciones de los usuarios se puede considerar como el más favorable, y además se supone despreciable la inductancia de los cables. Esta consideración es válida cuando el centro de transformación, origen de alimentación, está situado fuera del edificio o lugar del suministro afectado, en cuyo caso habría que considerar todas las impedancias.

Por lo tanto, se puede emplear la siguiente ecuación simplificada:

$$I_{CC} = \frac{0.8 V}{R}$$

Ec. 4.4

Donde:

I_{CC} → Intensidad de cortocircuito máxima en el punto considerado.

V → Tensión de alimentación fase a neutro (220 Volts).

R → Resistencia del conductor de fase entre el punto considerado y la alimentación.

Utilizando la tabla 4.4, podemos obtener el valor de la resistencia R del conductor por fase que en este caso es para un calibre #2 AWG, tenemos:

Calibre AWG MCM	Resistencia Ω /1000' 60 °C	Reactancia Ω /1000' 60 °C	
14	3.0		
12	1.87		

10	1.18		
8	0.740	0.046	0.045
6	0.465	0.040	0.045
4	0.292	0.037	0.050
3	0.228	0.036	0.049
2	0.185	0.035	0.048
1	0.146	0.035	0.048
0	0.116	0.034	0.048
00	0.092	0.032	0.044
000	0.073	0.031	0.044
0000	0.058	0.030	0.045
250	0.049	0.030	0.044

Tabla 4.4 Reactancia al neutro de un sistema trifásico de tres hilos en un ducto no magnético, para una frecuencia de 60 c/s y un voltaje hasta 600 volts^[14].

De acuerdo a la tabla anterior podemos ver que para un conductor # 2 AWG el valor de $R = 0.185 \Omega$

Sustituyendo R en la ecuación 4.4, obtenemos nuestro valor de corriente de corto de circuito de la siguiente manera:

$$I_{CC} = \frac{0.8 (220)}{0.185}$$

$$I_{CC} = 951.35 A$$

4.3.7 Área de instalación.

Si se construye una red de tierras se debe tener en cuenta que, cuando colocamos varillas copperweld con respecto a la malla de puesta a tierra lo que estamos haciendo es colocar impedancias en paralelo o sea resistencias en paralelo.

Tiene mayor influencia hasta un determinado punto la varilla puesta a tierra que la malla propiamente dicha; del drenaje de la corriente que se produce en la malla de puesta a tierra, un 30 a 40 % de corriente se drena por la varilla, lo que quiere decir, que generalmente no vale la pena enterrar mucho el cable de cobre si no que a veces hay que acondicionar mejor las varillas.

El límite en cuanto a cantidad de varillas a colocar lo determina la distancia de separación entre ellas. Que debe ser como mínimo la profundidad de las mismas, para evitar el efecto de apantallamiento, esto es, que no se superponga la descarga de tensión.

4.3.8 Resistencia de la malla de tierra.

Este es el valor más importante a considerar en el diseño de una red de tierras, esto debido a que en una falla el potencial que se presenta está en función de la corriente de corto circuito y de la resistencia. En el caso de una central telefónica que es el caso de estudio, el valor recomendado por las normas es menor a 5 Ohms.

Las ecuaciones para el diseño de la malla de puesta a tierra las establece el IEEE, las prácticas avaladas por el IEEE establece ciertos parámetros:

- Valor máximo de la resistencia de puesta a tierra.
- Corriente de falla.
- Tiempo máximo de duración de la malla en segundos.
- Resistividad del terreno.

El área (A) que ocupa la malla después de su configuración y el radio (r) de área circular equivalente a (A) se calcula con la siguiente ecuación:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Ec. 4.5

El calibre del conductor depende del valor de la corriente de falla, el tiempo de duración de ésta y el material del que esté hecho el conductor. El cálculo del conductor de puesta a tierra se puede realizar de la siguiente manera utilizando:

$$A = I \sqrt{\frac{33 \times s}{\log \left[\left(\frac{T_m - T_A}{234 + T_A} \right) + 1 \right]}}$$

Ec. 4.6

A → Área en cmils.

I → Corriente máxima de falla a tierra en A.

s → Tiempo durante el cual fluye la corriente de falla.

T_m → Temperatura máxima de fusión, en °C.

T_a → Temperatura ambiente.

4.3.9 Resistividad de la capa superficial (ρ_s).

Una capa de alta resistividad sobre la superficie ayuda a limitar la corriente que pasaría por el cuerpo humano, ya que esta capa agrega una resistencia a la resistencia promedio del cuerpo. Una capa superficial con un espesor (h_S) entre 0.15m ≥ h_S ≥ 0.1m de un material de alta resistividad como la grava o la roca volcánica triturada, colocada sobre la superficie más arriba de la malla, incrementa la resistencia de contacto entre el suelo y los pies de las personas en la subestación y la corriente por el cuerpo bajará considerablemente. La reducción depende de los valores relativos de las resistividades del suelo en contacto con la malla, y del espesor y material de la capa superficial^[4.5].

La capa superficial también es útil para retardar la evaporación de la humedad, y así limitar el secado de las capas superiores durante los períodos de verano. Esta capa tiene una resistividad del orden de $5000 \Omega \cdot m > \rho_s > 2000 \Omega \cdot m$. Una capa con un espesor entre 0.1m y 0.15m, disminuye el factor de riesgo (relación entre la corriente del cuerpo y la corriente de cortocircuito) a una relación 10:1 comparado con la humedad natural de la tierra.

Se introduce aquí el factor de disminución de la capa superficial (CS), que puede ser considerado como un factor de corrección para calcular la resistencia efectiva del pie de una persona en presencia de un material superficial de espesor finito. La norma expone un procedimiento matemático y presenta unas gráficas para encontrar el valor de CS; sin embargo, también presenta una expresión empírica para el valor de CS, Este valor está dentro del 5% de los valores obtenidos con un método más analítico y está dado por la siguiente ecuación^[12].

$$C_S = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09}$$

Ec. 4.7

Donde:

C_S → Factor de disminución de la capa superficial.

ρ → Resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$).

ρ_s → Resistividad de la capa superficial ($\Omega \cdot m$).

h_s → Espesor de la capa superficial.

4.3.10 Duración de la falla (tf) y duración del choque (ts).

La duración de la falla y la duración del choque normalmente se asumen iguales, a menos que la duración de la falla sea la suma de choques sucesivos, como los producidos por los re-cierres automáticos de los reclosers. La selección de t_f puede reflejar tiempos de despeje rápidos de la subestación de transmisión y tiempos de despejes lentos para subestaciones de distribución e industriales. La selección de t_f y t_s puede resultar en la combinación más pesimista de factores de decremento de corrientes de falla y corrientes permitidas por el cuerpo humano. Valores típicos para t_f y t_s están en el rango de 0.25 s a 1 s.

El factor T_m , temperatura máxima de fusión, se puede obtener de la tabla 4.5.

Descripción	Temperatura de fusión °C
Alambre de cobre recocido	1083
Alambre de cobre duro	1084
Núcleo de acero con revestimiento de cobre	1084/1300
Alambre de aluminio	657
Aleación de aluminio	660
Alma de acero con recubrimiento de aluminio	660/1300
Alma de acero con cubierta de Zinc	419/1300
Acero inoxidable	1400

Tabla 4.5 Valores de temperatura de fusión em diferentes tipos de conductores^[12].

4.3.11. Geometría de la malla.

Las limitaciones de los parámetros físicos de una malla de puesta a tierra están basadas en las restricciones físicas y económicas de la misma. Es poco práctico instalar una placa de cobre como sistema de puesta a tierra^[12].

- Los espaciamientos típicos entre conductores (D) están en el rango:
 $15\text{m} > D > 3\text{m}$
- Las profundidades típicas (h) están en el rango:
 $1.5\text{m} > h \geq 0.5\text{ m}$
- Los calibres típicos de conductores (ACM) están en el rango:
 $500\text{ MCM} > \text{ACM} \geq 2/0\text{ AWG}$
- El diámetro del conductor de la malla tiene un efecto despreciable sobre la tensión de malla.
- El área del sistema de puesta a tierra (A) es el factor más importante en la determinación de la resistencia de malla (R_g). Entre mayor sea A, menor será R_g y por lo tanto, es menor la elevación del potencial de tierra (GPR).

4.3.12 Selección del conductor.

Al seleccionar el conductor de la malla de tierra se tendrá en cuenta lo siguiente:

El material puede ser cualquier elemento metálico como cobre, aluminio o fierro, aunque generalmente es cobre esto debido a que la mayoría de los metales se corroen con facilidad y el cobre se ha destacado por la resistencia a la corrosión.

También se debe de considerar poner otro tipo de material, en los casos en que por las condiciones del suelo o ubicación del lugar en donde se instalará el sistema de tierra existan elementos químicos como ácidos que ataquen al cobre.

Para seleccionar el calibre del conductor se debe de considerar el esfuerzo mecánico y térmico a que va a estar expuesto.

4.3.13 Cálculo del conductor de puesta a tierra.

Utilizando la ecuación 4.6 para calcular el tamaño exacto del conductor, procedemos a sustituir el valor de la corriente de corto circuito:

$$A = 951.35 \sqrt{\frac{33 \times 0.5}{\log \left[\left(\frac{1084 - 30}{234 + 30} \right) + 1 \right]}}$$

$$A = 4624.42 \text{ cmil.}$$

CALIBRE	SECCION		DIAMETRO	
	A.W.G. M.C.M.	C.M. <i>MM</i> ²	PULGS.	MM
20	1022	0.5176	0.03196	0.812
18	1624	0.8232	0.04030	1.024
16	2583	1.3090	0.05082	1.291
14	4107	2.0810	0.06408	1.628
12	6530	3.3090	0.08081	2.053
10	10380	5.2610	0.1019	2.588
8	16510	8.3670	0.1285	3.264
6	26250	13.3030	0.1620	4.115
4	41740	21.1480	0.2043	5.189
3	52630	26.6700	0.2294	5.827
2	66370	33.6320	0.2576	6.543
1	83690	42.4060	0.2893	7.348
0	105500	53.4770	0.3249	8.252
00	133100	67.4190	0.3648	9.266
000	167800	85.0320	0.4096	10.403
0000	211600	107.2250	0.4600	11.684

Tabla 4.6 Dimensiones de los conductores eléctricos^[14].

Se emplearon los siguientes datos, extractados de la Tabla 4.7 (que se muestra en el ANEXO 6) , para Cu a 97.5% de conductividad:

t_s es el tiempo durante el cual fluye la corriente de falla.

$T_m = 1084$ la temperatura máxima de fusión, en °C.

$T_a = 30^\circ\text{C}$ para la temperatura ambiente.

El conductor más cercano por encima es el N° 12 AWG de cobre 97.5% de conductividad, el cual tiene un área de 6530 C.M., pero debido a requerimientos de esfuerzo mecánico, el calibre mínimo a emplear es el N° 10 AWG el cual que tiene un diámetro $d = 0.1019$ y un área de 10380 C.M.

4.3.14 Criterios de tensiones de paso y de toque tolerables.

La seguridad de una persona depende de la prevención de cantidades críticas de energía de choque absorbidas por el cuerpo humano, antes de que la falla sea despejada y el sistema desenergizado. Los voltajes máximos tolerables por un cuerpo humano de 50 kg. de peso corporal, durante un circuito accidental no debe exceder los siguientes límites:

Tensión de paso límite tolerable por un cuerpo de 50 kg. de peso corporal:

$$E_p = (1000 + 6C_S \rho_S) \left(\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right)$$

Ec.4.8

Tensión de toque límite tolerable por un cuerpo de 50 kg. de peso corporal:

$$E_p = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \left(\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right)$$

Ec.4.9

Donde:

$t_s \rightarrow$ Duración del choque (s).

$C_s \rightarrow$ Factor de disminución de la capa superficial.

$\rho_s \rightarrow$ Resistividad de la capa superficial ($\Omega \cdot m$).

Para calcular la corriente tolerable en función del tiempo por el cuerpo (A) utilizaremos la ecuación:

$$I_B = \left(\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right)$$

Ec. 4.10

Donde:

$t_s \rightarrow$ Duración del choque (s).

$6C_s \rho_s = 2R_f \rightarrow$ Resistencia a tierra de los 2 pies separados 1m en serie sobre la capa superficial.

$6C_s \rho_s = R_f / 2 \rightarrow$ Resistencia a tierra de los 2 pies juntos en serie sobre la capa superficial.

$R_B = \rho/4b \rightarrow$ Resistencia a tierra de un disco metálico de radio b ($b = 0.08$ m) sobre la superficie de una malla homogénea de resistividad ρ .

$C_s \rightarrow$ Factor de disminución de la capa superficial calculada con la ecuación 4.7.

ρ_s → Resistividad del material de la capa superficial en Ω -m.

Para nuestro caso en particular calcularemos los criterios de paso y de toques para un arreglo de cuatro electrodos.

De la ecuación 4.7 calcularemos el factor de disminución de la capa superficial sustituyendo los siguientes valores:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{20}{2000}\right)}{2(0.1) + 0.09}$$

$$C_s = 0.69$$

Calculando la tensión de paso de la ecuación 4.8 obtenemos el siguiente valor:

$$E_p = (1000 + 6(0.6909)(2000)) \left(\frac{0.116}{\sqrt{0.5}}\right)$$

$$E_p = 1,542.05 \text{ V}$$

Y la tensión tolerable de toque para una persona cuyo peso promedio es de 50kg está dada por la ecuación 4.9:

$$E_t = (1000 + 1.5(0.69)(2000)) \left(\frac{0.116}{\sqrt{0.5}}\right)$$

$$E_t = 503.62 \text{ V}$$

Las tensiones de paso y de toque reales deben ser menores que los respectivos límites máximos permisibles (o tolerables) para obtener seguridad.

4.3.15 Valor teórico de la resistencia total del sistema de puesta a tierra.

La resistencia total del sistema será la suma de la resistencia de los componentes del sistema de electrodos de tierra, el cual puede estar formado de electrodos, varillas, placas y la estructura metálica del edificio, así como la resistencia de la malla^[16].

Cuando existen diferentes sistemas de electrodos de tierra, como tubería de agua, varilla y acero de refuerzo, se determina como un sistema de resistencia en paralelo.

Para la resistencia de una malla de tierra (R_m) con varillas, es recomendable la fórmula de Swcharz.

Schwarz desarrolló el siguiente conjunto de ecuaciones para determinar la resistencia de un sistema de puesta a tierra en un suelo homogéneo que consta de una malla horizontal con electrodos verticales (varillas). Schwarz empleó la siguiente ecuación para cambiar la resistencia de la malla, varillas y la resistencia mutua, para calcular la resistencia de puesta a tierra R_g :

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - R_{12}}$$

Ec. 4.11

Donde:

R_1 → Resistencia del conductor.

R_2 → Resistencia de todas las varillas.

R_{12} → Resistencia mutua entre R_1 y R_2 .

$$R_1 = \left(\frac{\rho_1}{\pi \cdot l_1} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{h'} \right) + K_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_1 \right]$$

Ec. 4.12

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

Ec. 4.13

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

Ec. 4.14

$$\rho_a = \frac{l_2 (\rho_1 \cdot \rho_2)}{\rho_2 (H - h)} + \rho_1 (l_2 + h - H)$$

Ec. 4.15

Donde:

ρ_1 → Resistividad de los conductores de la malla a una profundidad h .

ρ_a → Resistividad aparente vista por las varillas.

H → Profundidad de la capa superior.

ρ_2 → Resistividad desde H hacia la profundidad.

l_1 → Longitud total de la malla.

l_2 → Promedio de la longitud de las varillas.

h → Profundidad de enterramiento de la malla.

$h' = dx h$, para conductores enterrados a una profundidad h ; $0.5d_1$, para $h = 0$.

A → Área cubierta por la malla de dimensiones $a \times b$ en m^2 .

n → Número de varillas ubicadas en el área A .

K_1, K_2 → Constantes que dependen de la geometría del terreno.

d_1 → Diámetro del conductor de la malla en m .

d_2 → Diámetro de las varillas en m.

a → Longitud de lado largo de la malla.

4.4 Diseño de electrodos múltiples.

Los electrodos comunes (varillas enterradas) por lo general tienen un valor de resistencia a tierra alto, esto ocasiona que para tener valores de resistencia bajos sea necesario colocar varios electrodos en paralelo y con estos arreglos lograr un valor aceptable. Entre los arreglos de electrodos se tienen tipificados los siguientes: dos electrodos en paralelo que reducen al 55% la resistencia de uno, tres electrodos en línea recta reducen al 35%, tres electrodos en delta reducen al 38%, cuatro electrodos en cuadro reducen 28%, ocho electrodos en cuadro reducen al 17%, ocho electrodos en círculo reducen al 16%, nueve electrodos en cuadro sólido reducen al 16% y doce electrodos en cuadro reducen al 12%.

Cuando se utilizan electrodos múltiples, estos deberán espaciarse por lo menos la longitud de ellos. Por ejemplo, si se tienen dos varillas espaciadas 3 metros, la resistencia bajara aproximadamente el 60%. Si el espacio entre las varillas se incrementa 6 metros será aproximadamente del 50%. Esta relación de resistividad respecto a la distancia entre electrodos se muestra en la figura 4.7.

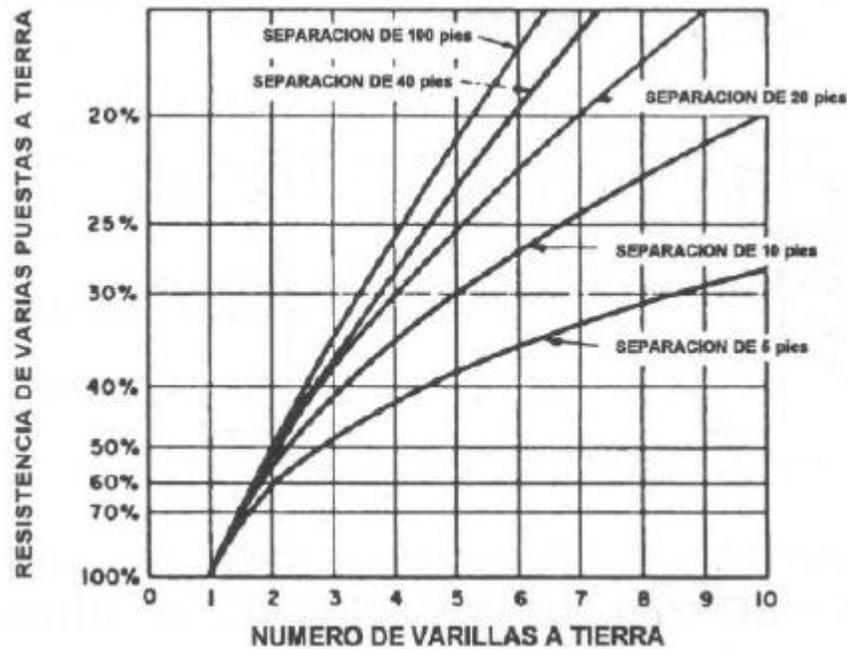


Figura 4.7 Resistencia vs. número de electrodos de puesta a tierra interconectados^[6].

4.4.1 Diseño de cuatro electrodos en cuadro para el sistema de puesta a tierra en la central telefónica.

Como podemos constatar de acuerdo a valores teóricos un arreglo de electrodos (varillas copperweld de cobre) en cuadro nos proporcionan una reducción del 28% de la resistencia del sistema, utilizaremos este arreglo para el diseño del sistema de puesta a tierra en la central telefónica.

Tomando el valor medio de la resistividad de tierra orgánica húmeda (10 Ω-m), calculamos la resistencia que tendría una varilla en estas condiciones. Una varilla de 1.5 m de largo y 14 mm de diámetro (0.0079375 m de radio), tiene una resistencia de:

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

Ec.4.16.

$$R_{var} = \left(\frac{20}{2\pi(3)} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{4(3)}{0.0079375} - 1 \right) \right]$$

$$R_{var} = 7.7671876 \Omega$$

El valor obtenido de la resistencia de la varilla en el terreno donde se encuentra la central telefónica no cumple con el valor necesario para un sistema de puesta a tierra para sistemas de comunicaciones el cual debe ser menor o igual a 5 Ohms sugerido tanto por la NOM 001 SEDE 2012 como por la IEEE, por lo que requerimos de un arreglo de varillas en paralelo para poder lograr reducir el valor de la resistencia.

Ahora calcularemos los valores teóricos de nuestra propuesta de diseño de sistemas de puesta a tierra el cual requiere de más varillas en paralelo para reducir el valor de resistencia del sistema.

$$R_{var} = \left(\frac{R_{1var}}{R_{\#var}} \right)$$

Ec.4.17

Para nuestro diseño en cuadro, el valor de la resistencia del sistema calculamos el valor de las 4 varillas del sistema:

Sustituyendo valores en la ecuación 4.17, obtenemos la resistencia total para cuatro varillas copperweld:

$$R_{var} = \left(\frac{R_{1var}}{R_{4var}} \right)$$

$$R_{4var} = \frac{7.7671876}{4}$$

$$R_{4var} = 1.9417969 \Omega$$

Este valor cumple con las especificaciones de las normas para sistemas de puesta a tierra para sistemas de comunicaciones el cual debe ser menor a 5 Ω , ahora procedemos a obtener el valor de resistencia del cable enterrado del sistema de puesta a tierra.

Ahora vamos a calcular la resistencia del calibre del conductor enterrado.

Teniendo la longitud total del conductor que necesitamos de acuerdo a nuestro diseño (12 m), con las siguientes características, calibre 10 AWG de cobre desnudo, la profundidad a la que enterraremos el conductor es de 0.5 m, el área nominal de la sección transversal del conductor es 5.26 mm², radio 0.001465m (valor obtenido de tabla 4.8 que se muestra en el ANEXO 7) calculamos la resistencia del conductor enterrado para el sistema de puesta a tierra:

$$R_{CAB} = \frac{\rho}{(2 \cdot \pi \cdot L)} \left(\ln\left(\frac{2L}{r}\right) + \ln\left(\frac{L}{P}\right) - 2 \right)$$

Ec.4.18

$$R_{CAB} = \left(\frac{(20)}{2\pi(12)} \right) \left(\ln\left(\frac{2(12)}{0.001465}\right) + \ln\left(\frac{12}{0.5}\right) \right)$$

$$R_{CAB} = 3.41705867 \Omega$$

Este valor de resistencia del cable se encuentra por debajo del necesario para sistemas de comunicaciones (5 Ω).

Ahora calcularemos el valor total de la resistencia de nuestro sistema de puesta a tierra utilizando la siguiente fórmula, tenemos los siguientes valores:

$$R_T = \frac{R_{4VAR} \cdot R_{CAB}}{R_{4VAR} + R_{CAB}}$$

$$R_T = \frac{(1.9417969)(3.41705867)}{1.9417969 + 3.41705867}$$

$$R_T = 1.238181146 \Omega$$

El valor obtenido teórico es menor a 5 Ω por lo que cumple con el valor sugerido tanto por la NOM 001 SEDE 2012 como por la IEEE, para sistemas de puesta a tierra para comunicaciones.

4.4.2 Implementación real del sistema propuesto.

Con el objetivo de conocer los valores reales de nuestra propuesta de sistema de tierra para el sistema de comunicaciones en la central telefónica, decidimos implementar físicamente y medir los valores reales, a continuación, se expone el procedimiento de implementación, así como las mediciones de resistencia y los resultados finales.

El material y herramienta utilizada fue el siguiente:

- 4 Varillas de cobre copperweld de 3m de largo y 5/8" de diámetro
- 4 conectores de bronce para varilla de 5/8" de diámetro con un peso de 60g.
- 12 m de cable calibre #10 AWG desnudo.
- Pinzas de electricista.
- Mazo.
- Pala.
- Pico.
- Llave española de 1/2" diámetro.

- Tijeras de jardinero.



Figura 4.8 Material y equipo utilizado para la implementación del sistema de puesta a tierra propuesto.

Se ubicó la mejor zona para poder enterrar las varillas la cual resultó ser en el jardín que se encuentra dentro de la propiedad, se limpió de hierba y pasto con tijeras de jardinero el área que cubriría nuestro sistema de tierra tal cual se diseñó en la figura 4.9.

Procedimos a enterrar las varillas, primero haciendo una pequeña excavación de uno 30cm, después golpeando con el mazo hasta que la varillas se enterraron completamente.

Después colocamos los conectores para varilla copperweld y finalmente tendimos el conductor de calibre #10 AWG.

Conectamos el cable a las varillas utilizando los conectores enterrado a 0.5m y cubrimos completamente el arreglo con la tierra.



Figura 4.9 Varillas Copperweld siendo enterradas en el terreno para realizar el arreglo del sistema de puesta a tierra.



Figura 4.10 Golpeando las varillas con el mazo hasta que queden completamente enterradas en el terreno.



Figura 4.11. Equipo de medición digital de tierra KYORITSU, modelo 4105A.



Figura 4.12. Conexión de zapata mecánica de cobre al electrodo enterrado y al conductor desnudo de cobre.

La varilla copperweld basa su funcionamiento en la longitud de la misma, por lo que disminuiría en proporción a su largo la resistencia de propagación de corrientes. Para mejores resultados, es importante una adecuada instalación y homogeneidad del terreno, el cual previamente hay que tratar con aditamentos químicos para mejoramiento de la

tierra. Proenergy cuenta con varillas copperweld de 5/8x3.00Mts; 5/8x1, 80Mts; 5/8x2.40Mts; en baja camada (25 micras de espesor) y alta camada para trabajos especiales (254 micras de espesor) y conectores copperweld 5/8 Importados.

4.4.3 Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra implementado en la central telefónica.

El análisis se realiza en función de las recomendaciones emitidas por la Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas NOM-001-SEDE-2012 (de utilización) de la Secretaria de Energía y por la IEEE y la NEC.

La medición de la resistencia del sistema de tierra se realizó utilizando el equipo de medición digital de tierra KYORITSU, modelo 4105A.

La medición se realizó aplicando el método de tres puntas, como recomienda la norma de la IEEE, la cual establece que el valor promedio de resistencia a tierra física se obtiene considerando al electrodo de prueba X como referencia, a partir del cual se coloca el electrodo Z a una distancia considerada como el 100% y el electrodo al 62% de la distancia total del electrodo Z (ver norma IEEE std. 142 y NMX-J-549-ANCE-2005).

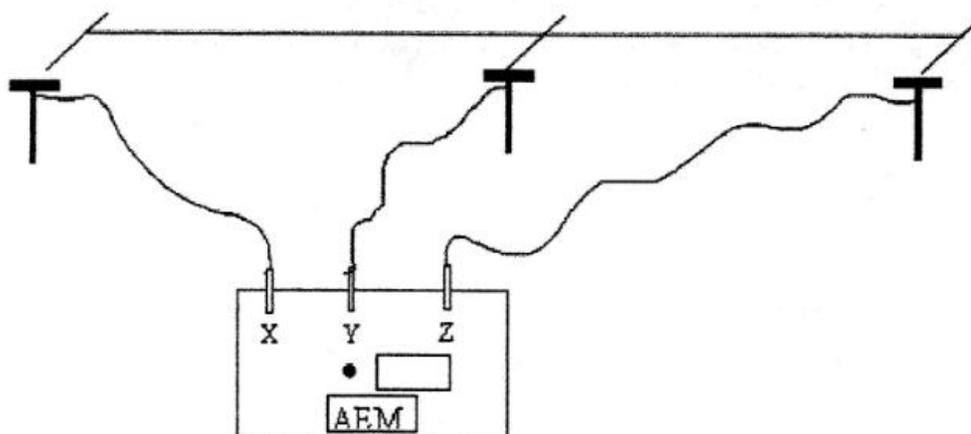


Figura 4.13 Conexión para obtener la resistencia de la tierra física.

El electrodo de prueba X fue tomado de los registros donde se derivan los sistemas de tierra. Para realizar las mediciones se tomó el electrodo en la única bajada disponible, donde están conectados los gabinetes, las partes metálicas de la azotea del edificio de la central telefónica.

Se realizó la medición del sistema de tierra, no se encontraron registros de ningún sistema en delta de electrodos profundos, sólo se encontró un electrodo enterrado, no sabemos a qué profundidad ya que está sepultado por concreto, se utilizó como electrodo de prueba para la medición y los demás electrodos necesarios para la medición se enterraron en el jardín próximo en la central telefónica.



Figura 4.14. Terminales del equipo de medición digital de tierra KYORITSU conectadas a tres electrodos del sistema de puesta a tierra.

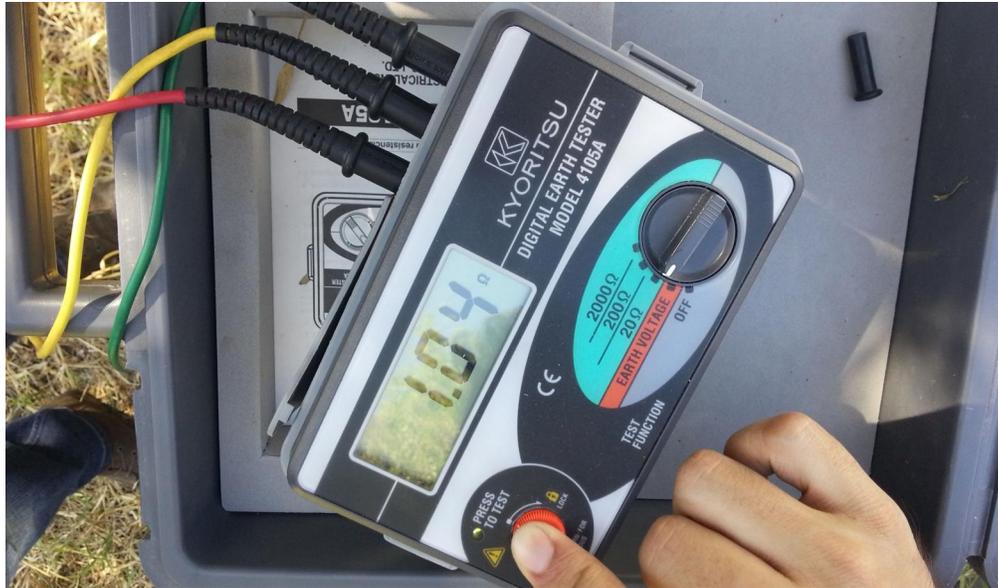


Figura 4.15 Valor experimental del sistema de puesta a tierra

El valor obtenido de la medición de resistencia del sistema de tierra electrónica fue de 1.04 Ohms. El valor que obtuvimos de la medición cumple con el valor de 5 Ohms especificado en las Normas IEEE, NFPA y por la NOM 001 SEDE 2012.

Los valores recomendados por la IEEE, por la NFPA y por las normas mexicanas como la NOM-001-SEDE-2012 son:

Sistema de tierra	Valor máximo de diseño
Eléctrico	10 Ohms
Electrónico	4 Ohms o el que indique el fabricante del equipo

Tabla 4.9 Valores de resistencia en Ohms para sistemas de puesta a tierra electrónicas recomendados por la IEEE.

4.4.4 Barra de tierra principal.

La barra principal

La barra principal de tierra, figura 20, es el centro de actividad del sistema de tierra. Es el punto de conexión común para las protecciones contra sobrevoltajes transitorios (P) y los absorbedores de carga (A), lo mismo que para las tierras de los equipos de ambas áreas, las no aisladas (N), y las aisladas (I).

La barra es de cobre y está aislada de su soporte y se ubica fuera del área de la zona de tierra aislada, sus dimensiones mínimas son 57 mm de largo por 78 mm de ancho y 6.35 mm de espesor. Por lo general, se instala en la pared del sitio. Todas las terminales a la barra deben conectarse al conductor por medio de conectores del tipo lengüeta con dos pernos, que tengan conexión de compresión o soldadura exotérmica con el conductor. La configuración de la unión a la barra, facilita la concentración y disipación de altas sobrecorrientes que se generan fuera del alambrado de la planta, equipo de radio, etc., por medio de las secciones (P) y (A) de la barra. Ésta mantiene el mismo potencial de voltajes a través de sus secciones (N) e (I).



Figura 4.16 Barra principal de tierra^[9].

En la parte de los generadores se encuentran: los blindajes de cables de teléfonos, marco del generador, etc., tierra de equipo de radio, etc. En la parte de los absorbedores están, la conexión T-N del edificio, anillo de tierra exterior, acero del edificio, tubería de agua, etc. La batería de 24 V y la de 48 V, se encuentran en la zona de tierra no aislada, mientras que la barra de ventana de tierra se encuentra en la tierra de la zona aislada. En ANEXO 4 se encuentra la conexión de los sistemas hacia la barra de tierra principal también llamado el punto único de puesta a tierra.

4.4.5 Tratamiento del suelo para obtener resistividad más baja.

Con frecuencia, es imposible obtener la reducción deseada de resistencia de tierra agregando más conductores o más varillas de tierra a la malla. Una solución alternativa es incrementar de manera efectiva el diámetro de los electrodos, modificando el suelo alrededor del electrodo. Los métodos más conocidos son los siguientes ^[17]:

- El uso de bentonita, una arcilla natural que contiene montmorillonita, que se formó por acción volcánica hace mucho tiempo, y es un elemento no corrosivo, estable y tiene una resistividad de 2.5 Ω -m al 300% de humedad. Es de naturaleza higroscópica.
- El uso de sales como cloruro de sodio, magnesio y sulfatos de cobre, o cloruro de calcio, para incrementar la conductividad del suelo alrededor del electrodo. Pero estas sales emigran a otras áreas.
- El uso de electrodos de tipo químico que constan de un tubo de cobre relleno de una sal. Los agujeros en el tubo permiten la entrada de humedad, disolver las sales y permitir que la solución de sal se filtre en la tierra.
- Materiales artificiales de tierra, de baja resistividad colocados alrededor de las varillas y de los conductores en la zanja. En Colombia se conocen como Hidrosolta y Fabigel.

En el ANEXO 5 se muestra el diagrama del sistema de puesta a tierra que se propuso, utilizando el conductor desnudo calibre 10 AWG como conductor de puesta a tierra, así como los respectivos electrodos. Este conductor sigue una trayectoria lineal hasta la barra principal que se ha propuesto para lograr un sistema de tierra de punto único y así conseguir un sistema equipotencial adecuado que pueda proteger tanto al personal como a los equipos y nos asegure su correcto funcionamiento.

4.5 Calidad de la energía en la central telefónica.

La calidad de energía en un sistema eléctrico se puede definir como una ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de tensión eficaz suministrada al usuario, esto tiene que ver con la estabilidad de la tensión, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. En la actualidad, contar con una buena calidad de energía exige una atención continua en el servicio. Los equipos conectados a la red eléctrica que se encuentran dentro de la Central Telefónica, requieren de un servicio continuo, pero también de una buena calidad de energía para su correcto funcionamiento, debido a que equipos como conmutadores tanto digitales como telefónicos, cableado UTP, cableado telefónico, rack de comunicación están expuestos continuamente a alguna perturbación en la señal eléctrica, por esto es necesario, proteger a los mismos a través de equipos que nos garanticen la calidad energía necesaria para su correcto funcionamiento.

Se puede decir, que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para la corrección de los disturbios y variaciones de tensión en el lado de los usuarios, en este caso de la Central Telefónica y proponer soluciones para corregir y prevenir fallas que se presenten en el lado del sistema de las compañías suministradoras de energía eléctrica, para así lograr con ello un suministro de energía eléctrica de calidad.

4.5.1 Presencia de armónicas en la Central Telefónica.

Las armónicas son formas de onda senosoidales tanto de las tensiones como de las corrientes, tienen frecuencias de múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la onda de la línea de alimentación de la empresa suministradora, para nuestro país México, el valor de la frecuencia es de 60Hz. Estas cuando se suman a la onda fundamental provocan una distorsión, según sea el orden de la armónica, será el grado de distorsión de la onda fundamental. Por ejemplo en un sistema como el que se tiene

en México, dónde la onda fundamental es de una frecuencia de 60 Hz la segunda armónica será de 120 Hz, la tercera armónica de 180 Hz y así sucesivamente.

La aparición creciente de cargas no líneas en sistemas de distribución, tales como controladores de motores con rectificadores controlados de silicio, hornos de arco, equipo de cómputo, iluminación fluorescente, lámparas de descarga entre otros, ha traído como consecuencia un aumento notable del contenido de componentes armónicas, que son manifestadas en forma de distorsiones diversas de la forma de onda de tensión en la red de distribución como se muestra en la figura 4.16.

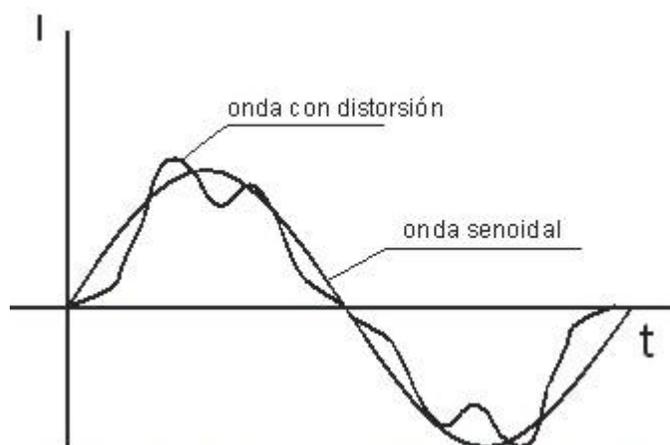


Figura 4.17 Forma de onda con distorsión^[26].

Los consumidores ubicados cerca de instalaciones industriales o aquellos que tienen alguna carga no líneas, pueden ver expuestos sus equipos sensibles a esfuerzos excesivos o a una operación inadecuada.

Las magnitudes que comúnmente se tratan para el estudio de estas perturbaciones son las siguientes:

- Componente fundamental. Es la componente original o principal de orden uno de la serie de Fourier de una cantidad periódica como se muestra en la figura

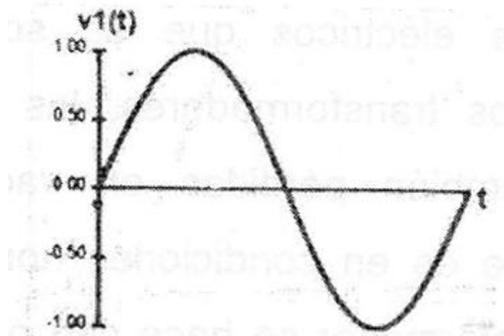


Figura 4.18 Onda fundamental (sinusoidal pura) [26].

- Componente armónica. Es la componente de orden mayor que uno de la serie de Fourier de una cantidad periódica. En la figura se muestra la descomposición de las componentes armónicas.

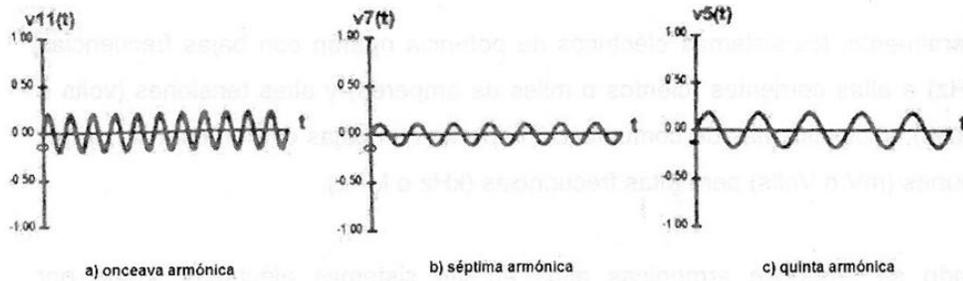


Figura 4.19 Descomposición de componentes armónicas [26].

- Distorsión Armónica Total (THD). Es el disturbio general presente. En la figura 4.20 se muestra la forma de onda con distorsión.

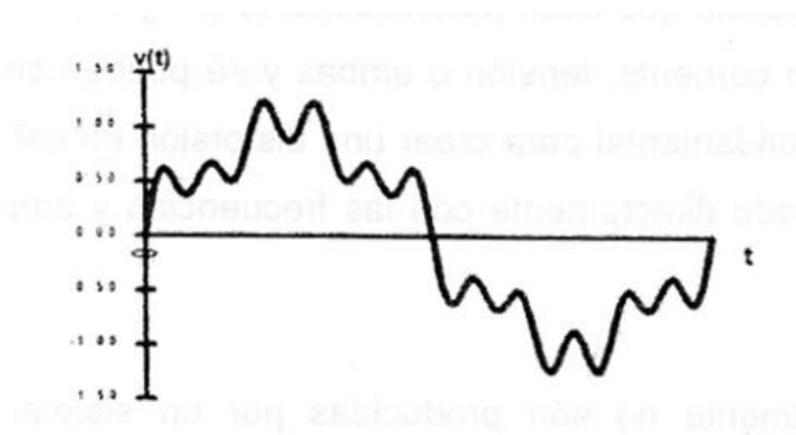


Figura 4.20 Onda periódica real distorsionada^[26].

La existencia de armónicas en la red eléctrica provoca aumento de las pérdidas en equipo por efecto Joule con el consecuente aumento de temperatura, sobre esfuerzo en aislamientos y disturbios provocados por interferencia en circuitos de protecciones y en sistemas de telecomunicaciones..

Cuando las líneas eléctricas que transportan corrientes armónicas pasan cercanas a líneas telefónicas, de telecomunicaciones y telemando, pueden producir interferencia electromagnética en estos sistemas, que es preciso corregir por medio de rearrreglos en el tendido de las líneas, blindajes especiales y un diseño adecuado de las conexiones a tierra.

4.5.2 Tierra de referencia cero.

La Tierra de referencia cero es una técnica usada frecuentemente con equipo electrónico sensible para reducir el ruido de modo común.

De acuerdo a la norma vigente (NOM-001-SEDE-2012) se utiliza este término para hacer referencia a un cable o alambre aislado, el que se encuentra separado y tiene un aislamiento de color verde o verde con franjas amarillas y que está conectado a tierra y se instala para computadoras y equipos que cuentan con microprocesadores.

Este conductor adicional tiene como propósito proporcionar un sistema “limpio”, libre de ruidos (interferencia electromagnética), de referencia de voltaje cero para fuentes de alimentación de corriente directa (cd) y datos en los sistemas mencionados.

Este tipo de puesta a tierra aísla la tierra del equipo sensible del sistema de tierras de canalizaciones, y controla la conexión al sistema de tierras de fuerza. Así, los cambios en el potencial de tierra debidos a corrientes inducidas de tierra que fluyen por las canalizaciones son eliminados, y las charolas y tuberías conduit proveen de blindaje a la interferencia electromagnética (EMI) y a la radiointerferencia (RFI) ^[27].

La tierra de referencia cero es algunas veces mal interpretada como significando una tierra separada y aislada para la carga sensible, y las configuraciones basadas en esta interpretación son usualmente inseguras y en conflicto con los requisitos del National Electrical Code.

Si corrientes inducidas en la tierra del equipo aislado fluyen en los cables de datos, comunicación y control, el cableado de la tierra de referencia cero puede contribuir al ruido de modo común acoplado inductivamente cuando se aplica a circuitos que tienen otros equipos interconectados.

El ruido de modo común es cualquier señal indeseable que es común a todos los conductores del circuito simultáneamente con respecto a tierra. La diferencia de potencial entre el neutro y tierra es una forma de ruido de modo común. Otra forma más problemática es la diferencia de potenciales de tierra en un sistema eléctrico. Además, la supresión de picos, cableado, blindado y aterrizado del sistema eléctrico del edificio (incluyendo el cableado de control, datos y comunicación) puede tener efecto en los niveles de señales de modo común a los que la electrónica sensible puede ser expuesto.

Este conductor de puesta a tierra del sistema está separada de la tierra física desnuda del sistema, por lo cual no se conecta a conducto o tableros de distribución secundarios por los cuales se desplaza, sino que sólo termina en los bloques de terminales aislados, en el cable aislado principal de tierra u otra tierra aislada o receptáculo en la tierra aislada (lógica) del equipo y en el punto único de unión de la fuente de energía. La tierra de

seguridad también debe instalarse y conectarse como se requiere para fines de seguridad, por ejemplo, en una toma de tierra dúplex aislada, el contacto redondo del receptáculo se conecta a la terminal flexible aislado de tierra en la parte posterior del receptáculo. El tornillo que sostiene la lámina frontal del receptáculo se conecta a la tierra de seguridad por medio de los sujetadores de montaje del receptáculo y la caja de metal donde se monta el receptáculo. Si se usa una caja de plástico, se debe utilizar conductor de tierra de seguridad y ésta debe extenderse junto con el conductor de fase, el neutro y los conductores de tierra aislados. Además, debe fijarse a los sujetadores del montaje del receptáculo para “conectar a tierra” la lámina frontal ver figura 4.21.

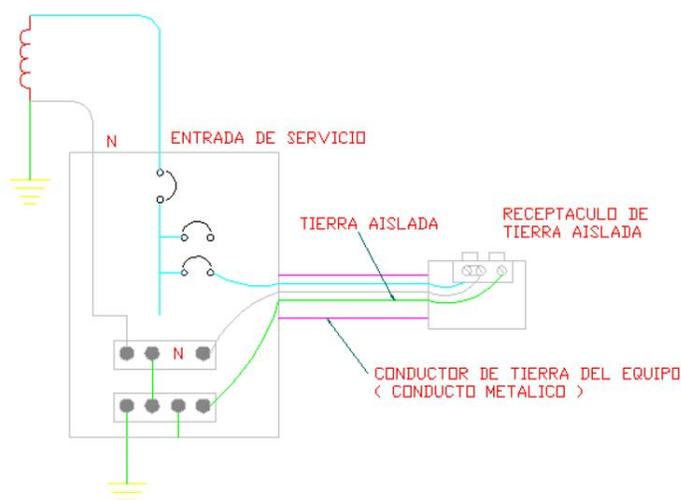


Figura 4.21 Receptáculo de tierra aislada (libre de ruidos) [27].

4.5.3 Ventajas de la tierra aislada

Claramente las canalizaciones nos blindan de las interferencias electromagnéticas y de radio frecuencia a los conductores encerrados en ellas. Como un beneficio práctico, el cableado de la tierra aislada minimiza las corrientes parásitas.

Corrientes a tierra parásitas que fluyen por el sistema de tierras causan cambios en los potenciales en el sistema. Estas corrientes don una realidad en todos los sistemas eléctricos y, existen bajo una gran variedad de condiciones, la mayoría dinámicas.

Pueden ser causadas por las descargas electrostáticas a los gabinetes, corrientes de falla a tierra, o aún la corriente capacitiva de carga cuando una carga es conectada.

En el cableado de la puesta a tierra aislada, la referencia a tierra para el equipo es aislada del sistema de tierras de la canalización metálica y del gabinete. Corrientes parásitas fluyen en canalizaciones y gabinete, y los cambios en potenciales de tierra son confinados al sistema de tierras de la canalización metálica y del gabinete. No hay corrientes parásitas en la puesta a tierra aislada, así la referencia de tierra para el equipo de utilización no es afectada.

El propósito de la puesta a tierra aislada es mantener a los equipos sensibles protegidos de los ruidos eléctricos producidos en los bucles de tierra y múltiples conexiones a tierra.

4.5.4 Sistema de tierra aislada en la central telefónica.

La tierra aislada en sitios de comunicaciones es tan importante como en los SITES's de cómputo o en otras instalaciones que utilicen semiconductores. Como se mencionó anteriormente, la tierra aislada nos permite obtener una referencia para los sistemas digitales "libre" de ruido eléctrico o de cualquier perturbación de la señal eléctrica. Todo el equipo que se conecta al sistema de puesta a tierra aislada tiene el mismo potencial que la barra principal de tierra. El equipo típico que puede instalarse con una tierra aislada incluye:

- Conmutadores digitales
- Equipo de transmisión de datos de fibra óptica.
- Multiplexores.
- Inversores (convertidores de cd a ca).
- Equipo de telefonía digital.

4.5.5 Conexión a tierra y neutro.

Los conductores de conexión a tierra y neutro deben unirse en un solo punto. En el caso de la central telefónica, idealmente estaría conectado a un transformador de aislamiento, que se encuentre situado dentro o inmediatamente adyacente e los equipos. El neutro no debe conectarse nunca a un tablero secundario, debido a que de esa manera es como se produce el ruido eléctrico que se propaga hacia nuestros equipos.

Como podemos observar en la figura 4.22, una conexión correcta del neutro, donde éste conduce la corriente de retorno de fase y no existe ninguna corriente del neutro a tierra.

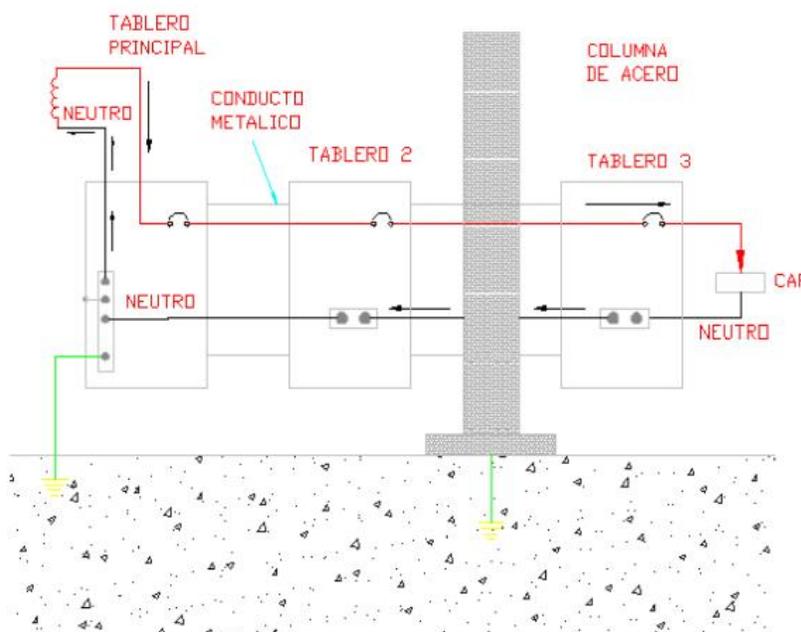


Figura 4.22 Trayectorias de corrientes circulantes en una conexión neutro-tierra^[27].

En la figura 4.23 podemos observar un ejemplo del neutro de un tablero secundario conectado a tierra, la corriente de retorno del neutro se divide en esta conexión y como resultados observamos que se producen múltiples trayectorias de retorno para la corriente de fase, lo que produce ruidos eléctricos de tierra y también pone en peligro la

seguridad de los usuarios. La corriente que tendríamos en la tubería puede resultar peligrosa.

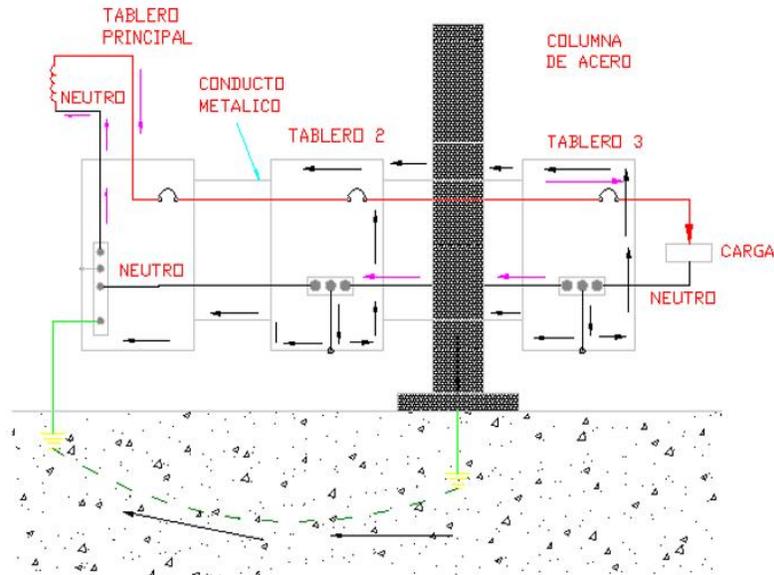


Figura 4.23 Trayectorias de corrientes circulantes en una conexión neutro-tierra^[27].

Con lo anterior podemos concluir que una relación entre el conductor neutro y el conductor de tierra puede ser un buen indicio de la calidad del sistema de puesta a tierra.

4.5.6 Transformador de aislamiento.

Todo transformador eléctrico, sea reductor o elevador de voltaje, tiene la particularidad de transferir energía entre sus bobinados, por inducción electromagnética y sin que exista entre ellos, conexión eléctrica alguna (excepto los auto-transformadores). Por lo tanto, un transformador ofrece una aislación entre los circuitos conectados en el primario y los conectados al secundario ver figura 4.24.

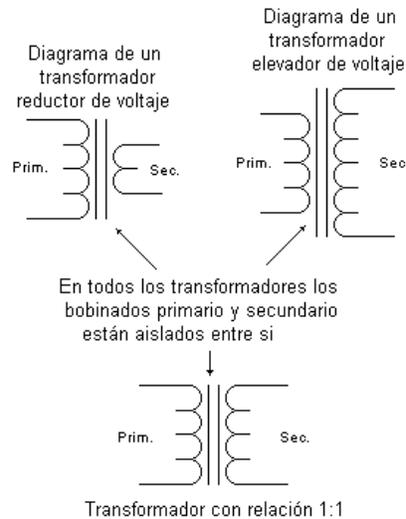


Figura 4.24 Diagramas de distintos tipos de transformadores^[27].

Sin embargo, el término "Transformador aislador" o "Transformador de aislamiento", se utiliza solamente para referirse a los transformadores con relación 1:1 entre sus devanados primario y secundario. Esto quiere decir que ambos embobinados tienen la misma cantidad de espiras (o vueltas, de alambre conductor), por lo tanto el embobinado secundario entregará el mismo voltaje de AC (corriente alterna) que se aplique al primario, sin existir una conexión eléctrica entre el embobinado primario y el secundario.

Un transformador ferorresonante es un tipo especial de transformador de laminado que proporciona una salida regulada. Estos a veces son conocidos simplemente como "ferros" o "CVT" (Transformador de Tensión Constante). Utilizan una estructura especial magnética y un condensador, pueden suministrar una tensión de salida bien regulada que se mantiene constante a pesar de los cambios en el voltaje de entrada y de carga. En algunas aplicaciones especializadas estos dispositivos pueden estar diseñados para suministrar una salida de corriente constante. Otra ventaja es que el ferro sirve como un filtro de paso bajos eliminado de forma eficaz transitorios y sobretensiones.

Los transformadores de aislamiento con protección electrostática se utilizan para proteger el equipo eléctrico sensible a señales indeseables de alta frecuencia, comúnmente generado por los rayos, las ondas inducidas por el encendido de interruptores, los motores, los variadores de velocidad que inducen ruido en las líneas.

El escudo electrostático consiste en una hoja de metal colocada entre los devanados primario y secundario, para proveer una atenuación entre 30 y 70 dB de ruido de banda ancha, de línea de tierra.

Las aplicaciones típicas de los transformadores de aislamiento con protección electrostática incluyen:

- Supresión de oscilaciones momentáneas y ruido que viaja de la fuente de las cargas sensibles.
- Supresión de oscilaciones momentáneas y ruido en el punto donde se originan, previendo su inducción de la fuente a los alimentadores.
- Proveer aislamiento de un circuito a otro.

Un transformador es un dispositivo utilizado para modificar voltajes o corrientes, ya sea para aumentarlos o para disminuirlos, generalmente los transformadores son utilizados para disminuir los voltajes. Los transformadores pueden ser monofásicos o trifásicos en delta o estrella, como los arreglos eléctricos que se manejan en las instalaciones eléctricas.

Los transformadores monofásicos sólo tienen una bobina en el lado primario y otra en el lado secundario, tienen protección contra ruido, se utilizan como transformadores de acoplamiento para poder alimentar equipo que requiere un voltaje diferente al de los demás.

Los transformadores trifásicos tienen tres bobinas en el primario y en el secundario, cuentan con placas de aislamiento y factor "K". Las placas de aislamiento son las que brindan protección contra ruido y el factor "K" es la capacidad que tiene el transformador para soportar corrientes armónicas en su lado secundario.

Para seleccionar un transformador de aislamiento se debe tener en consideración los siguientes puntos:

- Se debe saber el voltaje que existe entre las líneas de alimentación para poder conocer el voltaje en el lado primario.

- Se debe conocer el voltaje que queremos alimentar para poder especificar el voltaje en el lado secundario del transformador.
- Se debe conocer la cantidad de VA 's que se van alimentar para poder seleccionar la capacidad correcta del transformador.

4.5.7 Configuración de banco de baterías con transformador de aislamiento y distribución aislada, con electrodo de tierra.

Debido a que en la central se cuenta con un banco de baterías que sirve como respaldo en caso de que se tenga una interrupción de energía, se utiliza esta configuración como propuesta. En esta configuración el sistema de respaldo de energía requiere un electrodo de puesta a tierra local. Se cuenta con un transformador de aislamiento, y el neutro deberá ser unido al conductor de puesta a tierra, esta configuración resulta nos permite la disipación de corriente, atenuaciones de ruido, y cualquier interferencia electromagnética ver figura 4.25.

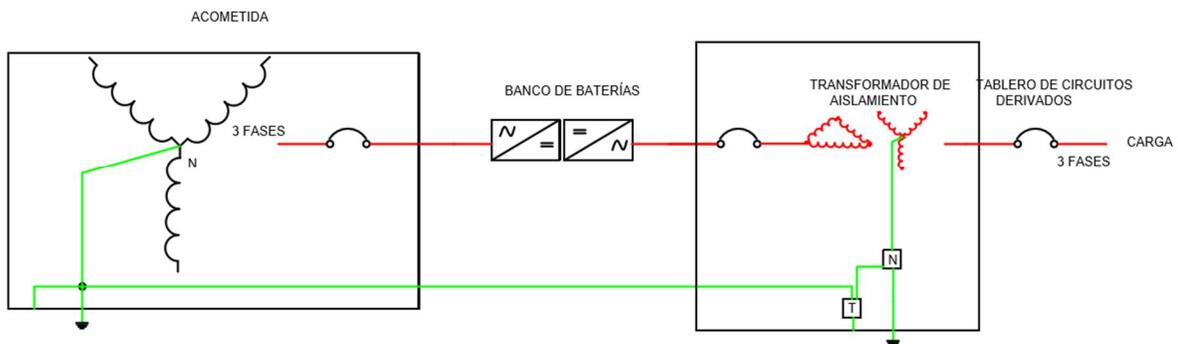


Figura 4.25 Instalación de transformador de aislamiento con banco de baterías^[27].



Figura 4.26 Banco de baterías instalado en la central telefónica.

4.5.8 Propuesta de transformador de aislamiento en la central telefónica.

Para determinar y seleccionar el transformador de aislamiento se requiere calcular la potencia demandada, en este caso se calcula la corriente máxima de la carga para poder determinar la potencia requerida tomando en cuenta que se debe dejar un margen del 30 % por si existe crecimiento a futuro.

Se necesita saber el consumo de los equipos de cómputo y telecomunicaciones, para poder determinar el transformador de aislamiento a instalar. El total de la carga instalada se realiza por suma de consumos de cada elemento instalado y que se desea proteger, al leer los datos de placa de cada equipo o bien por medición de consumo, opción que es recomendable en grandes redes o sistemas. La suma de Watts de cada elemento de las placas de características (también podemos encontrarnos con indicaciones de VA, o V-A), nos dará un total de la carga instalada para así poder determinar la capacidad del transformador de aislamiento a instalar dejando normalmente un 30% de rango para un crecimiento de carga a futuro. Es necesario recordar que los $S=VI$; $P=VI\cos\theta$ (siendo considerado para una carga informática de 0.75 ó 0.8), estos datos de S o P nos ayudan

a obtener la potencia de la carga total instalada, así mismo, se debe tener en cuenta el entorno.

La carga sensible demandada en la central telefónica es de 11.5 Kw, Calculando la potencia trifásica tenemos:

$$S = \frac{P}{F.P.}$$

Ec.4.19

Donde.

S → Es la potencia aparente.

P → Es la potencia real.

F.P. → Factor de potencia.

El valor para el Factor de Potencia proporcionado por CFE es de 0.9, sustituyendo valores tenemos:

$$S = \frac{11.5 \text{ kW}}{0.9}$$

$$S = 12.77 \text{ kVA}$$

El valor del transformador de aislamiento propuesto debe tener un margen de 30% para crecimiento futuro.

5 Mantenimiento

5.1 Mantenimiento Preventivo.

El mantenimiento se entiende como la realización de una actividad encaminada a prolongar la vida útil de algún sistema, equipo o instalación. Mediante él se busca tener un rendimiento óptimo de acuerdo a las especificaciones del fabricante, o a las condiciones de operación calculadas y planteadas en el diseño o la construcción. El mantenimiento preventivo implica anticiparse a los posibles problemas que puedan ser ocasionados por el desgaste normal de operación, situaciones de falla, estrés mecánico, contingencias o accidentes. Para realizar un plan de trabajo idóneo es recomendable tomar en cuenta las sugerencias del fabricante en el caso de equipos, y atenerse a las normas y sugerencias para instalaciones, levantamientos, máquinas y equipos que demandan corriente eléctrica. Para realizar dicho plan de trabajo se requiere, igualmente, conocer a profundidad el sistema o instalación de tal modo que se puedan enumerar una serie de pruebas necesarias para predecir futuras fallas. En esta fase es importante recordar que no sólo las piezas de desgaste deben ser inspeccionadas con cierta periodicidad sino que es deseable disminuir, en la medida de lo posible, el tiempo de interrupción de los equipos, es decir procurar que el mantenimiento no ocurra cuando se acumulen una serie de problemas que hagan más difícil identificar la falla principal. Por ello es recomendable crear una bitácora de problemas o situaciones que pudieran repetirse en un futuro.

5.1.1 Periodicidad del Mantenimiento.

Un mantenimiento óptimo implica realizar al menos dos mediciones al año de la resistencia del terreno donde está considerada la instalación del sistema de tierras: una primera medición en la época de lluvias y la segunda en la temporada seca. Al mismo tiempo hay que tener en cuenta los elementos que conforman el sistema de tierras. En primer término, considerar sus características particulares para poder planear la periodicidad del mantenimiento, ya que cada caso es diferente. Por ejemplo, según las

especificaciones del fabricante, en el caso de un electrodo chem-rod (electrodo de cabezal cilíndrico con un elemento removible para cambiar las sales internas durante el mantenimiento y que puede ser modificado químicamente en su composición para variar la impedancia), puede tener un periodo sin revisión de hasta diez veces más que un electrodo estándar. Es pertinente subrayar que la mayoría de los factores relevantes para hacer una planeación de periodicidad dependen de lo adecuado de la instalación del sistema de tierras; si todos los puntos importantes son cubiertos, la instalación se puede revisar cada dos o tres años, ya que usualmente los cambios en el terreno son lentos, a menos que ocurra un evento extraordinario. Igualmente, si el sistema es sometido a estrés constante como pueden ser las descargas atmosféricas frecuentes, se puede considerar un intervalo de revisión menos espaciado. Probablemente lo más importante que se debe destacar para la programación del mantenimiento es que éste se debe hacer. En algunas ocasiones el sistema se instala y se deja sin darle mantenimiento.

5.1.2 Revisión del valor del S.P.T.

Para comprobar el funcionamiento correcto del sistema de tierras previamente instalado es conveniente utilizar el mismo método de medición que el del diseño; en el caso que nos ocupa, se utilizó el método de los tres puntos. No obstante, si el equipo es diferente o se le han hecho cambios, lo más importante es verificar que el valor de la resistencia del terreno se mantenga bajo ($<5 \Omega$), hay que recordar así mismo que este valor de referencia de impedancia depende de la carga y potencia total utilizada por la instalación medida en KVA, si esta aumenta los valores se deben escalar de manera proporcional.

El procedimiento para medir la resistividad del terreno, y en caso de ser necesario modificar este valor, se menciona ampliamente en el capítulo 4 de este trabajo. De ser necesario, habrá que realizar un plan de trabajo.

5.1.3 Elementos a revisar en el mantenimiento.

La prioridad de un sistema de tierras debe ser el de proteger a los usuarios de la planta/recinto o lugar donde se encuentren los equipos electrónicos/eléctricos, por ello se debe poner especial atención a las tuberías o conductores que van de los equipos electrónicos y tableros al electrodo de tierra, así como los lugares de riesgo donde podría haber una aterramiento accidental a través de una persona ver figura 5.1.

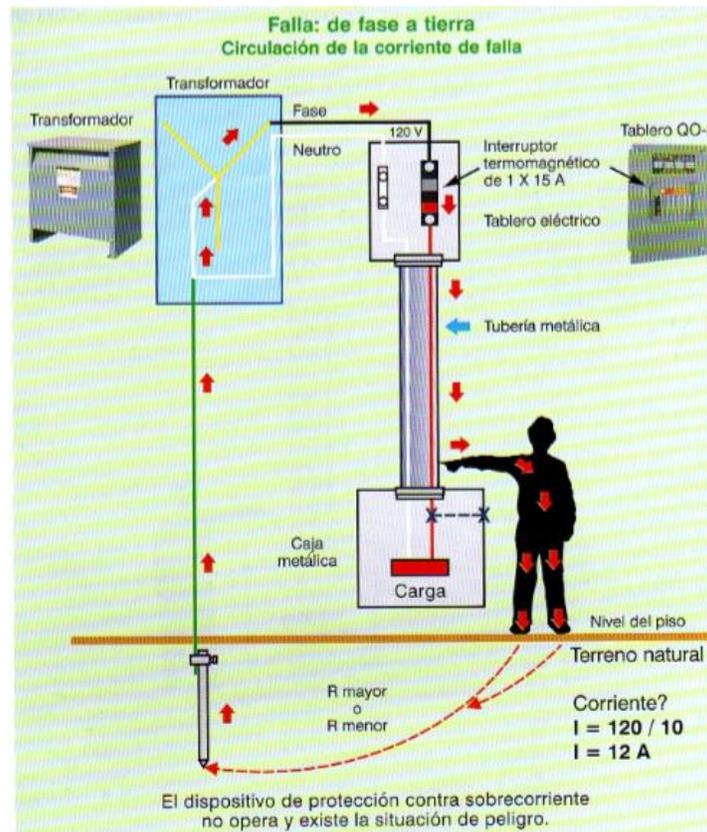


Figura 5.1 Circulación de corriente de falla^[6].

En este caso, la tierra hace que la persona cierre el circuito, ya que de no existir el electrodo no habría forma de que la persona cerrara el circuito, asimismo como se supone que la persona opone 10Ω al paso de la corriente, la protección no actúa, ya que se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento (0-15A), y la persona se encuentra así en peligro de muerte. De igual manera, la resistencia de una persona es variable y depende de cosas tan diversas como el estado de ánimo, la hora del día, y el clima; sin embargo, es negligente suponer que la protección puede o no puede actuar y hay que hacer todo lo posible para garantizar la seguridad de los usuarios^[18]..

La persona encargada debe cerciorarse de que existe un puente de unión principal donde la tubería metálica se utiliza como conductor a tierra y garantizar que existen caminos de suficiente baja impedancia como para activar las protecciones que garantizan su operación en caso de falla accidental, como se muestra en la siguiente figura 5.2.

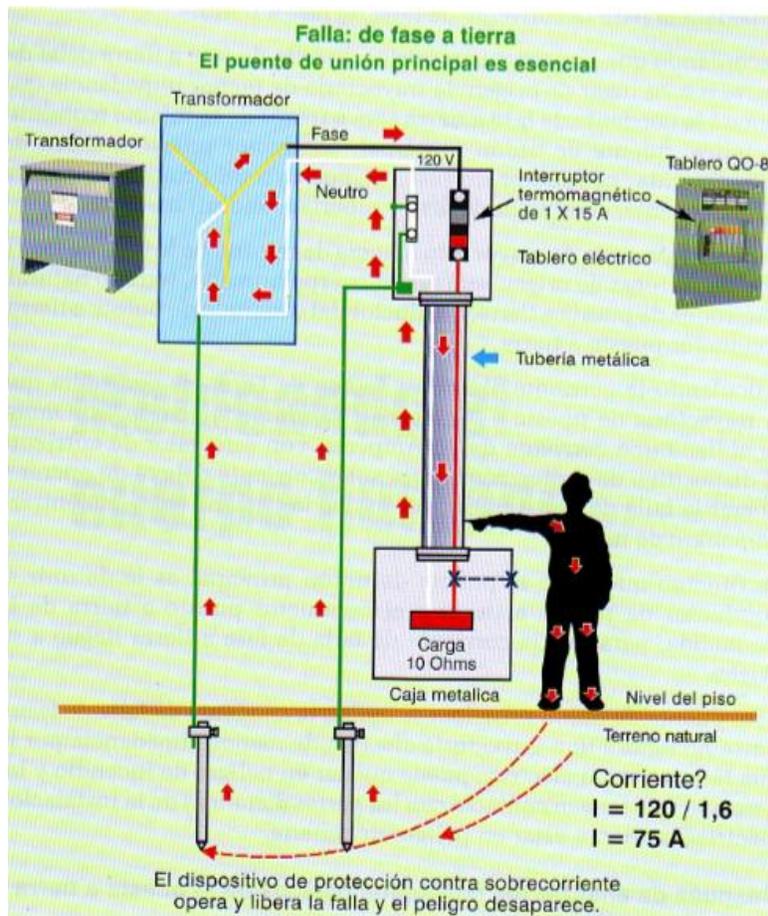


Figura 5.2 Importancia del puente de unión^[6].

Por lo tanto es imprescindible verificar el estado de las conexiones de las zonas de alimentación a los equipos, así como los posibles caminos de la corriente eléctrica, y revisar posibles zonas de riesgo. Como se sabe el metal es conductor, y aunque por otras razones a veces es utilizado para las canalizaciones y soportes de equipos, puede resultar peligroso como camino para la corriente eléctrica desde los tableros o por descargas externas. Además, es necesario verificar el aislamiento de los cables que

quedan ocultos en las trampas de cables y las tuberías para los mismos, pues se dan casos de animales que destruyen el aislamiento de los cables, provocando pérdidas y accidentes. Es conveniente, también, considerar la vida útil de los dispositivos y aparatos^[19]..

Otra de las tareas a llevar a cabo es la verificación de las uniones entre cables, tableros, equipo y dispositivos. Hay que recordar que, por diseño, los cables tienen tolerancia a corrientes máximas que pueden circular en ellos pero que en casos transitorios de falla o sobrecorriente, debido al esfuerzo mecánico o al calentamiento, pueden crear fallas como fundimiento del aislante o botar las conexiones físicas. De igual manera, si un cable se quema pero aún no falla esto puede implicar que la superficie para la que circule la corriente sea menor y por ende la impedancia mayor, acortando la vida útil o rebasando las intenciones originales del diseño y creando incendios en otro momento.

Otra circunstancia a considerar es la frecuencia de las señales que se espera que existan en los cables, las altas frecuencias crean más problemas a los sistemas electrónicos sensibles (cuando relativamente el ruido de baja frecuencia puede no alterar su funcionamiento en comparación). Así, como las altas frecuencias confinadas, las cuales pueden estar presentes en una Central Telefónica, exhiben el comportamiento del Efecto Piel o Kelvin, donde la corriente se concentra en las partes exteriores del conductor y puede calentar excesivamente los aislantes. Tales consideraciones son ajenas a nuestra propuesta de mantenimiento pero se mencionan como una guía para explicar los problemas que puedan ocurrir en sistemas donde la corriente pueda no ser tan alta como para activar protecciones pero igual sea proclive a crear situaciones de falsos o cortos circuitos.

Una variable que a menudo se deja fuera de las recomendaciones es la pericia y habilidad de los operarios, por más seguro que sea un sistema es muy probable que falle si los usuarios tienen prácticas indebidas o desconocimiento del sistema y sus recomendaciones, es importante asegurarse que todo mundo está capacitado para utilizar los equipos haciendo hincapié en la seguridad y la fiabilidad de la operación.

5.1.4 Equipos de prueba.

Los equipos de prueba recomendados para verificar las condiciones óptimas de un sistema de tierra son el equipo mencionado en el capítulo 4 para medir resistividad de terreno, un multímetro para verificar continuidad y aislamientos. Para realizar la revisión de mantenimiento es necesario estar familiarizado con los equipos, saber su correcto funcionamiento y los resultados esperados.

5.2 Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo es aquel encaminado a resolver puntualmente los desperfectos ya identificados, sustitución de partes, zapatas, remover corrosión, y realizar toda actividad encaminada a reparar y poner en óptimas condiciones al sistema, depende estrechamente del plan de trabajo establecido y de las necesidades particulares inherentes a la observación, la experiencia y del presupuesto.

5.2.1 Solución de problemas básico (Troubleshooting).

- Utilizar equipo de seguridad adecuado y siempre respetar las normas de seguridad.
- Desenergizar equipos antes de la revisión.
- Realizar una inspección visual de las fallas previamente identificadas o de donde se sospeche que pueda existir la avería.
- Verificar que no existan elementos inductivos o capacitivos que almacenen energía alrededor de la falla, aterrizar equipos.
- Realizar la sustitución o reparación pertinente.

- Revisar las conexiones y posibles puntos de unión sueltos.
- Volver a energizar las instalaciones después de haber medido los valores de resistencia y bajado las banderas de interruptores.
- Si los sistemas están monitoreados por algún sistema de cómputo, verificar que las alarmas estén apagadas y reestablecer el sistema.
- Actualizar los registros pertinentes.

5.3 Seguridad y Prevención de Riesgos.

La seguridad es primordial y uno de los aspectos principales por los que se diseña un sistema de tierras, es por eso que se deben considerar todos los siguientes puntos antes de trabajar en la instalación, supervisión o mantenimiento de un Sistema de Tierras, así mismo nunca se debe subestimar la experiencia de los operarios o trabajadores con respecto a situaciones que hayan ocurrido con anterioridad.

- Conocer debidamente los riesgos.
- Saber qué hacer en caso de emergencia.
- Tener la capacitación adecuada.
- Trabajar en parejas o equipos de más de dos personas.
- Aterrizar todos los elementos activos o por los cuales en algún momento de la operación circule energía.
- Observar el entorno de trabajo buscando circunstancias anormales antes de iniciar los trabajos.
- Si se va a trabajar en equipos, verificar que estén desenergizados.
- Utilizar el equipo de seguridad adecuado y verificar los aislantes.
- Mantenerse alerta.
- Detener el trabajo si algo no va bien.
- Mantener comunicación constante entre todas las brigadas de trabajo.
- Ser ordenado en el espacio de trabajo.

6 CONCLUSIONES

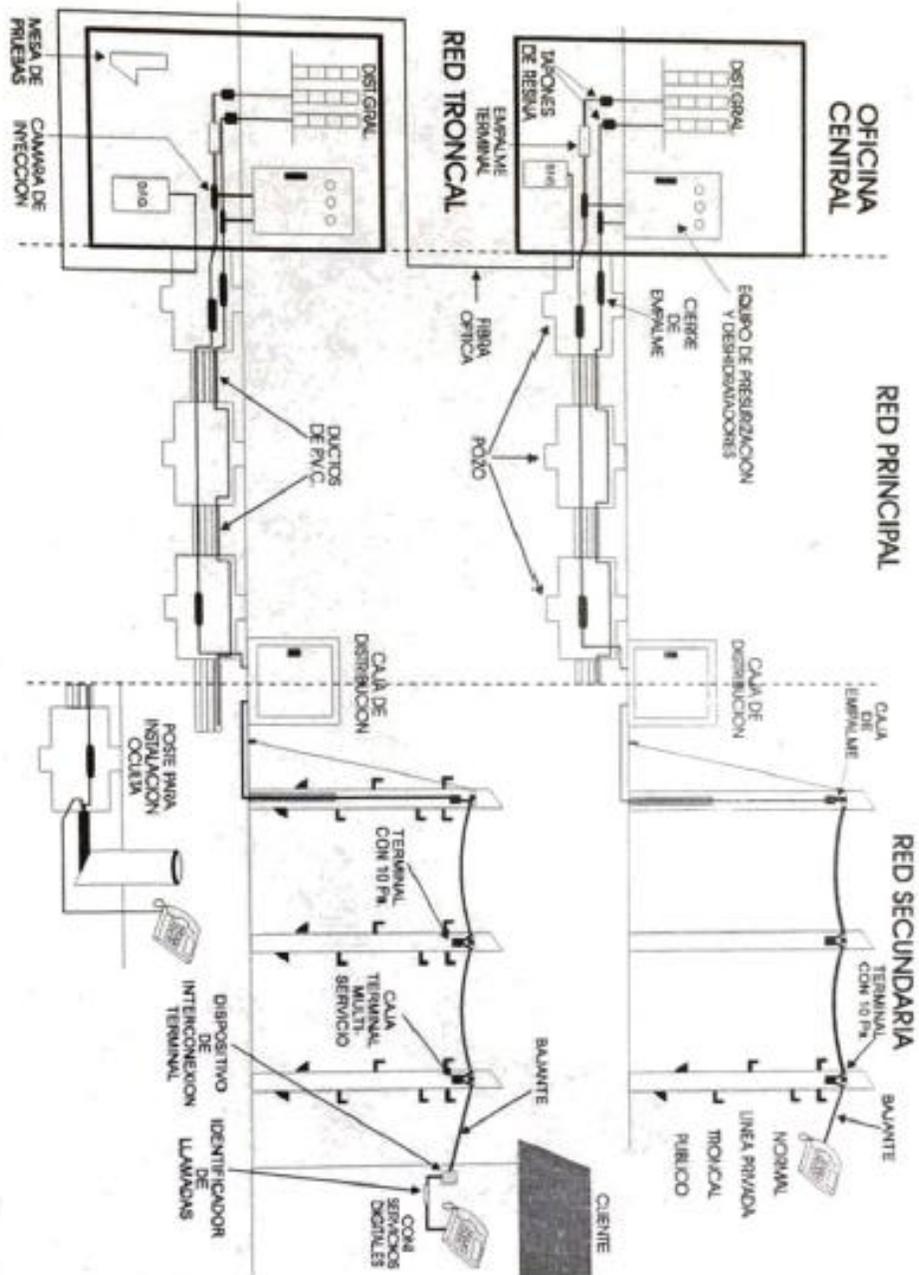
En este trabajo se logró poner en práctica los conocimientos adquiridos durante nuestra formación para poder resolver un problema real, proponiendo una solución. Se requirió realizar una visita de campo para poder determinar las condiciones del sistema de puesta a tierra en una central telefónica, se realizaron las investigaciones previas en

Normas tanto mexicanas como internacionales sobre las condiciones ideales para instalar sistemas de puesta a tierra. La visita consistió de un levantamiento a mano, así como de una inspección ocular, destapando registros, siguiendo trayectorias, así como de medición de la resistencia del terreno donde se encuentra la central telefónica para saber las condiciones iniciales del sistema de puesta a tierra. Una vez reunida la información comenzamos nuestro proceso de investigación y de solución del problema.

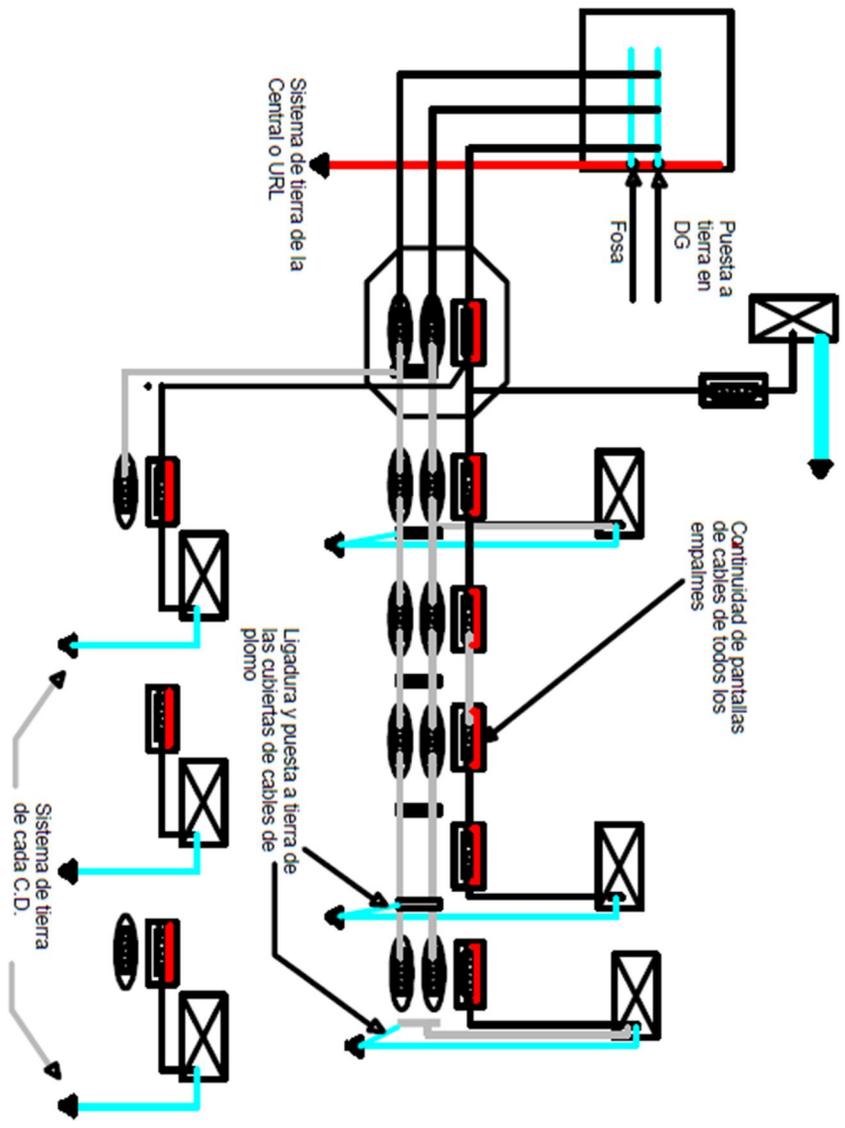
Se propuso de acuerdo a las normas vigentes el diseño adecuado para cumplir los estándares que requiere el sistema de puesta a tierra, primero obteniendo un modelo teórico y después implementándolo en el terreno donde se encuentra la central telefónica, obteniendo los valores adecuados que se encuentran dentro de la norma lo cual nos asegura un sistema adecuado tanto para la seguridad del personal, como para el correcto funcionamiento de los equipos, también se dieron las recomendaciones de mantenimiento preventivo para que el sistema de puesta a tierra propuesto, funcione de una manera adecuada, logrando así los objetivos planteados en la solución de este problema de campo.

ANEXOS

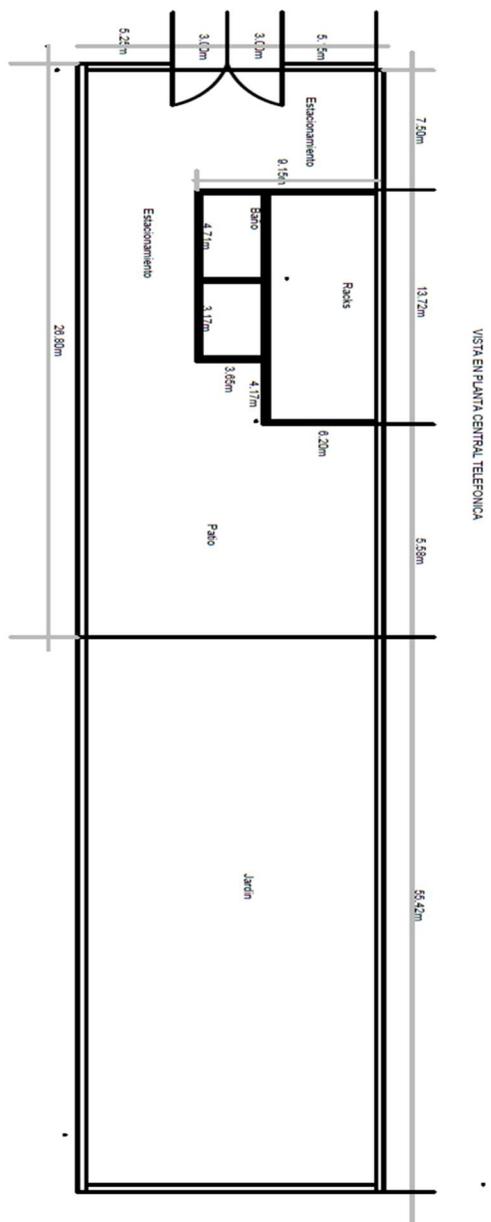
ANEXO 1. Diagrama de la conformación de la planta externa^[22].



ANEXO 2. Diagrama de la conformación de la planta externa indicando sistema de puesta a tierra.



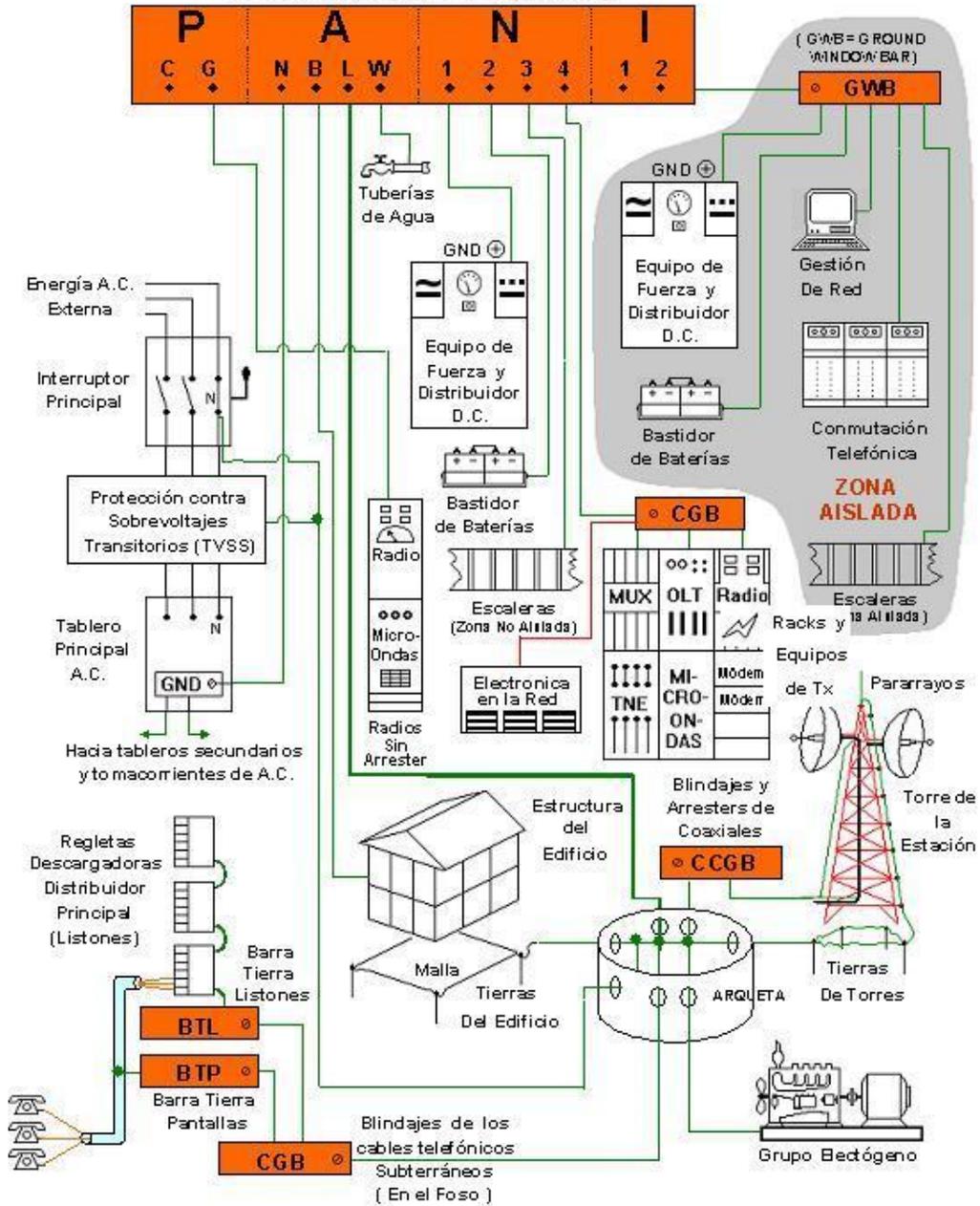
ANEXO 3. Vista en planta del terreno donde se localiza la central telefónica.



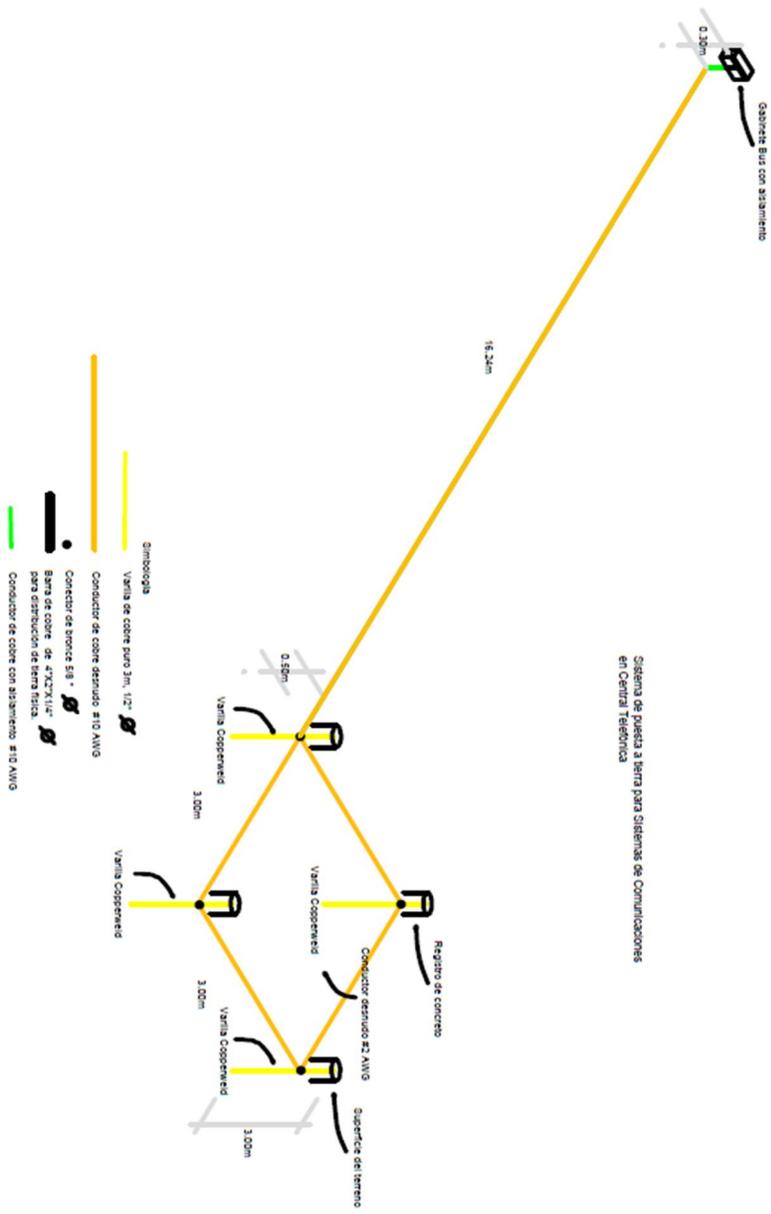
ANEXO 4. Diagrama del sistema de tierra de punto único (barra principal de tierra).

SISTEMA DE TIERRA DE PUNTO ÚNICO

BARRA MGB (Main Ground Bar)



ANEXO 5 . Dibujo isométrico del sistema de puesta a tierra propuesto para la central telefónica.



ANEXO 6: Tabla 4.7 Constantes de los materiales conductores^[12].

Description	Material Conductivity (%)	α x factor at 20 °C (1/°C)	Kc at 0°C (0°C)	Fusing temperature Tm	ρ r 20°C ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	TCAP thermal capacity [J/(cm ³ ·°C)	Kf
Copper, annealed soft- drawn	100	0.00393	234	1083	1.72	3.42	7
Copper, commercial hard-drawn	97	0.00381	242	1084	1.78	3.42	7.06
Copper-clad steel wire	40	0.00378	245	1084	4.4	3.85	10.4
Copper clad steel wire	30	0.00378	245	1084	5.86	3.85	12.0
Copper-clad steel rod	20	0.00378	245	1084	8.62	3.85	14.6
Aluminum, EC grade	61	0.00403	228	657	2.86	2.56	12.1
Aluminum, 5005 alloy	53.5	0.00353	263	652	3.22	2.6	2
Aluminum, 6201 aloy	52.5	0.00347	268	654	3.28	2.6	12.4
Aluminum-clad steel wire	20.3	0.0036	258	657	8.48	3.58	7
Steel, 1020	10.8	0.00316	605	1510	15.9	3.28	17.2
Stainless-clad steel rod	9.8	0.0016	605	1400	17.5	4.44	15.9
Zinc-coated steel rod	8.6	0.0032	293	419	20.1	3.93	14.7
Stainless steel, 304	2.4	0.0013	749	1400	72	4.03	2
							28.9
							6
							30.0
							5

ANEXO 7: Tabla 4.8 Dimensiones y propiedades de conductores de cobre y aluminio^[15].

Calibre AWG/KC M	Temple duro Clase AA	Área nominal de la sección transversal	Capacidad de conducción de corriente	Número de hilos	Esfuerzo por tensión nominal a ruptura mínimo	Temple semiduro clase A	Resistencia eléctrica CD a 20°C	Diámetro total nominal	Número de Hilos	Esfuerzo por tensión nominal a ruptura mínimo	Temple suave Clase B	Resistencia eléctrica CD a 20°C	Diámetro total nominal	Número de hilos	Resistencia eléctrica CD a 20°C	Diámetro total nominal	
																	mm ²
14		2.08															
12		3.31															
10		5.26															
8		8.37	90														
7		10.6	110														
6		13.3	130														
5		16.8	150														
4		21.2	180	3	395	0.865	6.46	7	315	0.861	5.88	7	0.832	5.88	7	0.832	5.88
3		26.7	200	3	395	0.686	7.25	7	315	0.682	6.61	7	0.66	6.61	7	0.66	6.61
2		33.6	230	3	385	0.544	8.14	7	315	0.541	7.42	7	0.523	7.42	7	0.523	7.42
1/0		53.5	310	7	395	0.342	9.36	7	310	0.34	9.36	19	0.329	9.47	19	0.329	9.47
2/0		67.4	360	7	390	0.271	10.51	7	305	0.27	10.51	19	0.261	10.63	19	0.261	10.63
3/0		85	420	7	385	0.215	11.8	7	305	0.214	11.8	19	0.207	11.94	19	0.207	11.94
4/0		107	480	7	380	0.171	13.25	7	300	0.17	13.25	19	0.164	13.4	19	0.164	13.4
250		127	540	12	390	0.144	15.24	19	310	0.144	14.57	37	0.139	14.62	37	0.139	14.62
300		152	610	12	385	0.12	16.69	19	310	0.12	15.96	37	0.116	16.01	37	0.116	16.01
350		177	670	12	380	0.103	18.02	19	305	0.103	17.24	37	0.0992	17.29	37	0.0992	17.29
500		253	840	19	385	0.0722	20.61	37	310	0.0718	20.67	37	0.0694	20.67	37	0.0694	20.67
750		380	1090	37	390	0.0481	25.31	61	310	0.0479	25.35	61	0.0463	25.34	61	0.0463	25.34
1000		507	1300	37	385	0.0361	29.23	61	310	0.0359	29.27	61	0.0347	29.27	61	0.0347	29.27

BIBLIOGRAFÍA

Normas:

- II. NFPA-70-2005. Código Nacional Eléctrico de Estados Unidos (NEC).
- III. NMX-J-549-ANCE-2005. Sistema de protección contra tormentas eléctricas. Especificaciones, materiales y métodos de medición.
- IV. NOM-008-SCFI-2002. Sistema General de Unidades de Medida.
- V. NOM-022-STPS-1999. Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad e higiene.
- VI. NOM-029-STPS-1999.
- VII. IEEE STD- 80. Guía de seguridad en puesta a tierra de SE de corriente alterna.
- VIII. IEEE Green Book, Std 142-1991. Prácticas recomendadas para la puesta a tierra de sistemas de potencia industrial y comercial.
- IX. IEEE Emerald Book, Std 1100-1999. Prácticas recomendadas para la energización y puesta a tierra de equipo electrónico.
- X. IEEE Std 142-1991. Página 3.
- XI. NOM-SEDE-001-2012. Instalaciones eléctricas

Libros:

- 1.- "La calidad de la energía en los sistemas eléctricos". Enriquez Harper ,Gilberto pp. 344, 346, 348, 349, 350, 353, 355, 357, 358, 359. LIMUSA Noriega Editores 2006.
- 2.- "Física". Wilson, Jerry D. Buffa Anthony , *5ta edición* Pearson pp. 590. E.U.A. 2002.

- 3.- "Electricidad y Magnetismo". Jaramillo M., Gabriel A. et al. 1a. Edición México Facultad de Ingeniería, UNAM, Trillas, 2001
- 4.- "Análisis de contingencias eléctricas en centros comerciales". Gómez Marcial, Daniel, pp. 123. Tesis, UNAM, 2010 .
- 5.- "Electric Circuits". Edminster, Joseph A Schaum, pp. 25, Outline series Mc-Graw Hill Book Company.
- 6.- "Libro de oro de puesta a tierra universal". Javier Oropeza Ángeles, Schneider Electric, pp. 16, 17, 18, 19, 20, 68, 69, 2015.
- 7.- "Ingeniería de Puesta a Tierra". De la Vega Ortega, Limusa, México 1998.
- 8.- Manual de Capacitación "Instalación de Sistemas de tierras Parres Steel para Telefonía Fija".
- 9.- "Sistemas de puesta a tierra para los sistemas de telecomunicaciones". Guerrero M. José H., Montiel O. Alejandro, Rodríguez H. Rogers, Viña V. Cruz M., pp.7, 8. Tesis UC, Valencia, Estado Carabobo, Venezuela, 2005.
- 10.- "Instalación eléctrica del Edificio 18 del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M." Edune Subiza Iturri, Javier Olleta Arregui. Facultad de Ingeniería. Tesis U.N.A.M.
- 11.- "Sistema de tierra en redes de distribución". Guillermo López Monroy. Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
- 12.- "Sistemas de puesta a tierra". José Samuel Ramírez Castaño, Eduardo Antonio Cano Plata, pp. 27, 28, 29, 30, 34, 35. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Marzo 2010.
- 13.- "Empleo del método geofísico Tomografía de Resistividad Eléctrica para la ubicación de un sitio de recarga de acuífero en Xochimilco". José Antonio Barrera Mendoza, pp. 24, 25, 31, 32. Facultad de Ingeniería U.N.A.M. 2015.

- 14.- "Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales". Enriquez Harper. Limusa, pp. 70, 104.CDMX 1996.
- 15.- "Catalogo de conductores IUSA", pp. 7 Corporativo Pasteje. 2016
- 16.- "Sistemas de puesta a tierra y protección para sistemas de telecomunicaciones", Manuel Enrique Huete Serrano, pp. 60, 61, 62, 63, 64. Universidad de San Carlos Guatemala. 2008.
- 17.- "Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución", Pablo Díaz, Ed. Mc Graw Hill, México, 2001
- 18.- "Effective Maintenance Managment Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance" Narayan, V. Industrial Press Inc 2004.
- 19.- "Reliable Planning, Planning, Estimating, And Scheduling" Peters W. Ralph Elsevier 2015.
- 20.- "Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control" Mora Gutiérrez Alberto Alfaomega, Primera Edición.
- 21.- "Norma de Ingeniería para la protección de la planta externa contra perturbaciones eléctricas ocasionadas por rayos y fuentes de energía". Ref. TMX/N/IP/98/0025 , Rev. B ; Fecha: 980417.
- 22.- "Norma y especificación del sistema de tierra para la planta de Teléfonos de México s.a de c.v.".Ref. TMX/N/XI/95/0003 Rev. B.
- 23.- "Ubicación física del equipo de fuerza y clima instalado en la planta telefónica". TMX/N/IT/96/0002.
- 24.- "Introducción a la planta telefónica". Roberto Rafael López Mondragón. INTELMEX.2003.
- 25.- "Fundamentos y mediciones eléctricas". Israel Pérez Aguilar, Luis P. Colón González. INTELMEX.2003.

26.- “Corrientes armónicas”. Revista Técnica Salgar S.A. de C.V..

27.- “Sistema de Tierra para equipo eléctrico electrónico”. Hernandez Morales Luis Adolfo, Rodríguez García Victor Jair, Zamudio Gomez Eder Bonifacio, pp 70,71. Facultad de Ingeniería U.N.A.M. 2009.